ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ВСКРЫТИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА В БАСЕЙНЕ ВЕРХНЕГО АМУРА И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАТОРНЫХ УРОВНЕЙ

Н.И. Горошкова, А.В. Стриженок

ФБГУ «Государственный гидрологический институт», goroshnat@yandex.ru

Ледовые явления на реках бассейна Верхнего Амура наблюдаются ежегодно, и самые опасные из них — заторы льда. Заторные наводнения возникают при весеннем половодье, когда при большой водности в русле скапливаются массы льда, уменьшающие его водопропускную способность, что приводит к резкому подъему уровня воды.

Предложена методика прогноза заторных наводнений с учетом происходящих климатических изменений для затороопасных участков Верхнего Амура. Необходимость усовершенствования методик прогноза заторных наводнений обусловлена тем, что предыдущая методика разработана более 30 лет назад. За это время в бассейне Амура произошли как климатические, так и антропогенные изменения. Выполнена статистическая оценка их значимости в многолетнем ходе максимальных заторных уровней р. Амур на участке с. Покровка — с. Сергеевка. Установлено изменение соотношение вкладов факторов в процесс заторообразования. Результаты исследований могут быть использованы в оперативной работе региональных центров Дальнего Востока при прогнозе заторных наводнений.

Ключевые слова: большие реки, гидрологический прогноз, замерзание реки, вскрытие реки, зажор, затор льда, зажорный и заторный подъем уровня, кромка льда, ледосборный участок, ледоход, наводнение, расход воды, уровень воды.

PECULIARITIES OF THE PROCESSES OF OPENING AND FORMATION OF ICE JAMS IN THE AMUR HEADWATERS BASIN AND FORECASTING METHOD OF THE ICE JAMS MAXIMUM LEVELS

N.I. Goroshkova, A.V. Strizhenok

FSBI «State Hydrological Institute», goroshnat@yandex.ru

Ice phenomena on the rivers of the Upper Amur basin are observed annually, the most dangerous of them being the ice jams. Ice-jam floods occur during the spring flood, when masses of ice accumulate in the channel at high water content, reducing its drainage capacity and therefore leading to steep water level rise. Although the duration of such floods is short (up to 10 days), the damage caused by them, as a rule, is much greater than from those during the free channel period.

The method for forecasting of ice-jam floods taking into account the current climate change for vulnerable sections of the upper Amur River is proposed. The need to improve the methods for forecasting ice-jam floods is caused by the fact that the previous method was developed more than 30 years ago. During this period, both climatic and anthropogenic changes occurred in the Amur River basin. Statistical assessment of their significance in the long-term course of the maximum ice-jam water levels of the Amur River on the site Pokrovka — Sergeevka villages has been carried out. The change in the ratio of the contributions of factors to the process of ice-jam formation has been established. The research results can be used in the operational work of the Far-East regional centers in predicting ice-jam floods.

Keywords: large rivers, hydrological forecast, river freeze-up, river break-up, ice jams, hanging dam, level rise, ice edge, ice catchment, ice drift, flood, water discharge, water level.

Введение

В пределах России в 80 % всех случаев наблюдаются наводнения, вызванные интенсивным снеготаянием. Причем в 50 % случаев они сочетаются с наводнениями, обусловленными разрушением ледяного покрова и сопровождающими этот процесс заторами льда. Заторные наводнения возникают при прохождении весеннего половодья, когда при большой водности реки в ней скапливаются массы льда, существенно уменьшающие водопрпускную способность русла и приводящие к резким подъемам уровня воды. Почти на половине речных гидрологических постов Росгидромета наивысшие уровни воды отмечены при заторах льда. Убытки от заторных наводнений нередко составляют десятки миллиардов рублей [4]. Поэтому прогноз максимальных заторных уровней важен для обеспечения безопасности населения и объектов инфраструктуры.

К настоящему времени известно несколько методик прогноза максимальных заторных уровней воды для Верхнего Амура, повторяемость которых весьма значительна. Первая из них была разработана в 1956 г. в Читинском УГМС: максимальный уровень у с. Покровка ($H_{\text{лдж}}$) вычислялся по связи этой характеристики с ледоставным уровнем ($H_{\text{лст}}$). В методике ДВ УГКС 1970 г. было предложено учитывать запасы воды в снеге в середине марта и количество жидких осадков в апреле, но точный прогноз с большой заблаговременностью оказался невозможен.

Цель данной работы — обсуждение разработанных в ГГИ методов прогноза заторных уровней воды для Верхнего Амура с учетом данных наблюдений за последние годы, а также климатических и антропогенных изменений в бассейне, произошедших за последние десятилетия. Потепление климата привело к тому, что более существенную роль в формировании максимальных заторных уровней стали играть осенние факторы — максимальные значения уровня воды в начале ледостава.

Исходные данные

Рассматривается бассейн Верхнего Амура, где довольно часто отмечаются эпизоды значительного повышения температуры в холодный период [5]. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений за характеристиками ледового режима приведена на рис. 1, сведения о продолжительности наблюдений и координатах пунктов — в табл. 1.

Как следует из табл. 1, продолжительность наблюдений составляет от 78 до 118 лет. Однако данные за начальные годы наблюдений отмечены в справочнике «Основные гидрологические характеристики» (ОГХ, т. 18, вып. 1) как сомнительные, особенно в тех пунктах, где есть большие перерывы в исходных данных, поэтому использование их для разработки методики прогноза максимальных заторных уровней не представляется целесообразным.

Рис. 1. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений в бассейне Верхнего Амура.

Fig. 1. Layout of hydrological observation points in the Upper Amur basin.

Таблица 1

Характеристики пунктов и периоды наблюдений
Characteristics of points and periods of observation

Код поста	Река — пункт	Широта	Долгота	Период наблюдений	Число лет набл.
06001	Амур — с. Покровка	53°21'	121°32'	1896—1930, 1935—1945, 1948—2013	111
06005	Амур — с. Джалинда	53°28'	123°54'	1912—1916, 1918, 1920—1937, 1940—1944, 1946—2013	98
06010	Амур — с. Черняево	52°47'	126°00'	1899—1937, 1940—1945, 1947—2013	113
06016	Амур — с. Кумара	51°34'	126°43'	1899—1921, 1923—2013	115

Окончание табл. 1

Код поста	Река — пункт	Широта	Долгота	Период наблюдений	Число лет набл.
06020	Амур — с. Сергеевка	50°46′	127°17′	1936—1947, 1949—2013	78
06022	Амур — г. Благовещенск	50°15′	127°30′	1900—1914, 1924—1930, 1933—2013	104
06023	Амур — с. Гродеково	50°08′	127°34′	1912—1920, 1923—1945, 1947—2013	100
06040	Аргунь — с. Олоча	51°21′	119°53′	1902—1918, 1920—1930, 1932—2013	111
06067	Шилка — г. Сретенск	52°15′	117°41′	1896—1919, 1921—2013	118

Условия формирования заторных наводнений в бассейне Верхнего Амура

Особенности весеннего ледохода на реках Дальнего Востока определяются их близостью к Северному Ледовитому океану, континентальным климатом и горным характером большей части речных бассейнов. Вследствие продолжительного периода с отрицательной температурой на реках образуется ледяной покров толщиной до 1,5 м. Многолетняя мерзлота делает потери стока воды в период весеннего снеготаяния незначительными, гористая территория обуславливает быстрый сброс воды в русловую сеть.

Разрушение ледяного покрова — это результат динамических нагрузок со стороны водного потока при большой интенсивности и скорости перемещения волны половодья. Плывущий сверху ледяной материал аккумулируется у кромки льда, перемещающейся вниз по течению. На участках с уменьшением уклона и резким изменением русла в плане (поворот, излучина, сужение русла) возникает торшение, вследствие чего увеличивается толщина льда и вскрытие задерживается. При поверхностной скорости течения 0,6—0,8 м/с и более происходит торшение льдин, ледяная масса уплотняется и увеличивается ее толщина. Здесь русло наиболее стеснено льдом. Подъем уровня воды наблюдается выше места стеснения. Наибольшая его интенсивность отмечается в момент образования затора — более 3—5 м за несколько часов.

Заторные явления — неотъемлемая составная часть процесса вскрытия рек Дальнего Востока. Большой объем льда в руслах рек, значительная скорость течения (0,6 м/с и более), множество русловых препятствий для движения льдин в виде излучин, перекатов, островов создают благоприятные условия для образования скоплений льда при вскрытии рек и формирования мощных заторов льда [2, 6].

При этом ледоход в период весеннего половодья в бассейне Верхнего Амура проходит при низких уровнях, так как снежный покров на водосборе реки

Рис. 2. Изменение максимального годового ($H_{\text{макс год}}$) и ледоходного ($H_{\text{лдж}}$) уровня, а также уровень выхода воды на пойму ($H_{\text{п}}$) р. Амур — с. Сергеевка.

Fig. 2. Change in maximum annual ($H_{\text{макс год}}$), and ice drift ($H_{\text{лдж}}$) water levels of the Amur River – s. Sergeevka ($H_{\text{п}}$ – level of water outlet to floodplain).

невелик, а грунтовое питание в значительной мере задерживается мерзлотными процессами [3]. Поэтому весенние воды не обеспечивают достаточной для свободного движения льда большой толщины и прочности способности потока к его транспортировке. В результате образования затора вода затопливает пойму и прилегающие территории. Наводнения в бассейне Верхнего Амура наблюдаются как при дождевых паводках, так и при весеннем ледоходе и заторах льда. Например, при уровне воды выше 500 см над «нулем» поста происходит затопление поймы у с. Сергеевка (рис. 2).

Наводнения при заторах опасны не только подъемом уровня, но и тем, что при их прорыве плывущий лед повреждает береговые постройки, речные причалы, а на берегах рек образуются многометровые навалы льда. Вскрытие Амура начинается в средней части реки, характеризующейся наибольшей приточностью, и отсюда оно распространяется вверх и вниз по течению. В соответствии с распределением толщины льда по длине реки наиболее мощные заторы льда образуются на Верхнем Амуре. Заторные подъемы здесь достигают 8—9 м (табл. 2).

Поэтому прогноз максимального заторного уровня важен для обеспечения безопасности населения и объектов инфраструктуры. При формировании ледостава для р. Амур характерно образование зажоров, однако наблюдающиеся при этом максимальные уровни воды, не приводят к затоплениям, но оказывают влияние на весенние процессы [1, 6].

Таблица 2

Максимальные уровни воды р. Амур в периоды открытого русла и ледовых явлений
The maximum water levels of the Amur River in periods of open channel and ice phenomena

Пункт	L , км	Нуль графика поста	Максимальный уровень воды (см) над «нулем» поста			
			$H_{\text{год}}$	Год	$H_{\text{лдж}}$	Год
с. Кумара	2168	160,53 м БС	1227	1958	704	1920
с. Сергеевка	2015	133,18 м БС	961	1958	954*	1960
г. Благовещенск	1941	119,88 м БС	895	1958	561	1930
с. Гродеково	1921	114,63 м БС	1202	1958	905	1950

Примечание. лдж — ледоход; звездочкой отмечен уровень воды заторного происхождения.

Методологические подходы к разработке методики прогноза максимального заторного уровня воды

При прогнозе наводнений, обусловленных заторами льда, обычно учитывают следующие показатели процесса заторообразования [1]:

а) максимальный уровень в начале ледостава ($H_{\text{лс}}$), характеризующий мощность скопления шуги в русле, у верхней границы которого весной формируется затор;

б) расход (уровень) воды у перемещающейся вниз по течению реки кромки ледяного покрова ($Q_{\text{кр}}$), который является характеристикой энергии водного потока в зоне торошения льда;

в) максимальная за зиму толщина ледяного покрова на участке образования затора и ниже по течению;

г) температура воздуха в период таяния льда и образования затора.

Влияние первого фактора процесса заторообразования велико на реках, замерзающих по зажорному типу. На некоторых водотоках (Амур, Шилка) имеют место настолько тесные связи между $H_{\text{з}}$ и $H_{\text{лс}}$ (табл. 3), что они могут использоваться для долгосрочного прогноза заторного максимума уровня с заблаговременностью несколько месяцев.

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции между максимальным ледоходным (заторным) уровнем воды Амура и уровнем в начале ледостава (1980—2013 гг.)

Paired correlation coefficients between the maximum ice (mash) water levels of the Amur River and the levels at the beginning of ice formation

Пункт	$r_{H_{\text{з}}, H_{\text{лс}}}$
с. Покровка	0,69
с. Черняево	0,53
с. Кумара	0,58
с. Сергеевка	0,66

Примечание. Длина выборки 33 года.

В методике ГГИ 1974 г. [8] максимальные весенние уровни предлагалось определять по максимальному расходу весеннего половодья, прочности льда при вскрытии реки и подъему уровня воды при формировании ледяного покрова ($\Delta H_{\text{лед}}$). Методика оказалась трудоемкой, хотя результаты были получены неплохие. В 1980 г. методика была доработана [3] с учетом влияния на ледоходные (заторные) уровни воды Амура осеннего и весеннего факторов процесса заторообразования и их соотношения. На некоторых участках реки вклад первого фактора в процесс очень значителен. Для них долгосрочный прогноз осуществлялся по уравнению

$$H_{\text{лх}} = a_0 + a_1 H_{\text{лс}}. \quad (1)$$

Уравнения были составлены для пяти заторных участков на Верхнем Амуре с подбором соответствующих коэффициентов. В качестве примера в табл. 4 приведены значения коэффициентов a_0 и a_1 в прогностическом уравнении (1) и сведения об эффективности прогнозов для двух участков.

Таблица 4

Значения коэффициентов a_0 и a_1 в прогностическом уравнении (1) и сведения об эффективности прогнозов при средней заблаговременности 5,6 месяца

The values of the coefficients a_0 and a_1 in the prognostic equation (1) and information on the effectiveness of forecasts

Пункт	a_0 , см	a_1	Средняя квадратическая погрешность прогнозов s , см	$\frac{s}{\sigma}$	Допустимая погрешность прогноза, см
с. Покровка	180	2,18	123	0,63	132
с. Сергеевка	277	2,00	108	0,70	103

Было установлено, что на Амуре уровни $H_{\text{лх}}$ имеют заторное происхождение, если они превышают отметки 575 см у с. Покровка и 450 см у с. Сергеевка. Вследствие большой протяженности реки на разных ее участках при прогнозе учитываются разные факторы заторообразования.

Для участка Амура с. Покровка — с. Сергеевка был необходим совместный учет осеннего и весеннего факторов:

$$H_{\text{лх}} = a_0 + a_1 H_{\text{лс}} + a_2 H_{\text{ос}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ос}}$ — уровень, характеризующий водность реки в период ледохода и определенный методом графической срезки.

Значения коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 в уравнениях (2) приведены в табл. 5.

Оценка методик прогноза была выполнена по двум критериям: отношению средней квадратической погрешности прогнозов (s) к вариации предсказываемого уровня (σ) и отношению погрешности s к вариации изменения уровня за период заблаговременности прогноза (σ_{Δ}). Отношения $\frac{s}{\sigma}$ и $\frac{s}{\sigma_{\Delta}}$ меньше 0,8, т. е. методика

была эффективна до начала работы Зейской ГЭС. Допустимая погрешность прогноза составила $0,2A_{\text{макс}}$, где $A_{\text{макс}}$ — максимальная амплитуда колебания заторных уровней в конкретном пункте наблюдений.

Таблица 5

Значения коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 в прогностических уравнениях (2) и сведения об эффективности методик прогнозов в 1948—1980 гг.

The values of the coefficients a_0 , a_1 and a_2 in the prognostic equations (2) and information on the effectiveness of forecasting methods in 1948-1980

Пункт	Уравнение (2)			Средняя квадратическая погрешность прогноза s , см	$\frac{s}{\sigma}$	$\frac{s}{\sigma_{\Delta}}$	Допустимая погрешность прогноза, см	Средняя заблаговременность прогноза, сутки
	a_0 , см	a_1	a_2					
с. Покровка	55	0,56	1,81	109	0,56	0,67	110	5
с. Джалинда	185	1,71	1,31	151	0,67	0,60	151	6
с. Черняево	156	0,85	0,30	87	0,66	0,57	88	8
с. Кумара	40	0,83	0,58	67	0,56	0,51	79	10
с. Сергеевка	40	1,22	0,82	90	0,59	0,62	98	10

Поскольку на формирование максимальных уровней на этом участке большое влияние оказывает сток рек Аргунь и Шилки, то для прогноза показателя весенней водности H_Q установлена следующая зависимость:

$$H_Q = a_0 + a_1 H_{\text{ш}} + a_2 I_{\text{ш}} + a_3 H_A. \quad (3)$$

До начала работы Зейской ГЭС качество прогноза было удовлетворительным. Хотя эффективность методики уменьшилась из-за изменения условий формирования стока воды в Амуре зимой и весной, ее, тем не менее, использовали в УГМС Дальнего Востока до 1986 г. Важной задачей является повышение эффективности прогнозов заторных наводнений в условиях современных изменений климата и антропогенных воздействий [5, 9]. Учет климатических и антропогенных факторов может повысить оправдываемость таких прогнозов на 5—15 %.

С начала 70-х годов прошлого века произошли изменения в соотношении вклада отдельных факторов в формирование максимальных заторных уровней воды рек России. Если в 1950—1980 гг. на формирование максимального заторного уровня воды основное влияние оказывали условия вскрытия реки динамического характера, то в последующие годы главным фактором, определяющим высоту максимального уровня, стала зашугованность речного русла.

Хотя максимальная толщина ледяного покрова уменьшается при повышении температуры воздуха в зимний период вследствие климатических изменений (рис. 3), на реках Сибири и Дальнего Востока в конце XX века — начале XXI века продолжали возникать мощные заторы льда.

Например, в створе Амур — с. Джалинда число заторов за период 1948—1980 гг. составило 12, и за период 1981—2013 гг. — десять. Аналогичная картина наблюдается и в створе р. Амур — с. Сергеевка: число заторов семь и пять соответственно; при этом в 90-е годы лед периодически взрывали, чтобы не допустить резкого подъема уровня.

Однако заторы по-прежнему в основном зависят от естественной цикличности природных явлений. Таким образом, климатические изменения последних

лет сказались на соотношении вклада факторов заторообразования, что потребовало усовершенствования методики прогноза, однако на количестве заторов потепление не отразилось. Об этом свидетельствует и проверка рядов максимальных заторных уровней воды рек бассейна Верхнего Амура с естественным ледовым режимом на однородность по критериям Стьюдента и Фишера [7]. Она показала, что они однородны и климатические изменения на них не повлияли (рис. 4, 5; табл. 5).

Рис. 3. Хронологический график максимальной толщины ледяного покрова ($h_{\text{макс}}$) р. Шилка, г. Сретенск (1955—2013 гг.).

Fig. 3. A chronological graph of the maximum thickness of the ice cover of the river Shilka – Sretensk (1955 – 2013).

Рис. 4. Многолетние изменения максимального ледоходного (заторного) уровня воды р. Амур — с. Кумара.

Fig. 4. Long-term changes in the maximum ice (mash) water levels of the Amur River – s. Kumara.

Рис. 5. Многолетние изменения максимального ледоходного (заторного) уровня воды
р. Амур — с. Джалинда.

Fig. 5. Long-term changes in the maximum ice (mash) water levels
of the river Cupid – s. Jalinda.

Таблица 6

Значения критериев Стьюдента и Фишера и коэффициентов линейных уравнений трендов
максимального заторного уровня воды (см над «0» поста) на р. Амур для расчетных

The values of the Student and Fisher criteria and the coefficients
of the linear equations of the trends of the maximum mash water levels of the Amur River

Река - пункт	Расчетный период наблюдений		Статистические характеристики											
			Критерий Стьюдента				Критерий Фишера				Коэффициент уравнения тренда			
			Сред- нее, см		T	$t_{кр}$	Дисперсия за период, см ²		F	$F_{кр}$	a_1		a_0 , см	
1	2	1	2			1	2			1	2	1	2	
Амур — Джалинда	1948— 1979	1980— 2013	551	543	0,14	1,67	523	454	1,15	1,82	−2,86	−0,28	598	548
Амур — Кумара	1936— 1981	1982— 2013	394	387	0,23	1,67	170	199	0,85	0,58	−0,25	−6,34	400	485
Амур — Сергеевка	1934— 1981	1982— 2013	396	385	0,30	1,67	224	245	0,91	0,58	−0,33	−6,28	404	483

Из табл. 6 видно, что максимальные заторные уровни воды имеют отрица-
тельные тренды. Кроме того, есть значимые тренды для дат начала и окончания
ледостава и его продолжительности. Уменьшение толщины ледяного покрова
приводит к уменьшению расхода воды, вскрывающего реку, и увеличению повто-
ряемости беззаторных вскрытий.

Прогнозные зависимости были составлены для четырех заторных участков
р. Амур (с. Покровка, с. Черняево, с. Кумара, с. Сергеевка) по данным наблюде-
ний за 1981—2013 гг. Предварительно был выполнен анализ основных факторов
заторообразования. Значения парных коэффициентов корреляции максимального

заторного уровня воды с количественными показателями факторов вскрытия и заторообразования для этих участков отражают возросшее влияние на формирование заторных максимумов осенних факторов. Однако основное значение максимальный уровень в начале ледостава ($H_{\text{лдст}}$) имеет только на участке у с. Покровка (табл. 7).

Таблица 7

Вклад аргументов зависимостей для прогноза максимальных заторных уровней воды (см над «нулем» поста) р. Амур

Contributions of dependency arguments for predicting maximum mash water levels on the Amur River.

Заторный участок	Аргументы			
	характеризующие осень — зиму	характеризующие весну		
	$H_{\text{макс лдст}}$	Уровень 1-го дня лдх у Сретенска, р. Шилка	Подъем уровня у Сретенска, р. Шилка	Уровень на день выпуска прогноза р. Аргунь — с. Олочь
с. Покровка	0,44	0,27	–0,01	0,29
с. Черняево	0,09	0,28	–0,01	0,63
с. Кумара	0,04	0,10	–0,01	0,28
с. Сергеевка	–0,11	0,72	0,06	0,33

Для нижележащих участков преобладающим становится интенсивность роста уровня воды в период половодья на реках Шилке и Аргуни, т. е. аргументы, характеризующие весенние факторы. Это объясняется широтным положением русла р. Амур и меридиональным положением русла рек Шилки и Аргуни. О надежности зависимостей свидетельствуют достаточно высокие значения суммарного коэффициента корреляции (табл. 8). Оправдываемость краткосрочных прогнозов максимального заторного уровня воды для рассматриваемого участка с. Черняево — с. Сергеевка составляет 65 %, т. е. эффективность методики можно считать удовлетворительной (табл. 9).

Таблица 8

Коэффициенты линейных уравнений для прогноза максимального заторного уровня воды (см над «нулем» поста) на р. Амур за период 1981—2013 гг.

Coefficients of linear equations for predicting maximum mash water levels on the Amur River

Заторный участок	Коэффициенты линейных уравнений				Свободный коэффици- циент, см	R
	характеризующие осень — зиму	характеризующие весну				
		$H_{\text{макс лдст}}$	Уровень 1-го дня лдх у Сретенска р. Шилка	Подъем уровня у Сретенска р. Шилка		
с. Покровка	1,15	1,08	−0,55	0,183	−24	0,82
с. Черняево	0,13	0,49	−0,47	0,642	188	0,69
с. Кумара	0,27	0,38	−0,19	0,821	118	0,70
с. Сергеевка	−0,304	1,042	0,251	0,572	90	0,69

Таблица 9

Сведения об эффективности методики краткосрочных прогнозов максимального заторного уровня воды (см над «нулем» поста) на р. Амур
 Information on the effectiveness of the methodology for short-term forecasts of maximum mash water levels on the Amur River

Пункт	Средняя заблаговременность прогнозов, сут	Средняя квадратическая погрешность прогнозов, s , см	Оценка эффективности через среднюю квадратическую погрешность прогнозов от нормы					
			уровня воды (σ_H)			изменения H за период заблаговр. прогноза, ($\sigma_{\Delta H}$)		
			$\frac{s}{\sigma_H}$	Оправдываемость прогнозов, %	Обеспеченность прогноза по норме, %	$\frac{s}{\sigma_{\Delta H}}$	Оправдываемость прогнозов, %	Обеспеченность прогноза по норме, %
с. Покровка	6	244	0,67	71	34	0,67	61	32
с. Черняево	8	82	0,68	52	44	0,67	61	61
с. Кумара	10	90	0,67	72	58	0,67	65	42
с.Сергеевка	10	98	0,67	74	61	0,67	76	38

Заключение

В настоящей работе приводятся результаты уточнения разработанных в ГГИ методов прогноза заторных уровней воды на р. Амур. При сохранении в целом однородности рядов максимального заторного уровня воды р. Амур на участке с. Покровка — с. Сергеевка детерминированный вклад аргументов изменился. Особенно это характерно для с. Покровки, где основным фактором стал максимальный уровень в начале ледостава.

Число заторов в бассейне Верхнего Амура сохраняется практически постоянным. Так, например, в створе Амур — с. Джалинда число заторов за период 1948—1980 гг. составило 12, а за период 1981—2013 гг. — десять. Нет значимых трендов в ходе максимального ледоходного (заторного) уровня Верхнего Амура.

Оправдываемость краткосрочных прогнозов максимального заторного уровня воды для рассматриваемого участка с. Черняево — с. Сергеевка составляет 52—74 %, долгосрочного прогноза — 61—76 %, т. е. эффективность методики можно считать удовлетворительной. Все изменения характеристик заторов при изменении климата для рек Дальнего Востока невелики, и в целом ситуация с формированием заторов в дальнейшем будет сохраняться на современном уровне.

Список литературы

1. Бузин В.А. Затопы льда и заторные наводнения на реках. СПб: Гидрометеиздат, 2004. С. 120—127.
2. Бузин В.А., Горошкова Н.И. Особенности формирования и методика прогнозов максимальных заторных уровней реки Амур / В сб.: Экстремальный паводок в бассейне Амура: гидрологические аспекты. СПб: изд-во ГГИ, 2015. С.142—152.
3. Бузин В.А., Шаночкин С.В. Прогнозы максимальных заторных уровней воды рек Амур и Уссури // Труды ГГИ. 1985. Вып. 309. С. 44—52.
4. Ваганов П.А. Экологический риск. СПб: изд-во СПбГУ, 1999. 115 с.

5. Георгиевский В.Ю. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // *Метеорология и гидрология*. 1996. № 11. С. 89—99.
6. Каталог заторных и зазорных участков рек СССР. Т. 2. Азиатская часть СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 288 с.
7. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. СПб: Нестор-История, 2010. 176 с.
8. Нежиховский Р.А. и др. Прогнозы заторов льда на крупных реках Сибири и Дальнего Востока // *Труды ГГИ*. 1978. Вып. 248. С. 98—124.
9. Шаночкин С.В. Оценка изменений сроков основных фаз ледового режима в связи с изменением климата // *Труды ГГИ*. 1991. Вып. 354. С. 69—74.

References

1. Buzin V.A. Zatory l'da i zatornye navodneniya na rekah. Ice blocks and ice-dam flooding on the rivers. St. Petersburg, *Gidrometeoizdat*. 2004: 120-127. [In Russian].
2. Buzin V.A., Goroshkova N.I. Osobennosti formirovaniya i metodika prognozov maksimal'nykh zatornykh urovnej reki Amur. Features of formation and methodology of forecasts of maximum congestion levels of the Amur river in the collection "Extreme flood in the Amur basin: hydrological aspects". Collection of works on hydrology. St. Petersburg, FSBI "SHI". 2015: 142-152. [In Russian].
3. Buzin V.A., Shanochkin S.V. Forecasts maximum mash water levels of the rivers Amur and Ussuri. *Trudy GGI*. Proc. SHI, 1985, 309: 44-52. [In Russian].
4. Vaganov P.A. *Ekologicheskij risk*. Ecological risk. SPb: izd-vo SPbGU. 1999: 115. [In Russian].
5. Assessment of the impact of possible climate changes on the hydrological regime and water resources of rivers in the former USSR. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and Hydrology. 1996, 11: 89-99. [In Russian].
6. Katalog zatornykh i zazhornykh uchastkov rek SSSR. T. 2. Aziatskaya chast' SSSR. Catalogue of congestion and congestion of rivers of the USSR: 2. Asian part of the USSR. Leningrad, *Gidrometeoizdat*, 1978: 288. [In Russian].
7. Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredeleniyu ih raschetnykh znachenij po neodnorodnym dannym. Methodological recommendations for the assessment of homogeneity of hydrological characteristics and determination of their calculated values from heterogeneous data. SPb: Nestor-Istoriya. 2010: 176. [In Russian].
8. Nezhikhovskiy R.A. Forecasts of ice congestion on large rivers of Siberia and the Far East. *Trudy GGI*. Proc. of SHI. 1978, 248: 98-124. [In Russian].
9. Shanochkin S.V. Assessment of changes in terms of the main phases of the ice regime in connection with climate change. *Trudy GGI*. Proc. of SHI. 1991, 354: 69-74. [In Russian].

Статья поступила 7.10.2019

Принята 26.11.2019

Сведения об авторах

Горошкова Наталья Ивановна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела прогнозирования гидрологических процессов и экспериментальных исследований ФГБУ «ГГИ», goroshnat@yandex.ru

Стриженок Анастасия Владимировна — ведущий инженер отдела прогнозирования гидрологических процессов и экспериментальных исследований ФГБУ «ГГИ», anastasiastrizhenok@mail

Information about authors

Goroshkova Natalia Ivanovna — Ph. D., senior researcher of the Department of hydrological processes forecasting and experimental research of FGBI "GGI"

Anastasia Strizhonok — leading engineer of the Department of hydrological processes forecasting and experimental research of FGBI "GGI"