

УДК 627.1:556

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ И СХЕМА СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА НАВОДНЕНИЙ НА РЕКЕ АМУР

© 2014 г. Н.Н. Бортин, В.М. Милаев

Дальневосточный филиал ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», г. Владивосток

Ключевые слова: наводнения, р. Амур, многолетняя динамика, цикличность характеристик, сверхдолгосрочный прогноз.



Н.Н. Бортин



В.М. Милаев

По данным многолетних наблюдений за максимальными годовыми уровнями и расходами воды на Верхнем, Среднем и Нижнем Амуре исследована структура многолетней динамики наводнений, выявлены характеристики (период, фаза, амплитуда) их циклических вариаций и предложена схема сверхдолгосрочного прогноза.

Исторически сложившаяся объективно обусловленная ситуация с размещением объектов хозяйственной инфраструктуры в долинах рек бассейна Амура привела к тому, что наводнения здесь по степени воздействия на хозяйственные комплексы являются наиболее значимыми из природных экстраординарных рисков. Наводнения стали структурообразующим фактором, влияющим на экономику региона. В разные годы их доля в общем объеме ущерба колеблется от 60 до 100 %, при этом нарушается или полностью прекращается функционирование объектов федерального значения. В период наводнений ухудшается санитарное состояние водных объектов и качество вод поверхностных источников питьевого водоснабжения. Помимо прямых ущербов регион несет огромные косвенные ущербы, отражающиеся на социальном развитии территорий и здоровья населения. Минимизация ущербов от наводнений в значительной степени возможна при сверхдолгосрочном прогнозировании этого природного риска.

Бассейн р. Амур расположен на северо-востоке Азиатского континента в пределах 41,3–55,9° с. ш., 108,5–140,6° в. д. Общая площадь бассейна

Водное хозяйство России № 4, 2014

Водное хозяйство России

1855 тыс. км², в т. ч. в пределах Российской Федерации 1003 тыс. км², Китайской народной республики (КНР) 820 тыс. км², Монгольской народной республики (МНР) 32 тыс. км² [1, 2].

Амур образуется слиянием рек Шилка и Аргунь, протекает преимущественно в широтном направлении с запада на восток и впадает в Татарский пролив. Длина реки от точки слияния 2824 км, от наиболее удаленной точки речной системы – истока р. Аргунь 4444 км. Основные притоки Амура приведены в табл. 1.

Высокие наводнения на Верхнем и Среднем Амуре происходят преимущественно в июле-августе, на Нижнем Амуре в августе-сентябре.

По принятой Росгидрометом градации различаются [3, 4]:

- «небольшие (малые) наводнения»: выход воды на пойму и начало затопления сельхозугодий;
- «большие наводнения»: значительное затопление сельхозугодий и начало затопления населенных пунктов;
- «выдающиеся наводнения»: практически полностью парализуют хозяйственную деятельность, вызывают необходимость массовой эвакуации населения;
- «катастрофические наводнения»: парализуют хозяйственную деятельность, есть жертвы среди населения.

Характеристики уровней наводнений (глубина и продолжительность затопления поймы, повторяемость) существенно зависят от морфометрии участка или створа, для которых они определяются. При равных условиях формирования в горной (Верхний и Средний Амур) и равнинной (Нижний Амур) местности они будут совершенно различны.

Таблица 1. Главные притоки р. Амур

Река, с какого берега впадает (л. – левый, п. – правый)	Расстояние от устья, км	Длина, * км	Площадь водосбора, * км ²
Шилка, л.	2824	560	174 000/206 000
Аргунь, п.	2824	951/1620	49 100/164 000
Зея, л.	1936	1242	233 000
Бурея, л.	1666	623	70 700
Сунгари, п.	1224	1870	532 000 **
Уссури, п.	968	897	136 000/193 000
Тунгуска, л.	950	86	30 200
Амгунь, л.	146	723	55 500

Примечание: * в числителе – в пределах РФ; в знаменателе – общая величина;

** – водосбор реки полностью расположен в пределах КНР.

В качестве исходного материала в работе использованы данные Дальневосточного Управления Гидрометеослужбы по максимальным годовым уровням и расходам воды.

Так как стандартная сеть пунктов наблюдений за уровнями воды располагается, как правило, в сужениях русла, в створах, где пойма зачастую отсутствует, показатели наводнений по этим постам не характерны для равнинных территорий, расположенных ниже или выше поста, поэтому в качестве характеристики наводнений (помимо максимальных уровней воды) использованы также показатели максимальных годовых расходов, их формирующих.

При известном расходе воды в створе наблюдений переход к уровням воды может быть осуществлен по связи «уровень – расход» для любых близлежащих участков с учетом их морфометрии.

В работе характеристика максимальных годовых расходов воды представлена в форме

$$K_{\tau} = \frac{Q_m}{\bar{Q}_m}, \quad (1)$$

где K_{τ} – модульный коэффициент;

Q_m – максимальный годовой расход воды;

\bar{Q}_m – среднее многолетнее значение Q_m .

Таблица 2. Характеристики выдающихся и катастрофических наводнений на р. Амур

Пункт	Период наблюдений, N	За период наблюдений $\frac{H_m, \text{см}}{\bar{Q}_m, \text{м}^3/\text{с}}$, год	Характеристика	Категория наводнения		$K_{\tau, m}$
				Выдающееся	Катастрофическое	
с. Черняево	1899–2013	1184	Уровень H_m , см	751–800	> 800	2,79
		–	K_{τ}	1,38–1,49	> 1,49	
	115	22 200	Число случаев	4	5	
		1958	% от N	3,5	4,3	
с. Гродеково	1912–2013	1202	Уровень H_m , см	1101–1150	> 1150	1,95
		–	K_{τ}	1,59–1,78	> 1,78	
	102	29 600	Число случаев	3	4	
		1958	% от N	2,9	3,9	
г. Хабаровск	1896–2013	808	Уровень H_m , см	551–600	> 600	1,91
		–	K_{τ}	1,32–1,52	> 1,52	
	118	46 000	Число случаев	11	9	
		2013	% от N	9,3	7,6	

Примечание: H_m , Q_m – максимальные за период наблюдений уровни и расходы воды; $K_{\tau, m}$ – максимальное за период наблюдений значение модульного коэффициента; N – число лет наблюдений.

Максимальные годовые уровни и расходы воды, значения критических уровней воды р. Амур для выдающихся и катастрофических наводнений, при прохождении которых отмечаются наибольшие ущербы, максимальные модульные коэффициенты приведены в табл. 2.

Наводнения на р. Амур предопределяет широтное расположение бассейна реки на северо-востоке Евразийского континента, в непосредственной близости к Тихому океану, в зоне влияния муссонной циркуляции и прохождения тайфунов. Данное обстоятельство определяет специфический характер распределения осадков по территории бассейна и их временную изменчивость [5, 6].

Выдающиеся и катастрофические наводнения на р. Амур практически полностью обусловлены дождевыми паводками. Паводки, возникающие на каком-либо участке реки и вызывающие высокий подъем уровня воды, ниже по течению распластываются за счет сил трения и затопления пойменных территорий, вследствие чего происходит существенное снижение расходов и уровней воды.

Наиболее четко это проявляется на участках с отсутствием значительных притоков: на Верхнем Амуре – до впадения р. Зея, на Среднем – до впадения рек Сунгари и Усури, на Нижнем Амуре – ниже устья р. Усури.

Однако, если дождями (как ливневыми, так и обложными) охвачены водосборы отдельных или нескольких основных притоков, максимальные расходы воды нарастают вниз по реке, суммируясь с расходами основных притоков. Суммарная величина максимального расхода в расчетном створе зависит помимо максимумов стока от времени их добегания по основным притокам и участкам р. Амур. В этом случае наводнения формируются под воздействием процессов распластывания паводков и их суммирования с учетом времени добегания. Таким образом, в частности сформированы выдающиеся и катастрофические наводнения в 1958, 1981, 1984, 2013 гг.

Выдающиеся и катастрофические наводнения в 1928, 1951, 1960, 1972 гг. сформированы паводками на отдельных участках реки.

Часть наводнений на р. Амур формируются паводочными волнами, поступающими из разных районов и притоков одновременно. В то же время возможно образование высоких наводнений в результате выпадения малоинтенсивных осадков большой длительности, охватывающих значительную часть бассейна Амура без сколько-нибудь четко выраженного очага формирования.

Формирование наводнений на Амуре происходит, как правило, в результате выпадения осадков в бассейне в течение 2–3 дождливых периодов общей продолжительностью до 2–3 месяцев. При этом образуются в основном многопиковые паводки, вызывающие большие, выдающиеся и катастрофические наводнения. Они проходят большей частью на фоне предыдущих, менее высоких паводков, соответствующих малым наводне-

ниям [2, 7, 8]. Это приводит к тому, что потери паводков, формирующих высокие наводнения, минимальны и данные наводнения на 80–90 % обусловлены общим слоем, интенсивностью и распределением по территории дождевых осадков.

Атмосферные осадки в теплый период года в бассейне Амура являются следствием интенсивной циклонической деятельности, которая развивается на полярном фронте. Полярный фронт в течение теплого периода изменяет свое положение в зависимости от макроциркуляционных процессов. Нахождение фронта в зоне 43 – 47° с. ш., как правило, приводит к образованию в бассейне Амура больших наводнений [9, 10].

Поступление арктических воздушных масс на районы Дальнего Востока приводит в ряде случаев к формированию зоны высокого давления в районе Охотского моря. В этом случае перемещение циклонов по фронтальной зоне замедляется, они становятся малоподвижными, что приводит к выпадению длительных (обложных) осадков малой и средней интенсивности; в результате этого формируются паводки на большинстве левобережных притоков.

Траектории основной части циклонов имеют преимущественно широтное направление – с запада на восток. Однако поступление холодных воздушных масс в районы Центрального Китая способствует выходу на бассейн Амура южных циклонов

Помимо циклонической деятельности происхождение сильных осадков в бассейне р. Амур обусловлено, в ряде случаев, выходом тропических тайфунов на полярный фронт. Максимальной глубины тропические тайфуны достигают у 20° с. ш. Выход тайфунов на полярный фронт происходит в основном через Южный Китай и юг Приморья на бассейны рек Сунгари и Усури. Однако, если высотная ложбина от Забайкалья распространяется далеко на юг (до 30° с. ш.) и в это время на Желтое море выходят тайфуны, сильные дожди с большой площадью охвата выпадают также в южных районах Амурской области и Хабаровского края.

В основной сезон тайфунов (июль – сентябрь) полярный фронт на Дальнем Востоке находится в среднем на широте 40° с. ш. В процессе продвижения тайфуна на север происходит его заполнение и затухание, со всеми сопутствующими последствиями, проявляющимися в уменьшении количества, интенсивности и площади распространения осадков.

Однако выход тайфуна (хотя и малоинтенсивного) может приводить к возмущениям на полярном фронте, в результате чего тайфун трансформируется во внетропический циклон, продолжающий движение в широтном направлении [9–13].

Анализ временных рядов модульных коэффициентов максимальных годовых расходов, выраженных в форме $K_{tr} = K_{tr-1}$, для ряда пунктов наблюдений по всей длине Амура (рис. 1) по скользящим трехлетиям показывает,

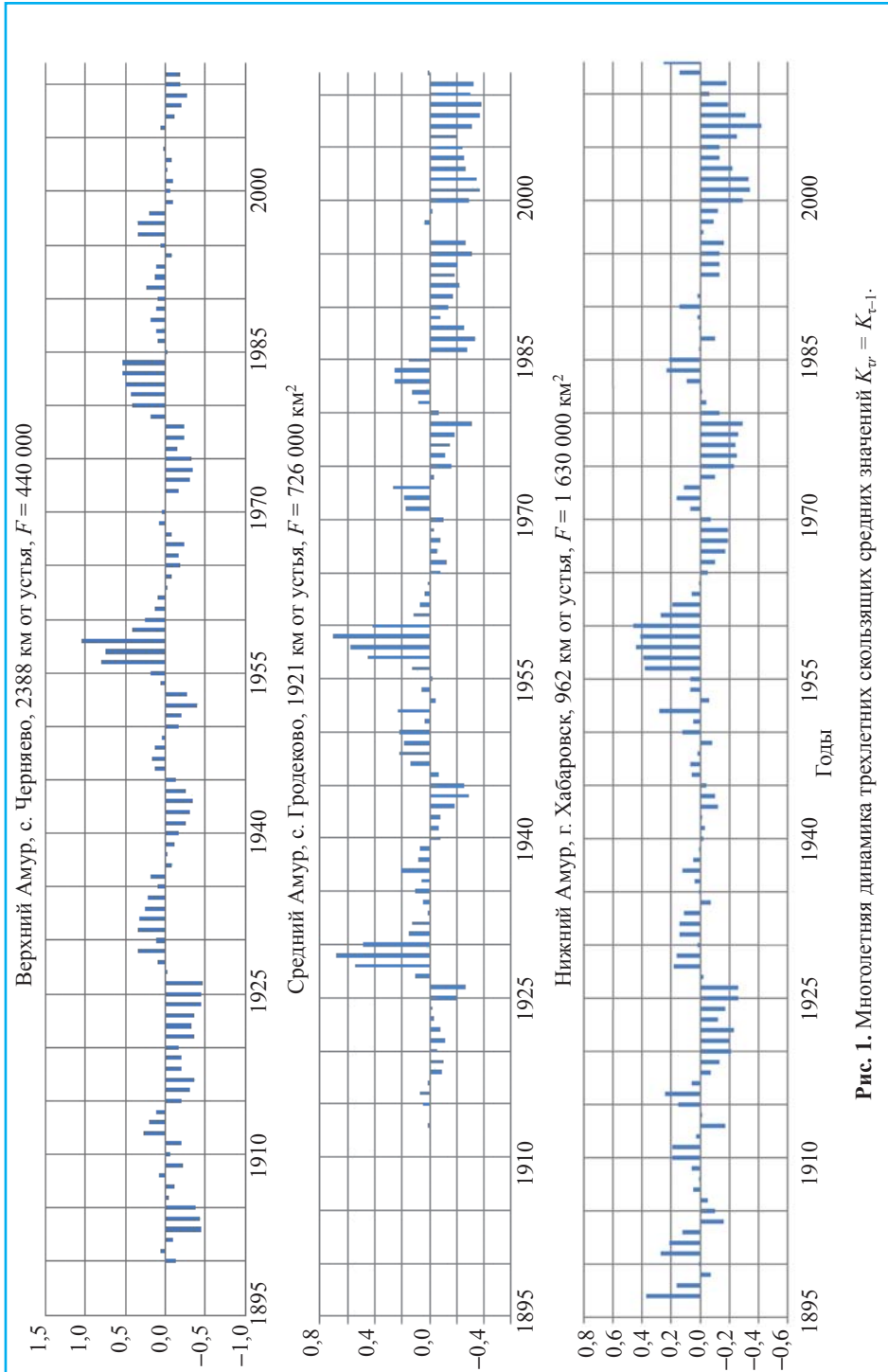


Рис. 1. Многолетняя динамика трехлетних скользящих средних значений $K_{gr} = K_{t-1}$.

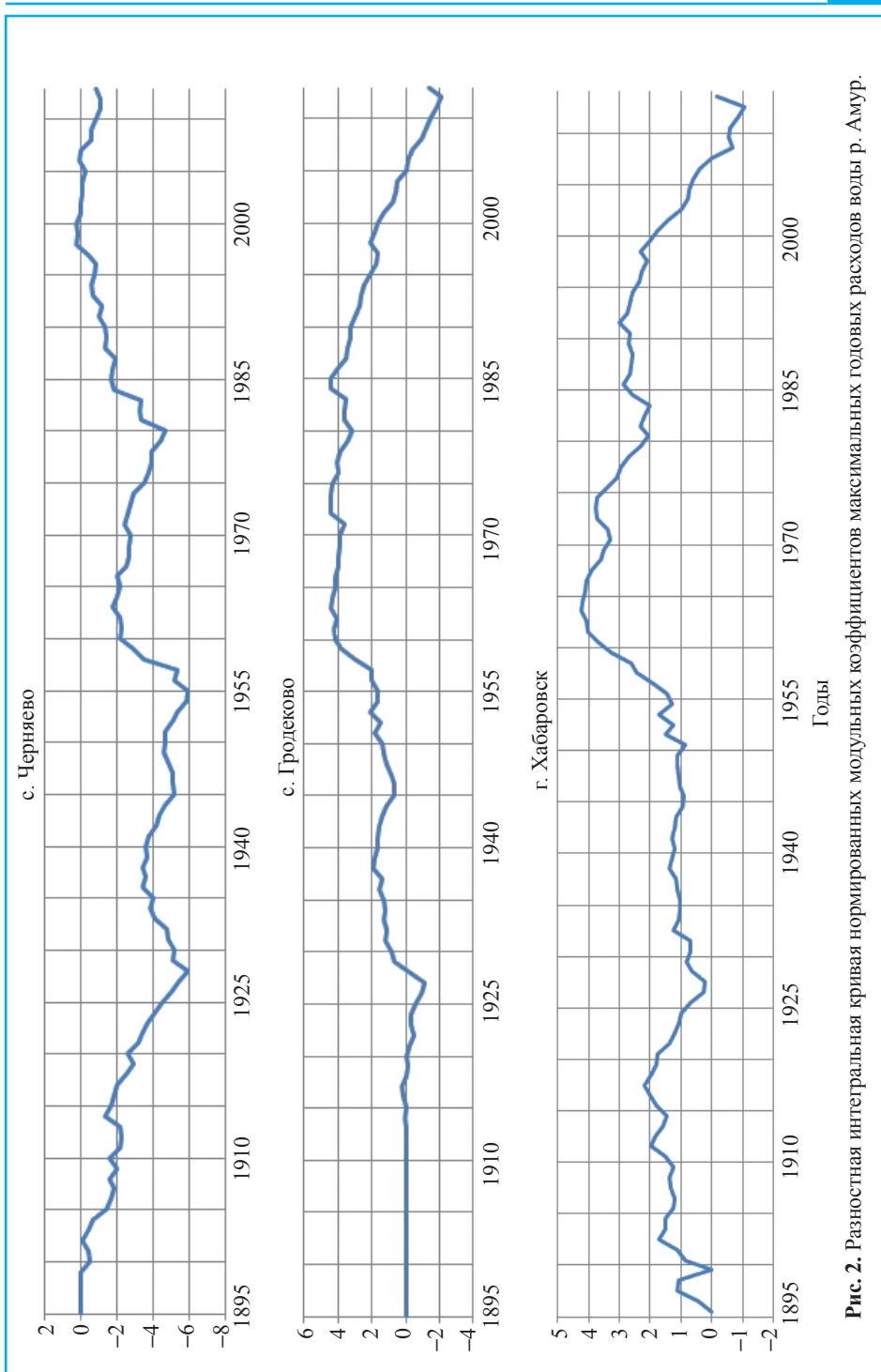


Рис. 2. Разностная интегральная кривая нормированных модульных коэффициентов максимальных годовых расходов воды р. Амур.

что появление выдающихся и катастрофических наводнений происходит через определенные промежутки времени, а чередование интервалов времени между наводнениями носит квазипериодический характер.

Такая же квазипериодичность прослеживается в многолетней динамике изменений интегральных значений нормированных модульных коэффициентов максимального годового стока паводков (разностная интегральная кривая (рис. 2), выраженных в форме

$$\sum_{\tau_n}^{\tau_k} K_{\tau r} = f(t), \quad (2)$$

где $K_{\tau r} = K_{\tau-1}$;

$f(t)$ – функция временной координаты t ;

τ_n – начальная дата ряда наблюдений;

τ_k – конечная дата ряда наблюдений.

На основании существующих в настоящее время исследований по изучению структуры гидрометеорологических характеристик многолетних колебаний (ГМХ), с высокой степенью вероятности можно утверждать, что их многолетняя изменчивость является следствием циклических вариаций со средними периодами 2–3; 8–14; 18–22; 26–40 лет и векового цикла продолжительностью 50–100 лет. Существуют и многовековые колебания, однако они связаны с изменением климата и мало отражаются на внутривековых вариациях ГМХ, определяя лишь их трендовое изменение [14–17].

Природа циклических колебаний ГМХ в настоящее время до конца не выяснена. Имеется лишь ряд гипотез, касающихся причин их возникновения. Так, колебания с периодом 2–3 года (квазидвухлетняя цикличность) связываются с автоколебательными процессами в системе океан–атмосфера. Циклы с периодом 8–14 лет объясняются, главным образом, колебаниями солнечной активности со средним периодом в 11 лет, однако данные циклы могут быть связаны и с лунно-приливными явлениями, обусловленными движением перигея лунной орбиты с периодом в 9 лет. Циклы с периодом 18–22 года объясняются в основном нутационными явлениями [16, 18], имеющими в своей основе продолжительность периода перемещения лунных узлов по эклиптике, который равен 18,6 года. Природа циклов с периодом 18–40 лет в настоящее время неизвестна, однако данный цикл проявляется почти повсеместно со средним периодом в 35 лет (цикл Брикнера). Вековой цикл в колебаниях ГМХ также проявляется весьма часто и считается обусловленным вековым ходом солнечной активности [11, 17].

Помимо циклических, в многолетней динамике ГМХ могут быть выделены чисто случайные колебания, возникающие под влиянием формы связности типа простой цепи Маркова: этот процесс является аperiodическим,

определяющим в основном связь между предшествующими значениями характеристик.

Приведенная продолжительность циклов может быть подвержена трансформации, при которой возможно: распадение цикла на колебания вдвое большей или объединение в цикл вдвое меньшей частоты; скачкообразное изменение длительности с параллельным возникновением обертона первоначального цикла [14].

Можно считать, что существующая структура многолетних колебаний ГМХ формируется в основном под воздействием нутационных приливообразующих сил Луны и Солнца, а также возмущений солнечной активности.

Следует отметить, что в принципе притяжение Луны и Солнца слишком мало, чтобы вызвать существенное изменение в положении оси вращения Земли, но оно действует на движение Земли вокруг Солнца, изменяя положение в пространстве плоскости земной орбиты, т. е. плоскости эклиптики и, как следствие, в распределении инсоляции Солнечной энергии по земной поверхности [16, 18].

Цикличность космогеофизических процессов при развитии перечисленных факторов может приводить соответственно к цикличности географического положения полярного фронта, которое в привязке в основном к широтному расположению бассейна Амура (в пределах 41–56° с.ш.) определяет изменчивость временного распределения наводнений.

Для прогноза характеристик наводнений разработана модель, описывающая динамику (даты появления и уровни) наводнений по длине Амура за период имеющихся многолетних наблюдений.

В качестве рабочей гипотезы, используемой в многочисленных работах по сверхдолгосрочному прогнозированию ГМХ [14–16], принято положение о том, что параметры квазипериодических колебаний, имеющие место для данного ряда наблюдений (в ретроспективе), сохраняются и при экстраполяции их на прогнозный период.

При этом в расчетах по модели должно выполняться условие наилучшей сходимости (минимума отклонений) для рассчитанных и фактических дат наступления и размеров наводнений.

Критерием соответствия фактических и рассчитанных по модели значений характеристик принята функция

$$\Phi = \sum_{i \in J} (K_{tri \text{ расч}} - K_{tri \text{ факт}})^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $K_{tri \text{ расч}}$, $K_{tri \text{ факт}}$ – рассчитанные и фактические модульные коэффициенты максимальных годовых расходов паводков (K_{tr});

J – общее количество наводнений по каждому створу;

i – порядковый номер наводнений ($i = \overline{1, J}$).

Общая схема, описывающая квазипериодические колебания характеристик наводнений, предлагается в следующем виде:

$$K_{\tau r} = \Delta K_{\tau_1} + \Delta K_{\tau_2} + \Delta K_{\tau_3} + \Delta K_{\tau_4} + \Delta K_{\tau_5}, \quad (4)$$

где $K_{\tau r}$ – прогнозируемая величина;

$\Delta K_{\tau_{1...5}}$ – приращение прогнозируемой величины, обусловливаемое той или иной космогеофизической силой, за счет:

ΔK_{τ_1} – квазидвухлетней цикличности;

ΔK_{τ_2} – гелиофизических и возможно приливных факторов с периодом 8–14 лет;

ΔK_{τ_3} – нутационных сил со средним периодом 18,6 лет;

ΔK_{τ_4} – возмущений с периодом 26–40 лет (цикл Брикнера, равный в среднем – 35 годам);

ΔK_{τ_5} – вековой составляющей гелиофизического характера с периодом 50–100 лет.

На первом этапе анализа путем сглаживания ряда по трехлетиям исключена квазидвухлетняя составляющая и рассматривалось уравнение

$$K_{3\tau r} = \Delta K_{\tau_2} + \Delta K_{\tau_3} + \Delta K_{\tau_4} + \Delta K_{\tau_5}, \quad (5)$$

где $K_{\tau r}$ – приращение K_{τ_n} , осредненное по трехлетиям:

$$K_{3\tau r} = \frac{1}{3}(K_{\tau-1,r} + K_{\tau r} + K_{\tau+1,r}). \quad (6)$$

Для описания колебаний $K_{\tau r}$ применяли функцию

$$\Delta K_{\tau_n} = \frac{\dot{A}_n}{2} \sin \left(\frac{2\pi}{T_n} \cdot t + \varphi_n \right), \quad (7)$$

где \dot{A}_n – амплитуда n -й гармоники ($n = 2 \dots n_k$ – количество гармоник);

T_n, φ_n — период и фаза соответствующих гармоник;

t – текущая координата времени.

Параметры гармоник (7) рассчитывали для ряда ΔK_{τ_1} методом последовательных приближений при выполнении условия (3).

При этом для повышения степени приближения в расчетах по формуле (7) выполнялось условие, что действительны только максимальные значения

$$\Delta_3 K_{\tau r} = \Delta_3 K_{\tau r \max}; \text{ при } \Delta_3 K_{\tau r} < \Delta_3 K_{\tau r \max}, \text{ значения } \Delta_3 K_{\tau r} = 0.$$

В результате расчетов получены следующие периоды гармоник (7), соответствующие минимальным значениям функции (3):

$$\begin{aligned} T_2 &= 9 \text{ лет}; & T_3 &= 19 \text{ лет}; \\ T_4 &= 28 \text{ лет}; & T_5 &= 63 \text{ года}. \end{aligned}$$

При известных T_n и φ_n по уравнениям (5)–(7) методом наименьших квадратов вычисляли значения $\frac{\dot{A}_n}{2}$, которые получены следующими:

$$\frac{\dot{A}_2}{2} = 0,06; \quad \frac{\dot{A}_3}{2} = 0,17; \quad \frac{\dot{A}_4}{2} = 0,29; \quad \frac{\dot{A}_5}{2} = 0,35.$$

В качестве прогностического использовано уравнение:

$$K_{\tau+1,r} = 3K_{3\tau r} - K_{\tau-1,r} - K_{\tau r}, \quad (8)$$

где $K_{3\tau r}$ – осредненное по трехлетиям значение $K_{\tau r}$ во время t ;

$K_{\tau+1,r}$ – значение $K_{\tau r}$ во время $t + 1$;

$K_{\tau-1,r}$ – значение $K_{\tau r}$ во время $t - 1$;

$K_{\tau r}$ – значение $K_{\tau r}$ во время t .

Расчет по уравнению (8) значений $K_{\tau r}$ для $t + \Delta t$, где $\Delta t = 2, 3, 4 \dots$ позволяет получать прогнозные значения $K_{\tau r}$ на любой период, однако следует учесть, что с увеличением Δt точность прогноза снижается. Изложенная схема прогноза предполагает определение максимальных годовых значений $K_{\tau r}$, K_{τ} , H_m для наводнений на р. Амур с годичной и многолетней заблаговременностью.

Расчеты по предложенной модели характеристик наводнений показали, что степень соответствия рассчитанных и фактических значений максимальных годовых уровней воды наводнений всех категорий составляет 64 %, для скользящих средних трехлетних значений 67 %. Вероятность прогноза даты наступления катастрофических и выдающихся наводнений ($\tau_{\phi, \text{год}}$) при $\tau_{\phi} \pm 1$ год составляет 78 %, $\tau_{\phi} \pm 2$ года 84 %. Результаты прогноза по изложенной схеме с заблаговременностью более 1 года являются приближенными (фоновыми) и подлежат ежегодному уточнению.

С вероятностью 67–80 % катастрофические и близкие к ним выдающиеся наводнения на р. Амур следует ожидать в период 2019–2023 гг.

Предложенная ДальНИИВХ еще в 2008 г. данная схема была использована для прогноза выдающихся и катастрофических наводнений на ближайшие годы. Выполненный по схеме прогноз показал высокую вероятность

катастрофического наводнения на Амуре в 2012–2013 гг. с уровнем воды у г. Хабаровска 620–640 см.

В мае 2013 г. прогноз был представлен в форме тезисов доклада «О возможности катастрофических наводнений на р. Амур» на VII Всероссийском гидрологическом съезде. В целом прогноз оправдался, однако масштаб наводнения у г. Хабаровска – 808 см, 3 и 4 сентября, оказался существенно иным, значительно превысив исторический максимум 1896 г. (642 см).

Вместе с тем наблюдавшиеся в 2013 г. на Верхнем, Среднем Амуре и р. Сунгари уровни и расходы воды не превышали как исторических максимумов, так и уровней и расходов воды предшествующего катастрофического наводнения 1984 г. (табл. 3).

Расход воды у г. Хабаровска при уровне 808 см в 2013 г., по данным УГМС ДВ, составил 46 000 м³/с (при уровне 642 см он равен 40 000 м³/с). По кривой связи расходов и уровней воды р. Амур у г. Хабаровска для выдающихся и катастрофических наводнений, которая до расхода в 40 000 м³/с имеет устойчивый вид, расходу в 46 000 м³/с, по экстраполяции в пределах 13–15 %, соответствует уровень воды 700 (±10) см, который превышает исторический максимум на 58 см.

Максимальный расход воды паводка у г. Хабаровска зависит от расходов воды, поступающих со Среднего Амура, рек Сунгари и Уссури, и их временного распределения в зависимости от времени добегания волны паводка.

Максимальный расход, сформировавшийся на Среднем Амуре на ближайшем к г. Хабаровску створе, с наблюдениями у с. Помпеевка (486 км от г. Хабаровска, ряд наблюдений 66 лет) составил в 2013 г. по расчету (связи с расходами с. Гродеково) 28.08.2013 г. – 28 700 м³/с.

Максимальный расход по р. Сунгари – г. Цямусы (532 км от г. Хабаровска) 31.08.2013 г. был равен 13 400 м³/с. Снижение расходов от данных створов до г. Хабаровска за счет распыливания паводка во многом (или полностью) компенсируется притоком с водосборов участков.

Таблица 3. Характеристика катастрофических наводнений

Уровни, см над «0» графика	р. Амур у с. Черняево, см	р. Амур у с. Гродеково, см	р. Сунгари у г. Цямусы, макс. годовой расход, м ³ /с	р. Амур у г. Хабаровск, см
Исторический максимум/год	1184/1958	1194/1928	18 400/1960	642/1897
1984	884	1171	7130	620
2013	683	1144	13400	808

В сумме расходы по р. Амур и Сунгари в 2013 г. составляют 42 100 м³/с, а с учетом расхода воды по р. Уссури, который по разным оценкам составляет ~ 10 % стока в р. Амур г. Хабаровска, расход воды наблюдавшийся 03 и 04 сентября 2013 г. (46 000 м³/с), вполне может быть объяснен сложившейся в данное время конкретной ситуацией – притоком с вышележащих участков. Максимум уровня воды у г. Хабаровска при данном расходе превысил уровень, соответствующий кривой расходов, на 108 см.

Данное превышение с высокой степенью вероятности может быть объяснено наличием подпорных явлений в районе Хабаровского водного узла, которые обусловлены изменениями в русловой и пойменной частях участка, произошедших после 1984 г. К изменениям, приведшим к сужению русловой и пойменной части участка р. Амур у г. Хабаровска, относятся:

- строительство польдера на Большом Уссурийском острове;
- перекрытие Пемзенской протоки;
- реконструкция железнодорожного и строительство автодорожного моста через р. Амур;
- устройство защитного сооружения вокруг оголовка водосбора на р. Амур (2 км ниже впадения Амурской протоки);
- действия КНР по одамбованию р. Амур на границе с Хабаровским водным узлом и уменьшению поперечного сечения русла (с частичным перекрытием) протоки Казакевичева.

Наблюдавшийся в 2013 г. у г. Хабаровска расход и уровень воды в исторической перспективе может быть превышен. Для оценки этого события требуется разработка адекватной модели формирования стока р. Амур (с учетом стока основных притоков) и определения по ней предельного (максимально возможного) расхода воды по створам.

Представление о вероятном максимальном уровне воды р. Амур у г. Хабаровска дают сведения об исторических максимумах на Среднем Амуре и р. Сунгари. Так, по створу у с. Помпеевка исторический максимум расхода воды составляет 31 500 м³/с (за 66 лет) [2]; по р. Сунгари – 18 400 м³/с (за 57 лет) [19], что при их совпадении, с учетом времени добегания, 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.

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. оценивается по данным [20] в 0,4–0,5 %.

На 2014 г. прогнозируемый по рассмотренной выше схеме максимальный уровень воды у г. Хабаровска ожидается в пределах 450 – 500 см над «0» графика, что согласно градации Росгидромета соответствует большому наводнению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортин Н.Н., Милаев В.М., Черняев А.М. Бассейн Амура / Россия: речные бассейны. Екатеринбург, МПР РосНИИВХ: Изд-во «Аэрокосмозология», 1999. С. 172–206.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Вып. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 782 с.; вып. 2, 1970, 592 с.; вып. 3, 1972, 626 с.
3. Нежиховский Р. А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 184 с.
4. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: Изд-во ФГУП РосНИИВХ, 2008. 432 с.
5. Попов В.И. Классификация и характеристика наводнений в бассейне Амура на территории СССР / Паводки и защита от них. М.: ГМ., 1968. С. 3–6.
6. Добровольский С. Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: Геос, 2006. 256 с.
7. Гарцман И.Н., Лыло В.М., Черненко В.Г. Паводочный сток рек Дальнего Востока. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 264 с.
8. Бойкова К.Г. Наводнения на реках Амурского бассейна / Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 5. Хабаровск: ДВ СО АН СССР и Приамурского фил. геогр. о-ва СССР, 1963. С. 192–259.
9. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. III. Вып. 4. М.: Гидрометеоздат, 1965. 216 с.
10. Тетерятникова Е.П. Общие условия формирования катастрофических наводнений на р. Амур / Паводки и защита от них. М.: ГМ, 1968. С. 24–25.
11. Костин С.И., Покровская Т.В. Климатология. Л.: ГМ, 1961. 486 с.
12. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 222 с.
13. Лобанов С.А. Методы долгосрочных прогнозов наводнений на реках Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2000. 100 с.
14. Картвелишвили Н.А. Существуют ли долгопериодические составляющие в естественном речном стоке / Теория и методы гидрологических расчетов. Тр. V Всесоюз. гидрологического съезда. Т. 6. Л.: ГМ, 1989. С. 79–80.
15. Найденов В.И., Швейкина В.И., Вихрова М.А. Вероятностные закономерности катастрофических наводнений // Метеорология и гидрология. 2003. № 6. С. 81–95.
16. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Космогеофизический фон макропроцессов в океане и атмосфере и сверхдолгосрочный прогноз / Климатология и сверхдолгосрочный прогноз. Л.: Гидрометеоздат, 1977. С. 18–25.
17. Гетман И.Ф. Об ожидаемом уровне Каспийского моря в первой половине XXI века на основе анализа вековых циклов солнечной активности // Метеорология и гидрология. 1997. № 12. С. 101–106.
18. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1970. 536 с.
19. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Амура на территории КНР // Отчет Дальневосточного Межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Хабаровск. 2001. 34 с.
20. Дугина И.О. и др. Выдающееся наводнение на р. Амур в 2013 году и его особенности // Тез. пленарн. докл. VII Всерос. гидролог. съезда. Росгидромет. 2013. С. 22–25.

Сведения об авторах:

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

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