

Краткосрочный прогноз расходов и уровней воды в створах речной системы Вятки до г. Вятские Поляны

В настоящее время на базе математических моделей формирования речного стока в бассейне Волги для ряда водных объектов разработаны методы краткосрочного прогноза расходов и уровней воды, которые войдут как составляющие части в единый прогностический комплекс. В частности, реализован выпуск краткосрочных прогнозов для речных систем Оки, Костромы, Унжи, Ветлуги, притока воды к Рыбинскому и Горьковскому водохранилищам.

В данной статье рассматриваются результаты построения схемы прогноза расходов и уровней воды для речной системы Вятки от верховьев до г. Вятские Поляны. Такие прогнозы необходимы для оценки условий формирования максимального стока и наступления опасных отметок уровней воды для ряда створов речной системы Вятки.

Среди незарегулированных рек Вятка является крупнейшим притоком Волги и по своим размерам уступает лишь Оке. Длина Вятки составляет 1330 км, площадь водосбора – 127100 км², а до замыкающего створа г. Вятские Поляны – соответственно 1230 км и 124000 км². В настоящее время р. Вятка впадает в Куйбышевское водохранилище и в период половодья формирует большую часть его бокового притока.

Бассейн р. Вятка имеет хорошо развитую речную сеть, особенно в средней и южной его части. Река на своем протяжении принимает ряд притоков, наиболее крупными из которых являются Кобра, Летка, Молома, Пижма, Чепца и Кильмезь.

Водный режим р. Вятка в ее среднем и нижнем течении характеризуется длительным и сильно выположенным половодьем. В частности у г. Вятские Поляны оно обычно начинается в первой декаде апреля и продолжается в течение 2-2,5 месяцев, т.е. до начала или середины июня. В то же время в среднем течении Вятки у г. Кирова, находящегося выше Вятских Полян почти на 600 км, продолжительность половодья заметно короче - около 1,5 месяцев.

Весной половодье формируется в первую очередь в южной части бассейна, где снеготаяние начинается раньше и проходит более интенсивно, чем в северных его частях. Вследствие этого в створе Вятских Полян подъем половодья начинается на 5-7 дней раньше чем в створах Котельнич и Киров, и на 8-10 дней – по сравнению со створом Нагорск, расположенным в верховьях реки. Однако более раннее начало половодья в низовьях реки не оказывает заметного влияния на даты формирования максимальных расходов (уровней) воды. Об этом говорит и тот факт, что в створах гг. Киров и Котельнич максимальные расходы регистрируются значительно раньше чем у г. Вятские Поляны.

Максимальные расходы р. Вятка значительно увеличиваются от верховьев реки до устья, составляя в ее верховьях (г. Нагорск) в среднем около 1500 м³/с, а в нижнем течении (г. Вятские Поляны) - 4900 м³/с. Сведения о сроках формирования максимальных расходов воды р. Вятка и их величинах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения о сроках формирования максимальных расходов и их величинах в различных створах р. Вятка

Год	г. Нагорск		г. Киров		г. Аркуль		г. Вятские Поляны	
	Q, м ³ /с	дата	Q, м ³ /с	дата	Q, м ³ /с	дата	Q, м ³ /с	дата
Средние за 1974-1983 гг.	1520	03.05	2690	04.05	4150	12.05	4940	15.05
Многоводные годы	2030	16.05	5260	12.05	6370	19.05	8200	19.05
Маловодные	817	17.04	1530	23.04	2370	29.04	2830	01.05

годы								
------	--	--	--	--	--	--	--	--

При разработке метода прогноза использовались ежедневные данные о расходах и уровнях воды в гидрометрических створах речной системы. Для определения промежуточного бокового притока и задания начальных значений параметров модели привлекалась дополнительная информация о площадях водосборов, скоростях течения и гидрофизических характеристиках бассейна. Список водомерных постов, данные по которым использованы при разработке метода прогноза, представлен в табл. 2, а их пространственное распределение на водосборе показано на рисунке.

Поскольку нами рассматривался вариант прогностической схемы с использованием модели формирования талого и дождевого стока, кроме данных наблюдений за расходами и уровнями воды, использовалась метеорологическая информация: среднесуточная температура и дефицит влажности воздуха, суточные суммы осадков, а также данные наблюдений за снежным покровом (высотой снега и запасами воды в снеге). Для задания параметров модели использовались данные гидрофизических характеристик бассейна, а для оценок рассчитываемых характеристик стока и выбора констант модели привлекались также данные о глубине промерзания и оттаивания почвы, влажности почвы.

В связи с тем, что освещенность территории метеорологическими наблюдениями недостаточна, при проведении расчетов кроме данных наблюдений на станциях, расположенных в пределах водосбора, привлекались данные наблюдений пунктов, находящихся за его пределами. Список пунктов наблюдений за метеоэлементами, данные которых использовались при реализации модели формирования стока для ряда небольших частных водосборов, представлен в табл. 3.

Все расчеты выполнены по материалам наблюдений за 10-летний период (с 1973 по 1983 г.). Анализ основных факторов стокообразования за этот период показал, что рассматриваемая выборка является репрезентативной и включает в себя годы с различными условиями формирования стока, что повышает надежность определения параметров и констант модели.

Бассейн р. Вятки, исходя из гидрометеорологической изученности территории и условий формирования стока, был разделен на восемь расчетных участков с замыкающими (выходными) створами: г. Нагорск, г. Слободской, д. Целоусы, г. Киров, г. Котельнич, г. Аркуль, д. Вичмарь, г. Вятские Поляны. Для всех расчетных участков были выбраны входные гидрометрические створы на притоках, сток в которых используется в качестве сосредоточенного бокового притока.

Принятая нами схема речной сети р. Вятки с указанием гидрометрических створов представлена на рисунке. Основные характеристики расчетных участков приводятся в табл. 4.

Для прогнозирования расходов (уровней) воды в выходных створах выделенных участков речной системы Вятки использовалась линейная модель трансформации водных масс в руслах рек с сосредоточенным боковым притоком. Эта модель достаточно известна и широко применяется на практике.

Для практической реализации данной модели необходимо определить коэффициенты стоковой приводки k_i и параметры кривой добега для каждого расчетного участка речной системы, а также коэффициенты уравнения кривой расходов для створов, где имеются только данные об уровнях воды.

Коэффициенты, характеризующие боковой приток с площадей, неосвещенных гидрометрическими наблюдениями (k_i) определялись по методике, изложенной в работах [1, 2]. Согласно этой методике промежуточный боковой приток полагается пропорциональным расходам воды во входных створах, причем коэффициент пропорциональности (расходный коэффициент) определяется из условия сохранения баланса на рассматриваемом участке реки. При наличии нескольких входных створов неосвещенная

Таблица 2

Список гидрометрических постов

Река	Наименование поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²
Вятка	с. Красноглинье	1212	2320
Вятка	г. Нагорск	910	16500
Вятка	г. Слободской	765	23100
Вятка	г. Киров	692	48300
Вятка	г. Котельнич	534	72000
Вятка	г. Аркуль	278	96900
Вятка	г. Вятские Поляны	100	124000
Чепца	г. Глазов	284	9750
Чепца	д. Целоусы	84	18900
Кобра	с. Синегорье	80	4510
Летка	с. Казань	45	2870
Молома	с. Щетиненки	67	10600
Вешкас	д. Великорецкое	34	3410
Быстрица	д. Шипицино	37	3540
Пижма	д. Худяки	108	6690
Немда	д. Луговая	22	3220
Воя	г. Нолинск	36	2680
Лумпун	д. Шмыки	59	1210
Вала	с. Вавож	77	4770
Лобань	с. Рыбная Ватага	56	2300
Уржумка	с. Лопьял	45	1300
Кильмезь	д. Вичмарь	54	16400

Таблица 3

Метеорологическая информация по речной системе Вятки до г. Кирова

Название станции	Использованные данные		
	температура и дефицит влажности воздуха	осадки	снег
р. Чепца - г. Глазов			
Глазов	+	+	+
Игра	+	+	+
Полом			+
Дебессы	+	+	+
р. Вятка - с. Красноглинье			
Глазов	+	+	+
Фаленки	+	+	+
Омуткинский	+	+	+
Красноглинье			+
р. Кобра - с. Синегорье			
Обьячево	+	+	+
Койгородок	+	+	+
Синегорье			+
Нагорск	+	+	+
р. Летка - с. Казань			
Обьячево	+	+	+

Опарино			+
Мураши	+	+	+
Казань			+
Синегорье			+
Нагорск	+	+	+

Переход от площадных коэффициентов к расходным осуществляется по зависимости

$$k_i = \overline{k_w} \cdot k_{fi} \quad , \quad (1)$$

где k_w - среднее за все рассматриваемые годы значение коэффициентов невязки, равное отношению объема стока за половодье в выходном створе к сумме объемов стока во всех входных створах, умноженных на соответствующие площадные коэффициенты.

Следует отметить, что окончательное значение k_w выбиралось таким образом, чтобы k_w за все рассматриваемые годы имел бы минимальную дисперсию. Это достигалось путем изменения площадных коэффициентов (k_{fi}). Для расчетного участка с выходным створом г. Слободской расходный коэффициент принят равным площадному коэффициенту, так как в этом створе данные о стоке отсутствуют.

Таблица 4

Характеристика расчетных участков р. Вятки и оптимальные параметры модели трансформации

Выходной створ	Входной створ	k	$\tau_{сум}$	n	a м ³ /(см·с)	b	H_0
1	2	3	4	5	6	7	8
р. Вятка - г. Нагорск	р. Вятка-	3,79	2,71	2,10	0,4336	2,9898	-30
	с.Красноглинье	1,75	1.23	1,35			
р. Вятка - г. Слободской	р. Кобра - с. Синегорье						
	р. Вятка - г. Нагорск	1,03	2,29	1,10			
р.Чепца - д. Целоусы	р. Летка - с. Казань	2,10	0.76	2,21			
	р. Чепца - г. Глазов	1,89	2,50	1,77			
р. Вятка - г. Киров	р. Вятка - г. Нагорск	1,01	2,29	2,47			
	р. Чепца - д. Целоусы	1,05	1,24	2,53			
р.Вятка – г.Котельнич	р. Летка - с. Казань	3,30	1,07	2,39			
	р.Вятка – г.Киров	1,03	0,66	6,23			
	р.Вешка – с.Великорецкое	1,05	0,50	2,00			
	р.Быстрица – с.Щепитино + р.Молома – д.Щетинино	3,30	2,50	1,50			
р.Вятка – г.Аркуль	р.Вятка – г.Котельнич	1,00	5,89	1,00			
	р.Пижма – д.Худяки	1,09	0,83	1,96			
	р.Немда – д.Луговая + р.Воя – г.Нолинск	1,06	1,30	2,26			
р.Кильмезь – г.Вичмарь	р.Лумпунь – Шмыки	1,80	0,77	1,25			
	р.Вала – Вавож + р.Лобань – Рыбная Ватага	1,95	0,83	3,58			
р.Вятка – г.Вятские Поляны	р.Вятка – Аркуль	1,00	0,36	15,0			
	р.Уржумка – Лопьял	10,0	1,66	3,52			

р.Кильмезь – г.Вичмарь	1,95	8,15	1,00			
---------------------------	------	------	------	--	--	--

В соответствии с данной методикой были определены значения расходных коэффициентов для всех входных створов расчетных участков с выходными створами г. Нагорск, с. Целоусы, г. Киров, г. Котельнич, г. Аркуль, с. Вичмарь и г. Вятские Поляны. Рассчитанные значения расходных коэффициентов для всех входных створов расчетных участков приведены в графе 3 табл. 4.

Оптимальные значения параметров трансформации (n и τ) определялись отдельно для каждого расчетного участка по методике, изложенной в работе [2]. Для оценки точности расчета гидрографа использовалось среднее квадратическое отклонение фактических и рассчитанных расходов воды. Полученные в результате оптимизации параметры трансформации приведены в графах 4 и 5 табл. 4. В графах 6, 7, 8 этой таблицы представлены значения коэффициентов кривой расходов воды, полученные при определении n и τ для второго участка (г. Слободской).

На основе данных гидрометрических наблюдений и с использованием значений параметров, приведенных в табл. 4, выполнены расчеты гидрографов весеннего половодья для восьми створов р. Вятки: г. Нагорск, г. Слободской, д. Целоусы, г. Киров, г. Котельнич, г. Аркуль, с. Вичмарь и г. Вятские Поляны.

Оценка точности расчетов расходов (уровней) воды сделана исходя из стандартного критерия s/σ , где s - средняя квадратическая погрешность расчетов, σ - средняя квадратическая изменчивость ежедневных расходов (уровней) воды за период половодья. Точность расчетов расходов и уровней воды для всех рассматриваемых створов довольно высокая: средняя оценка s/σ за 10 лет для г. Нагорска составляет 0,28, для г. Слободского – 0,31, для д. Целоусы – 0,31, для г. Кирова – 0,15, для г. Котельнич – 0,24, для г. Аркуль – 0,26, для г. Вичмарь – 0,25 и для г. Вятские Поляны – 0,18.

При выпуске прогнозов расчетные участки речной системы объединяются в единую прогностическую систему и прогнозирование водного режима осуществляется последовательно от одного створа к другому вниз по течению реки. При этом выходные расходы воды верхнего участка являются входными расходами для нижележащего участка. До дня выпуска прогноза в качестве входных расходов для всех участков используются фактические данные.

При составлении прогнозов на период заблаговременности необходимо задать ход расходов воды во входных створах расчетных участков, расположенных на притоках р. Вятки. Задание хода расходов воды во входных створах на период заблаговременности может осуществляться, по меньшей мере, двумя способами - либо с помощью экстраполяции временного ряда расходов воды, либо путем предвычисления расходов воды с использованием метеорологических данных. Нами использовался ранее разработанный метод экстраполяции ряда расходов за дни, предшествующие дате выпуска прогноза [3]. Кроме того, для коррекции прогнозируемых значений расходов или уровней воды использовался крректирующий оператор, позволяющий существенно уточнять прогнозы [4].

При составлении прогнозов по этой схеме требуются только гидрологические данные - расходы и уровни воды.

Для определения эффективности методики были составлены проверочные прогнозы за все рассматриваемые годы. Для сравнения, как принято, были составлены аналогичные прогнозы при задании на период заблаговременности фактических значений расходов (уровней) воды (расчетный вариант).

Рассчитанные значения расходов и уровней воды за период половодья оценены по критерию s / σ_{Δ} (s – средняя квадратическая ошибка прогноза расходов воды, σ_{Δ} - средняя квадратическая изменчивость фактических расходов воды для заблаговременностей от 1 до 5 сут).

В табл. 5 приведены осредненные за 10 лет оценки прогнозов, полученные при использовании фактических расходов и уровней воды на период заблаговременности во входных створах системы (числитель) и при задании расходов и уровней воды с помощью экстраполяции (знаменатель). Из этих данных следует, что средние квадратические погрешности, полученные в расчетном и прогнозном режимах, мало различаются для значений заблаговременности до 2 - 3 сут для створов г. Нагорск и г. Слободской, с. Вичмарь, до 3-4 сут для створов д. Целоусы и г. Киров и до 4-5 сут для створов г. Котельнич, г. Аркуль и г. Вятские Поляны. С увеличением заблаговременности ошибки прогнозов возрастают и превышают аналогичные погрешности для расчетного варианта в 1,5 – 2,0 раза. Такой рост ошибок с увеличением заблаговременности прогноза объясняется в основном и приближенным заданием входных данных на период заблаговременности.

Таблица 5

Средние оценки точности расчетов и прогнозов расходов и уровней воды в период весеннего половодья для речной системы Вятки

Река-пункт	Заблаговременность, сутки									
	$\Delta=1$		$\Delta=2$		$\Delta=3$		$\Delta=4$		$\Delta=5$	
	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}
Вятка –	38,7	0,37	67,4	0,33	88,2	0,30	105	0,27	119	0,25
г. Нагорск	44,0	0,42	86,8	0,43	131	0,44	178	0,46	228	0,48
Вятка -	10,9	0,44	18,1	0,38	23,2	0,34	27,3	0,31	30,5	0,29
г. Слободской	11,8	0,47	21,8	0,45	31,7	0,46	41,8	0,48	52,4	0,51
Чепца -	42,3	0,32	78,1	0,31	115	0,32	141	0,31	158	0,29
д. Целоусы	43,1	0,33	85,4	0,34	128	0,36	168	0,37	203	0,37
Вятка-г. Киров	51,0	0,30	98,2	0,29	135	0,27	162	0,25	188	0,23
	51,5	0,30	102	0,30	149	0,30	200	0,31	262	0,32
Вятка -	84,0	0,44	146	0,38	193	0,35	224	0,31	243	0,27
г. Котельнич	85,0	0,44	160	0,42	236	0,42	320	0,44	404	0,46
Вятка -	95,0	0,55	168	0,50	216	0,45	258	0,41	291	0,38
г. Аркуль	96,0	0,55	174	0,52	243	0,50	321	0,51	391	0,51
Кильмезь -	34,9	0,47	54,5	0,39	65,4	0,33	72,3	0,28	76,4	0,25
г. Вичмарь	38,8	0,52	73,0	0,53	123,5	0,62	185,8	0,73	250,2	0,83
Вятка -	117	0,54	213	0,52	260	0,44	282	0,37	302	0,33
г. Вятские Поляны	117	0,54	219	0,53	280	0,48	331	0,44	405	0,44

Приведенным выше оценкам прогноза гидрографа весеннего половодья, как правило, соответствуют оценки прогноза максимальных расходов и уровней воды. Это хорошо показывают данные табл. 6, в которой представлены фактические и прогнозные (с заблаговременностью до 5 сут) значения максимальных расходов воды Вятки у г. Киров. Там же представлены абсолютные ошибки прогноза.

Как следует из табл. 6, заметный рост ошибок прогноза максимальных расходов воды наблюдается, как и при оценке всего гидрографа половодья, на четвертые-пятые сутки. Как уже указывалось выше, это связано с низкой точностью экстраполяции входных расходов воды при заблаговременности более 3 сут, ошибки задания которых особенно сильно сказываются на результатах прогнозирования максимальных расходов (уровней) воды.

Результаты проверочных прогнозов расходов и уровней воды для рассматриваемых створов речной системы Вятки указывают на возможность практического применения разработанной схемы прогноза. Получены вполне приемлемые прогнозы расходов (уровней) воды с заблаговременностью до 2 - 3 сут для створов г. Нагорск и г. Слободской, 3 - 4 сут для створов д. Целоусы и г. Киров и до 5 сут для створов г. Котельнич, г. Аркуль и г. Вятские Поляны. При увеличении заблаговременности прогнозов для створов г. Нагорск,

г. Слободской, д. Целоусы и г. Киров до 5 сут возможны заметные погрешности прогнозов максимальных расходов (уровней) воды при сравнительно неплохом качестве прогнозирования гидрографа в целом.

Таблица 6

Оценка погрешности прогнозов максимальных расходов воды в период весеннего половодья р. Вятки - г. Киров

Год	Q фактич. м ³ /с	Заблаговременность, сутки									
		1		2		3		4		5	
		прог -ноз м ³ /с	оши б-ка	прог -ноз м ³ /с	оши б-ка	прог -ноз м ³ /с	оши б-ка	прог -ноз м ³ /с	оши б-ка	прог -ноз м ³ /с	оши б-ка
1974	<u>4200</u> 16.05	<u>4084</u> 17.05	116	<u>3976</u> 15.05	224	<u>3822</u> 16.05	378	<u>3608</u> 17.05	592	<u>3367</u> 18.05	833
1975	<u>2520</u> 19.04	<u>2480</u> 20.04	40	<u>2363</u> 21.04	157	<u>2320</u> 19.04	200	<u>2382</u> 17.04	138	<u>2451</u> 18.04	69
1976	<u>2010</u> 05.05	<u>1993</u> 05.05	17	<u>1965</u> 05.05	45	<u>1971</u> 02.05	39	<u>2090</u> 03.05	80	<u>2188</u> 04.05	178
	<u>1870</u> 15.05	<u>1892</u> 15.05	22	<u>1920</u> 16.05	50	<u>1922</u> 17.05	52	<u>2017</u> 17.05	147	<u>2009</u> 18.05	139
1977	<u>1800</u> 02.05	<u>1853</u> 02.05	53	<u>1973</u> 02.05	173	<u>2446</u> 03.05	246	<u>2100</u> 02.05	300	<u>2150</u> 03.05	350
	<u>1530</u> 23.04	<u>1513</u> 23.04	17	<u>1512</u> 22.04	18	<u>1621</u> 22.04	91	<u>1760</u> 23.04	230	<u>1890</u> 24.04	360
1978	<u>1200</u> 13.05	<u>1190</u> 12.05	10	<u>1204</u> 12.05	4	<u>1259</u> 12.05	59	<u>1398</u> 12.05	198	<u>1550</u> 13.05	350
	<u>1420</u> 23.06	<u>1408</u> 22.06	12	<u>1470</u> 21.06	50	<u>1541</u> 22.06	121	<u>1586</u> 23.06	166	<u>1614</u> 23.06	194
1979	<u>5260</u> 12.05	<u>5274</u> 12.05	14	<u>5227</u> 12.05	33	<u>5300</u> 11.05	40	<u>5300</u> 12.05	40	<u>5220</u> 13.05	40
1981	<u>4260</u> 16.05	<u>4285</u> 16.05	25	<u>4230</u> 17.05	30	<u>4195</u> 16.05	65	<u>4153</u> 16.05	107	<u>4106</u> 16.05	154
1982	<u>3600</u> 10.05	<u>3566</u> 11.05	34	<u>3482</u> 10.05	118	<u>3474</u> 05.05	126	<u>3501</u> 06.05	99	<u>3522</u> 07.05	78
1983	<u>2620</u> 17.04	<u>2627</u> 17.04	7	<u>2572</u> 18.04	48	<u>2511</u> 16.04	109	<u>2563</u> 17.04	57	<u>2581</u> 18.04	39
сред	2691	2680	31	2658	79	2655	127	2705	180	2721	262

Учитывая это обстоятельство, для расчетных створов речной системы Вятки до г. Киров нами разработан второй вариант прогностической схемы, в которой расходы воды во входных створах (Вятка до с. Красноглинье, Кобра до с. Синегорье, Летка до с. Казань, Чепца до г. Глазов) на период заблаговременности рассчитываются с помощью модели формирования талого и дождевого стока [5, 6]. При этом, естественно, рассчитанные с помощью модели расходы воды являются гораздо более оправданными с физической точки зрения, чем полученные путем экстраполяции.

Площади рассматриваемых водосборов и их лесистость изменяются в широких пределах: от 9750 до 2320 км², а лесистость - от 91 до 40%. В табл. 7 приведены некоторые характеристики водосборов речной системы Вятки.

Таблица 7

Основные характеристики небольших водосборов речной системы Вятки до г. Кирова

Река - пункт	Площадь водосбора (км ²)	Расстояние от истока (км)	Лесистость (%)	Заболоченность (%)	Озерность (%)	Средняя высота водосбора (м)
Вятка - с. Красноглинье	2320	102	91	0	0	239
Кобра - с. Синегорье	4510	-	90	1	0	-
Летка - с. Казань	2870	215	87	0	0	215
Чепца - г. Глазов	9750	217	40	2	0	209

Успешность использования модели при построении прогностической схемы во многом зависит от надежности определения ее параметров и констант и проверки их надежности при различных условиях формирования стока.

Для определения параметров модели использовались архивные данные наблюдений с 1973 по 1983 г. за осадками, температурой и дефицитом влажности воздуха, запасами воды в снежном покрове, а также данными о расходах воды в замыкающих створах бассейнов. Метеорологическая информация представлялась в виде среднесуточных величин, осредненных для каждого водосбора по показаниям станций, приведенных в табл. 3.

Так как водосборы рек Вятки, Кобры и Летки практически полностью залесены, для характеристики максимальных запасов воды в снежном покрове использовались осредненные данные снегосъемок только для лесных участков. Для водосбора р. Чепцы учитывалось различие в формировании стока на лесных и полевых участках водосбора и данные снегосъемок осреднялись отдельно для полевых и лесных участков.

В качестве индекса начального увлажнения почвы (на 1 августа) принят средний за июль расход воды в замыкающих створах водосборов. Для характеристики возможного диапазона изменений начальной характеристики влажности определены максимальные и минимальные значения этого индекса за имеющийся период наблюдений.

По всем годам расчеты начинали с 1 августа и заканчивали 31 июля следующего года.

Для определения параметров использовались данные за характерные по условиям формирования стока годы (многоводные и маловодные, с большими и малыми значениями снегозапасов и осадков, с большим диапазоном изменений характеристики влажности почвы).

Параметры определялись по методике, изложенной в работе [1]. Часть из них задавалась, исходя из физико-географического анализа обобщенных данных и эмпирических зависимостей, которые для водосборов рассматриваемого района в большинстве своем мало различаются. Многие же параметры, отражающие в большой мере влияние локальных особенностей формирования стока, для каждого конкретного водосбора определялись по данным гидрометеорологических наблюдений с помощью процедуры оптимизации, которая позволяет найти приближенные оценки параметров из условия наилучшего соответствия фактических и рассчитанных гидрографов. Для повышения надежности оценок параметров осуществлялся физический анализ полученных значений и, при необходимости, задавались возможные пределы их изменений.

В табл. 8 приведены значения параметров и констант для рассматриваемых водосборов. Расчеты гидрографов стока за период весеннего половодья показали, что получены устойчивые оценки параметров, которые дают хорошую точность расчетов для всех четырех водосборов. Средняя за десять лет оценка s/σ для р. Вятки - с. Красноглинье равна 0,35, для р. Кобры - с. Синегорье - 0,29, для р. Летки - с. Казань - 0,43, для р. Чепцы - г. Глазов - 0,31. Это указывает на то, что параметры определены с достаточной степенью надежности для расчета расходов воды в замыкающих створах четырех водосборов, данные которых используются в качестве входной информации для расчетных участков системы р. Вятки до г. Кирова.

При выпуске прогнозов на основе модели формирования стока необходимо каким-либо образом задать метеорологические данные на период заблаговременности прогноза. В

данном случае имеется возможность использования метеорологических прогнозов, которые при необходимой нам заблаговременности имеют явно более высокую точность, чем экстраполяция расходов воды (особенно экстраполяция расходов воды в фазе максимума гидрографа).

Таблица 8

Параметры и константы модели формирования стока рек бассейна Вятки

№ п/п	Параметр	Единица величины	Вятка – с.Красноглин ье	р. Кобра – с.Синегорье	р. Летка – с.Казань	р. Чепца – г.Глазов
1	к – лес	ч/см	9,13	7,5	6,07	8,58
2	χ - лес	-	0,61	0,84	0,29	0,024
3	i_0 – лес	мм/ч	0,56	0,86	0,47	1,63
4	I_H	мм/ч	0,10	0,62	0,10	0,10
5	τ_1	сут	1,71	3,43	2,18	1,26
6	τ_2	сут	1,22	3,0	1,44	2,73
7	$U_{кр}$ – поле	см	-	-	-	20,57
8	ω_{max}	-	0,445	0,550	0,408	0,429
9	k_2	мм/(гПа·ч)	0,029	0,028	0,029	0,032
10	n_1	-	3,17	2,77	2,85	3,33
11	n_2	-	3,43	2,97	3,06	3,20
12	ρ – лес	г/см ³	0,77	0,77	0,77	0,77
13	ω_0	-	0,10	0,10	0,10	0,10
14	a – лес	мм/(гПа·сут)	1,90	1,74	1,47	1,73
15	α – лес	-	11,0	11,0	11,0	11,0
16	β	-	3,5	3,5	3,5	3,5
17	Z	см	50,0	50,0	50,0	50,0
18	Γ	-	0,13	0,13	0,13	0,13
19	к – поле	ч/см	0	0	0	5,7
20	χ – поле	-	0	0	0	1,0
21	i_0 – поле	мм/ч	0	0	0	0,67
22	ρ – поле	г/см ³	0,62	0,62	0,62	0,62
23	a – поле	мм/(гПа·ч)	5,0	5,0	5,0	3,73
24	α – поле	-	5,5	5,5	5,5	5,5
25	M – лес	мм ⁻¹	0,04	0,5	0,5	0,02
26	M – поле	мм ⁻¹	0	0	0	0,04
27	T_p	-	0	0	0	0
28	ξ	-	0	0	0	0
29	F	км ²	2320	4510	2870	9750
30	WK_2	-	0,91	0,90	0,87	0,40
31	Q_{MAX}	м ³ /с	30,0	70,0	60,0	70,0
32	Q_{MIN}	м ³ /с	2,0	8,0	2,0	8,0
33	KL	ч	0,60	0,60	0,60	0,60
34	RT	г/см ³	0,35	0,35	0,35	0,35
35	$WIDTH$	-	0	0	0	0
36	C_3	-	30	30	30	30
37	C_4	-	50	50	50	50
38	$REGTP$	-	0	0	0	0
39	N_4	г/см ³	2,0	2,0	2,0	2,0
40	B_{DAY}	-	10800	10800	10800	10800

41	FLORA	-	LES	LES	LES	LEPO
42	INPRS	-	SNOW	SNOW	SNOW	SNOW
43	MOUNT	-	0	0	0	0
44	IAL	-	3	3	3	3

Примечание. Константы модели расположены в 29-44 строках таблицы.

Для периода весеннего половодья по архивным гидрометеорологическим данным за 10 лет были составлены проверочные прогнозы для р. Вятки - с. Красноглинье, р. Кобры - с. Синегорье, р. Летки - с. Казань и р. Чепцы - г. Глазов. Поскольку архивными материалами прогнозов осадков, температуры и дефицита влажности воздуха для данного района мы не располагали, проверочные прогнозы были составлены при задании этих метеоэлементов на период заблаговременности с помощью простого метода: температура и дефицит влажности воздуха принимались постоянными, равными соответствующим значениям в день выпуска прогноза, а осадки полагались равными нулю. До даты выпуска прогноза использовались фактические данные.

Средние за 10 лет оценки прогнозов (s и s/σ_{Δ}), полученные в расчетном (при использовании фактических метеоданных) и прогнозном (при задании метеоданных на период заблаговременности с помощью указанного метода) режимах, приведены в табл. 9.

Таблица 9

Оценка погрешности расчетов (числитель) и прогнозов (знаменатель) расходов воды в период весеннего половодья рек бассейна р. Вятки

Река -пункт	Заблаговременность, сутки									
	1		2		3		4		5	
	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}
Вятка - с.Красноглинье	<u>15,0</u>	<u>0,38</u>	<u>26,1</u>	<u>0,35</u>	<u>35,0</u>	<u>0,33</u>	<u>41,2</u>	<u>0,32</u>	<u>43,1</u>	<u>0,29</u>
	15,1	0,38	27,4	0,37	39,1	0,37	51,1	0,39	62,1	0,41
Кобра - с. Синегорье	<u>9,94</u>	<u>0,40</u>	<u>17,8</u>	<u>0,38</u>	<u>23,8</u>	<u>0,35</u>	<u>28,2</u>	<u>0,32</u>	<u>33,2</u>	<u>0,32</u>
	10,5	0,42	19,9	0,42	28,4	0,42	36,3	0,42	45,5	0,44
Летка - с. Казань	<u>13,4</u>	<u>0,43</u>	<u>24,0</u>	<u>0,42</u>	<u>30,0</u>	<u>0,38</u>	<u>35,3</u>	<u>0,37</u>	<u>38,0</u>	<u>0,35</u>
	14,2	0,45	26,2	0,46	35,7	0,46	44,8	0,47	56,1	0,51
Чепца - г. Глазов	<u>48,4</u>	<u>0,48</u>	<u>69,1</u>	<u>0,36</u>	<u>86,3</u>	<u>0,31</u>	<u>98,0</u>	<u>0,27</u>	<u>106</u>	<u>0,25</u>
	51,7	0,52	85,5	0,44	120	0,43	152	0,43	182	0,43

При использовании фактических данных на период заблаговременности метод позволяет получить хорошие оценки прогнозов для большинства лет с заблаговременностью до 5 сут. Средние за все годы оценки s/σ_{Δ} для всех четырех створов мало различаются и не превышают 0,5. При использовании метода экстраполяции метеорологических данных средние оценки s/σ_{Δ} для всех заблаговременностей также остаются вполне приемлемыми. Однако среднеквадратические погрешности прогноза (s) при заблаговременности более 3 - 4 сут иногда заметно превышают погрешности при расчетах с использованием фактических данных.

Тем не менее следует ожидать, что при использовании среднесрочных метеорологических прогнозов (до 5 сут), точность которых явно выше точности используемого нами метода задания метеоэлементов, оценки прогнозов расходов воды при заблаговременностях более 3-4 сут будут лучше.

Таким образом, данная методика может быть использована для прогнозов расходов воды для рассматриваемых водосборов с заблаговременностью до 5 сут и результаты этих прогнозов могут служить входной информацией на период заблаговременности во всех нижележащих створах речной системы Вятки до г. Кирова.

Для оценки эффективности использования спрогнозированных по модели формирования стока значений расходов воды для притоков Вятки и ее верховья были составлены прогнозы

для створов г. Нагорск, г. Слободской, д. Целоусы и г. Киров. В табл. 10 представлены оценки этих прогнозов (s и s/σ_{Δ}). Анализируя погрешности прогнозов (см. таблицы 5 и 10) можно отметить, что в большинстве случаев качество прогнозов расходов и уровней воды для рассматриваемого участка р. Вятки, основанных на использовании модели формирования стока, выше, чем при экстраполяции расходов воды во входных створах. Особенно заметно повысилась точность прогнозов для заблаговременностей более 3 сут. Так, для створа г. Нагорск, где роль бокового притока в формировании волны половодья значительна, средние квадратические ошибки прогнозов за девять лет для заблаговременностей 4 и 5 сут, полученные при использовании модели, составили 126 и 156 м³/с, в то время как при экстраполяции расходов воды во входных створах они равны 178 и 228 м³/с соответственно.

Таблица 10

Средние оценки точности расчетов и прогнозов расходов и уровней воды в период весеннего половодья для речной системы Вятки

Река-пункт	Заблаговременность, сутки									
	$\Delta=1$		$\Delta=2$		$\Delta=3$		$\Delta=4$		$\Delta=5$	
	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}	s	s/σ_{Δ}
Вятка– г. Нагорск	39,7	0,38	72,0	0,35	99,7	0,33	126	0,32	156	0,33
Вятка- г. Слободской	11,3	0,45	19,2	0,41	27,2	0,39	35,4	0,40	44,2	0,42
Чепца д. Целоусы	43,1	0,33	80,0	0,32	123	0,34	161	0,35	194	0,36
Вятка- г. Киров	52,0	0,31	99,2	0,30	137	0,27	174	0,26	219	0,27

Как следует из данных таблиц 5 и 10, использование модели формирования стока привело к повышению точности прогнозов и в створе г. Киров (особенно для заблаговременности 4 - 5 сут), но в меньшей степени, чем для створа г. Нагорск. Это связано прежде всего с тем, что для данного створа важным стокообразующим фактором, помимо бокового притока, является русловая трансформация, т.е. погрешности прогнозов в значительной степени определяются формой и соотношением фаз половодий на реках Вятка и Чепца.

Использование модели формирования стока позволило заметно повысить и точность прогнозов максимальных расходов воды в створе г. Киров. Средние квадратические ошибки прогноза в данном случае для заблаговременности 1 - 5 сут составляют 39, 75, 94, 118 и 138 м³/с. Без использования модели ошибки существенно больше (особенно на четвертые-пятые сутки) и равны 42, 104, 160, 230 и 336 м³/с соответственно. Выигрыш в точности прогнозов повышается с увеличением заблаговременности прогноза.

В заключение отметим, что при использовании модели формирования стока получены приемлемые прогнозы гидрографа стока с заблаговременностью до 5 сут для створов речной системы Вятки до г. Киров. Применение данного метода в оперативной практике позволит максимально использовать данные наблюдений существующей гидрометеорологической сети на большой территории и оценить возможный ход расходов (уровней) воды при развитии аномальных условий погоды. Для составления таких прогнозов необходимы данные о расходах и уровнях воды, а также метеорологические прогнозы осадков, температуры и дефицита влажности воздуха по бассейну рек верховья Вятки, Кобры, Летки и Чепцы.

Список литературы

1. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 2. Краткосрочные прогнозы расхода и уровня воды на реках. - Л., Гидрометеиздат, 1989. - 245 с.
2. 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.
3. Корень В.И., Бельчиков В.А. Анализ различных способов учета текущей информации при выпуске краткосрочных прогнозов стока // Труды Гидрометцентра СССР. – 1988. - Вып. 300. - С. 97-112.
4. Корень В.И. Статистический алгоритм адаптации при выпуске непрерывных краткосрочных прогнозов стока // Метеорология и гидрология – 1983. - № 3. - С. 80-84.
5. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 199 с.
6. Бельчиков В.А., Корень В.И. Модель формирования талого и дождевого стока для лесных водосборов // Труды Гидрометцентра СССР. – 1979. - Вып. 218. - С. 3-21.