

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ВОДЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ УРАЛ

Юмина Наталья Михайловна

*Канд. геогр. наук, с.н.с. кафедры гидрологии суши
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

Магрицкий Дмитрий Владимирович

*Канд. геогр. наук, доцент кафедры гидрологии суши
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты краткосрочного прогнозирования уровней воды на разных участках нижнего течения Урала. Методики прогноза строились отдельно для фазы подъема и фазы спада весеннего половодья. Точность предлагаемых методик прогноза удовлетворительная, часто хорошая. При построении методик прогноза для оценки водности года отдельно был проведен детальный анализ многолетних колебаний некоторых характеристик волны весеннего половодья (уровней воды начала половодья, пика половодья и максимального размаха колебаний уровней воды в период половодья).

ABSTRACT

The results of short-term water level forecasting in different parts of the lower reaches of the Ural River are presented. The forecast methods were built separately for the rise and fall phases of the spring flood. The accuracy of the proposed forecast methods is satisfactory, often good. For assessing the water content of the year a detailed analysis of the perennial fluctuations of some characteristics of the spring flood wave (water levels at the beginning of the flood, flood peak and maximum swing of the water level fluctuations during the flood period) was carried out.

Ключевые слова: речной сток, прогнозирование уровней воды

Keywords: river flow, water level forecasting

Урал – река в Российской Федерации (Башкирия, Челябинская и Оренбургская обл.) и Республике Казахстан (Западно-Казахстанская и Атырауская обл.). В нижнем течении, от г. Уральск (более 1000 км), т.е. в пределах Казахстана, река течет с севера на юг по Прикаспийской низменности, почти не получая дополнительного питания и теряя по пути к морю часть своих вод: на испарение, на питание грунтовых вод, на отток в бывшие рукава (староречья) и вследствие водозабора. Реки бассейна по классификации водного режима Б.Д. Зайкова относятся к казахстанскому типу группы рек с весенним половодьем. Основное питание идет за счет талых снеговых вод – 60-80% объема годового стока. Дождевые осадки составляют 2-12%, подземные воды – 13-38% [2; 5]. Дефицит пресноводных ресурсов в Казахстане ограничивает как экономическое развитие страны и ее отдельных районов, так и перечень территорий, пригодных для проживания людей и устойчивого функционирования хозяйственного комплекса. Большая часть таких территорий концентрируется вблизи рек, имеющих в условиях предгорий, сухих степей, равнин, крайне сложный, нестабильный водный режим, нередко сочетание глубоких гидрологических засух и катастрофических наводнений. За весь исторический и гидрологический период здесь зафиксировано множество случаев, как наводнений, так и гидрологических засух. В устьевой области Урала ситуация усугубляется влиянием на гидрологический и морфологический процессы крупномасштабных и быстрых изменений уровня Каспийского моря [3; 4].

Рост масштабов водохозяйственной деятельности и климатической неустойчивости лишь усложняет ситуацию с опасными гидрологическими процессами и увеличивает ущербы. В этих условиях недостаточно одного лишь гидрологического мониторинга и констатации сложившейся ситуации, необходим детальный анализ причин и закономерностей гидрологических изменений. В первую очередь, причин и характера пространственно-временной изменчивости расходов, и уровней воды, регулирующих большую часть опасных гидрологических процессов. В связи с этим важной задачей становится возможность заблаговременного прогнозирования уровней воды в нижнем течении Урала – единственной большой реке и аттрактору большей части социально-хозяйственного комплекса Западного Казахстана.

Поскольку для Нижнего Урала характерна крайне неудовлетворительная и неравномерная сеть гидрометеорологических наблюдений, для разработки методик прогноза стока в период прохождения весеннего половодья, основной фазы водного режима реки, был использован метод соответственных уровней, позволяющий описывать движение и трансформацию волн паводков и половодий в русловой сети на основе данных гидрометрических наблюдений [1; 6].

Составление методик прогноза проводилось с использованием данных о среднесуточных уровнях воды, взятых из гидрологических ежегодников за период 1990-2015 гг., на 6 гидрологических постах нижнего течения Урала – с. Кушум, пос. Мергеневский, с. Тайпак (Калмыково), пос. Индебор, пос. Махамбет, г. Атырау.

Метод соответственных уровней сводится к установлению эмпирических связей между соответственными уровнями (расходами) воды, наблюдающимися в верхнем и нижнем створах [6]. Анализ совмещенных графиков колебаний уровней воды в различных створах на реке Урал показывает, что ход уровней воды в нижнем створе приблизительно и с определенным запаздыванием повторяет колебания стока в верхнем створе. Для составления методик прогноза выделяются соответственные уровни (расходы) воды – это уровни (расходы), соответствующие прохождению через верхний и нижний створы одной и той же фазы водного режима (начала интенсивного подъема или спада паводка, максимумы и минимумы, точки перегибов на графиках). Разница во времени между прохождением соответственных уровней (расходов) воды на верхнем и нижнем постах называется временем добегания [1].

Время добегания не всегда имеет постоянное значение. Его величина кроме длины участка зависит от величины проходящего паводка и уклона (он может быть различен для фаз спада и подъема паводка или половодья). Также некоторую неточность в определение времени добегания вносит дискретность данных – как правило, измерения на постах имеют срочный характер, и прохождение фактических максимумов и минимумов хода уровней может быть не зафиксировано ими. Поэтому обычно строится зависимость времени добегания от уровней воды, либо, если такую зависимость выявить трудно, принимается его среднее значение.

В нижнем течении Урала прогноз уровня воды в нижнем створе в момент времени t производился по формуле (1) для бесприточного или слабоприточного участка реки:

$$\tilde{H}_H(t) = a_1 H_B(t - \tau) + a_0, \quad (1)$$

где $\tilde{H}_H(t)$ – прогнозируемый уровень воды на нижнем посту в момент времени t ; $H_B(t - \tau)$ – уровень воды на верхнем посту заблаговременно τ ; a_0 , a_1 – коэффициенты уравнения, оцениваемые методом наименьших квадратов; τ – расчетное время добегания соответственных уровней воды от верхнего поста до нижнего.

В соответствие с принятыми требованиями погрешность прогноза характеризовалась средней квадратической погрешностью его ошибки S . При получении оценки S 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 [7]. Эффективность краткосрочного прогноза определялась соотношением S/σ_Δ , где σ_Δ характеризует погрешность инерционного прогноза. При величине S/σ_Δ менее 0,6 точность методики прогноза считается хорошей, 0,6-0,8 – удовлетворительной, более 0,8 – прогноз считается неудовлетворительным [6]. Другой важной характеристикой, определяющей качество методики прогноза, является оправдываемость прогнозов – доля случаев, для которых разница между рассчитанным и фактическим уровнями воды не превышает $0,674\sigma_\Delta$.

Для исследуемых участков нижнего течения реки Урал в таблице 1 представлены значения коэффициентов прогностических зависимостей (a_i), расчетного времени добегания от верхнего поста до нижнего (τ), длины рядов соответственных уровней (n). Там же приведены статистические оценки коэффициентов корреляции (R) между фактическими и прогнозируемыми значениями уровней воды, погрешность предлагаемых прогностических зависимостей (S), показатель эффективности методик прогноза (S/σ_Δ) и оправдываемость полученных прогнозов.

Для всех исследуемых участков Нижнего Урала методики прогноза в период весеннего половодья строились отдельно для фазы подъема и фазы спада. Связано это с различными условиями прохождения волны половодья на фазах подъема и спада и с различным временем добегания соответственных уровней воды от верхнего поста до нижнего. Как правило, подъем уровней воды на Урале в период половодья проходит более интенсивно, чем спад, и соответственные уровни добегают до нижнего поста за меньшее время. При этом, в начале половодья, когда река течет еще в пределах русла, подъем уровней воды максимален, а время добегания соответственных уровней от верхнего поста до нижнего минимально. С началом выхода воды на пойму интенсивность подъема уровней уменьшается, время добегания увеличивается, пик половодья в большинстве случаев не выражен (плавное изменение хода уровней воды) и на спаде происходит также плавное уменьшение уровней со значительным возрастанием времени добегания соответственных уровней воды. По возвращении основной массы паводочных вод в русло реки интенсивность падения уровней воды увеличивается.

Параметры прогностических зависимостей и показатели точности предлагаемых методик прогноза на участке нижнего течения Урала

Участок	Расст-е между постами, км	фаза	n	a_0	a_1	τ , сут	R	S	S/σ_A	опр-ть, %
с. Кушум - пос. Мергеновский	172	многоводные годы								
		подъем	63	355	0,72	$\begin{matrix} 8 \\ (H_B \leq 300) \\ 7 \\ (H_B \leq 400) \\ 6 \\ (H_B \leq 550) \\ 5 \\ (H_B > 550) \end{matrix}$	0,94	44,1	0,62	76
		спад	39	382	0,76	$\begin{matrix} 8 \\ (H_B \leq 600) \\ 7 \\ (H_B \leq 700) \\ 6 \\ (H_B \leq 750) \\ 5 \\ (H_B > 750) \end{matrix}$	0,92	46,8	0,70	65
		маловодные годы								
		подъем	47	475	0,41	$\begin{matrix} 4 \\ (H_B \leq 250) \\ 3 \\ (H_B > 250) \end{matrix}$	0,70	28,3	>1	55
		спад	37	492	0,53	$\begin{matrix} 5 \\ (H_B \leq 350) \\ 4 \\ (H_B \leq 400) \\ 3 \\ (H_B > 400) \end{matrix}$	0,95	10,7	1	55
пос. Мергеновский - с. Тайпак (Калмыково)	175	многоводные годы								
		подъем	47	-2,3	0,64	2	0,98	24,7	>1	35
		спад	48	-145	1,00	$\begin{matrix} 5 \\ (H_B \leq 700) \\ 4 \\ (H_B \leq 800) \\ 3 \\ (H_B > 800) \end{matrix}$	0,98	26,1	0,77	83
		маловодные годы								
		подъем	41	-126	0,67	$\begin{matrix} 4 \\ (H_B \leq 550) \\ 3 \\ (H_B \leq 600) \\ 2 \\ (H_B > 600) \end{matrix}$	0,76	37,9	>1	55
		спад	44	-831	1,77	$\begin{matrix} 4 \\ (H_B \leq 650) \\ 3 \\ (H_B \leq 700) \\ 2 \\ (H_B > 700) \end{matrix}$	0,94	21,4	>1	50
с. Тайпак (Калмыково) - пос. Индебор	32	подъем	48	175	0,82	1	0,99	11,5	0,54	85
		спад	43	136	0,91	1	0,99	3,8	0,80	65
пос. Индебор - пос. Махамбет	208	подъем	57	114	0,92	$\begin{matrix} 3 \\ (H_B \leq 350) \\ 2 \\ (H_B > 350) \end{matrix}$	0,95	26,8	0,58	72

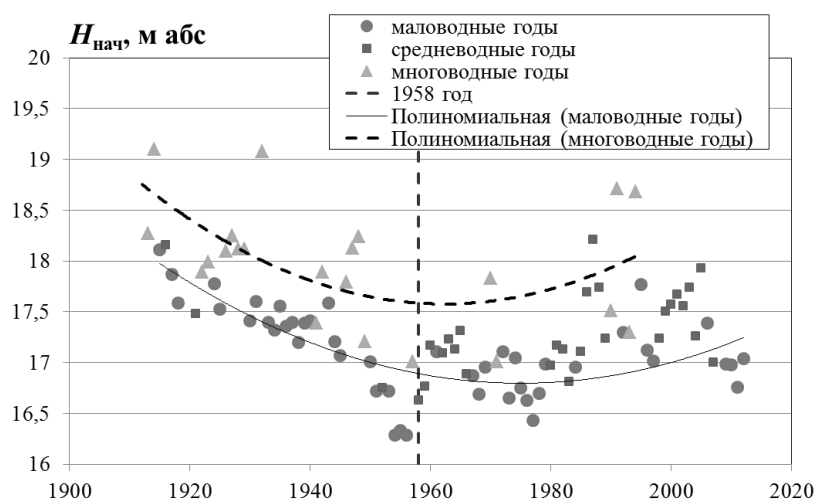
		спад	58	-23	1,21	3 ($H_B \leq 470$) 2 ($H_B > 470$)	0,99	13,1	>1	60
пос. Махамбет - г. Атырау	118	подъем	49	0,26	239	4 ($H_B \leq 500$) 3 ($H_B > 500$)	0,81	20,3	0,80	65
		спад	-	-	-	-	-	-	-	-

На участке реки Урал от с. Кушум до с. Тайпак (Калмыково) помимо разделения на фазы подъема и спада половодья методика прогноза соответственных уровней воды сильно зависит от водности года. Связано это, вероятно, с наличием на данном участке реки обширной поймы и большой многоручавности русла. При этом, как видно из таблицы 1, в многоводные годы точность методики прогноза уровней воды удовлетворительная ($S/\sigma_\Delta = 0,62-0,77$) с высоким коэффициентом корреляции между фактическими и прогнозируемыми значениями уровней воды ($R = 0,92-0,98$). На участке реки от пос. Мергеневский до с. Тайпак (Калмыково) в многоводные годы на фазе подъема половодья показатель S/σ_Δ показал неудовлетворительную точность прогноза в связи с более плавным подъемом уровней воды (малым значением σ_Δ). О высокой точности построенной методики прогноза здесь свидетельствуют высокий множественный коэффициент корреляции ($R = 0,98$) и малое значение погрешности прогноза (S). В маловодные годы на участке реки Урал от с. Кушум до с. Тайпак (Калмыково) точность методик прогноза оказалась ниже, чем в

многоводные годы, об этом свидетельствует и более низкий множественный коэффициент корреляции ($R = 0,70-0,94$). В связи с более плавным изменением уровней воды показатель S/σ_Δ также показал неудовлетворительную точность прогноза, хотя погрешность прогноза (S) в маловодные годы часто ниже, чем в многоводные годы.

Для оценки водности года при выборе методики прогноза на данном участке реки Урал (с. Кушум) был проведен дополнительный анализ многолетних колебаний уровней воды начала половодья ($H_{нач}$), пика половодья ($H_{макс}$) и максимального размаха колебаний уровней воды в период половодья ($\Delta H^* = H_{макс} - H_{нач}$). Как видно из рисунка 1(а), в настоящее время уровень начала половодья (начала интенсивного подъема уровней воды) в многоводные годы в среднем примерно на 1 м выше, чем в маловодные годы. При этом до начала строительства Ириклинского водохранилища эта разница составляла примерно 0,5 м и после 1958 года начала увеличиваться, сами начальные уровни воды ($H_{нач}$) также стали расти.

а)



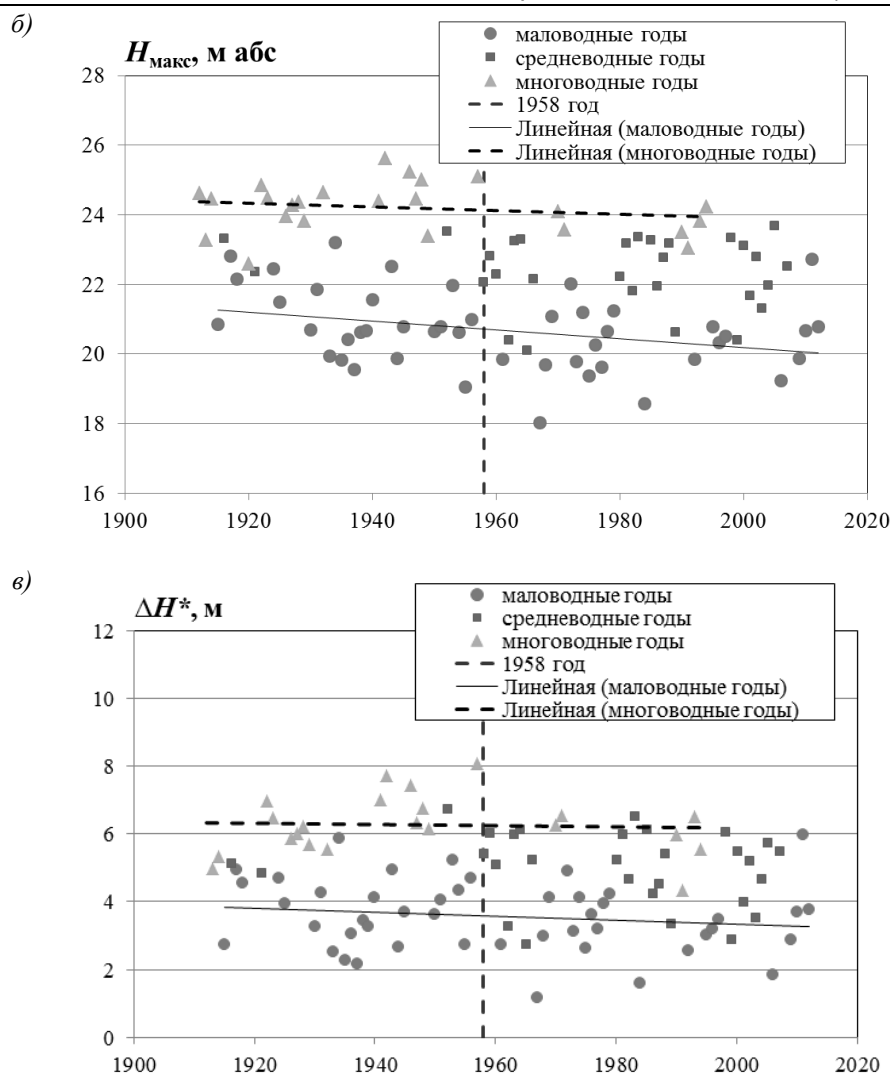


Рисунок 1. Многолетние изменения начального (а), максимального (б) и размаха колебаний (в) уровней воды весеннего половодья на реке Урал – с. Кушум в зависимости от водности года

По абсолютной величине $H_{\text{нач}}$ в настоящее время в многоводные годы составляют примерно 17,5-18,5 м абс (171-271 см), в маловодные годы – 16,5-17,5 м абс (71-171 см). Максимальные уровни весеннего половодья ($H_{\text{макс}}$) в многоводные годы на реке Урал (с. Кушум) в среднем на 3-4 м выше, чем в маловодные годы (рис. 1(б)). При этом наблюдается тенденция к уменьшению $H_{\text{макс}}$ с течением времени. Размах колебаний уровней воды в период весеннего половодья (ΔH^*) в многоводные годы также в среднем примерно на 3 м больше, чем в маловодные годы.

На участке реки Урал от с. Тайпак (Калмыково) до г. Атырау точность полученных методик прогноза уровней воды в целом хорошая и удовлетворительная (таблица 1). При этом на фазе подъема точность методик прогноза выше, чем на спаде. Связано это с более интенсивным на подъеме половодья изменением уровней воды и соответственно большим значением σ_{Δ} . По причине плавности спада уровней воды и малым значением σ_{Δ} на участке реки Урал пос. Индебор - пос. Махамбет показатель S/σ_{Δ} показал неудовлетворительную точность прогноза. О высокой точности построен-

ных методик прогноза здесь также свидетельствуют высокие значения множественных коэффициентов корреляции ($R = 0,81-0,99$) и малое значение погрешности прогноза (S). На участке реки Урал от пос. Махамбет до г. Атырау на фазе спада построить методику прогноза уровней воды не удалось. Связано это с приливными явлениями в устье реки.

Таким образом, в целом полученные оценки свидетельствуют о достаточно высокой точности предлагаемых методик прогноза уровней воды на Нижнем Урале. Заблаговременность прогнозов определяется расчетными значениями времени добегания. Синтез методик краткосрочного прогноза уровней воды на разных участках Нижнего Урала позволил получить приближенную картину движения воды в бассейне.

Список литературы:

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Ленинград, 1974.
2. Вода России. Речные бассейны / Под науч. ред. А.М.Черняева; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург: Издательство «АКВА-ПРЕСС», 2000. – 536 с.
3. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова

Г.С. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник МГУ. Сер.5. География. 2018. №1 – с. 90–101.

4. Магрицкий Д.В., Школьный Д.И., Юмина Н.М., Кенжебаева А.Ж. Факторы и закономерности изменений стока и водного режима р. Урал // сборник материалов конференции "Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии". – г. Санкт-Петербург, 2018. – С. 579–584.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 2.

Урало-Эмбинский район. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 515 с.

6. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 246 с.

7. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Издательство МГУ, 1993. – 166 с.