

УДК 556.5.048:556.5.06

Н. Г. Инишев, О. Ф. Мерзликин

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ГИДРОГРАФА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА МАЛЫХ РЕКАХ, СТЕКАЮЩИХ С ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

В работе представлены результаты апробации математической модели расчета гидрографа весеннего половодья на лесных и заболоченных водосборах по методу Д. А. Буракова. Предложены ее модификации, учитывающие ландшафтные особенности процессов, протекающих на поверхности водосбора и в его русловой сети. На примере 6 малых рек показана работоспособность модели и определены границы ее применимости.

Èëð-ááüá ñèíáà: çàäèèí-áííúè áíáíñáíð, çàèáñáííñðü, àèäðíáðàð àáñáííááí ìíèíáíáüü, áíáíðáà-à, èà-áñðáí ìðíáíçà, áíáíñðü áíáà, íááí ìíèíáíáüü, ñèíè ñð íèà, ìèèðíèáíáøðð, èðèáüá áíáááíèý, ìíðèèè-çàðèý, áíáíúè áàèáíñ.

Проблема расчета гидрографа стока всегда была и остается одной из центральных в гидрологии и используется не только в прогнозах, но и в изучении водного баланса территории, экологическом мониторинге состояния водосборов. Моделирование фазы гидрологического цикла весеннего половодья всегда представляло большую сложность. Более того, из-за высокой степени залесенности и заболоченности водосборных бассейнов западносибирских рек процесс формирования половодья усложняется. Разброс по времени пиков, составляющих волны половодья – лесной, болотной и полевой, – создает условия для образования множества комбинаций, что усложняет подбор устойчивых параметров для математической модели.

Целью данной работы являлось построение математической модели гидрографа весеннего половодья, учитывающей ландшафтные особенности заболоченного водосбора и процессы, протекающие на его поверхности и в русловой сети.

Íáüáèòù è ìáðíáü èññèááíááíèé

Объект исследования – малые реки, стекающие с Васюганского болота, с площадью водосбора не более 500 км², степенью заболоченности бассейна 45–70 %, с относительно продолжительным периодом совместных наблюдений за расходами воды (8–9 лет). В западной части Васюганского болота: р. Кейзес – с. Кейзес, р. Нижняя Тунгуска – д. Тармалка, р. Верхняя Тунгуска – д. Малинкино. В восточной части: р. Тига – с. Верхняя Тига, р. Муза – с. Копаное Озеро и р. Ключ – с. Польшанка (рис. 1).

Эти реки располагаются, согласно районированию болот О. Л. Лисс и др. [1], в два болотных округа:

1) Бакчарский южно-таежный округ олиготрофных грядово-мочажинных, осоково-кустарничково-сфагновых болот в сочетании с эвтрофными и мезотрофными сосново-елово-кедрово-березово-осоково-гипновыми (или сфагновыми) и осоково-гипновыми (или сфагновыми) болотами (округ 12);

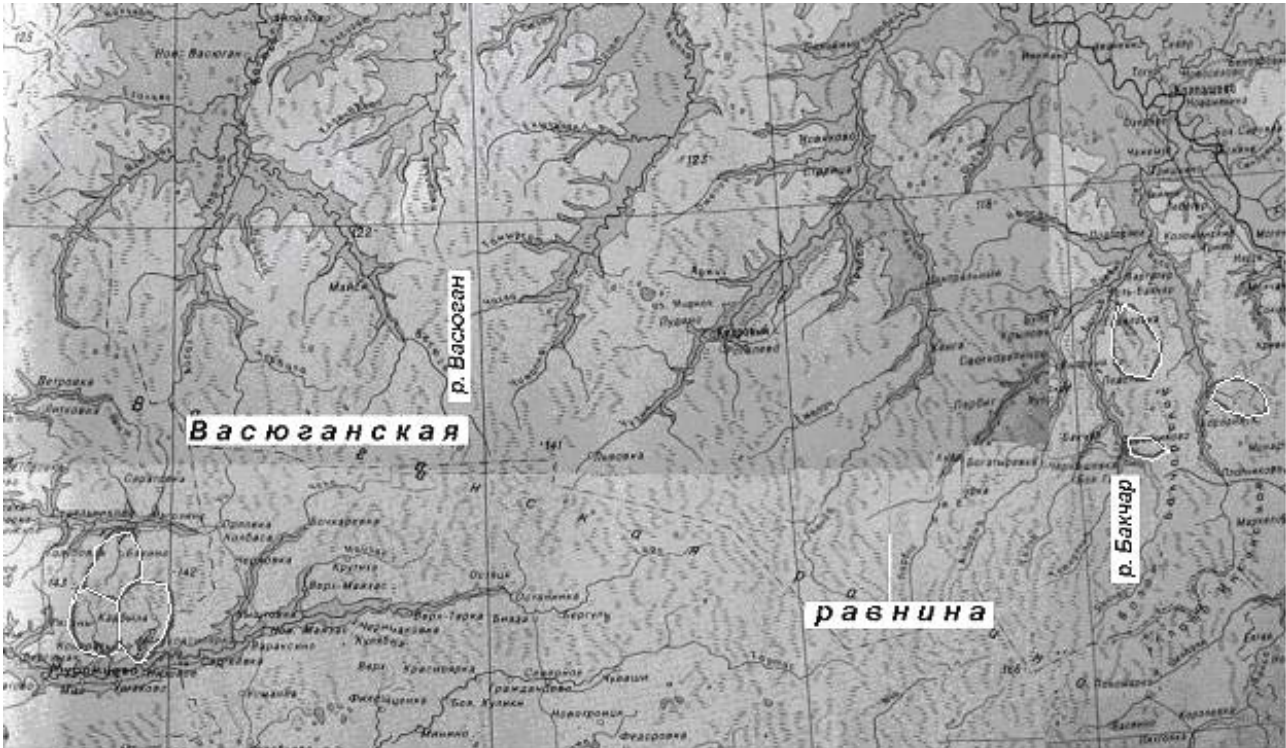
2) Северобарабинский подтаежный округ эвтрофных осоково-гипновых болот в сочетании с сосново-кустарничково-сфагновыми болотами (округ 16).

Совместный период наблюдений за расходами и уровнями воды в реках составил 11 лет (1975–1986 гг.). Метеорологические данные взяты по ближайшим к водосборам исследуемых рек метеостанциям Бакчар и Тара. Основные морфологические характеристики водосборов выбранных рек представлены в табл. 1. В расчетах использовались материалы об ежедневных расходах воды за период половодья, суммы суточных осадков, среднесуточные температуры воздуха, запасы воды в снеге в период максимального его накопления и картографические материалы.

Водный режим рек Васюганского болота характеризуется продолжительным весенним половодьем, сравнительно устойчивой летней и низкой устойчивой зимней меженью. Около 65 % годового стока приходится на период весеннего половодья. Весенний сток плавно изменяется по территории, повышаясь с юго-запада на северо-восток от 50 до 120 мм. Коэффициент вариации весеннего стока равен 0.25 в северной части Васюганского болота и увеличивается к югу до 0.60.

Весенний подъем уровня на болоте начинается обычно в конце марта – начале апреля, практически с момента начала интенсивного снеготаяния. Продолжительность подъема уровня в разные годы различна и зависит в первую очередь от дружности весны. Максимальный весенний уровень, который обычно является и максимальным годовым, наблюдается в среднем через 15 дней после начала подъема. Плавность падения весеннего уровня нередко нарушают обильные осадки, вызывающие новый подъем, который по величине может превосходить максимум, обусловленный снеготаянием. Величина подъема уровня болотных вод в период весеннего половодья в различных микроландшафтах неодинакова: наибольшая – в мохово-лесных и моховых (облесенных сосной) микроландшафтах (80 см), наименьшая – в топях и на мочажинах грядово-мочажинных комплексов (10–15 см).

Несмотря на относительно большую величину весеннего подъема уровней в микроландшафтах лесной, мохово-лесной и моховой групп, а также на грядах болотных комплексов, уровни редко выходят на



Ðēñ.1. Ñõá ìà ðáñĭ ĩēĭ ðáĭēŷ áĭāĭñáĭðĭá ēññēááòá ĭ ŷò ðáē (áðáĭēòŷ ááññáēĭĭá áúááēáĭŷ ááēŷ ĭ óááòĭ ĭ)

Таблица 1

Ĭñĭĭáĭŷá ĭ ĭðòĭēĭáē-áñēðá ðáðáēòáðēñòēēē áĭāĭñáĭðĭá ēññēááòá ĭ ŷò ðáē

Река	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	аболоченность, %	* алесенность, %
Верхняя Тунгуска	479	55	45	45
Нижняя Тунгуска	345	55	20	65
Кейзес	419	44	25	60
Ключ	58	12	15	80
Муза	214	18	10	95
Тига	462	37	20	80

Ĭ ðē ĭ á-áĭēá: *Ĭáññēñòĭñòŷ áēē ð-ááò á ñááŷ ē ĩēĭŷááē, çáĭŷŷòá çááĭēĭ-áĭĭŷĭ ēáñĭ ĭ.

поверхность болота, покрывая лишь наиболее низкие межкочечные понижения. В мохово-травяных микроландшафтах, а также на мочажинных комплексах уровни в весенний период часто находятся выше поверхности болота.

Основным фактором, определяющим величину весеннего стока, является запас воды в снежном покрове. Снегозапасы в приболотном лесу и на болоте практически одинаковы и превышают снегозапасы на открытых полевых участках в среднем на 20 %. Наиболее неравномерное распределение снежного покрова отмечается в грядово-мочажинном комплексе. Коэффициенты вариации, характеризующие пространственную неравномерность распределения снегозапасов, составляют в лесах 0.10–0.15, сосново-сфагновых комплексах 0.10–0.20, грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексах 0.40–0.70 [2].

На величину стока за период половодья помимо снегозапасов существенно влияют еще 2 фактора – количество осадков, выпавших в период формирования половодья, и водопоглотительная способность речного бассейна, которая во многих случаях значительно меняется от года к году.

Снегозапасы и осадки с той или иной степенью точности могут быть определены по данным непосредственных измерений. Что же касается количества воды, поглощенной или задержанной речным бассейном, то оно складывается под воздействием комплекса различных факторов и не может быть определено иначе, как по разности между количеством поступившей в бассейн воды и стоком за половодье.

При наличии данных о запасах воды в снежном покрове задача расчета гидрографа весеннего половодья сводится, по существу, к оценке количества

талой воды, которое будет поглощено почвой, задержано на поверхности речного бассейна и потеряно на испарение [3].

В соответствии с имеющейся информацией для расчета гидрографа половодья была выбрана наиболее подходящая для рассматриваемого региона модель Д. А. Буракова [2], а при практической реализации метода осуществлена существенная ее модификация: все расчеты велись для каждого элемента ландшафта отдельно; расчет таяния снега осуществлялся с переменными коэффициентами стайвания; водоотдача снега рассчитывалась по методу Г. А. Ковзеля [4]; трансформация притока в русловую сеть рассчитывалась по частным кривым добегаия.

Для получения достоверных параметров модели расчеты проводились в два этапа – сначала устанавливались водобалансовые зависимости для всего периода половодья, а затем рассчитывался гидрограф половодья с выделенных элементов ландшафта.

Водобалансовые расчеты. На основании анализа материалов по стоку, запасам воды в снеге и осадкам были получены зависимости весеннего стока от общего количества воды, поступившей в бассейн в период снеготаяния, и предшествующего осеннего увлажнения водосбора. Уравнение зависимости имеет вид (по Е. Г. Попову [3])

$$Y = A [(S+X) - P \cdot \text{Ch}((S+X)/P)],$$

где Y – общий слой стока за половодье, мм;

$$P = P_{\max} - C \cdot \log_{10}(m+1);$$

m – предшествующее осеннее увлажнение, мм;

S – запас воды в снеге, мм;

X – осадки, выпавшие за период снеготаяния, мм;

P – водоудерживающая емкость бассейна перед началом весеннего половодья, мм;

P_{\max} – максимальная водоудерживающая емкость бассейна (при m=0), мм;

C, M, A – параметры уравнения, определены методом оптимизации.

По результатам водобалансовых расчетов, например, для р. Ключ стандартное отклонение составило 62.7 мм, стандартная ошибка прогноза 36.5 мм, а критерий качества прогноза = 0.58, т. е. прогноз классифицируется как удовлетворительный (табл. 2).

На графике (рис. 2) хорошо прослеживается зависимость талого стока (Y) от подачи воды (S+X) и показателя увлажнения (m), о чем свидетельствуют высокие значения коэффициента множественной корреляции (R=0.75) между рядами данных (Y), (S+X) и (m). Минимальные потери при наибольшем осеннем увлажнении составили 123 мм. При наиболее сухих предшествующих периодах потери возрастают до 212 мм. Таким образом, амплитуда колебаний потерь весеннего стока на территории бассейна р. Ключ достигает 170–190 мм.

Параметры водобалансовых зависимостей используются в дальнейшем для расчетов ежедневных рас-

ходов по математической модели гидрографа весеннего половодья исследуемых рек.

Расчет гидрографа стока. Для учета ландшафтных особенностей строения бассейна расчет гидрографа весеннего половодья производился отдельно с каждой зоны с однородными условиями формирования стока (табл. 3). Для расчета гидрографа половодья используется 62 параметра. Часть параметров модели была определена с использованием информации о морфологии бассейнов рассматриваемых рек, остальные – методом оптимизации Розенброка [5].

Разработаны математические модели формирования весеннего половодья для каждой реки с учетом ландшафтных особенностей процессов, происходящих на поверхности водосбора и его русловой сети, получены гидрографы с частей водосбора, с доминирующими ландшафтами для каждой из исследуемых рек.

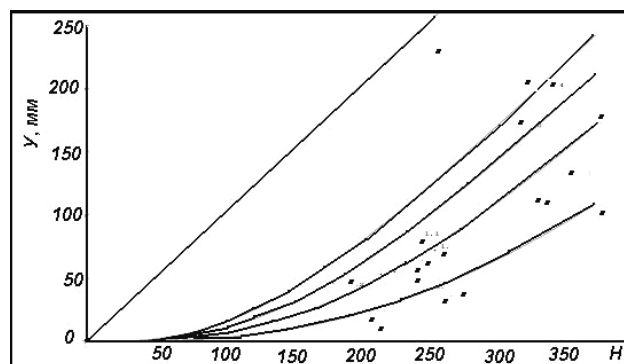
Выполненные расчеты показали значительную неоднородность процессов на заболоченных, лесных и других ландшафтах бассейнов. Основную часть объема половодья составляет сток с лесного ландшафта, частный гидрограф стока которого имеет плавный вид.

Ðàçóèüðòò ù

Математическая модель гидрографа весеннего половодья позволяет проследить условия формирования стока с каждой зоны в пределах бассейна реки. На рис. 3 приводится в качестве примера для многоводного года типичный комплексный график для р. Кейзес.

Величины потерь стока значительно отличаются для каждой зоны: минимальное значение наблюдается в поле (50–70 мм), а максимальное – в заболоченном лесу (120–160 мм). Коэффициент стайвания принимает наибольшие значения в поле (5–7 мм/град/сут), а наименьшие в лесу (2–4 мм/град/сут).

Данная модель дает хорошие результаты вследствие учета неравномерности условий формирования, а также склоновой и русловой трансформации притока на характерных ландшафтах бассейна.

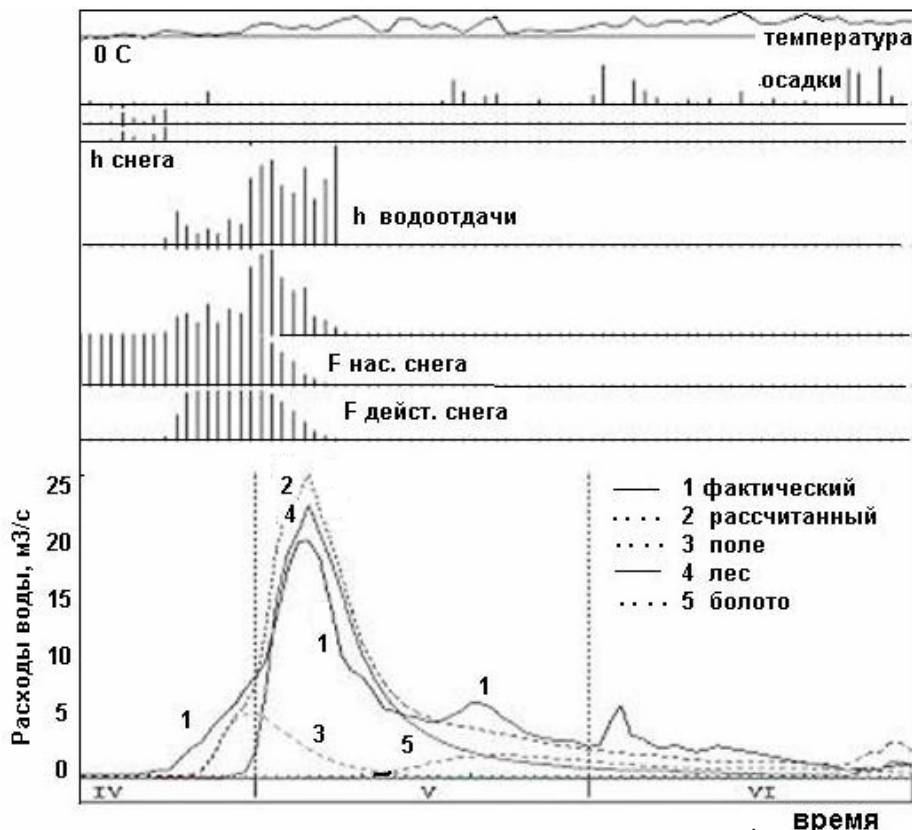


Ðèñ. 2. Çààèñè ìíòü àáñáííáí òòíèà ìò ñíááíçàíáíá, ñèíæáííü ðèèèè è ìñàèèè è, è ìíèàçàòáèü ìñáííáíí óáèèæíáíèü äè. Èð- çà ìäðèá ñ 1975 ìí 1996 ìá

Таблица 2

Διάγραμμα παρατήρησης των ετήσιων ποσοτήτων των υδροφόρων στρωμάτων. Έξαρση - η. Ίση ύψους

Год	S+X	m	Наблюденный слой стока, мм	Расчитанный слой стока, мм	Абсолютная ошибка, мм	Параметр Р, мм
1975	338.0	1.1	111.0	117.6	6.6	259.9
1976	196.4	0.4	43.3	24.8	-18.5	299.9
1977	217.0	3.3	53.3	64.5	11.2	189.2
1978	237.0	1.1	86.6	51.7	-34.9	257.6
1979	329.0	7.4	204.0	213.2	9.2	123.3
1980	182.0	2.2	46.4	34.3	-12.1	217.7
1981	207.0	1.0	24.4	35.1	10.7	264.7
1982	214.6	0.4	10.1	31.5	21.4	299.9
1983	263.0	0.5	32.6	54.8	22.2	294.4
1984	245.0	0.6	44.5	48.4	3.9	284.3
1985	378.0	2.2	177.0	179.4	2.4	216.8
1986	261.0	6.8	228.0	139.6	-88.4	130.3
1987	257.0	2.3	72.0	80.0	8.0	216.2
1988	358.0	1.7	134.0	148.3	14.3	235.8
1989	210.0	0.4	17.0	29.3	12.3	302.0
1990	278.0	3.6	39.2	115.6	76.4	182.6
1991	227.0	0.2	55.2	34.1	-21.1	312.6
1992	242.0	0.4	58.2	43.3	-14.9	299.2
1993	320.0	0.7	172.0	94.1	-77.9	281.3
1994	267.8	0.6	35.8	58.7	22.9	289.8
1995	248.0	5.2	63.9	109.7	45.8	153.3
1996	249.0	1.3	76.5	60.8	-15.7	250.5



Διάγραμμα παρατήρησης των ετήσιων ποσοτήτων των υδροφόρων στρωμάτων. Έξαρση και ύψους 1979

Таблица 3

Ñíñðàà çíí áíäíñáíðíä èññèääóáì üð äáè

Река	она			
	1	2	3	4
ижняя Тунгуска	ес	Поле	олото	ет
ерхняя Тунгуска	»	»	»	»
е зес	»	»	»	»
уза	»	»	»	»
Тига	»	»	»	»
люч	»	»	аболоченны лес	рядово-мочажинны комплекс

Таблица 4

Ñäáíεðäèüííé áíäèç ðàèðè-áñèèð è ðañ-èðáííüð àèäðíäðàðà íä ñðíèä ïíèíáíüü

	Т а			и Т а			Т и а		
	, 3/	W a W a		, 3/	W a W a		, 3/	W a W a	
1978	2.26	1.15		1.58	1.60		3.75	0.52	
1979	2.62	1.25		6.51	1.90		1.70	0.96	
1980	1.30	1.10		1.50	1.36		2.16	0.74	
1981	1.65	0.87	ал	1.00	1.13	ал	1.99	0.76	ал
1982	1.56	0.58	ал	1.37	0.69	ал	2.25	0.43	ал
1983	3.22	0.56		3.31	0.50	ал	6.19	0.31	
1984	3.93	1.57		2.68	1.56		1.54	1.10	
1985	2.15	1.63		1.61	0.98		-	-	-
	л			а			Т и а		
1975	0.27	1.23		-	-	-	-	-	-
1976	0.19	1.76		-	-	-	-	-	-
1977	0.28	1.09		-	-	-	-	-	-
1978	0.41	1.65		1.20	0.80		1.36	0.96	
1979	0.93	1.64		2.10	1.47		4.36	1.26	
1980	0.23	1.45		2.68	0.41		2.56	0.65	
1981	0.34	0.56	ал	1.26	0.40	ал	0.72	0.72	ал
1982	0.41	0.25	ал	0.74	0.64	ал	0.65	0.78	ал
1983	0.45	0.49	ал	2.11	0.32	ал	2.39	0.53	ал
1984	0.37	0.89	ал	1.42	0.64		3.39	0.68	
1985	0.44	1.41		2.61	1.62		6.08	1.58	
1986	1.29	2.53		1.72	0.70		2.70	0.88	

Íðèíä-áíèä: ó - ñäáííä èä. ïðèèä, ï³ñ; Wðàè/Wðañ - ïðíðáíèä ðàèðè-áñèíáí è ðañ-áðííáí íáüáí íä ñðíèä çä ïíèíáíüü; ïí - ïííáíáíüé áíä; ñð - ñäáííéé ïí áíáííðè áíä; ìäè - ìäèíáíüé áíä.

Расчет гидрографа весеннего половодья по модели дает приемлемые результаты в основном за многоводные годы. Приемлемость полученных результатов можно оценить по отношению фактического и рассчитанного объемов стока за период половодья и средним квадратичным ошибкам (табл. 4). Чем ближе данное отношение к единице, тем более приемлемым является результат расчета по модели. Для уточ-

нения расчетов и прогнозов в маловодные и средние по водности годы расчеты все вычисления необходимо проводить в два этапа. Сначала прогнозируется объем стока будущей весны, а затем его распределение во времени.

Ðäáíðä áüííèíáíä ïðè ïíäüäðæèä äðáíðíä (ÐÓÔÈ ' 06-05-64170 è Í Ø 3938-2008.5).

Список литературы

1. Èèññ Í. È., Áäðáííä È. È., Áäáðíä Í. Æ. è äð. Áíèíðíüä ñèñðáíü çáíáííé Ñèáèèð è èð ïðèðíáííððáííä çíä-áíèä. Óðèä, 2001.
2. Áóðáèíä Æ. Æ. Èðèáüá áíäááíèý è ðañ-áð àèäðíäðàðà ïíèíáíüü. Óííè, 1978.

