

Краткосрочный прогноз весеннего стока рек, впадающих в волжские водохранилища (Кострома, Унжа, Ветлуга)

Условия формирования стока рек Кострома, Унжа и Ветлуга

Реки Кострома, Унжа и Ветлуга имеют общее направление течения с севера на юг. Первые две из них впадают в Горьковское, а Ветлуга, - в Чебоксарское водохранилища. Длина русла и площадь водосбора этих рек равны, соответственно, 354, 426 и 889 км и 16000, 27800, 39400 км².

Большая часть территории бассейнов перечисленных рек расположена в пределах слабоволнистой Унженско – Ветлужской равнины. Водораздельные линии проходят по достаточно расчлененным грядам. В частности, водораздел между бассейнами Костромы и Унжи простирается по гребню Галичско – Чухломской гряды.

На значительных площадях водосборов преобладают подзолистые почвы, преимущественно суглинистые, песчаные и супесчаные, а на заболоченных участках - болотные.

Бассейны рассматриваемых рек расположены в лесной зоне. Залесенность водосборов рек уменьшается с севера на юг. Выше водомерных постов Кострома– Буй, Унжа– Макарьев и Ветлуга – Воскресенское она составляет 70 – 85%. Леса в основном представлены хвойными породами.

Рассматриваемая территория расположена в зоне умеренно-континентального климата с холодной зимой и умеренно теплым летом. Погода в течение зимнего периода довольно устойчива, оттепели непродолжительны, наступают редко и отмечаются, главным образом, осенью во время установления снежного покрова. Годовое количество осадков и максимальные запасы воды в снеге в бассейнах рассматриваемых рек увеличиваются с юга на север и с запада на восток. Это хорошо прослеживается на примере двух станций - Чухлома и Пышуг, расположенных почти на одной широте, примерно в 200 км друг от друга. На первой из них (расположенной западнее) среднее годовое количество осадков и максимальные запасы воды в снеге составляют 625 мм и 135 мм, а на второй (расположенной восточнее) – 680 мм и 170 мм. Максимальные запасы воды в снеге наблюдаются в основном в середине и во второй половине марта, а максимальные жидкие осадки приходятся на июнь и июль. За указанные два месяца в бассейнах рассматриваемых рек выпадает около 28% годовых осадков.

Изменчивость температуры воздуха на рассматриваемой территории сравнительно невелика.

На всех трех реках максимальные расходы (уровни) воды формируются в период снеготаяния. Причем на р. Кострома они наблюдаются чаще всего в апреле, а на р. Ветлуга, - преимущественно в мае.

Исходные гидрометеорологические данные

При разработке методов прогноза использовались ежедневные данные о расходах и уровнях воды в гидрометрических створах речных систем. Для определения промежуточного бокового притока и задания начальных значений параметров модели трансформации привлекались также сведения о площадях водосборов, скоростях течения воды. Все расчеты выполнены по материалам наблюдений за 15-летний период (с 1971 по 1983 г.).

Расчеты расходов (уровней) воды по фактической информации

Для прогнозирования расходов (уровней) воды в выходных створах выделенных участков речных систем Унжи и Ветлуги использовалась линейная модель трансформации водных масс в руслах рек с сосредоточенным боковым притоком. Эта модель достаточно известна и широко применяется на практике [1, 2, 5]. Модель основана на использовании так называемых «кривых добегания» для каждого расчетного участка. Кривая добегания описывает трансформацию расходов воды в процессе движения водных масс от входного до замыкающего створа. В том случае, когда в выходном створе имеются только данные об уровнях воды, предусмотрен пересчет уровней воды в расходы с использованием условной кривой расходов воды [2].

Разработка методики включает два основных этапа, первый из которых заключается в определении объемных или площадных коэффициентов K_i для всех расчетных участков рассматриваемых рек, а второй - в определении параметров n_i и τ_i кривой добегания для этих участков. В тех случаях, когда замыкающим створом участка является уровенный пост, необходимо также определение параметров a , b и H_0 параболической аппроксимации условной кривой расходов воды. Значения указанных параметров находятся методом оптимизации или подбора и из их различных вариантов принимаются те, при которых среднеквадратичные ошибки расчетов ежедневных расходов (уровней) воды за период половодья являются наименьшими [2].

Для определения коэффициентов K_i была проделана увязка объемов стока за половодье по длине рассматриваемых рек. Увязка стока произведена исходя из данных входных и замыкающих створов 10 выделенных участков рек, из них: на Костроме – один, на Унже – три и на Ветлуге – шесть. Замыкающими створами на участке Костромы является г. Буй, на Унже – г. Кологрив, г. Мантурово и г. Макарьев и на Ветлуге – с. Михайловцы, г. Шарья, г. Ветлуга и пос. Варнавино, пос. Ветлужский и пос. Воскресенское. В качестве входных данных на перечисленных 10 участках использованы ежедневные расходы воды периода половодья по 19 гидростворам, 7 из которых расположены на рассматриваемых реках, а 12 – на их притоках (рис.1).

После того как были определены окончательные значения коэффициентов K_i , для каждого входного створа находились параметры соответствующей кривой добегания, а для трех расчетных участков также определялись параметры условной кривой расходов воды.

Принятые значения коэффициентов K_i , обеспечивающие удовлетворительную увязку объема стока половодья на всех 10 участках, и значения параметров приведены в табл. 1.

На основе фактических ежедневных расходов (уровней) воды по трансформационной модели с параметрами, приведенными в табл. 1, произведены расчеты гидрографа половодья для 7 расходных створов, а для 3 уровенных – хода ежедневных уровней половодья. Оценка результатов расчета проведена по известному критерию S / σ_{Δ} (табл.2).

Визуальное сравнение фактических и рассчитанных расходов (уровней) воды, а также анализ данных табл. 2 показывают, что используемая расчетная трансформационная модель для всех трех рассматриваемых нами речных систем дает вполне удовлетворительные результаты. В то же время, оценки для створов р. Ветлуга – г. Ветлуга за 1979, 1980 гг. и р. Ветлуга – пос. Ветлужский за 1974, 1979, 1981 гг. оказались неудовлетворительными. При этом следует подчеркнуть, что годы с неудачными расчетами были самыми многоводными в рассматриваемой 15-летней выборке.

На наш взгляд наличие неудачных расчетов обусловлено тем, что определение величин σ_{Δ} для названных створов произведено по выборке, включающей не только многоводные годы, но также и годы со средней водностью. Поэтому для многоводных лет, особенно для периода подъема половодья, величины σ_{Δ} оказались несколько заниженными. На качество расчетов повлияло также то обстоятельство, что начало подъема половодья в створах, расположенных в среднем и нижнем течении Ветлуги, начинается раньше, чем на ее верхних створах. Из-за этого рассчитанные для нижних створов расходы воды периода

подъема вполне могут занижаться при использовании в качестве входной информации данных верхних створов.

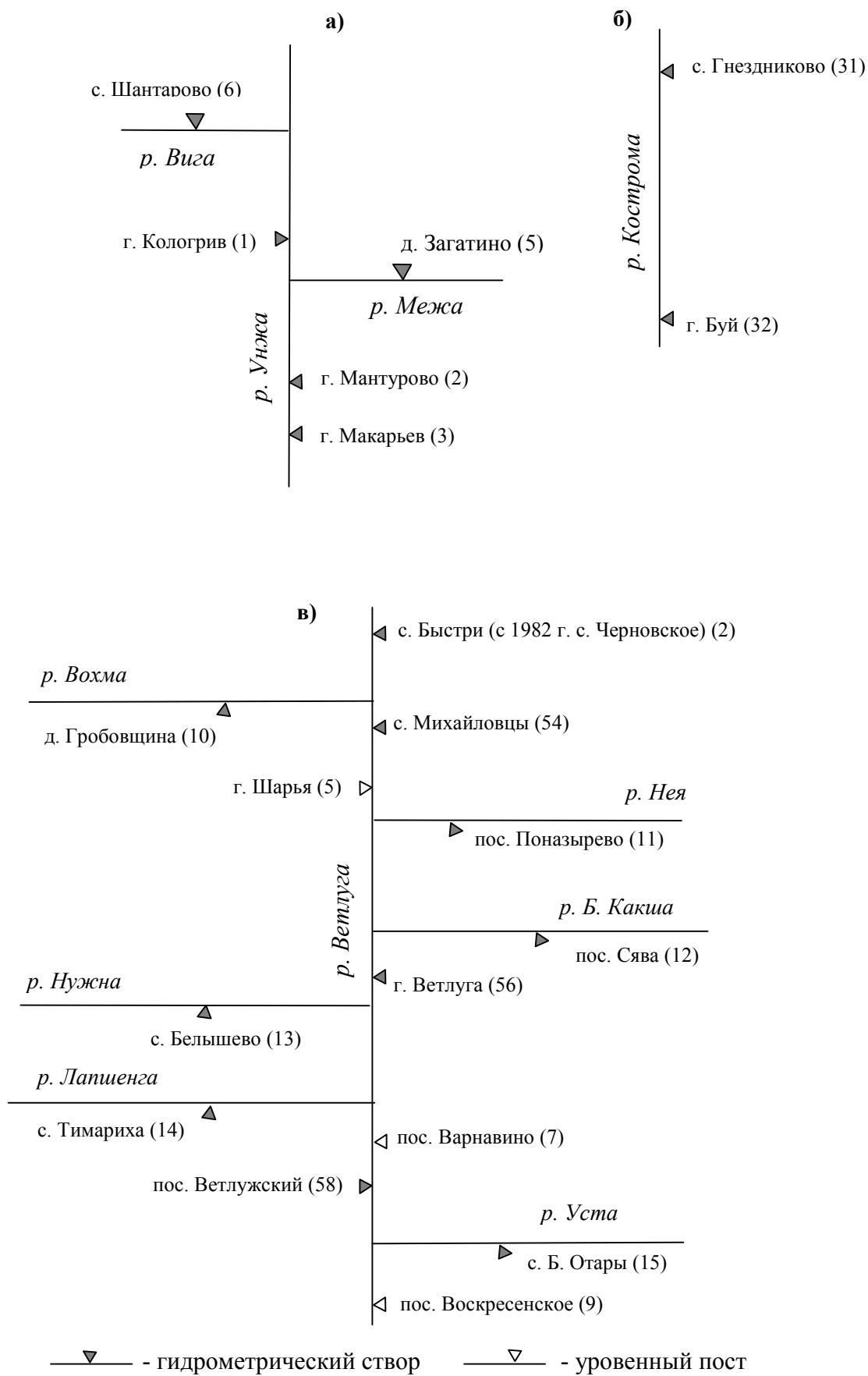


Рис. 1. Схемы речных систем Унжи (а), Костромы (б) и Ветлуги (в).

Таблица 1

Принятые значения параметров кривых добегания, условных кривых расходов воды и коэффициентов K_i для расчетных участков рек Кострома, Унжа и Ветлуга

Наименование замыкающего створа расчетных участков, по которым необходимы прогнозы	Наименование входного створа	№ входного створа в расчетной схеме	Объемный коэффициент K_i	Параметры кривых добегания		Параметры условных кривых расходов воды для уровенных постов		
				n_i	τ_i	a	b	H_0
Кострома – Буй (32)	Кострома – Гнездиново	31	6.68	1.47	1.57	-	-	-
Унжа – Кологрив (1)	Вига – Шарганово	6	6.49	2.63	1.44	-	-	-
Унжа – Мантурово (2)	Унжа – Кологрив	1	1.00	3.33	0.94	-	-	-
	Межа – Загатино	5	2.22	1.53	0.52	-	-	-
Унжа - Макарьев (3)	Унжа – Мантурово	2	1.33	1.00	2.53	-	-	-
Ветлуга – Михайловцы (54)	Ветлуга – Быстри (до 1981 г.)	1	3.66	6.82	0.72	-	-	-
	Ветлуга–Черновское (с 1982 г.)	22						
	Вохма – Гробовщина	10						
Ветлуга – Шарья (5)	Ветлуга – Михайловцы	54	1.18	1.00	2.04	0.400.6	3.606.0	20
Ветлуга – Ветлуга (56)	Ветлуга – Михайловцы	54	1.13	3.70	2.13	-	-	-
	Сумма расходов рек Нея – Поназырево и Б. Какша - Сява	23	3.68	1.56	1.30	-	-	-
Ветлуга – Варнавино (7)	Ветлуга – Ветлуга	56	1.01	7.14	0.64	0.405.5	3.424.0	-49
	Сумма расходов рек Нужна -Бельшево и Лапшенга-Тимариха	27, 33	4.59	4.29	0.74	-	-	-
Ветлуга – Ветлужский (58)	Ветлуга – Ветлуга	56	1.09	5.16	1.15	-	-	-
	Сумма расходов рек Нужна -Бельшево и Лапшенга-Тимариха	27, 33	5.72	2.07	5.00	-	-	-
Ветлуга – Воскресенское (9)	Ветлуга – Ветлужский	58	1.01	2.72	0.86	0.392.8	3.461.7	-60
	Уста – Б. Отары	15	1.12	1.00	0.30	-	-	-

Оценка (S / σ_{Δ}) расчета ежедневных расходов (уровней) воды рек Кострома, Унжа и Ветлуга за период половодья.

Наименование закрывающего створа участка	Величины S / σ_{Δ}				
	$\Delta=1$	$\Delta=2$	$\Delta=3$	$\Delta=4$	$\Delta=5$
Кострома - Буй	0,42	0,27	0,18	0,13	0,10
Унжа – Кологрив	0,22	0,22	0,24	0,21	0,19
Унжа – Мантурово	0,24	0,17	0,13	0,11	0,09
Унжа – Макарьев	0,37	0,32	0,26	0,22	0,18
Ветлуга – Михайловцы	0,53	0,58	0,54	0,52	0,41
Ветлуга – Шарья	0,77	0,73	0,67	0,66	0,63
Ветлуга – Ветлуга	0,71	0,76	0,82	0,83	0,77
Ветлуга – Варнавино	0,62	0,66	0,64	0,64	0,61
Ветлуга – Ветлужский	0,85	0,90	0,87	0,83	0,78
Ветлуга - Воскресенское	0,88	0,55	0,45	0,40	0,38

Прогнозы расходов (уровней) воды для всего периода половодья.

В процедуре выпуска прогнозов имеются существенные отличия в исходной информации по сравнению с расчетами. Суть этих отличий заключается в следующем.

1. При прогнозе данные по всем входным створам являются фактическими (измеренными) величинами только до дня выпуска прогноза t .

2. Для всех входных створов верхних (на данной реке) расчетных участков, а также для входных створов, расположенных на притоках трех рассматриваемых рек, в качестве входных данных на период заблаговременности прогноза должны использоваться некоторые оценки значений расходов (уровней) воды. В предлагаемой методике задание расходов воды во входных створах на период заблаговременности осуществляется с помощью методов экстраполяции временного ряда расходов воды [3]. В принципе для этих целей могут использоваться и другие подходы.

3. Прогнозные расходы воды в закрывающих створах верхних участков Унжи и Ветлуги используются в качестве входных данных периода заблаговременности при выпуске прогноза для нижерасположенных участков.

4. При выпуске прогнозов использовалась процедура коррекции, исправляющая прогнозируемые значения расходов или уровней воды в выходном створе, причем величина поправки находится путем минимизации ошибки расчета прогнозных значений за несколько последних расчетных временных интервалов перед выпуском текущего прогноза [5].

С учетом отмеченных особенностей, были выпущены и оценены проверочные прогнозы за периоды половодья по закрывающим створам всех 10 расчетных участков (табл.3).

Оценка (S / σ_{Δ}) проверочных прогнозов ежедневных расходов и уровней воды рек Кострома, Унжа и Ветлуга за период половодья

Наименование закрывающего створа участка	Величины S / σ_{Δ}				
	$\Delta=1$	$\Delta=2$	$\Delta=3$	$\Delta=4$	$\Delta=5$
Кострома - Буй	0,37	0,35	0,40	-	-
Унжа – Кологрив	0.24	0.30	0.34	0.40	0.43
Унжа – Мантурово	0.32	0.30	0.31	0.33	0.35
Унжа – Макарьев	0.33	0.30	0.27	0.25	0.24
Ветлуга – Михайловцы	0.50	0.56	0.58	0.58	0.56
Ветлуга – Шарья	0.84	0.82	0.78	0.79	0.80
Ветлуга – Ветлуга	0.75	0.90	1.05	1.06	1.06
Ветлуга – Варнавино	0.62	0.66	0.69	0.74	0.73
Ветлуга – Ветлужский	0.77	0.84	0.80	0.77	0.81
Ветлуга - Воскресенское	0.88	0.65	0.60	0.57	0.57

Сравнение результатов расчетов и проверочных прогнозов, помещенных в табл. 2 и 3, показывает, что оценки расчетов несколько выше по сравнению с оценками прогноза. Это вполне объяснимо, т.к. все расчеты выполнены на фактическом материале, а выпуск проверочных прогнозов осуществлен на исходных данных, используемых в оперативной практике. Тем не менее, для большинства створов качество проверочных прогнозов можно признать вполне удовлетворительным.

Однако следует подчеркнуть, что за ряд лет по некоторым створам р. Ветлуга проверочные прогнозы оказались неудачными. Основными причинами этого, на наш взгляд, являются те же самые обстоятельства, на которые указывалось при рассмотрении результатов расчетов.

Разработанный метод позволяет выпускать прогнозы для рассматриваемых створов рек со следующей заблаговременностью:

Кострома – Буй	1 – 2 суток	Прогноз на трое суток возможен только для пика и спада половодья
Унжа – Кологрив	1 – 2 суток	Прогноз на трое суток возможен только для пика и спада половодья
Унжа – Мантурово	1 – 3 суток	
Унжа – Макарьев	1 – 4 суток	
Ветлуга – Михайловцы	1 – 3 суток	
Ветлуга – Шарья	1 – 4 суток	
Ветлуга -Ветлуга	1 – 5 суток	
Ветлуга –Варнавино	1 – 5 суток	
Ветлуга –Ветлужский	1 – 5 суток	
Ветлуга -Воскресенское	1 – 5 суток	

Прогностическая схема реализована в виде системы программ, позволяющей выпускать прогнозы в реальном масштабе времени.

Прогнозы превышения уровнями воды опасных отметок

Поскольку для практического использования наиболее важным является прогнозирование высоких уровней воды, выпуск прогнозов в оперативном режиме целесообразно начинать не с первого дня половодья, а по мере приближения уровня в данном створе к установленному для него опасному значению. Оценка эффективности этих прогнозов производится по величине $0.674 \sigma_{\Delta}$, где σ_{Δ} выражено в см. Эти оценки для всех 10 створов оказались вполне удовлетворительными. Переход от расходов к уровням осуществлялся при помощи кривых $Q = f(H)$.

Проблема предсказания превышений уровнями воды опасных отметок представляет большой интерес, т.к. нанесенный ущерб от затопления жилых построек и хозяйственных объектов определяется не только величиной превышения уровнями воды опасных отметок, но и продолжительностью этого превышения. Указанная продолжительность была определена для каждого поста по 15-летней выборке отдельно на подъеме и спаде половодья. Некоторые обобщенные количественные характеристики продолжительности периодов превышения опасных отметок уровнями воды приведены в табл. 4.

Таблица 4

Количественные характеристики продолжительности превышения уровнями воды опасных отметок в течение периода половодья в 1971 – 1985 гг.

Река, пункт наблюдения	Средняя продолжительность превышения (сутк)			Максимальная общая продолжительность за половодье	Минимальная общая продолжительность за половодье	Число лет, в которых уровни воды не достигали опасных отметок
	подъем	спад	общая			
Кострома - Гнездниково	3	2	5	9	1	5
Кострома – Буй	4	2	6	11	3	5
Унжа – Кологрив	5	4	9	11	7	10
Унжа – Мантурово	5	4	9	14	3	9
Унжа – Макарьев	6	5	11	18	5	5
Ветлуга – Михайловцы	6	9	15	27	4	1
Ветлуга – Шарья	7	12	19	25	7	2
Ветлуга – Ветлуга	12	13	25	38	4	1
Ветлуга – Варнавино	14	16	30	41	19	5
Ветлуга – Ветлужский	14	16	30	38	15	5
Ветлуга - Воскресенское	16	14	30	46	5	1

Анализ сведений, приведенных в табл. 4, показывает следующее.

1. В годы, когда максимальные уровни воды в период половодья превышали опасные отметки, продолжительность превышения уровнями воды опасных отметок на рассматриваемых нами реках была далеко не одинакова. Так, на Костроме в среднем эта продолжительность составляет 5 – 6 сут, на Унже – 9 – 11, в верховьях Ветлуги – 15 – 19, а в среднем и нижнем ее течении, - 25 – 30 сут. Причем на Костроме и Унже

продолжительность превышения уровнями воды опасных отметок на подъеме больше, чем на спаде, а на р. Ветлуга – наоборот.

2. Обычно, в годы с высокими максимальными уровнями половодья (1979, 1980, 1981 гг.) продолжительность превышения уровнями воды опасных отметок заметно больше по сравнению с не столь многоводными годами. Это дает основания полагать, что основным фактором, влияющим на длительность периода превышения опасных отметок, является величина максимального уровня воды за половодье.

В подтверждение вывода, сформулированного в предыдущем абзаце, для каждого из рассматриваемых створов были построены представленные на рис. 2 и 3 графики связи максимальных уровней воды и продолжительности превышения уровнями воды опасных отметок. С нашей точки зрения эти связи являются не только иллюстративными, но имеют также и практическое значение. В частности, по ним можно в день прохождения максимального за половодье расхода воды выпустить ориентировочный прогноз продолжительности превышения уровнями опасных отметок на период спада половодья.

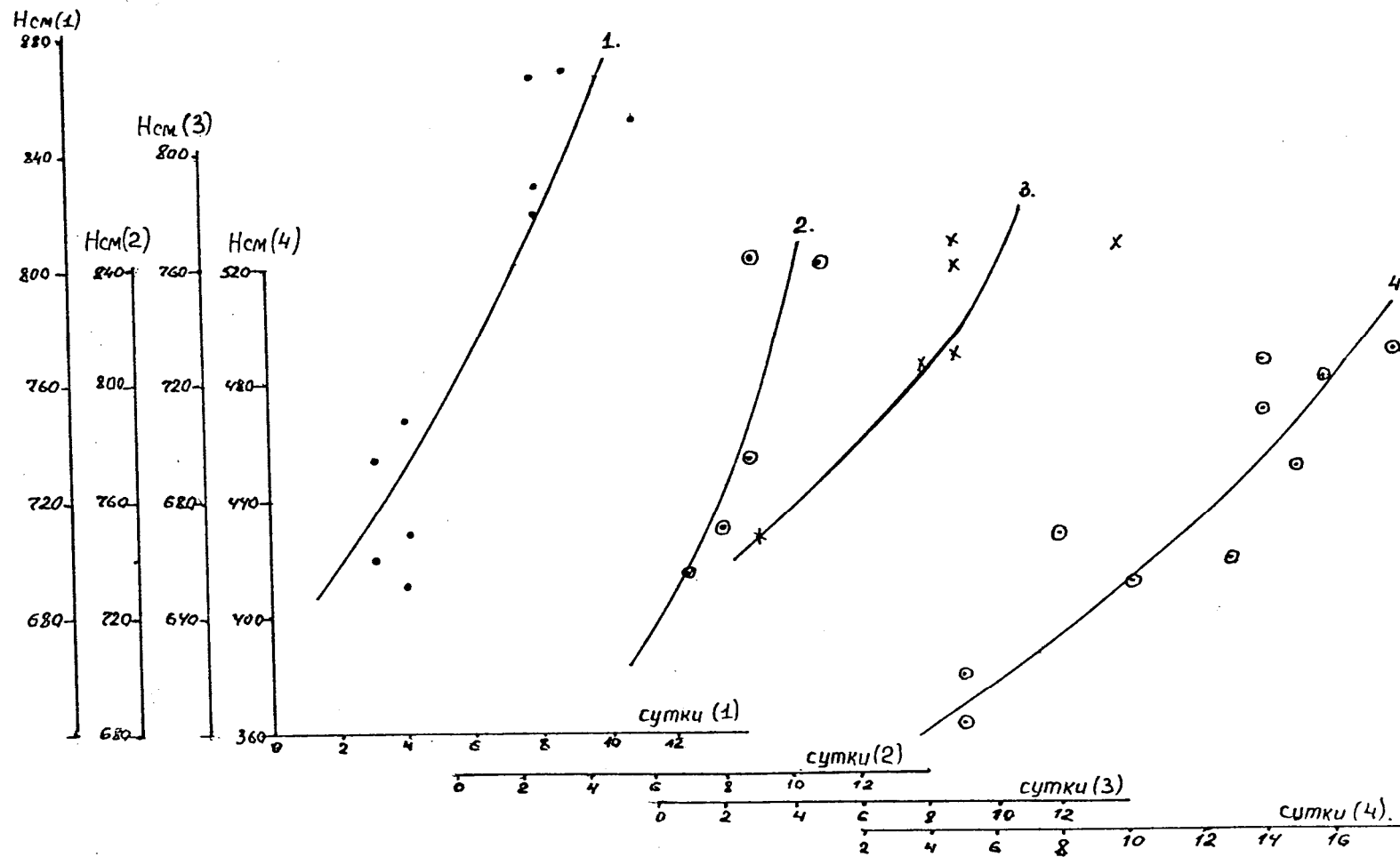


Рис. 2. Зависимость величины продолжительности периода превышения уровнями воды опасных отметок от максимальных уровней воды весеннего половодья для р. Кострома – г. Буй (1), р. Унгжа – г. Кологрив (2), р. Унгжа – г. Мантурово (3), р. Унгжа – г. Макарьев (4).

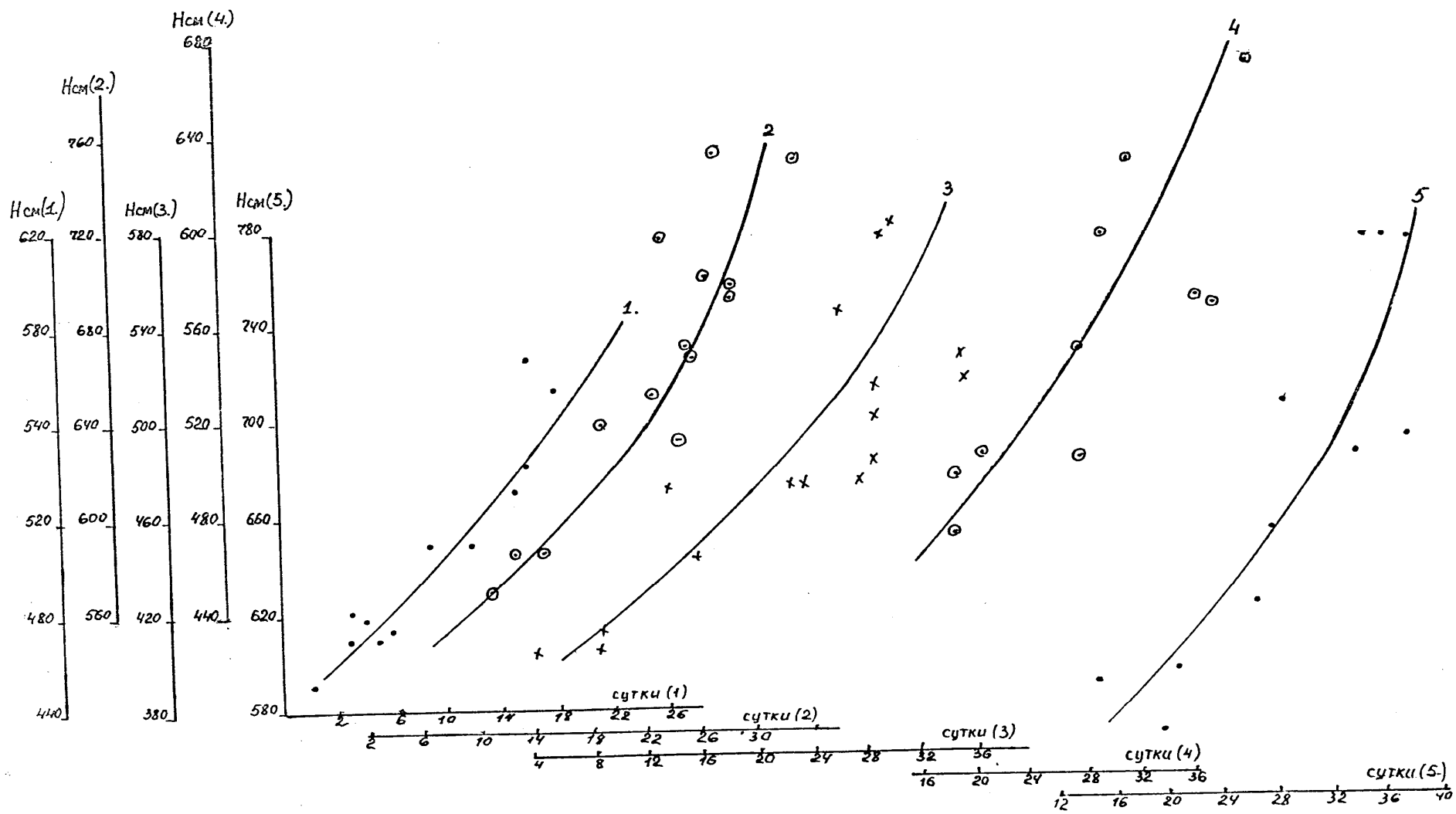


Рис. 3. Зависимости величины продолжительности периода превышения уровнями воды опасных отметок от максимальных уровней воды весеннего половодья для р. Ветлуга : с. Михайловцы (1), г. Шарья (2), г. Ветлуга (3), с. Варнавино (4), пос. Ветлужский (5).

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.