

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА РЕКЕ АМУР

С.В. Борщ, Ю.А. Симонов, А.В. Христофоров, Н.М. Юмина

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
borsch@tocom.ru, simonov@tocom.ru*

Введение

В рамках реализации Технического проекта восстановления, модернизации и развития гидрометеорологической сети наблюдений и системы гидрологического прогнозирования в бассейне р. Амур отделом речных гидрологических прогнозов Гидрометцентра России для разных участков р. Амур разработана система методик краткосрочного прогнозирования уровней воды с заблаговременностью от одних до пяти суток. В основе этих методик ввиду недостаточной гидрометеорологической изученности территории лежит метод соответственных уровней, позволяющий упрощенно описывать движение и трансформацию волн паводков и половодий в русловой сети на основе данных гидрометрических наблюдений. Метод реализован для 15 участков на реке Амур от с. Покровка в верхнем течении до г. Комсомольск-на-Амуре в нижнем течении.

Условия формирования стока и водный режим рек бассейна Амуре

Река Амур является одной из крупнейших рек Северо-Восточной Азии. Бассейн реки расположен на территории трех государств: России, Монголии и Китая. По площади бассейна (1855 тыс. км²) Амур занимает четвертое место среди рек России (после Енисея, Оби и Лены) и десятое место среди рек мира. По водности (средний годовой объем стока равен 356 км³ [2]) Амур

является четвертой крупнейшей рекой России и тринадцатой – в мире.

Разнообразие ландшафтов, климатических условий (резко выраженный континентальный климат на западе и муссонный на востоке), контрасты элементов рельефа и другие физико-географические факторы вызывают неоднородность формирования стока рек в бассейне Амура. В целом водный режим рек бассейна Амура характеризуется прохождением дождевых паводков в теплую часть года, относительно невысоким половодьем и устойчивой зимней меженью либо прекращением стока вследствие перемерзания. Доля дождевого питания на водосборе Верхнего и Среднего Амура составляет в среднем 50–70 % общего годового стока, на снеговое питание приходится 10–20 %, на подземное – 10–30 %. На Нижнем Амуре доля дождевого питания составляет до 80 %, тогда как снегового – всего 2–6 % [3, 4]. При этом в зависимости от водности года соотношение источников питания рек меняется.

Главной фазой водного режима рек являются дождевые паводки, наблюдающиеся в теплое время года. На паводочный период приходится большая часть годового стока. Большая часть паводков проходит с июля по сентябрь, но бывают и июньские, и октябрьские паводки. Майские паводки имеют обычно смешанное снегово-дождевое происхождение. Число паводков сильно меняется от года к году, в среднем за летне-осенний период проходит до 15 паводков. Второй важной фазой водного режима является снеговое половодье, характерное для всех рек бассейна. Весеннее половодье длится в среднем 20–30 дней, начинаясь в первой половине апреля и заканчиваясь во второй половине мая. Интенсивность подъема уровней воды во время половодья меньше, чем в периоды прохождения паводков. Объем стока весеннего половодья в среднем составляет около 15 % от общего объема годового стока. Летняя межень у рек Амурского бассейна обычно не выражена. Паводочный период, как правило, накладывается на половодье, промежутки между паводками относительно не велики. Осенью с уменьшением количества осадков водность рек снижается. Зимой реки полностью переходят на подземное питание. Доля зимнего стока крайне мала – менее 5 % от годового,

что связано с суровостью климата, большими затратами на ледо- и наледообразование и наличием многолетнемерзлых пород.

В форме гидрографа Верхнего Амура благодаря ливневым осадкам выделяются высокие паводки «игольчатой» формы, идущие сериями друг за другом. Сверху вниз по течению Амура вследствие наложения отдельных паводков друг на друга формируются более крупные паводочные волны. Гидрограф стока Нижнего Амура представляет собой чередование 3–4 сглаженных и достаточно продолжительных паводочных волн, сформированных в результате суперпозиции отдельных паводков, идущих как с верховьев, так и с близлежащих притоков (рис. 1).

В многолетнем плане для рек бассейна Амура характерно чередование фаз повышенной и пониженной водности. Различия в стоке за многоводный и маловодный год на реке Амур существенны и могут достигать 1,5–2 раза на Верхнем и Среднем Амуре и 2,5–3,5 раза на Нижнем Амуре (рис. 1).

В многоводные годы паводочный режим стока рек бассейна Амура создает серьезную угрозу населению и хозяйственным объектам территории. Вызванные прохождением высоких дождевых паводков наводнения могут привести к человеческим жертвам и значительным социально-экономическим ущербам (например, наводнение 2013 года). Это обусловило необходимость разработки методик краткосрочного прогнозирования опасных паводков на основе использования современных данных наблюдений за водным режимом рек бассейна.

Методика прогнозов уровней воды

В настоящее время Гидрометцентр России располагает достаточно надежными методиками прогнозирования расходов (уровней) воды, основанными на математическом моделировании как процессов перемещения волн паводков в руслах рек, так и процессов формирования стока на водосборе с использованием метеорологических данных, и детальном математическом описании трансформации волн паводков в руслах рек, [1, 5]. Однако для бассейна реки Амур ввиду неоднородных физико-географических

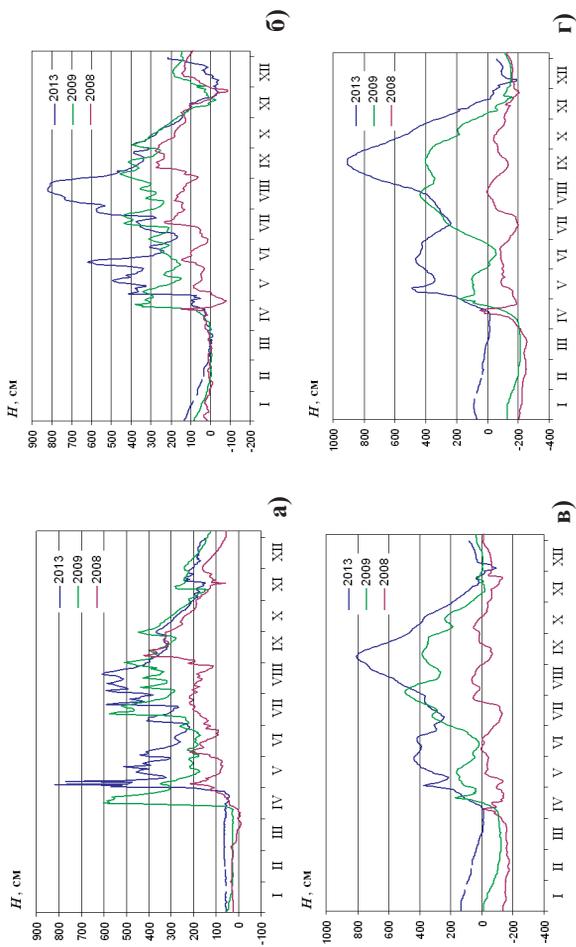


Рис. 1. Графики колебаний уровней воды на реке Амур в разные по водности годы: р. Амур – с. Джалинда (а); р. Амур – г. Благовещенск (б); р. Амур – г. Хабаровск (в); р. Амур – г. Комсомольск-на-Амуре (г).

условий формирования стока в различных его частях заметна недостаточность данных гидрометеорологических наблюдений, особенно в горных районах (в верховьях рек-притоков Амура), где сложный характер распределения осадков и снежного покрова затрудняет получить необходимый их объем с помощью интерполяции метеорологических характеристик по имеющимся данным наблюдений. В связи с трансграничным положением реки Амур, на большинстве гидрологических постов реки имеются данные наблюдений только за уровнем воды. В связи с этим, в соответствии с принципом соответствия метода прогноза объему и качеству исходных гидрометеорологических данных, для реки Амур одним из наиболее эффективных методов прогнозирования является метод соответственных уровней.

Для построения методик прогноза уровней воды на р. Амур использовались суточные данные наблюдений за уровнем воды на 16 постах сети Росгидромета, расположенных непосредственно на реке Амур, и на 2 постах, расположенных в замыкающих створах основных притоков Амура – реках Зeya и Усури (рис. 2). В расчетах были использованы данные за период с 2008 по 2010, 2013 гг., включающие как маловодный год (2008), так и многоводные годы (2009, 2013).

Способы получения прогнозных связей различались в зависимости от условий формирования стока на конкретном участке реки. На бесприточных или слабоприточных участках реки уровень воды $H_H(t + \tau)$ в нижнем створе на момент времени $(t + \tau)$ прогнозируется по его статистической связи со значением уровня в верхнем створе $H_B(t)$, соответствующего той же фазе прохождения паводка, и от значения уровня воды в нижнем створе $H_H(t)$ за предшествующий момент времени t , характеризующего инерционный прогноз (1). При этом время добегания соответственных уровней воды на данном участке τ рассчитывается по его зависимости от $H_B(t)$.

$$H_H(t + \tau) = a_0 + a_1 H_B(t) + a_2 H_H(t), \quad (1)$$

где H_B – уровень воды на верхнем посту; H_H – уровень воды на нижнем посту; τ – расчетное время добегания; a_i – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов.

Осреднение данных гидрометрических наблюдений с шагом в сутки приводит к ошибке расчетного времени добегания до ± 1 сут. Вследствие этого зависимость времени добегания паводка от уровня воды на верхнем посту приобретает характер поля точек, по которому можно выявить лишь тенденцию к уменьшению времени добегания с увеличением высоты паводка. Для получения расчетного времени добегания проводилось осреднение его оценок по определенным интервалам уровня воды. Результат такого осреднения для участка от с. Черняево до с. Кумара представлен на рис. 3 б. На рис. 3 а представлен пример выделенных соответственных уровней воды для участка р. Амур от с. Черняево до с. Кумара.

Анализ данных соответственных уровней воды показал, что для всех исследуемых участков реки Амур возможно применение описанного выше варианта методики (без учета боковой приточности на участке реки между верхним и нижним постами). Это связано с тесной зависимостью уровней воды верхнего и нижнего поста – на всех участках парный коэффициент корреляции между соответственными уровнями воды больше 0,95, а также с незначительным в большинстве случаев вкладом бокового притока в сток основной реки. В табл. 1 для всех 15 участков реки Амур представлены значения коэффициентов прогностических зависимостей a_i , расчетного времени добегания τ , а также длины рядов соответственных уровней.

В целях получения для основных постов на реке Амур (г. Благовещенск, г. Хабаровск и г. Комсомольск-на-Амуре) прогнозов уровней воды с большей заблаговременностью было выделено несколько участков с постепенным увеличением расстояния между верхним и нижним постами. Для этих участков отдельно по описанной выше схеме строились методики прогноза. В табл. 2 представлены значения коэффициентов полученных прогностических зависимостей a_i , расчетного времени добегания τ , а также длины рядов соответственных уровней для рассматриваемых участков.

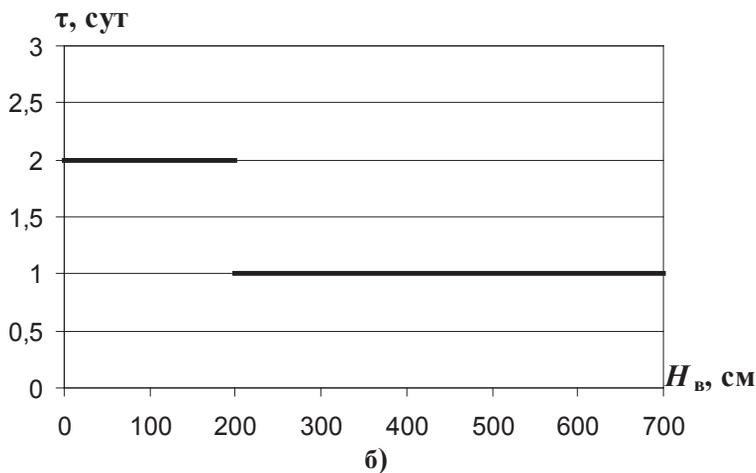
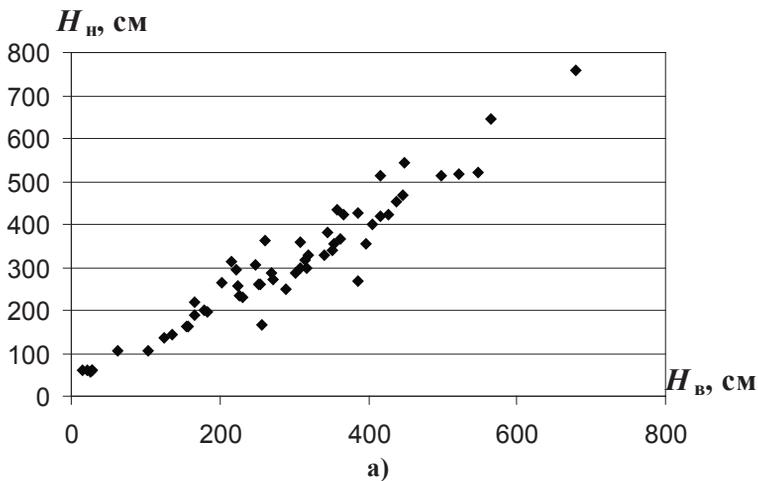


Рис. 3. Графики зависимостей для участка р. Амур от с. Черняево до с. Кумара: прогнозных соответственных уровней воды (а); расчетного времени добегания (б).

$$H_H(t + \tau) = 0,31 H_B(t) + 0,74 H_H(t) - 0,02; R = 0,99$$

Таблица 1

**Параметры зависимостей прогноза уровней воды на участках
реки Амур без учета боковой приточности
с заблаговременностью 1–2 суток**

Участок реки	a_0	a_1	a_2	τ , сут	N
с. Покровка – с. Джалинда	15,2	0,51	0,59	1	53
с. Джалинда – с. Черняево	-30,4	0,58	0,49	1 ($H_B > 300$ см) 2 ($H_B \leq 300$ см)	69
с. Черняево – с. Кумара	-0,02	0,31	0,74	1 ($H_B > 200$ см) 2 ($H_B \leq 200$ см)	57
с. Кумара – с. Сергеевка	-15,9	0,42	0,67	1	55
с. Сергеевка – г. Благовещенск	7,33	0,23	0,72	1	62
г. Благовещенск – с. Константиновка	9,63	0,23	0,80	1	80
с. Константиновка – с. Иннокентьевка	0,21	0,25	0,80	1 ($H_B > 130$ см) 2 ($H_B \leq 130$ см)	74
с. Иннокентьевка – с. Пашково	159	0,68	0,49	1	70
с. Пашково – с. Нагибово	-20,6	0,16	0,80	1	61
с. Нагибово – с. Ленинск	-30,3	0,12	0,91	1 ($H_B > 350$ см) 2 ($H_B \leq 350$ см)	65
с. Ленинск – г. Хабаровск	-25,8	0,13	0,86	2	55
г. Хабаровск – с. Елабуга	3,67	0,13	0,86	1	43
с. Елабуга – с. Троицкое	-9,53	0,19	0,77	1	44
с. Троицкое – с. Малмыж	6,94	-0,19	1,16	1	39
с. Малмыж – г. Комсомольск	0,42	0,24	0,78	1	35

Таблица 2

Параметры зависимостей прогноза уровней воды для основных постов на реке Амур с увеличенной заблаговременностью (без учета боковой приточности)

Участок реки	a_0	a_1	a_2	τ , сут	N
с. Покровка – г. Благовещенск	-4,72	0,64	0,47	5 ($H_B > 150$ см) 6 ($H_B \leq 150$ см)	49
с. Джалинда – г. Благовещенск	-46,3	0,58	0,58	4 ($H_B > 200$ см) 5 ($H_B \leq 200$ см)	70
с. Черняево – г. Благовещенск	-12,9	0,53	0,56	3	69
с. Кумара – г. Благовещенск	-2,07	0,26	0,75	1 ($H_B > 320$ см) 2 ($H_B \leq 320$ см)	54
г. Благовещенск – с. Пашково	217	0,88	0,49	3	68
с. Пашково – г. Хабаровск	-115	0,20	0,74	4 ($H_B > 590$ см) 5 ($H_B \leq 590$ см)	51
с. Нагибово – г. Хабаровск	-93,0	0,25	0,75	3 ($H_B > 450$ см) 4 ($H_B \leq 450$ см)	60
г. Хабаровск – г. Комсомольск	-29,1	0,55	0,54	4	41
с. Елабуга – г. Комсомольск	-45,3	0,64	0,47	3	42
с. Троицкое – г. Комсомольск	-14,1	0,66	0,55	2	33

Для возможного учета наиболее значительных притоков Амура – рек Зeya и Уссyри (река Сyнгари не учитывалась из-за асинхронности колебаний ее стока со стоком Амура) – для двух участков реки Амур от г. Благовещенска до с. Константиновки и от г. Ленинска до г. Хабаровска отдельно были построены методики прогноза с учетом боковой приточности. При этом на притоке использовались данные уровней воды в замыкающем створе.

При наличии значительного притока его водность учитывается дополнительно, а схема прогноза усложняется [5] Для двух выбранных участков была использована прогностическая зависимость вида:

$$H_H(t) = a_0 + a_1 H_B(t - \tau_1) + a_2 H_H(t - \tau_1) + a_3 H_{II}(t - \tau_2), \quad (2)$$

где H_B – уровень воды на верхнем посту; H_H – уровень воды на нижнем посту; H_{II} – уровень воды на притоке; τ_1 – расчетное время добегания от верхнего поста до нижнего поста; τ_2 – расчетное время добегания от поста на притоке до нижнего поста; a_i – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов. Зависимость такого вида учитывает не только колебания уровней воды на верхних постах основной реки и притока, но и содержит в себе инерционный прогноз.

На участке реки Амур от г. Благовещенска до с. Константиновки вследствие примерно одинакового расстояния от верхних постов на основной реке и на притоке до нижнего поста было принято единое время добегания ($\tau_1 = \tau_2 = 1$ сут). На участке реки Амур от г. Ленинска до г. Хабаровска время добегания τ_1 и τ_2 различно, поскольку пост на притоке расположен примерно вдвое ближе, чем верхний пост на основной реке. В табл. 3 представлены значения коэффициентов полученных прогностических зависимостей a_i , расчетного времени добегания τ_1 и τ_2 , а также длины рядов соответственных уровней.

Таблица 3

Параметры зависимостей прогноза уровней воды на некоторых приточных участках реки Амур

Участок реки	a_0	a_1	a_2	a_3	N	τ_1 , сут	τ_2 , сут
г. Благовещенск (р. Зея – г. Благовещенск) – с. Константиновка	28,6	0,27	0,39	0,44	67	1	1
с. Ленинск (р. Уссури – с. Новосветское) – г. Хабаровск	-123	0,38	0,42	0,25	25	2	1

Оценка погрешности и эффективности предлагаемых методик прогноза

Погрешность методики прогноза уровней воды оценивалась на независимом материале [5]. Для этого с использованием рассчитанных параметров зависимостей выпускались проверочные прогнозы уровня для лет, данные которых не использовались для расчета параметров прогностических зависимостей. На рис. 4 приведены совмещенные графики колебаний фактических и спрогнозированных (проверочные прогнозы) уровней воды в створах р. Амур – г. Благовещенск и г. Хабаровск за 2011 г.

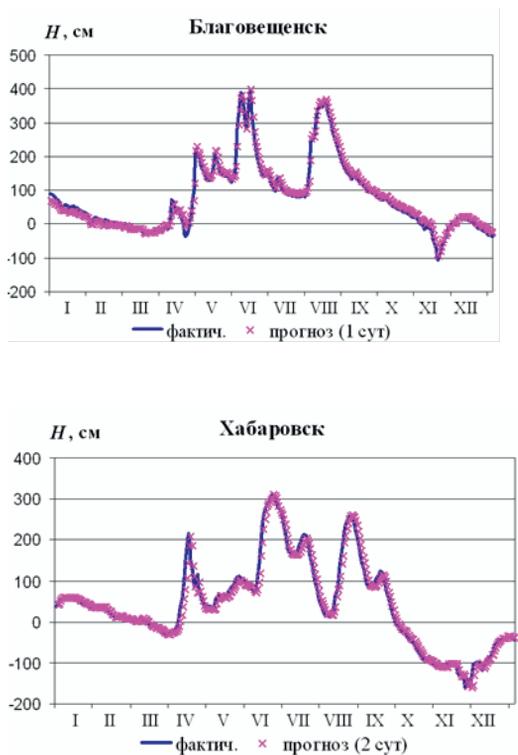


Рис. 4. Совмещенные графики колебаний фактических и спрогнозированных уровней воды р. Амур – г. Благовещенск и г. Хабаровск за 2011 г.

Для остальных участков реки Амур также имеет место достаточно тесное совпадение фактических и спрогнозированных уровней воды в течение года. При этом с увеличением расстояния между постами отмечается некоторое уменьшение точности прогнозов, о чем свидетельствует меньшее совпадение фактических и спрогнозированных уровней воды при заблаговременности прогноза более 3 суток (рис. 5).

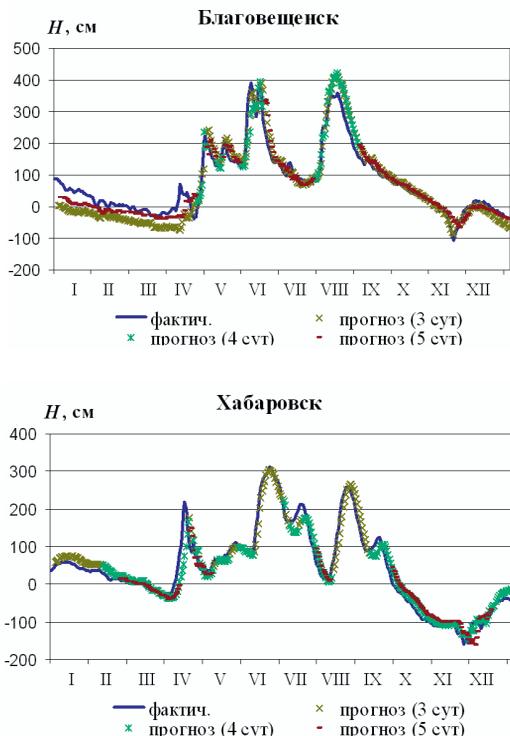


Рис. 5. Совмещенные графики колебаний фактических и спрогнозированных уровней воды р. Амур – г. Благовещенск и г. Хабаровск за 2011 г. при заблаговременности прогноза более 3 суток

Это связано прежде всего с неучтенной боковой проточностью, а также с изменяющимся вниз по течению Амура

паводочным режимом. В верховьях реки для водного режима Амура характерно чередование отдельных паводков, а в нижнем течении паводки накладываются друг на друга, формируя крупные паводочные волны. В рамках календарного года наибольшие погрешности прогнозов характерны для зимнего периода и для периода начала весеннего половодья. Неопределенность проверочных прогнозов в холодный период года и в период начала половодья связана с тем, что параметры прогностических зависимостей были рассчитаны с использованием ряда наблюдений за «теплым» периодом года (с мая по сентябрь). Зимний и весенний режимы рек значительно отличаются от режима паводочного периода – ледостав, местные питания рек подземными водами в различных частях бассейна, вскрытие рек и ледоход, различные сроки наступления и интенсивность снеготаяния естественно находят отражение в уменьшении точности проверочных прогнозов в холодный период года. Использование разработанных методик прогнозирования в оперативном режиме предполагается именно в паводочный период, поскольку летне-осенний период года отличается как количеством паводков, так и максимальными пиками уровней, а следовательно, наибольшей степенью их потенциальной угрозы населению и экономике региона.

В соответствие с принятыми требованиями, погрешность прогноза характеризовалась средней квадратической погрешностью $\sigma_{пр}$ его ошибки. При получении оценки $\sigma_{пр}$ использовалась теоретическая формула, которая учитывает не только разности между фактическими и прогнозируемыми уровнями воды, но и соотношение между длиной использованного ряда наблюдений и числом оцениваемых параметров [6]. Формула получения такой оценки имеет вид:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\frac{N-1}{(N-k)(N-k-1)} \sum_{j=1}^N (\tilde{H}_j - H_j)^2}, \quad (3)$$

где H_j – фактическое, а \tilde{H}_j – прогнозируемое значения уровня воды; k – число оцениваемых параметров прогностической зависимости ($k = 3-4$), N – продолжительность ряда

соответственных уровней. Использование данной формулы для оценки погрешности прогноза равнозначно оценке на независимом материале.

Обычно эффективность краткосрочного прогноза определяется соотношением $\sigma_{пр}/\sigma_{\Delta}$, где σ_{Δ} характеризует погрешность инерционного прогноза [5]. Для реки Амур, особенно в низовьях, характерно достаточно плавное изменение уровней воды в течение 1–2 суток, вследствие чего погрешность инерционного прогноза σ_{Δ} мала и становится соизмеримой с погрешностью $\sigma_{пр}$. Поэтому показатель $\sigma_{пр}/\sigma_{\Delta}$, особенно при малой заблаговременности прогноза, становится необъективным. В этом случае точность и эффективность прогнозов уровней воды на реке Амур характеризуется квадратом множественного коэффициента корреляции R^2 полученных прогностических зависимостей и соотношением погрешности прогноза $\sigma_{пр}$ со средним квадратическим отклонением колебаний уровней воды σ . В табл. 4–6 приведены значения продолжительности ряда соответственных уровней N , квадрата множественного коэффициента корреляции для предлагаемых прогностических зависимостей R^2 , их погрешности $\sigma_{пр}$, погрешности инерционного прогноза σ_{Δ} , среднего квадратического отклонения σ колебаний соответственных уровней воды на нижнем посту и отношение $\sigma_{пр}/\sigma$.

Как видно из таблиц, точность прогнозов увеличивается вниз по течению Амура, что, как уже было сказано, связано с характером паводочного режима реки. В верховьях Амура прогноз отдельных паводков менее точен, чем прогноз плавного изменения паводочных волн в нижнем течении. Для самого верхнего участка реки (с. Покровка – с. Джалинда) характерны самые низкие из всех значения квадрата множественного коэффициента корреляции R^2 и наибольшей погрешности прогноза $\sigma_{пр}$ (табл. 4). Погрешность прогноза уровней воды на участке реки Амур с. Ленинск – г. Хабаровск также несколько повышена по сравнению с другими участками. Связано это со значительным боковым притоком воды

на данном участке, и как следствие переходом от чередования отдельных паводков к чередованию крупных паводочных волн.

Таблица 4

Показатели точности предлагаемых методик прогноза с заблаговременностью 1–2 суток (без учета боковой приточности)

Участок реки	N	R^2	$\sigma_{пр}$	σ_{Δ}	σ	$\sigma_{пр} / \sigma$
с. Покровка – с. Джалинда	53	0,94	35,0	41,4	138	0,25
с. Джалинда – с. Черняево	69	0,98	22,7	41,7	152	0,15
с. Черняево – с. Кумара	57	0,98	20,3	25,2	151	0,13
с. Кумара – с. Сергеевка	55	0,98	18,7	25,3	149	0,13
с. Сергеевка – г. Благовещенск	62	0,98	19,0	20,5	115	0,17
г. Благовещенск – с. Константиновка	80	0,98	12,7	14,2	162	0,08
с. Константиновка – с. Иннокентьевка	74	0,98	15,4	17,5	190	0,08
с. Иннокентьевка – с. Пашково	70	0,98	12,4	20,9	242	0,05
с. Пашково – с. Нагибово	61	0,98	12,3	12,7	189	0,07
с. Нагибово – с. Ленинск	65	0,98	9,57	11,1	210	0,05
с. Ленинск – г. Хабаровск	55	0,98	21,9	24,2	196	0,11
г. Хабаровск – с. Елабуга	43	0,98	4,67	4,36	202	0,02
с. Елабуга – с. Троицкое	44	0,98	6,34	6,62	168	0,04
с. Троицкое – с. Малмыж	39	0,98	14,6	14,1	179	0,08
с. Малмыж – г. Комсомольск	35	0,98	11,6	12,5	198	0,06

С увеличением заблаговременности погрешность прогноза $\sigma_{пр}$ увеличивается (табл. 5). При этом несколько снижаются и коэффициенты множественной корреляции. Тем не менее все построенные методики прогноза уровней воды на реке Амур имеют достаточно высокую точность и эффективность.

Таблица 5

Показатели точности предлагаемых методик прогноза с увеличенной заблаговременностью (без учета боковой приточности)

Участок реки	N	R^2	$\sigma_{пр}$	σ_{Δ}	σ	$\sigma_{пр} / \sigma$
с. Покровка – г. Благовещенск	49	0,86	46,2	72,9	122	0,38
с. Джалинда – г. Благовещенск	70	0,92	41,2	64,2	150	0,28
с. Черняево – г. Благовещенск	69	0,96	35,0	53,3	158	0,22
с. Кумара – г. Благовещенск	54	0,98	20,7	24,4	146	0,14
г. Благовещенск – с. Пашково	68	0,96	47,5	86,7	240	0,20
с. Пашково – г. Хабаровск	51	0,96	36,5	43,0	193	0,19
с. Нагибово – г. Хабаровск	60	0,98	31,3	36,8	182	0,17
г. Хабаровск – г. Комсомольск	41	0,98	34,4	43,8	233	0,15
с. Елабуга – г. Комсомольск	42	0,98	34,2	42,5	237	0,14
с. Троицкое – г. Комсомольск	33	0,98	23,8	26,4	260	0,09

В случае, когда при построении прогностических зависимостей учитывались наиболее крупные притоки, получены следующие результаты. При учете стока реки Зеи точность прогнозов уровней воды с заблаговременностью 1 сутки увеличилась, о чем свидетельствует меньшая погрешность прогноза $\sigma_{пр}$, а при учете стока реки Уссури точность прогнозов уменьшилась (табл. 6). Связано это с тем, что посты на реках Зее и Амур (г. Благовещенск) расположены близко друг от друга, и паводки на них проходят синхронно. Посты в с. Ленинск (р. Амур) и с. Новосветское (р. Уссури) расположены на достаточном удалении друг от друга, паводки на них проходят менее синхронно

и с различным временем добегания до нижнего поста на реке Амур, при этом удалось выделить лишь небольшое число соответственных уровней воды.

Таблица 6

Показатели точности предлагаемых методик прогноза на некоторых приточных участках реки Амур

Участок реки	N	R^2	$\sigma_{пр}$	σ_{Δ}	σ	$\sigma_{пр} / \sigma$
г. Благовещенск (р. Зeya – г. Благовещенск) – с. Константиновка	67	0,98	7,41	14,2	162	0,05
с. Ленинск (р. Уссурй – с. Новосоветское) – г. Хабаровск	25	0,98	28,0	28,5	202	0,14

Оперативный режим выпуска прогнозов

Начиная с июля 2014 года разработанные методики выпуска краткосрочных прогнозов уровней воды на реке Амур были внедрены в оперативный режим работы. С этой целью предварительно было разработано программное обеспечение (с использованием языка программирования *Python* и его библиотек), реализующее разработанные методики, которое затем было встроено в подсистему расчета и выпуска прогнозов бассейновой автоматизированной системы краткосрочного прогнозирования «Амур». Система прогнозирования в полностью автоматическом режиме осуществляет сбор, первичный контроль и обработку всей гидрометеорологической информации, измеряемой на сети станций и постов Росгидромета в бассейне р. Амур, затем осуществляется составление и выпуск краткосрочных прогнозов уровня воды на постах р. Амур. Заключительный этап работы системы прогнозирования осуществляет подсистема визуализации прогнозов и доведение прогностических продуктов (карт, графиков, таблиц) до пользователей с использованием ГИС технологий и сети Интернет. Таким образом ежедневно прогноз

уровней воды на р. Амур рассчитывался и передавался в оперативно-прогностическое учреждение Росгидромета, ответственное за выпуск прогнозов в бассейне реки (Гидрометцентр г. Хабаровска).

Для каждого участка реки в период с июля по сентябрь 2014 года была рассчитана оправдываемость полученных прогнозов уровней воды, которая представляет собой процент ошибок прогноза, не превосходящих допустимую ошибку $0,674\sigma_{\Delta}$. Для тех участков реки Амур, где наиболее выражен паводочный режим стока, т. е. чередование отдельных паводочных пиков с резким подъемом, а также на участке реки Амур от г. Хабаровска до г. Благовещенска оправдываемость полученных прогнозов уровней воды максимальна (90–95 %). В среднем течении Амура, где происходит изменение характера паводочного режима и заметно снижается погрешность инерционного прогноза σ_{Δ} , оправдываемость прогнозов несколько снижается.

Заключение

Для 15 участков реки Амур на основе метода соответственных уровней воды были разработаны методики краткосрочного прогноза с заблаговременностью 1–2 суток. В целях увеличения заблаговременности прогнозов еще для 10 более продолжительных участков реки Амур были построены соответствующие методики (заблаговременность до 5 суток). Отдельно были разработаны методики прогноза для двух участков, на которых впадают наиболее значительные притоки Амура – реки Зея и Уссури. Проверка прогнозов на независимом материале показала их высокую точность и эффективность.

Разработанные методики краткосрочного прогноза уровня воды на створах р. Амур были внедрены в оперативный режим в июле 2014 года в рамках бассейновой автоматизированной системы выпуска краткосрочных прогнозов паводкового стока в бассейне р. Амур. Составление и выпуск прогнозов осуществлялся полностью в автоматизированном режиме в 01.00 ч ВСВ. После выпуска прогноза происходило формирование прогностической

продукции в виде карт, графиков и таблиц и ее доведение в центр прогнозирования Гидрометцентра г. Хабаровска.

В рамках реализации Технического проекта восстановления, модернизации и развития гидрометеорологической сети наблюдений и системы гидрологического прогнозирования в бассейне р. Амур ведутся работы по установке автоматических гидрометрических комплексов на реках бассейна. В связи с этим дальнейшие работы по усовершенствованию методов прогнозирования на р. Амур будут связаны с использованием учащенных данных гидрологических наблюдений как на этапе разработки методик, так и в режиме реального времени на этапе выпуска оперативных прогнозов.

Список использованных источников

1. *Корень В.И., Бельчиков В.А.* Методические указания по использованию методов краткосрочных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды для речных систем на основе математических моделей. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 176 с.
2. *Мордовин А.М.* Годовой и сезонный сток рек бассейна Амура. – Хабаровск: Институт водных и экологических проблем ХНЦ ДВО РАН, 1996. – 72 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 18. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Основные гидрологические характеристики. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 781 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 18. Вып. 2. Дальний Восток. Нижний Амур (от с. Помпеевки до устья). – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 592 с.
5. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 245 с.
6. *Христофоров А.В.* Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 166 с.

Поступила в редакцию 08.12.2014 г.