



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(дипломный проект)

На тему **Методы подсчета стока на примере
рек бассейна р. Оби**

Исполнитель Г.В.Колягина

Руководитель д.г.н., проф.
Н.Б.Барышников

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

«26» 26 2016г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сокращения	6
Введение	8
1 Природные условия территории Западно-Сибирского УГМС	9
1.1 Физико-географические условия территории исследования	8
1.1.1 Рельеф и геология	9
1.1.2 Гидрогеология	10
1.1.3 Основные черты климата	11
1.2 Общая характеристика гидрографической сети территории ответственности Западно-Сибирского УГМС	14
1.3 Гидрологическая изученность территории и общая характеристика гидрологического режима рек	15
1.3.1 Состояние изучения уровенного режима	20
1.3.2 Изучение режима стока воды	20
1.3.3 Типы водного режима рек территории исследования	21
2 Методы подсчета стока по данным материалов наблюдений на реках ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»	22
2.1 Актуальность практического применения методов подсчета стока на реках бассейна р.Оби в различных географических зонах	22
2.2 Сток воды. Структура руслового потока	24
2.3 Методика измерений скоростей течения на гидрологической сети УГМС	28
2.4 Кривые расхода воды	29
2.5 Методы подсчета стока воды в различные периоды года	31
2.5.1 Особенности подсчета стока по временным кривым $Q(H)VP$	32
2.5.2 Подсчет стока при неустановившемся режиме («паводочные петли»)	33

2.5.3	Подсчет стока воды в зимний период	34
2.5.4	Подсчет стока в период зарастания водной растительностью	37
2.5.5	Экстраполяция кривых расходов	46
2.5.5.1	Экстраполяция кривых по уравнению кинематической волны	47
2.5.5.2	Экстраполяция на основе формулы Шези	
2.5.5.3	Исследование коэффициента Шези C , параметра M , уклона водной поверхности I для экстраполяции кривых расходов	48
2.5.5.4	Исследование зависимостей $C = f(H)$, $M = f(H)$, $I = f(H)$ по данным наблюдений на постах Западно-Сибирского УГМС	50
2.5.5.5	Экстраполяция кривых в условиях пойменных створов	58
3	Примеры подсчета стока воды на постах ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» за 2014, 2015 гг., экстраполяция кривых расходов воды до наивысших уровней различными методами	59
3.1	Подсчет стока за 2014 год, экстраполяция $Q(H)$ различными методами на ГП-1 р. Бия – с. Турочак	59
3.2	Подсчет стока за 2014 год, экстраполяция $Q(H)$ различными методами на ГП-1 р. Иша с. Усть-Иша	65
3.3	Подсчет стока воды за год, экстраполяция кривой расходов на ГП-1 р. Ануй – с. Солонешное	72
3.4	Подсчет стока за 2014 год по данным наблюдений ГП-1 р. Ануй – свх. Ануйский	80
3.5	Подсчет стока воды за 2014 год на ГП-1 р. Белая - с. Бугрышиха	85
3.6	Особенности подсчета стока воды за 2014 год по данным наблюдений на ГП-1 р. Чарыш - с. Чарышское	87
3.7	Подсчет стока воды с применением $Q(H)$ ПЕТЛ на ГП-1 р.Омь – с. Вознесенское за 2014, 2015 гг.	90
3.8	Подсчет стока воды с применением $Q(H)$ ПЕТЛ на ГП-1 р. Тара – с. Верхняя Тарка	95
	Особенности подсчета стока воды за 2015 год на ГП-1 р. Тартас	

3.9	– с. Венгерово в условиях подпора от водоприемника – реки Оми	98
3.10	Примеры вычисления стока на реках лесной зоны в условиях затопления пойм в 2015 году	100
3.10.1	ГП-1 р. Чулым – с. Зырянское	
3.10.2	ГП-1 р. Большая Пиковка – с. Дальнее	
	Заключение	
	Список использованных источников	107

Приложение А – Исходные данные для построения графиков $C = f(H)$. $M = f(H)$. $I = f(H)$

Приложение Б – Таблица Измеренные расходы воды, р. Бия – с. Турочак, 2014 г.

Приложение Б1 – Таблица увязки кривых гидравлических элементов расхода воды

Приложение Б2 – Профиль гидроствора до УВВ ГП-1 Турочак

Приложение Б3 – Комплексный график р. Бия – с. Турочак

Приложение Б4 – График зависимости гидравлических элементов расхода воды от уровня ГП-1 Турочак

Приложение Б5 – Таблица 1.2 Уровень воды р. Бия – с. Турочак

Приложение Б6 – Таблица 1.3 Расход воды р. Бия – с. Турочак

Приложение В - Таблица Измеренные расходы воды, р. Иша – с. Усть – Иша, 2014 г.

Приложение В1 – Комплексный график р. Иша - с. Усть-Иша

Приложение В2 – Таблица увязки кривых гидравлических элементов расхода воды, р. Иша – с. Усть-Иша

Приложение В3 – Таблица 1.2 Уровень воды, р. Иша - с. Усть -Иша

Приложение В4 – Таблица 1.3 Расход воды, р. Иша – с. Усть-Иша

Приложение Г – Таблица Измеренные расходы воды, р. Ануй – с. Солонешное

- Приложение Г-1- Графики зависимости гидравлических элементов, р. Ануй – с.Солонешное, 2014 г.
- Приложение Г2 – Таблица 1.2 Уровень воды, р.Ануй – с.Солонешное
- Приложение Г3 – Таблица 1.3 Расход воды, р.Ануй – с.Солонешное
- Приложение Д - Таблица Измеренные расходы воды, р.Ануй – свх.Ануйский, 2014 г.
- Приложение Д1 - Графики зависимости гидравлических элементов, р. Ануй – свх. Ануйский, 2014 г.
- Приложение Е - Таблица отклонения ИРВ от КР, Таблица координат кривой расхода воды, р. Омь - с. Вознесенское
- Приложение Ж – Комплексный график р.Тара - с. Верхняя Тарка
- Приложение Ж1 - Графики зависимости гидравлических элементов расхода, р. Тара – с.Верхняя Тарка
- Приложение И - Графики зависимости гидравлических элементов расхода р. Тартас – с. Венгерovo
- Приложение К - Комплексный график р. Большая Пиковка - пос. Дальнее
- Приложение К1 - Графики зависимости гидравлических элементов расхода р. Большая Пиковка – пос. Дальнее

СОКРАЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

БС – Балтийская система высот;

БС-77 – Балтийская система высот 1977 г.;

г. – год, город;

гг. – годы;

ГВВ – горизонт высоких вод;

гидроствор – гидрометрический створ;

ГМО – гидрометеорологическая обсерватория;

ГМС, гм.ст. – гидрометеорологическая станция;

ГП-I – гидрологический пост I разряда;

ГР-70, ГР-64 - гидрометрическая дистанционная установка;

ЗГМО – зональная гидрометеорологическая обсерватория;

ИРВ – измеренные расходы воды;

Кзим – зимний коэффициент;

Кзар – коэффициент зарастания;

КР – кривая расходов воды;

кв.км – квадратный километр;

кв.м – квадратный метр;

км – километр;

крд – кордон;

куб.км – кубический километр;

куб.м – кубический метр;

м – метр;

мм – миллиметр;

млн. – миллион;

наиб. – наибольший;

наим. – наименьший;

низш. - низший;

НУ – низший уровень;

пгт – поселок городского типа;

п.н. – постоянное начало;

пос. – поселок;

р. – река;

рр. – реки;

с – секунда;

с. – селение, село;

СУВ – самописец уровня воды;

т. – том;

табл. – таблица;

УГМС – управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

УВВ – уровень высоких вод;

ч – час;

ч. – часть;

ЦГМС - центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Учет стока воды – важнейшей гидрологической характеристики, изучаемой на гидрологической сети Росгидромета, имеет огромное значение как для общей оценки водных ресурсов, так и для использования результатов наблюдений в целях научных обобщений, а также для решения прикладных хозяйственных задач.

Огромная роль в этом вопросе отводится обеспечению точности результатов измерений, зависящих от соблюдения методик, программ измерений, используемого гидрометрического оборудования и приборов. Сложность организации гидрометрических работ в различных климатических условиях и в различные фазы водного режима (высокие уровни половодья, переходные периоды установления и разрушения ледостава, зашугованность, зарастание водной растительностью) является основным фактором снижения точности учета стока и значительно затрудняет выбор методов вычисления стока в различные периоды года.

Методика вычисления стока сама по себе может обеспечить наиболее полное и простое использование данных наблюдений [6], но только в том случае, если она обоснована надежными данными измерений. Это показано в работе на примере подсчета стока в различные фазы водного режима при различном объеме данных наблюдений.

В настоящем проекте проведен анализ методов подсчета стока по данным измерений на малых и средних реках бассейна р.Оби, на постах, относящихся к территории деятельности ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Особое внимание уделено методам экстраполяции кривых расходов воды до наивысших уровней при отсутствии данных измерений. Для этой цели исследованы параметры, входящие в формулу Шези по гидрологическим постам Западно-Сибирского УГМС, где производятся наблюдения за уклонами водной поверхности.

Актуальность исследования надежности различных методов экстраполяции обоснована тем, что в прошедшие годы экстремальные дождевые паводки (на Алтае в 2014 году) и волны весеннего половодья (в бассейне Средней Оби в 2015 году) не были обеспечены измерениями при высших уровнях в силу ограниченности технических средств (приборов, оборудования, плавсредств) и опасности выполнения измерений в условиях, когда происходило разрушение мостов, размыв дорог, шло подтопление улиц и домов. В этом случае оценка максимального и среднегодового стока для различных целей – режимного, оперативного, статистического, становится невозможной. Для решения этой задачи необходимо было применить расчетные методы и оценить их точность.

Целью работы является:

- применение методов подсчета стока и оценка их точности на реках различных зон Западной Сибири для подсчета годового стока,
- подготовка рекомендаций специалистам сети по усовершенствованию учета стока воды и изучению режима рек на участке постов,
- исследование параметров, входящих в формулу Шези (коэффициента Шези, уклона водной поверхности, параметра M) отдельно для каждого гидроствора и их оценка для возможности экстраполяции;
- изучение репрезентативности уклонных постов по наблюдениям за местными уклонами на гидрологической сети.

Предметом исследования является гидрологический режим рек бассейна р.Оби, гидравлические особенности потока на участках постов, оказывающие влияние на условия протекания и в конечном итоге – на точность учета стока воды, методы вычисления стока за различные периоды года,

Объекты исследования - реки Западной Сибири, относящиеся к различным природным зонам (рисунок 1.1).

Исходными данными послужили материалы наблюдений гидрологической сети Западно-Сибирского УГМС, рабочие материалы отдела гидрологии и водного кадастра, используемые для анализа гидрологического

режима рек, архивные материалы и другие источники. В таблице 1.1 приводится список постов, данные наблюдений по которым использованы в работе.

В ходе работы проведена оценка гидрологической изученности территории Западно-Сибирского УГМС на современном этапе.

Рисунок 1.1 Схема гидрологических постов Западно-Сибирского УГМС

Таблица 1.1 - Список гидрологических постов ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»,
данные по которым приведены в работе

од поста	Река	Пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля поста	Средний уклон, ‰	Дата открытия поста	Куда впадает, принадлежность бассейну
10044	Бия	с. Турочак	220	25300	3047.31 м БС - 77	(1.3)	02.05.1938	р. Обь (п)
10062	Чулышман	с. Балыкча	9.8	16600	435.29 м БС	(1.0)	25.06.1930	оз. Телецкое
10110	Иша	с. Усть-Иша	15	3360	228.82 м БС - 77	1.10	01.04.1954	р. Катунь (п)
10120	Ануй	с. Солонешное	244	2540	392.66 м БС - 77	10.0	13.08.44 (01.01.85)	р. Обь (л)
10122	Ануй	свх. Ануйский	116	4870	190.23 м БС - 77	5.10	12.09.61	р. Обь (л)
10127	Чарыш	с. Чарышское	392	7180	427.33 м БС	8.00	01.10.68	р. Обь (л)
10137	Белая	с. Бугрышиха	44	1140	359.53 м БС - 77	10.7	20.10.1960	р. Чарыш (л)
10174	Чумыш	с. Ельцовка	488	4340	206.22 м БС - 77	0.59	05.08.59	р. Обь (п)
10175	Чумыш	с. Кытманово	535	11000	170.01 м БС - 77	(0.30)	23.09.63	р. Обь (п)
10184	Тогоул	с. Тогоул	4.0	1200	179.21 м БС	3.01	23.03.1946 (01.01.2012)	р. Чумыш (п)
10276	Кондома	пос. Кондома	212	2510	314.51 м БС	3.10	05.07.1931	р. Томь (л)

10308	Шегарка	с. Бабарыкино	177	8190	89.10 м БС	0.30	10.01.1933	р. Обь (л)
10310	Бакса	с. Пихтовка	138	1810	115.30 м БС	0.32	01.09.1947	р. Шегарка (п)
10329	Чулым	с. Зырянское	373	92500	97.19 м БС	(0.30)	04.12.1893	р. Обь (п)
10623	Яя	с. Таловка	330	415	188.93 м БС - 77	(0.80)	27.09.1979	р. Чулым (л)
10407	Яя	пгт Яя	200	3460	130.43 м БС	0.60	25.10.1934	р. Чулым (л)
10587	Чузик	с. Пудино	223	3400	78.11 м БС	0.12	15.06.1978	р. Парабель (л)
10464	Большая Пиковка	с. Дальнее	77	900	69.00 м БС	-	08.06.1974	р. Кеть (п)
11312	Омь	с. Вознесенское	463	39200	92.31 м БС	0.09	01.08.1931	р. Иртыш (п)
11337	Тартас	с. Венгерово	21	16200	94.85 м БС - 77	0.07	22.07.1931	р. Омь (п)
11350	Тара	с. Верхняя Тарка	499	6250	88.05 м БС	0.15	01.01.1947	р. Иртыш (п)

1 Природные условия территории деятельности Западно-Сибирского УГМС

1.1 Физико-географическое описание территории исследования

Гидрологическая сеть Западно-Сибирского УГМС размещена в верхнем и среднем течении Оби, а также в бессточной области Обь-Иртышского междуречья на площади около 1 млн. км, в административных границах Томской, Новосибирской, Кемеровской областей, Алтайского края и Республики Алтай. Включает Горный Алтай: реки Бию и Катунь с притоками, Верхнюю Обь от слияния Бии и Катунь до г. Камня-на-Оби, Среднюю Обь: от Новосибирского водохранилища до с.Александровского (реки Бердь, Иню, Томь, Чулым, Чаю, Кеть, Парабель, Васюган, Тым), Обь-Иртышское междуречье (реки Каргат, Чулым, Бурлу), притоки Иртыша: Омь, Тару в пределах Новосибирской области.

По естественно-историческому районированию данная территория включает значительную часть Западно-Сибирской низменности, северо-восточные (лесные и лесостепные) предгорные районы правобережья Верхней Оби и юго-западные степные районы левобережья Верхней Оби, северную оконечность Саяно-Алтайской горной страны, Кузнецкий Алатау, Салаирский кряж, Кузнецкую котловину.

Значительная протяженность территории, ее орографическая и климатическая неоднородность обусловили большое разнообразие природных условий.

1.1.1 Рельеф и геология

По характеру рельефа большая часть территории представляет собой пониженную слабодренированную равнину с чередующимися низменностями и возвышенностями, к юго-востоку Западно-Сибирская равнина сменяется зоной предгорий, переходящих в горные хребты Салаирского кряжа, Кузнецкого Алатау и Горной Шории, на юге – хребты Алтайских гор.

Для Верхней Оби характерно общее повышение хребтов и дна долины с северо-запада от Западно-Сибирской низменности на восток-юго-восток к главным горным узлам Алтая.

По характеру рельефа на территории Алтая выделяют следующие районы: Северный Алтай, Западный Алтай, Центральный Алтай, Юго-Восточный Алтай и Южный Алтай.

Изменение природных условий здесь полностью зависит от орографических особенностей местности и подчинено вертикальной поясности.

Абсолютные отметки изменяются от 200 до 4500 м на юге Горного Алтая, от 600 до 1300 м над уровнем моря на северном Алтае. Водораздельные хребты в основном вытянуты с юго-востока на северо-запад. Основной чертой рельефа Алтая является четко выраженная ярусность, с присущими каждому из которых физико-географическими процессами. Первый пояс - пояс глубоко расчлененного денудационными процессами рельефа (до высот 1500 - 1600 м), второй пояс - пояс поверхностей выравнивания, занимающий интервал высот 1600 - 2700 м, третий пояс – пояс альпийских форм – расположен на высотах 1900 - 3330 м, имеющий рельеф, сформировавшийся под действием ледниковой эрозии.

Основные ландшафты в пределах Западно-Сибирской низменности – заболоченной равнины с абсолютными высотами 80 – 120 м - представлены лесной и лесостепной зонами.

Лесная зона Западно-Сибирской равнины состоит из слабодренированных плоских равнин, занятых труднопроходимыми болотами и множеством озер. Западная часть лесной зоны (левобережье р.Оби) представляет собой слабоприподнятую равнину, подвергшуюся заболачиванию и частичному эрозионному расчленению в течение второй половины четвертичного периода. Наиболее возвышенная юго-восточная часть имеет отметки 150 – 170 м над уровнем моря.

Грунты левобережья лесной зоны сложены толщами рыхлых песчано-глинистых пород, мощность которых по долинам рек достигает 50 м. В нижних горизонтах залегают пески с галькой из обломков твердых кристаллических пород – гранита. Вдоль рек Васюгана, Парабели выходят на поверхность неогеновые отложения.

Рельеф восточной части (правобережье р. Оби) состоит из различных современных эрозионных форм. В геологическом отношении восточная часть сложена мощными толщами рыхлых песчано-глинистых пород четвертичного возраста. По долинам рек и на самом востоке территории на поверхность выходят толщи глин.

Лесостепная зона по характеру рельефа делится на две части: пониженную западную (Обско-Иртышское междуречье) с абсолютными отметками, не превышающими 170 м и хорошо дренированную восточную с высотами 420 – 470 м. Геология лесостепной зоны представлена палеогеновыми отложениями, сплошь покрывающими территорию, неогеновыми - развитыми на небольшой площади, и четвертичными отложениями, представленными песками, гравием и галькой.

Салаирский кряж окаймляет Западно-Сибирскую низменность с юго-востока и тянется почти на 300 км до нижнего течения р. Ини, высоты его изменяются в пределах 420 – 470 м. Юго-Западный склон кряжа пологий, расчленен долинами рек Берди и Суенги и постепенно сливается с Западно-Сибирской равниной; восточный – более высокий, спускается уступами к Кузнецкой котловине. Кряж сложен кристаллическими известняками, песчаниками, сланцами и гранитами.

Переходной зоной от Салаирского кряжа к Западно-Сибирской низменности по правобережью Оби тянется Колывань-Томская складчатая зона, сложенная преимущественно гранитами верхнего палеозоя, которые представлены глинами, сланцами, песчаниками и известняками девона и карбона.

Кузнецкая котловина примыкает на северо-западе к Западно-Сибирской низменности, на юго-западе она окружена Салаирским кряжем, на юго-востоке - горным хребтом Кузнецкого Алатау.

Кузнецкий Алатау представляет сложную систему остовных массивов – обломков древних складчатых хребтов. Средние высоты составляют 400 – 800 м. Наибольшие высоты сосредоточены в истоках рек Томи и Белого Июса; в верховьях последнего расположена наивысшая точка Кузнецкого Алатау – гора Верхний Зуб высотой 2178 м. Основная водораздельная линия сдвинута к западу, в связи с чем западный склон более крутой, обрывающийся уступами до 600 м. Горный хребет сложен кембрийскими мраморами, силурийскими сланцами, местами имеются выходы гранитов и базальтов. Западный склон крутой, через узкие ущелья его протекают порожистые небольшие речки. Восточный склон расчленен широкими, хорошо разработанными долинами.

В верхнем течении р.Томи и ее притоков – рек Кондомы и Мрас-Су расположена Горная Шория, которая представляет среднегорную сложную систему со средними высотами 200 – 300 м. Основными горными породами являются девонские сланцы и граниты. Коренные горные породы покрыты мощным чехлом бурых глин. На наиболее возвышенных местах коренные породы выходят на поверхность.

1.1.2 Гидрогеология

Роль подземных вод в питании рек и сезонном регулировании стока различна в зависимости от территории. На равнинной части бассейна Средней Оби отмечается общая зависимость подземного притока в реки от климатических условий - распределения атмосферных осадков, отражающих географическую зональность природных условий: уменьшение осадков и увеличение испарения с севера на юг. Для территории с болотами верхового типа (рек Васюгана, Тыма, Кети) отмечается уменьшение подземного притока в реки с увеличением заболоченности (в связи с малыми коэффициентами

фильтрации торфяной залежи). Подземное питание рек Горного Алтая, Кузнецкого плато и Горной Шории в основном определяется гидрогеологическими особенностями, а также высотным увеличением осадков в этих районах (высотная поясность).

1.1.3 Основные черты климата

Климат территории, охваченной гидрологической сетью Западно-Сибирского УГМС, обусловлен ее положением внутри Азиатского материка и местными особенностями орографии, характеризуется как континентальный. Ярко выраженная континентальность климата выражена резкими колебаниями температуры воздуха и атмосферных осадков. Барьером на пути воздушных масс,двигающихся с запада, служит Уральский хребет, с востока – Восточно-Сибирская возвышенность. Над территорией осуществляется меридиональная форма циркуляции, что приводит к смене диаметрально противоположных воздушных масс.

Зимой бассейн Верхней и Средней Оби находится в области повышенного давления под влиянием сибирского антициклона. Летом бассейн находится под воздействием области пониженного давления в связи с обширной областью азиатской термической депрессии, являющейся результатом циклонической деятельности арктического и полярного фронтов. Благодаря особенностям циркуляции и характеру рельефа рассматриваемая территория отличается суровой продолжительной зимой с сильными ветрами, метелями, устойчивым снежным покровом и жарким летом. Переходные сезоны коротки, с резкими колебаниями температуры.

Переход радиационного баланса к положительному весной происходит примерно в третьей декаде марта на севере лесной зоны и в первой декаде марта на юге лесостепной. Осенью смена знака радиационного баланса отмечается во второй декаде октября на севере и в начале ноября на юге.

Многолетняя средняя температура воздуха на рассматриваемой территории изменяется от -2.8°C на севере до 0.3°C на юге.

Средняя температура самого холодного месяца, января, составляет $-19, -21^{\circ}$. На севере лесной зоны абсолютный минимум достигает $-47...-55^{\circ}\text{C}$. Самый теплый месяц – июль, средняя температура воздуха составляет $17...20^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум температуры равен $37...40^{\circ}\text{C}$. В горах Алтая, на Кузнецком Алатау и в Горной Шории на фоне широтной зональности элементов климата в их распределении по территории проявляется и вертикальная поясность.

Количество осадков и распределение их по территории крайне неравномерно, что связано с разнообразием форм рельефа. Уменьшение годовых осадков от 500 до 400 происходит с северных районов лесной зоны к южным районам лесостепной. В горных областях Алтая, Кузнецкого Алатау в распределении атмосферных осадков проявляется влияние высотной поясности и экспозиции склонов. В районе Кузнецкого Алатау наибольшая годовая сумма осадков (950 – 1000 мм) наблюдается на западных склонах. В горных районах Алтая - на склонах, ориентированных навстречу влагоносным воздушным потокам передовых хребтов Западного (до 1500 – 1800 мм) и Северного (до 1000 – 1300 мм) Алтая. Наименьшее количество осадков (250 – 300 мм в год) приходится на юго-запад территории, район оз.Чаны.

Большая часть осадков (60 – 70 %) годовой суммы приходится на теплую часть года. Минимум осадков отмечается в феврале, максимум – как правило, в июле, а в лесной зоне и на восточном склоне Салаирского кряжа – на август.

Продолжительная и холодная зима, с периодическим выносом теплого воздуха из районов Казахстана и Средней Азии, способствует накоплению снега. Устойчивый снежный покров образуется в конце октября – начале ноября, в последние десятилетия отмечается значительное отклонение от средних лет в сторону более поздних сроков. Раньше всего снежный покров образуется на северо-востоке территории и в высокогорных районах Алтая и Кузнецкого Алатау.

Максимальной высоты снежный покров достигает в третьей декаде февраля на юго-западе, во второй декаде марта на северо-востоке. Средняя высота снежного покрова за зиму на защищенных участках составляет 60 – 80 см, на открытых – 35 – 55 см. Разрушение снежного покрова в среднем происходит в течение апреля практически на всей территории за исключением северо-востока территории и горных областей, где снежный покров задерживается до начала мая.

Непродолжительные возвраты холодов могут наблюдаться до конца мая – начала июня. Число дней со снежным покровом уменьшается с северо-востока на юго-запад от 190 – 200 до 150.

Глубина промерзания почвы находится в тесной зависимости от ее механического состава, степени увлажнения, а также высоты и плотности снежного покрова. Средняя из наибольших глубина промерзания почвы изменяется на рассматриваемой территории от 75 – 120 см в лесной зоне до 150 – 200 см в лесостепной. Полностью почва оттаивает до конца второй декады мая и первой декады июня.

Почвенный покров описываемой территории разнообразен и сложен по своему строению и составу. Распространение почв подчинено широтной зональности на всей территории и вертикальной поясности – в горных районах.

В лесной зоне, в бассейнах рек Кети, Тыма, Васюгана, Парабели, Чаи основными являются почвы подзолистого типа на глинистых, тяжелосуглинистых отложениях. Обширные междуречья этих рек заняты сфагново-гипсовыми болотами.

На юге и юго-востоке лесной зоны, в бассейнах рек Чулыма, Томи, Шегарки распространены серые лесные почвы в сочетании с черноземно-луговыми на тяжелосуглинистых и глинистых отложениях. Благодаря хорошему дренажу, заболачивание этой территории не распространено.

В лесостепной зоне основными почвами являются черноземы: оподзоленные, выщелоченные и лугово-черноземные в комплексах с солонцами.

В Обско-Иртышском междуречье распространены почвы засоленного типа: серые лесные глеевые, луговые, болотные, солончаки, солонцы.

В горных районах Алтая и Кузнецкого Алатау, Шории, Салаирского кряжа почвенный покров меняется от горно-тундровых в высокогорном поясе до черноземов обыкновенных и выщелоченных в предгорьях.

В долинах р.Оби и ее крупных притоков распространены аллювиальные слаборазвитые, луговые, лугово-болотные почвы легкого механического состава.

Растительный покров территории очень разнообразен. В лесной зоне наиболее дренированные участки заняты лесами из кедра, ели, пихты. К сравнительно сухим участкам приурочены также березовые или осиново-березовые травяные леса. По левобережью р.Томи преобладают сосновые боры, расположенные на дюнных песках большими массивами. В долинах р.Оби и главных притоков (Томи, Тыма, Кети и др.) распространены пойменные луга, а в долинах малых рек – суходольные разнотравно-злаковые и заливные луга. Для лесостепи характерно чередование открытых пространств с отдельными березняками, которые на севере сливаются в почти сплошные леса. Наряду с присутствием степных форм здесь значительно развита солонцеватая растительность. С продвижением на юг лесостепной зоны виды растительного покрова больше зависят от характера рельефа: в западинах развиты колки, на гривах водоразделов – остепненные луга, а на пологих склонах грив – солонцеватые сообщества. В понижениях встречаются различные типы болот. Для горных районов Алтая, Кузнецкого Алатау и Салаирского кряжа характерно развитие черневой тайги, типичными представителями которой являются пихта и осина с подлеском из крупных кустарников – черемухи, рябины, сибирской калины и высокого травяного покрова.

1.2 Общая характеристика гидрографической сети территории деятельности Западно-Сибирского УГМС

Характер гидрографической сети находится в тесной связи с орографическими и климатическими условиями территории. В силу большой площади охвата территории деятельности управления и всего разнообразия природных условий, обусловленного широтной зональностью и высотной поясностью, речная сеть распределена неравномерно. Густота речной сети колеблется от 0.10 км/км² (район замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья) до 0.90 км/км² (бассейн р.Томи). Гидрографическая сеть принадлежит бассейну Оби и незначительная часть на левобережье Оби - бассейну Оми, Тары (притоки р.Иртыша). Бассейн Оми занимает северные части Барабинской низменности и Каргатской равнины, бассейн Тары – восточную часть Притарской равнины.

1.3 Гидрологическая изученность территории и общая характеристика гидрологического режима

Систематические водомерные наблюдения на территории Западной Сибири были организованы в 1893 году на больших реках - основных судоходных магистралях (на реках Оби, Томи, Чулыме) в крупных населенных пунктах. Первые наиболее хорошо организованные инструментальные измерения расходов воды в Западной Сибири были выполнены под руководством Е.В.Близняка на р.Кети в 1912 – 1914 гг. Плановое развитие гидрометрической сети началось после 1929 г., а переход ее в одно ведомство (Гидрометслужбу СССР) и производство наблюдений по единой методике с 1936 года. [14].

Современная гидрометеорологическая сеть территории Западно-Сибирского УГМС складывалась в течение длительного времени с учетом развития и запросов хозяйства региона. Наибольшее развитие она получила в 70 – е годы прошлого века, когда всего численность речных постов сети управления достигла 268 постов на 156 реках (209 стоковых, 59 уровенных,

60 с изучением стока наносов) [15]. В эти годы масштабное освоение нефтяных и газовых месторождений севера Томской области, Бакчарско–Колпашевского железорудного бассейна, Кузбасса, открытие Асиновского лесопромышленного комплекса, орошение Кулундинской степи и осушение Барабинской низменности требовали всестороннего изучения гидрометеорологического режима и водного баланса территории.

В настоящее время, выдержав тяжелейший переход экономики на рыночные отношения и пройдя период сокращений 1985 – 2000 гг. и последних лет, гидрологическая сеть Западно-Сибирского УГМС сохранила 215 гидрологических постов: 192 речных, расположенных на 122 реках, и 25 озерных. Размещение пунктов наблюдений на огромной территории Западной Сибири и Горного Алтая, по бассейнам рек, а также по высотным зонам, и в целом по всей территории крайне неравномерно. Особенно редка сеть наблюдательных пунктов в северной части территории, а после 1997 года и в горных районах.

Алтай, как горная область, покрытая в наиболее высоких районах мощным снежным покровом, имеющая значительное оледенение, богата осадками, обладает развитой гидрографической сетью, изученность которой в настоящее время крайне недостаточна. Для режимного изучения и прогнозирования опасных паводков, последний из которых произошел в конце мая 2014 года, необходимо развитие в горных районах стационарной сети и экспедиционных исследований.

Представление о размещении постов по бассейнам рек можно получить из таблицы 1.2.

Таблица 1.2 - Размещение гидрологических постов Западно-Сибирского УГМС по бассейнам на 01.01.2016

Площадь бассейна, F, м ²	Всего постов	ГП-2 (уровенный режим)	ГП-1 (сток воды)
До 500 км ²	20	20	20
500-1000 км ²	14	14	14
1000-10000 км ²	94	94	84
10000-50000 км ²	40	40	40
50000-100000 км ²	10	10	6
более 100000 км ²	14	14	6
всего	192	192	160

Гидрологическая изученность территории в современных условиях крайне недостаточна. В 70 - е годы на Европейской территории Советского Союза один гидрологический пост приходился в среднем на 1.8 тыс. км², а в Западной Сибири – на 5.6 тыс. км². Современное состояние плотности сети по бассейнам рек дает таблица 1.3.

Таблица 1.3 - Плотность сети на 01.01.2016

№ п/п	Бассейн реки	Площадь водосбора, км ²	Количество постов	1 пост на 1 км ²
1	р.Бия (с бассейном Чулышмана и оз.Телецкого)	56500	9	6300
2	Катунь	60900	12	5080
3	Чарыш	22200	9	2500
4	Алей	21100	5	4220
5	Чумыш	23900	8	3000
6	Томь	62000	30	2100
7	Бердь	8650	5	1730
8	Иня	17600	12	1500
9	Чулым	134000	28	4800

№ п/п	Бассейн реки	Площадь водосбора, км ²	Количество постов	1 пост на 1 км ²
10	Кеть	94200	8	11775
11	Чая	27200	9	3000
12	Парабель	25600	3	8500
13	Васюган	61800	4	15500
14	Тым	32300	2	16200
15	Омь	52600	14	3800
16	Каргат	7210	2	3600
17	Чулым	17900	1	17900
18	Карасук	11300	1	11300
19	Бурла	12300	1	12300
20	Кулунда	12400	2	12400

Наиболее густая сеть пунктов наблюдений имеется в бассейнах рек Ини, Берди, Томи, Чарыша, где 1 пост приходится на площадь от 1500 до 2500 км² (Таблица 1.3). Плотность в других бассейнах значительно ниже. Так, в бассейнах рек Бии и Катуня, дающих начало Оби в результате своего слияния, 1 пост приходится соответственно на 6300 и 5080 км², а для таежных притоков Кети, Васюгана, Тыма, Парабели густота сети крайне низкая 8500 до 16200 км на 1 пост. Такая же сложная ситуация существует в настоящее время для рек бессточной области Обь-Иртышского междуречья: 1 пост на 11300 – 17900 км².

1.3.1 Состояние изучения уровня режима

Несмотря на то, что на большинстве постов накоплены к настоящему времени длительные ряды наблюдений за уровнем режимом (от 40 до 70 – 100 лет), обязательна оценка репрезентативности, однородности рядов, оценка точности наблюдений за уровнем. Основными недостатками в

организации и проведении уровенных наблюдений, оказывающими влияние на точность результатов, остаются отсутствие контроля изменения высотных отметок водомерных сооружений в труднодоступных районах; отсутствие широкого внедрения самописцев и автоматизированных средств для учета внутрисуточных колебаний уровня, в том числе с целью уменьшения погрешности определения среднесуточных уровней; нарушение репрезентативности рядов в связи с переносами постов, обусловленными деформациями русла или влиянием хозяйственной деятельности, другие факторы, требующие изучения.

1.3.2 Изучение режима стока воды

При исследовании водных ресурсов наибольший интерес представляет изученность речного стока. На территории управления сток воды изучается на 160 гидростворах, расположенных в большинстве на средних и малых реках. В 70 -е годы прошлого века эта цифра достигала 209. В больших масштабах выполнялись гидрографические исследования рек по специальным программам, проводились экспедиционные работы для проектирования прудов, устройству водозаборов и т.д. [3]

Несмотря на то, что в настоящее время многие гидростворы оборудованы дистанционными гидрометрическими установками (101 гидроствор), тросово-лодочными переправами, плавсредствами, точность результатов наблюдений довольно часто снижается из-за нарушения методик измерений: из-за несоблюдения распределения скоростных вертикалей по ширине реки, из – за неучета относа троса при недостаточной массе груза в период половодья и паводков, неучет косоструйности на участках гидростворов и др. Большинство гидростворов, расположенных в равнинной части, имеют широкие, часто заросшие, затопляемые поймы. Из-за сложности условий измерения стока воды на поймах, сток воды по ним в

большинстве не учитывается, вследствие чего точность максимальных расходов воды значительно снижается.

Наблюдения за продольными уклонами водной поверхности (при измерении расходов) производятся только на небольшой части гидростворов (порядка 30). Уклонными постами оборудованы в большинстве посты, расположенные в районах Алтая, Кузнецкого Алатау, отсутствуют они на реках бассейна Иртыша (Оми, Тартасе, Таре).

1.3.3 Типы водного режима рек территории исследования

В работе представлены реки различных районов территории. По типам речных русел, геологическому строению и геоморфологии они относятся к равнинному (лесная и лесостепная зоны) и горному районам. Разнообразие природных условий территории, широтная зональность и высотная поясность определяют характер водного режима рек. Значительная увлажненность северных районов лесной зоны обуславливает высокую водность и зарегулированность стока в течение года. Замедленные процессы стока на поверхности бассейнов и в русловой сети, связанные с малыми уклонами, большим количеством понижений, приводит к долгой задержке воды в русле и на поверхности бассейнов этой территории. В условиях избыточного увлажнения распространение подпоров на реках различного порядка является мощным фактором заболачивания земель [16].

Недостаточная увлажненность южных районов определяет низкий сток и неравномерность его распределения в году. Режим рек горного района находится в тесной зависимости от высоты местности и ориентации склонов.

По характеру водного режима исследуемые реки относятся к рекам с весенним половодьем и паводками в теплое время года (Иша, Чумыш, Бакса, Шегарка, Яя) и к рекам с весенне-летним половодьем, сюда относятся как реки горных районов (Чулышман, Бия, Ануй, Белая, Чарыш), так и на реках лесной зоны (Бакчаре, Васюгане, Тyme, Таре, Оми). Основным источником питания всех рек территории являются твердые осадки, на реках предгорий или реках,

имеющих истоки в горных районах (Иша, Чумыш, Яя) роль дождевых осадков возрастает. Наибольшую роль в речном стоке они играют на реках горных районов.

Несмотря на различия условий питания и формирования стока основной фазой всех рек территории Верхней и Средней Оби является половодье, в период которого проходит 60 – 90 % годового стока.

Форма гидрографа на реках с весенним половодьем преимущественно правильная, иногда расчлененная за счет выпадения осадков или одновременности таяния снежного покрова на различных высотах (для предгорий).

Половодье горных рек невысокое, растянутое, сильно расчлененное за счет таяния снега на различных высотах, ледникового питания и выпадения осадков.

Форма половодья рек лесной зоны одновершинная, в основном сглаженная, растянутая, куполообразная

Большие запасы воды в снеге, продолжительная холодная зима, дружное снеготаяние, сопровождающееся выпадением осадков, направление течения с юга на север основной водной артерии Западной Сибири – р.Оби и ее притоков, формируют катастрофические половодья. Наибольшие половодья наблюдались 1937, 1941, 1958 гг. Высокое половодье наблюдалось в 1964, 1966 гг.; в 1969 г. на реках Алтая максимальные расходы за период наблюдений были сформированы на спаде половодья обильными осадками. Похожий сценарий развивался на реках Алтая в конце мая 2014 года, когда на спаде основной волны половодья выпало большое количество осадков. На большинстве рек максимумы расходов и уровней превысили максимумы 1969 года. В последующем, 2015 году, на реках Средней Оби максимумы половодья были сформированы значительными запасами воды в снеге и на реках Бакчаре, Чае, Васюгане, Чулыме и на некоторых реках достигали или превысили максимумы 1983, 2002, 2010 годов.

2 Методы подсчета стока по данным материалов наблюдений на малых и средних реках ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС»

2.1 Актуальность практического применения методов подсчета стока на реках бассейна р.Оби в различных географических зонах

В данной работе для подсчета стока, анализа методов подсчета стока и оценки способов экстраполяции кривых расходов воды до наивысших уровней при отсутствии измерений использованы материалы наблюдений за гидрологическим режимом на малых и средних реках, относящихся к различным природным зонам Западной Сибири и Алтая: за многоводные 2014 год - для рек Алтая, 2015 год - для рек лесной зоны бассейна Оби и притоков Иртыша. Преимуществом для выбора пунктов исследования являлось наличие наблюдений за уклонами, наличие пойменных участков, длительных рядов наблюдений (не менее 30 лет), экстремально высоких уровней, превышающих (или близких к ним) многолетние максимумы прошлых лет (1966, 1969, 2002, 2010 годов).

В конце мая 2014 г. реки горных и предгорных районов Алтая: Бия и Катунь с притоками, Чарыш, Ануй оказались в зоне влияния интенсивного дождевого паводка, вызвавшего экстремально высокие уровни и расходы, а вследствие этого - возникновение значительных зон затопления, размывы дорог, разрушение мостов; на гидрологической сети – разрушения водомерных и гидрометрических сооружений.

Весеннее половодье 2015 года для рек лесной зоны, притоков Оби: Чулыма, Чаи, Кети, Васюгана, Тыма было многоводным, характеризовалось высокими уровнями, на многих реках превысившими многолетние за период наблюдений, длительным затоплением широких пойм.

В силу ограничения технических и организационных возможностей производства измерений, сток на поймах не учитывался, что создало большие трудности для определения максимального стока и вычисления стока за год. Экстраполяция кривых расходов в некоторых случаях достигала 30 - 50 %

амплитуды колебания уровня и производилась: по элементам расхода, по уравнению кинематической волны, простым продлением кривой расхода воды по тенденции. В данной работе производилась проверка методики экстраполяции по формуле Шези с определением для каждого гидроствора вида кривых $C = f(H)$ и параметра $M = f(H)$ по данным натурных измерений.

На подавляющем большинстве малых и средних рек Западной Сибири и Алтая сток воды в период открытого русла вычисляется по ежегодным однозначным кривым расхода. Однозначность зависимости расхода от уровня $Q = f(H)$ может нарушаться в периоды влияния подпора от кустарниковой растительности или скопления карчей в руслах засоренных таежных рек. На реках Алтая, русла которых имеют большие уклоны и подвержены деформациям вследствие прохождения дождевых паводков, подсчет стока производится по временным кривым. На горных реках Чири, Чеченек, имеющих большие уклоны 90 - 100 ‰ и подверженных непрерывным деформациям, так, что выделение временных устойчивых связей $Q(H)$ не представляется возможным, сток вычисляется по способу Стаута. Для рек лесной зоны, характеризующихся малыми уклонами, широкими заболоченными поймами: Чулыма, Васюгана, Кети, а также для притоков Иртыша: Оми, Тары, Тартаса характерно образование петлеобразных кривых расходов, присущих потокам с неустановившимся режимом. В период летней межени на многих малых и средних реках, зарастающих водной растительностью, учет стока производится с помощью способа переходных коэффициентов $K_{зар}$.

Методические основы учета стока при различных условиях гидрологического режима, вопросы экстраполяции кривых, в том числе на примере рек Западно-Сибирского УГМС, будут рассмотрены далее. Но прежде уделим внимание понятию о стоке воды и кинематической структуре водного потока.

2.2 Сток воды. Структура руслового потока.

Сток воды – одно из основных и наиболее широких понятий гидрологии суши. Как одна из наиболее важных характеристик водных ресурсов, сток воды выражает количество воды, протекающее в створе за единицу времени: сутки, декаду, месяц, год. Выражается в осредненных за эти периоды значениях расходов воды в куб. м/с ($\text{м}^3/\text{с}$) или км^3 .

Представление о расходе воды вытекает непосредственно из принципа неразрывности жидкости. Впервые его сформулировал Леонардо да Винчи, в предположении, что «в реках может протекать равный объем воды в равные промежутки времени, несмотря на различные длины, ширины, глубины и уклоны русла».

Кинематическая структура водного потока очень сложна. Она связана с взаимодействием потока и русла. В размываемых руслах происходят непрерывные деформации (размывы и намывы), вызывающие изменение структуры потока.

В естественных и искусственных руслах формы движения потока разделяются на два основных вида – установившееся и неустойчивое. Установившееся движение в свою очередь имеет две формы – равномерное и неравномерное. Следовательно, в общем случае имеется три формы движения потока: *равномерное, неравномерное и неустойчивое*.

Равномерное движение – это движение, при котором гидравлические элементы потока (живое сечение, глубина, средняя скорость течения и пр.) не изменяются по его длине (рис.2.1). При равномерном движении воды в открытом русле гидравлический уклон I_e , пьезометрический уклон I (уклон свободной поверхности) и уклон дна водотока i равны между собой ($I_e = I = i$). Уклон дна водотока $I = \sin\theta$, где θ - угол наклона линии дна к горизонту. Гидравлический уклон I_e выражается зависимостью $I_e = \frac{dh_w}{ds}$, где член dh_w

учитывает потери напора на преодоление сопротивлений при переходе воды из одного сечения в другое (потери напора на трение и преодоление местных сопротивлений). Линия E-E на рис.2.1 – линия удельной энергии потока, E – средняя удельная энергия потока в данном сечении (энергия, отнесенная к единице веса воды, протекающей через данное сечение потока в единицу времени) по отношению к некоторой горизонтальной плоскости сравнения. Следовательно, при равномерном движении линия удельной энергии (E-E), пьезометрическая линия P-P (линия свободной поверхности потока) и линия дна водотока – параллельные прямые. Равномерное движение в естественных водотоках не встречается. На прямолинейных участках русла допускается принимать движение воды равномерным.

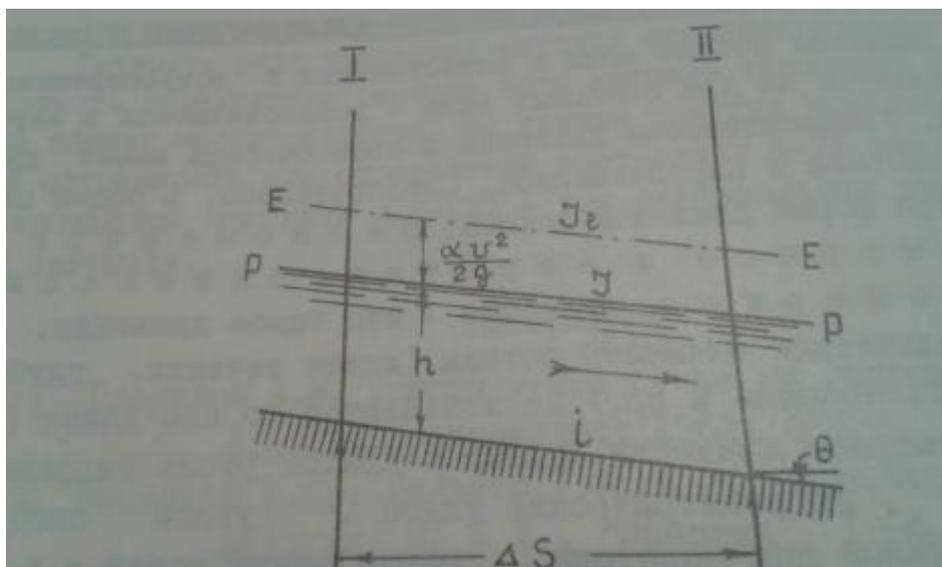


Рисунок 2.1. Схематическое изображение для условий равномерного движения

Неравномерное движение воды - это такое движение, при котором элементы потока изменяются по его длине. Уклоны J_e , I , i отличны друг от друга. Применительно к естественным потокам, изменяются площади живых сечений, средние скорости и средние глубины.

Неустановившееся движение – это такое движение, при котором происходит изменение расхода, живых сечений и скоростей течения во времени и по длине потока. Неустановившийся режим имеет место на

зарегулированных водотоках и естественных при прохождении по ним паводков, половодья, попусков из вышележащих водохранилищ.

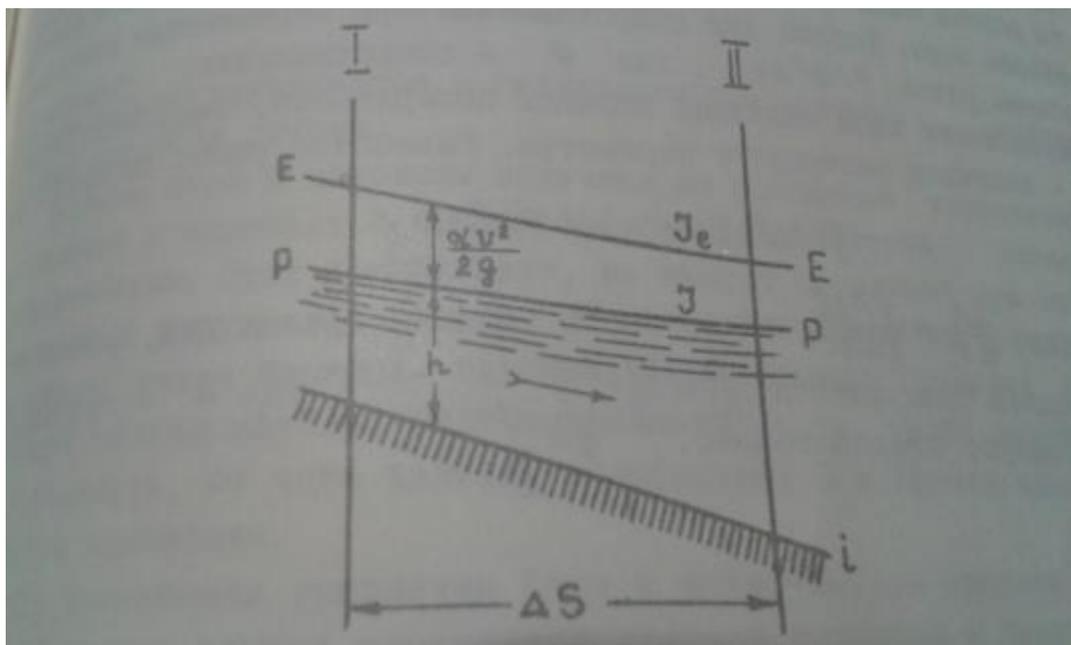


Рисунок 2.2. Схематическое изображение потока для условий неравномерного движения

Уравнением равномерного движения является формула Шези, широко применяемую в гидравлике:

$$V = C\sqrt{RJ}, \quad (2.1)$$

или для уклона:

$$J = \frac{V_{cp}^2}{C^2 R}$$

где

R – гидравлический радиус;

J – уклон водной поверхности;

C – коэффициент Шези, зависящий от основных элементов потока: шероховатости дна и берегов, глубины и формы живого сечения.

Для определения коэффициента C существует ряд эмпирических формул, включающих параметры шероховатости (формулы Павловского, Манинга, Базена, Агроскина и др.). Однако следует с осторожностью относиться к применению формул с параметрами шероховатости к речным потокам. Исследования ряда авторов [10, 11] показали, что в большинстве случаев для речных русел при определении расходов воды следует опираться

на закономерности изменения не параметров шероховатости n , γ и др., а непосредственно коэффициента C формулы Шези [7].

Исследование закономерности изменения коэффициента C выполнено и в настоящей работе для отдельных гидростворов, где имеются измерения уклонов, и где требовалась проверка экстраполяции кривых расходов.

Уравнение установившегося неравномерного движения имеет вид:

$$J = \frac{V_{cp}^2}{C^2 R} + \frac{d}{dS} \left(\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g} \right), \quad (2.2)$$

где J – уклон водной поверхности;

C – коэффициент, характеризующий гидравлическое сопротивление;

R – гидравлический радиус;

S – расстояние вдоль оси потока;

g – ускорение силы тяжести;

α – коэффициент Кориолиса (корректив скорости, учитывающий неравномерность распределения скорости по живому сечению);

Уравнение неравномерного движения отличается от уравнения равномерного движения инерционным членом $\frac{d}{dS} \left(\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g} \right)$, учитывающим изменение скорости вдоль потока.

Уравнение неустановившегося движения, описывающее в общем случае движение воды в реках, имеет следующий вид:

$$J = \frac{V_{cp}^2}{C^2 R} + \frac{d}{dS} \left(\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial V_{cp}}{\partial t}; \quad (2.3)$$

и отличается от уравнения (2.1) инерционным членом $\frac{1}{g} \frac{\partial V_{cp}}{\partial t}$, учитывающем изменение скорости во времени. Принято, что инерционным членом можно пренебречь, тогда можно использовать уравнение неравномерного движения (2.2). Однако в связи с затрудненностью получения данных для уравнения (2.2) (площадей живых сечений и уровней в выше и ниже лежащих створах относительно гидроствора), все же на практике пользуются формулой

Шези, которая позволяет определить среднюю скорость по гидравлическим параметрам в одном гидростворе.

2.3 Методика измерений скоростей течения на гидрологической сети УГМС

Для изучения гидрологического режима на гидрологических постах Западно-Сибирского УГМС сток учитывается на основе измерений расходов воды в гидростворах в течение года методом скорость-площадь. Скорости течения измеряются в отдельных точках живого сечения, расход определяется как сумма частных расходов, отнесенных к площадям между смежными вертикалями. При этом скорость течения измеряется вертушкой, а площади сечения определяются на основе выполненного перед измерением скорости промера глубин.

В соответствии с Наставлением, вып. 6, ч. I, измерения расходов воды на всех постах производятся *основным* способом, предусматривающим измерение расхода воды при наименьшем возможном количестве вертикалей (но не менее 5) и точек на вертикали (2 или 3) с тем, чтобы результаты измерений отличались от таковых детального способа не более чем на $\pm 3\%$.

Исследователями гидрологического института ФГБУ «ГГИ» со ссылкой на методические проработки, выполненные за рубежом и в СССР, высказана идея [7], что расход, измеренный двухточечным способом (с размещением точек на 0.2 и 0.8 рабочей глубины вертикали, является более точным, чем измеренный в 5 точках, но вычисленный по формуле для средней скорости, рекомендованной Наставлением,

$$V_{\text{ср}} = 0.1 (V_{\text{пов}} + 3V_{0.2} + 3V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{\text{дно}})$$

Приводится объяснение, что подавляющее большинство скоростных эпюр в речных потоках имеют правильную форму, близкую к параболе, с вертикальной осью и максимумом скорости на водной поверхности. Средняя скорость таких эпюр достаточно точно оценивается формулой Гаусса на две ординаты

$$V_{\text{cp}} = \frac{V_{0.799} + V_{0.211}}{2}.$$

Значения этих ординат весьма близки соответственно 0.2 и 0.8h. Хотя использование формулы трапеции для вычисления средней скорости приводит к занижению значений за счет замены криволинейной эпюры прямолинейными отрезками.

Для того, чтобы измерения в 5 точках лучше характеризовали скоростную эпюру (для лучшего использования большого числа данных), дают рекомендации применения дробных коэффициентов при значениях скоростей в точках (формула Симпсона) [7].

При наличии в русле водной растительности эпюра скоростей приобретает резко аномальный характер: в придонной зоне на высоте, соответствующей границе растений, начинает проявляться тормозящее действие потока растительностью, приводящее к существенному уменьшению скоростей в этой зоне. В этом случае применение 2-точечного способа измерения приводит к большим погрешностям, поэтому в соответствии с рекомендациями Наставлений, вып. 6, ч. I, измерение скоростей течения на зарастающих реках производится в 3 точках, на 0.15h, 0.5h, 0.85h или в точке 0.5h, если глубина недостаточна (менее 5dl – диаметра лопасти вертушки).

Вопрос о числе точек измерения скоростей под ледяным покровом был подвергнут пересмотру (ранее Наставлением вып. 6, ч.1, рекомендовался в качестве основного способа 3-точечный с размещением на 0.15h, 0.5h, 0.85h) после проработок, выполненных в ГГИ (В.В.Ухановым в 1955 г., М.Л.Рупперт в 1970 г. и др.), которые показали, что применение трех точек вместо двух приводит к весьма незначительному повышению точности ИРВ (в пределах 1 - 2 %), тогда как за счет неточного определения площади сечения (наличие шуги, неровная нижняя поверхность льда) погрешности бывают более значительными. Таким образом, последнее издание Наставления, вып 6, ч.1 рекомендует 2-точечный способ измерения скоростей в период ледостава.

С 2010 года на больших и средних реках управления р. Оби (ГП - 1 Барнаул, ГП - 1 Новосибирск), р. Томи (ГП – 1 Новокузнецк), р. Бие (ГП – 1 Бийск) используются профилографы - измерители скорости течения, основанные на принципе радиолокационного эффекта Доплера (Rio Grande и Stream Pro). Данные, полученные этими приборами, еще требуют детального изучения и сравнительных детальных измерений вертушкой, так как дают более низкие значения расходов (на 3 – 5 %) по сравнению с измеренными вертушкой.

2.4 Кривые расхода воды

Пропускная способность русла характеризуется расходом воды, протекающим в нем при данном уровне. В условиях равномерного движения основные факторы, определяющие пропускную способность русла, непосредственно определяются на основании формулы Шези-Манинга. К ним относятся гидравлический радиус R (для широких рек – средняя глубина h), пьезометрический уклон I и коэффициент шероховатости n . Гидравлические и геометрические элементы каждого отдельно взятого гидроствора зависят от уровня воды H от которого зависит и расход воды Q .

Одно из первых выражений для функции $Q = f(H)$ предложено В.Г.Глушковым в 2015 г.:

$$Q = a(H - H_0)^m,$$

где H_0 – уровень нулевого расхода, установление которого требует специального изучения участка гидроствора.

Если исходить только из совокупности измеренных расходов, то зависимость $Q = f(H)$ целесообразно представить на статистической основе – уравнением регрессии расходов по уровням.

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n. \quad (2.4)$$

Чаще всего оптимальное значение показателя степени n составляет 2-3. Для вычисления ЕРВ в выражение (2.4) подставляется значение среднего суточного уровня H_c . При немонотонном суточном ходе уровня в уравнение

(2.4) вводятся соответствующие дополнительные коэффициенты, учитывающие форму гидрографа:

$$Q = a_0 = a_1 H_c + \frac{(m+1)^2}{2m+1} a_2 H_c^2 + \dots + \frac{(m+1)^2}{mn+1} a_n H_c^n,$$

где $m = (H_{\text{макс}}/H_c) - 1$.

Зависимость (2.4) должна удовлетворять условиям выпуклости:

$$\frac{dQ}{dH} \geq 0; \quad \frac{d^2 Q}{dH^2} \geq 0.$$

Часто эти условия не выполняются, особенно в диапазоне низких уровней, когда резко снижается интенсивность изменения расхода воды с понижением уровня. Рассеяние точек связи $Q(H)$ усугубляется погрешностями измерения расходов воды и уровня. В этих условиях повышается роль регулярных измерений расходов воды, а именно: каждое измерение используется для уточнения пропускной способности русла с возможностью дальнейшего построения системы временных кривых.

Графическим представлением зависимости расхода от уровня является кривая расходов воды. Гидрометрической практикой выработан рациональный порядок построения кривых расходов и связанных с ними кривых площадей водного сечения $F = f(H)$ и скоростей $V = f(H)$. Взаимное соответствие этих кривых выражается равенством $Q = F \cdot V_{\text{ср}}$. В процессе построения для определения наиболее правильного расположения кривой $Q(H)$ в поле точек производится взаимная увязка кривых. Для подсчета средних суточных расходов составляется таблица координат кривой (КР). Примеры составления таблиц увязки кривых и таблиц координат представлены в приложениях Б1, В2, Е.

2.5 Методы подсчета стока воды в различные периоды года.

Внутри годового цикла приходится выделить, как правило, несколько периодов с различными условиями, определяющими применение соответственно различных способов вычисления стока. Границы этих периодов определяются возникновением и исчезновением сезонных явлений,

влияющих на режим потока (ледовые явления, зарастание русла), изменениями водоносности (паводочный период, межень), порядком работы искусственных сооружений, в подпоре от которых находится створ, и другими факторами.

Для правильного выбора и применения способа вычисления стока за рассматриваемый период предварительно собираются и всесторонне анализируются все имеющиеся данные наблюдений, сведения о режиме потока на участке наблюдений, обращая пристальное внимание на особенности (приборы, условия, метод) измерений, полноту учета стока на поймах, в рукавах.

Основными рабочими материалами, используемыми при установлении способа вычисления стока, являются графики расположения точек измеренных расходов, площадей водного сечения и средних скоростей в системе координат (Q, H) , (F, H) , (V, H) , (I, H) , (B, H) , график колебания уровня, комплексный график результатов гидрометнаблюдений.

Рассеяние связи $Q(H)$ создается прежде всего погрешностями измерения расходов. Если эти погрешности носят случайный характер и не превышают допускаемых значений, то осредняющая поле точек кривая $Q(H)$ считается практически однозначной. При построении годовых и сезонных зависимостей $Q(H)$ выявляются обособленные группы ИРВ, сохраняющих хронологическую последовательность в координатном поле (Q, H) . Если выявляются обособленные ветви зависимости $Q(H)$, относящиеся к определенным отрезкам времени, то кривые (КР) называются временными (ВКР) или $Q(H)ВР$, устанавливается срок действия каждой такой кривой.

2.5.1 Особенности подсчета стока по временным кривым $Q(H)ВР$

Система временных кривых – это совокупность временных кривых, последовательно смыкающихся друг с другом в точках, отвечающих моментам перехода с одной кривой на другую.

ВКР могут быть:

- однозначные, соответствующие временно устойчивому состоянию русла, могут действовать в период, включающий несколько фаз уровня; они должны иметь вид плавных кривых, с выпуклостью, обращенной к оси уровней;

- переходные временные кривые, выражающие неустойчивую связь между расходом и уровнем и соответствующие периодам деформации русла; могут иметь произвольный вид – вогнутость, обращенную в любую сторону и перегибы.

При определении моментов перехода с одной временной кривой на другую имеют в виду следующие положения.

Переходы с одной кривой на другую всегда происходят на максимумах и минимумах графика уровня. На границах между устойчивым и неустойчивым состоянием уровня русла переход от однозначной кривой к переходной и наоборот происходит обычно в момент начала резко выраженного подъема или окончания крутого спада значительного паводка, часто при уровнях, близких к наивысшим.

Пример подсчета стока по двум ВКР представлен в данной работе по посту р.Ануй - с.Солонешное (см. п. 3.3), где в результате выдающегося дождевого паводка (на его спаде) произошла деформация русла.

2.5.2 Подсчет стока при неустановившемся режиме («паводочные петли»)

Характерным признаком выраженного неустановившегося режима является образование в поле точек измеренных расходов и скоростей - на графиках $Q(H)$ и $V(H)$ - петлеобразных кривых, именуемых «паводочными петлями». Для паводочной петли обязательным является расположение ветви подъема правее ветви спада, точки измеренных площадей при этом образуют однозначную кривую.

Главным условием для образования паводочной петли являются малые уклоны русла, поэтому такой тип режима характерен для крупных равнинных

рек, длинных бесприточных участков. К данной категории не относятся случаи, когда образование самостоятельных кривых неустойчивой связи на подъеме и спаде вызвано деформациями русла (даже происходящими ниже створа и поэтому не обнаруживаемыми промерами в створе) или переменным подпором.

В нижних частях ветви подъема и спада смыкаются в одну кривую, являющуюся нижней частью кривой установившегося режима. Точки ответвления кривых подъема и спада от кривой установившегося режима соответствуют началу ясно выраженного подъема и концу ясно выраженного спада паводка. Положение кривой спада, как правило, на всем протяжении определяется точками измеренных расходов (см. рисунки 3.7.2, 3.7.4, приложение Ж1). В верхней части кривые подъема и спада сопрягаются плавным закруглением. Наивысшая точка петлеобразной кривой - точка сопряжения кривых подъема и спада - должна лежать на кривой установившегося режима, что имеет значение для экстраполяции петлеобразных кривых. Точка наибольшего расхода должна лежать на ветви подъема несколько ниже наивысшего уровня. Соответственно, срок наступления наибольшего расхода должен опережать срок наступления наивысшего уровня.

При прохождении нескольких волн паводков и попусков каждому пику должна соответствовать своя петля. Для правильного их построения требуется достаточно большое количество данных измерений расходов воды (приложение Ж, Ж1)

При построении недостаточно освещенных кривых подъема в семействе паводочных петель можно ориентировочно руководствоваться следующим правилом: отклонение по абсциссе ветви петлеобразной кривой от кривой установившегося режима тем больше, чем больше величина интенсивности изменения уровня $\frac{\Delta H}{\Delta t}$. Она может быть оценена по углу наклона линии подъема или спада уровня к горизонтальной оси. Чем круче наклон указанной линии,

тем дальше от кривой установившегося режима должна лежать соответствующая ветвь петлеобразной кривой.

Наличие деформаций русла или переменного подпора нарушает справедливость изложенных положений. В этих условиях кривые установившегося режима для различных паводков могут смещаться относительно друг друга, а положение ветвей может быть не связано с интенсивностью изменения уровня.

В работе представлены классические примеры петлеобразных кривых, построенных по материалам наблюдений на постах р. Омь – с. Вознесенское р. Тара – с. Верхняя Тарка (см. пункты 3.7 – 3.8) . Хорошая освещенность амплитуды изменения уровня воды данными измерений на этих постах позволяют четко проследить положение ветвей подъема и спада соответственно изменению уровня.

2.5.3 Подсчет стока воды в зимний период

В зимний и переходный периоды связь между расходом и уровнем нарушается вследствие стеснения живого потока ледяными образованиями, вызывающими возрастание гидравлических сопротивлений.

Характерным признаком зимнего режима является отклонение точек измеренных расходов (Q, H) и средних скоростей (V, H) от кривых свободного русла.

Трудность задачи вычисления стока в этот период возникает вследствие сложности и многообразия влияния разнообразных форм ледяных образований и ограниченной возможности непосредственных измерений. В периоды развития ледовых явлений (шугоход, густой ледоход, непрочный лед), как правило, возможность измерений расхода воды исключена.

Для предварительной ориентировки при выборе способов вычисления стока необходимо учитывать особенности зимнего режима: характер процессов замерзания и вскрытия, устойчивость ледостава, возможность

образования заторов и зажоров, закономерности изменения водности зимой. В Наставлении вып. 6, ч. III [6] приводится Типизация и характеристика зимнего режима, принимающаяся во внимание как при организации измерений расходов, так и применении способов вычисления в зимний период.

В целом можно выделить три периода применительно к учету стока: переходный период осеннего замерзания, период сплошного ледостава и переходный период весеннего вскрытия.

Большинство рек лесостепной и лесной зоны Западно-Сибирской низменности относятся к типу I [6], который характеризуют длительным непрерывным периодом сплошного ледостава при наличии небольшого количества шуги в период замерзания в виде подледных постепенно рассасывающихся скоплений. Подсчет стока за зимний период рек подобного типа приведен на примере постов р. Омь – с. Вознесенское, р. Тара – с. Верхняя Тарка, р. Чулым – с. Зырянское (см. комплексные графики). Внутри периода сплошного ледостава этих рек можно выделить три периода:

- начальный ледоставный, характеризующийся периодом рассасывания подледных образований шуги и сглаживания нижней шероховатой кромки льда; он может быть более или менее продолжителен в зависимости от интенсивности шугохода или ледохода; в случае спокойного замерзания путем срастания заберегов он может быть не выражен;
- основной ледоставный период, в течение которого гидравлический режим потока не испытывает резких изменений, так как происходит постепенное увеличение толщины льда и сглаживание его нижней поверхности;
- весенний предледоходный период характеризуется интенсивным сглаживанием нижней поверхности льда и снижением стеснения живого сечения.

Для большинства рек Алтая и Кузнецкого Алатау: Бии, Катунь, Чарыша, Томи, Мрас-Су, Кондомы характерны длительные периоды подпорного состояния от скоплений шуги, которые могут сохраняться в течение всей зимы. В таких случаях подсчет стока, основанный на учете хода уровня, становится

нецелесообразным и, хотя интерполяция между измеренными расходами не всегда может обеспечить достаточную точность вычислений, но, во всяком случае, является более предпочтительным способом.

Основные варианты учета зимнего стока.

Прежде всего, проверяется возможность построения зимних кривых, которые соответствуют различным периодам зимнего режима; при невозможности построения зимних КР (из-за недостаточного количества измерений, что объясняется суровыми погодными условиями и нелегкими условиями труда) наиболее простым решением задачи вычисления стока является интерполяция между измеренными расходами. На большинстве рек управления плановыми заданиями предусмотрено измерение 2 – 3 расходов в месяц в течение зимней межени. На реках южных районов: Алтай, Кузнецкий Алатау, где в отдельные годы бывает вероятность прохождения зимних паводков, и на всех реках территории - в переходные периоды осень - зима и зима – весна - подсчет стока производится с учетом хода уровня посредством применения графика $K_{зим}$.

$K_{зим}$ – относительная характеристика пропускной способности русла (предложенная С.Колупайло) представляет собой переходный коэффициент:

$$K_{зим} = Q_{и}/Q_{св}, \quad (2.5)$$

где $Q_{и}$ – измеренный расход при уровне $H_{и}$; $Q_{св}$ – расход воды по КР для свободного русла при том же уровне.

Для вычисления ЕРВ достаточно знать $K_{зим}$ на расчетную дату:

$$Q_t = K_{зим} Q_{свт}, \quad (2.6)$$

т.е. рассчитав по измеренным расходам значения $K_{зим}$ и построив по вычисленным значениям хронологический график $K_{зим} = f(T)$, определяем зимний расход по наблюдаемому зимнему уровню, пользуясь кривой $Q_{св}(H)$, вводя переходный коэффициент $K_{зим}$.

2.5.4 Подсчет стока в период зарастания водной растительностью

Большинство малых и средних рек равнинной части Западной Сибири, подвержены зарастанию водной растительностью. Пропускная способность русла рек при этом уменьшается, так как растительность увеличивает местные сопротивления потоку воды.

Характерным признаком зарастания является отклонение точек ИРВ (Q , H) и средних скоростей $V(H)$ влево от кривых свободного русла.

В качестве определяющего фактора зарастания следует рассматривать площадь водосбора реки [Чалов, 1992; Кондратьев, 1982] как звена речной системы. Как установлено, на сравнительно больших реках с площадью водосборов более $A = 25\ 000\ \text{км}^2$ зарастание русла не происходит, а прибрежная растительность не влияет на его пропускную способность. Чем меньше площадь водосбора, тем значительнее увеличение гидравлических сопротивлений в зарастающих руслах. [Т.В.Векшина, Гидрология].

При отсутствии прямых сведений о зарастании, учитывается вероятность такового на основании аналогии с соседними постами, хода температуры воды.

Вычислении стока воды в период зарастания на постах Западно-Сибирского УГМС производится основным способом [6], по хронологическому графику переходных коэффициентов $K_{зар}$. Для каждого расхода, измеренного при зарастании, вычисляется переходный коэффициент

$$K_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_{св}},$$

где $Q_{зар}$ - измеренный расход при зарастании;

$Q_{св}$. – расход с кривой свободного русла при том же уровне.

Полученные значения наносятся на график, всесторонне анализируются и с учетом анализа гидрометеоэлементов проводится хронологический график ($K_{зар}$, t). Начало и конец периода зарастания определяется по расположению точек расходов на графике кривой расходов и по состоянию водного объекта. Учитываются сведения о температуре воды: весной - повышение температуры до $10\ ^\circ\text{C}$ и выше, осенью – переход через $10\ ^\circ\text{C}$ в сторону снижения, приводящий к отмиранию растительности. В случае значительного

влияния зарастания на пропускную способность русла Кзар в осенний период переходит в Кзим.

На комплексных графиках результатов гидрометеорологических наблюдений за 2015 и 2013 годы соответственно на ГП-1 Яя – р. Таловка и р. Яя – пос. Яя (рис. 2.3, 2.5) хронологические графики Кзар отражают изменение пропускной способности русла в зависимости от влияния на растительность дождевых паводков и изменения температуры воды (Кзар увеличивается с повышением уровня в период паводков). В начале сезона вегетации растительности, при достижении температуры 10°C , происходит снижение значений Кзар: на ГП-1 Яя постепенное - от 1.0 до 0.6, на ГП-1 Таловка резкое (в течение двух декад Кзар снижается до 0.2, что свидетельствует о значительном влиянии растительности на пропускную способность малой реки - водосбор в районе с. Таловки 415 км^2 , в районе пос. Яя - 3460 км^2). В течение вегетационного периода на ГП-1 Таловка Кзар сохраняется в пределах 0.2 – 0.3 с увеличением в периоды дождевых паводков до 0.4 – 0.7. При снижении температуры воды и повышении уровня в начале октября влияние растительности на пропускную способность потока уменьшается, происходит возрастание Кзар до 0.85 – 0.95. При значении 0.92 Кзар переходит в Кзим (рисунок 2.3). На ГП-1 Яя Кзар в осенний период не переходит в Кзим. Влияние растительности начинает ослабевать уже в 3 декаде сентября, после перехода температуры воды ниже 10°C , измеренный расход от 12.10 имеет Кзар 0.92, а 17.10 относится к Q(H) (рисунки 2.5, 2.6).

Хронологический ход графиков Кзар в период влияния на сток водной растительности по данным наблюдений на постах р. Тара - с. Верхняя Тарка и р. Тартас – с. Северное, а также расположение точек измеренных расходов и скоростей при зарастании относительно Q(H) и V(H) продемонстрировано на рисунках 2.7 - 2.10 – фрагментах комплексных графиков и графиков зависимостей гидравлических элементов расхода воды от уровня.

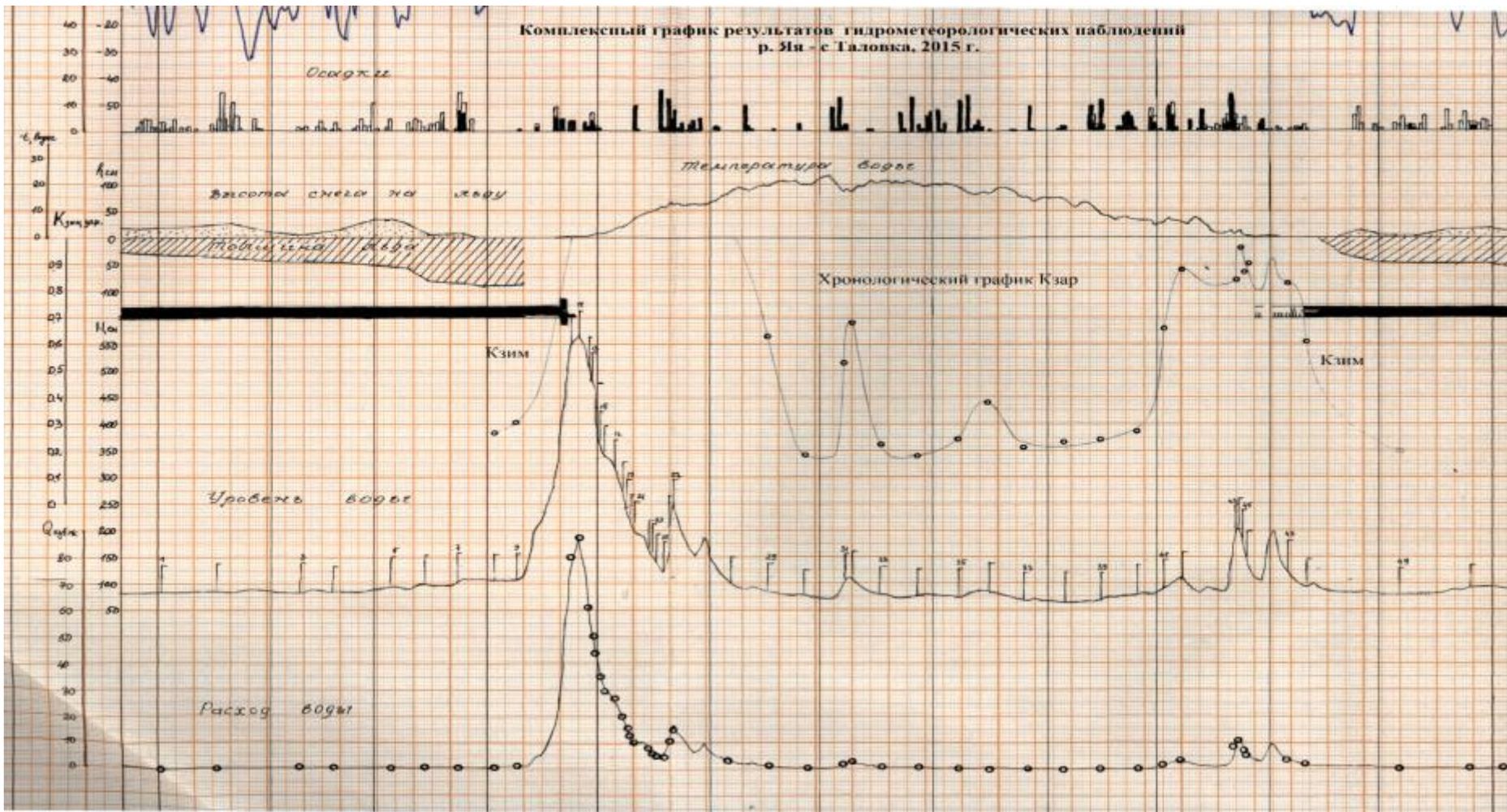


Рисунок 2.3 - Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений, р.Яя – с.Таловка, 2015 г.

Вид хронологического графика $K_{зар}$ за период влияния на сток водной растительности

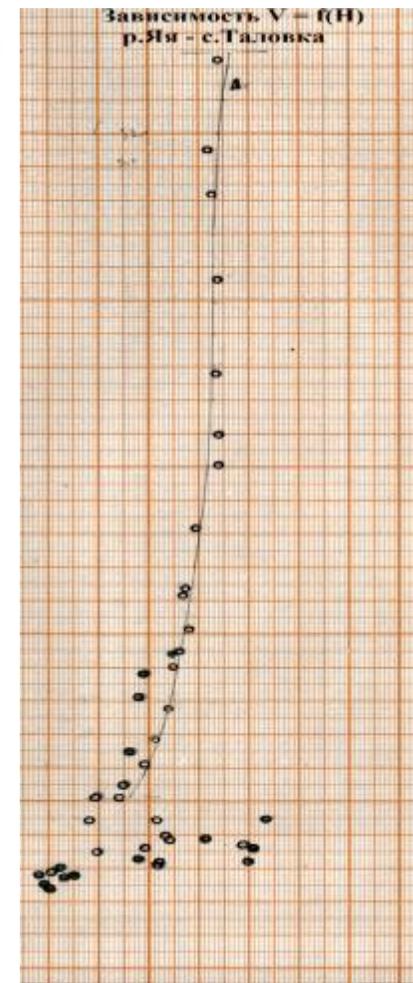
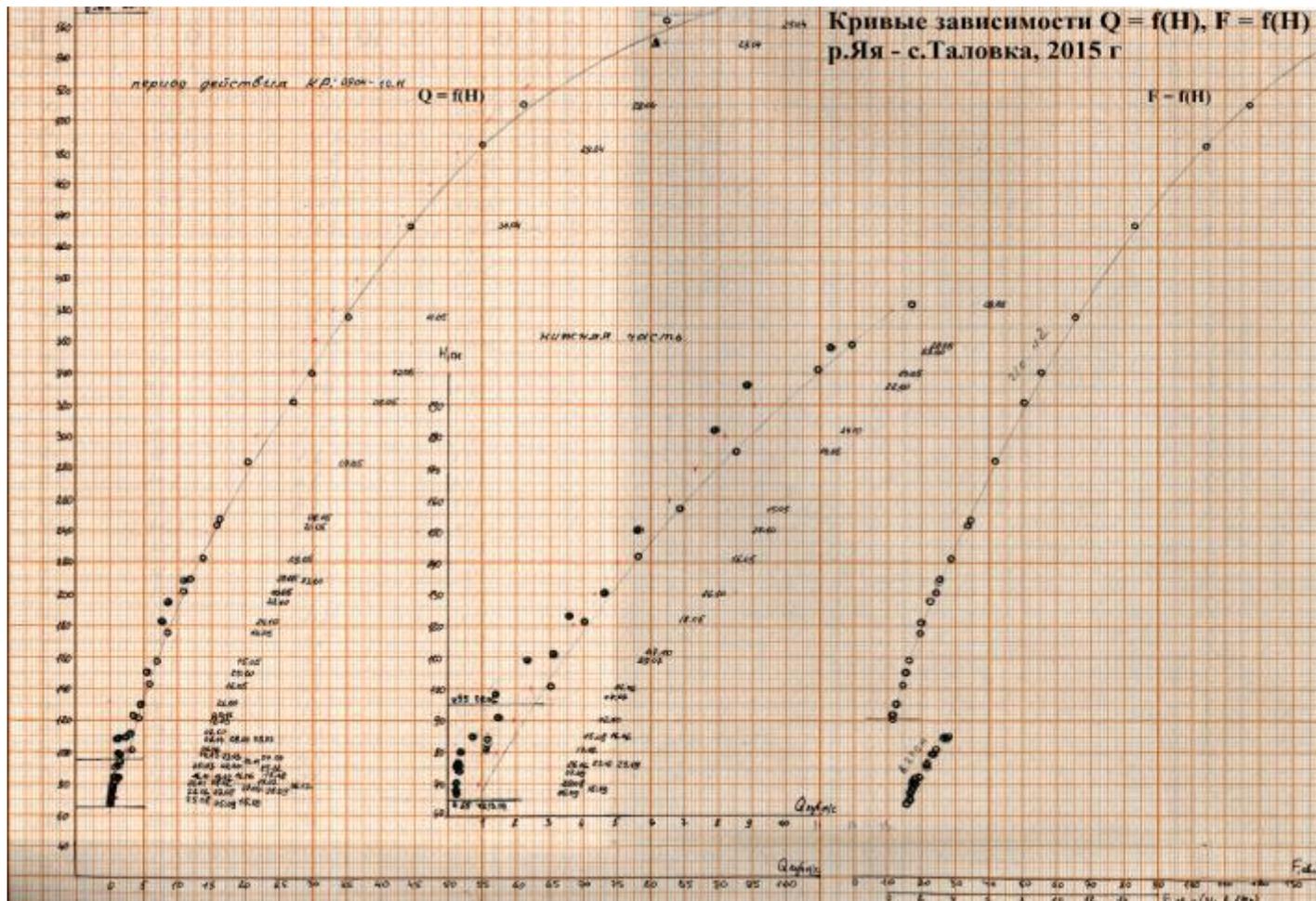


Рисунок 2.4 – Графики зависимости элементов расхода воды, демонстрирующие отклонение точек измеренных расходов и скоростей при зарастании и ледоставе от соответствующих кривых зависимости $Q = f(H)$ и $V = f(H)$, р. Яя – с. Таловка

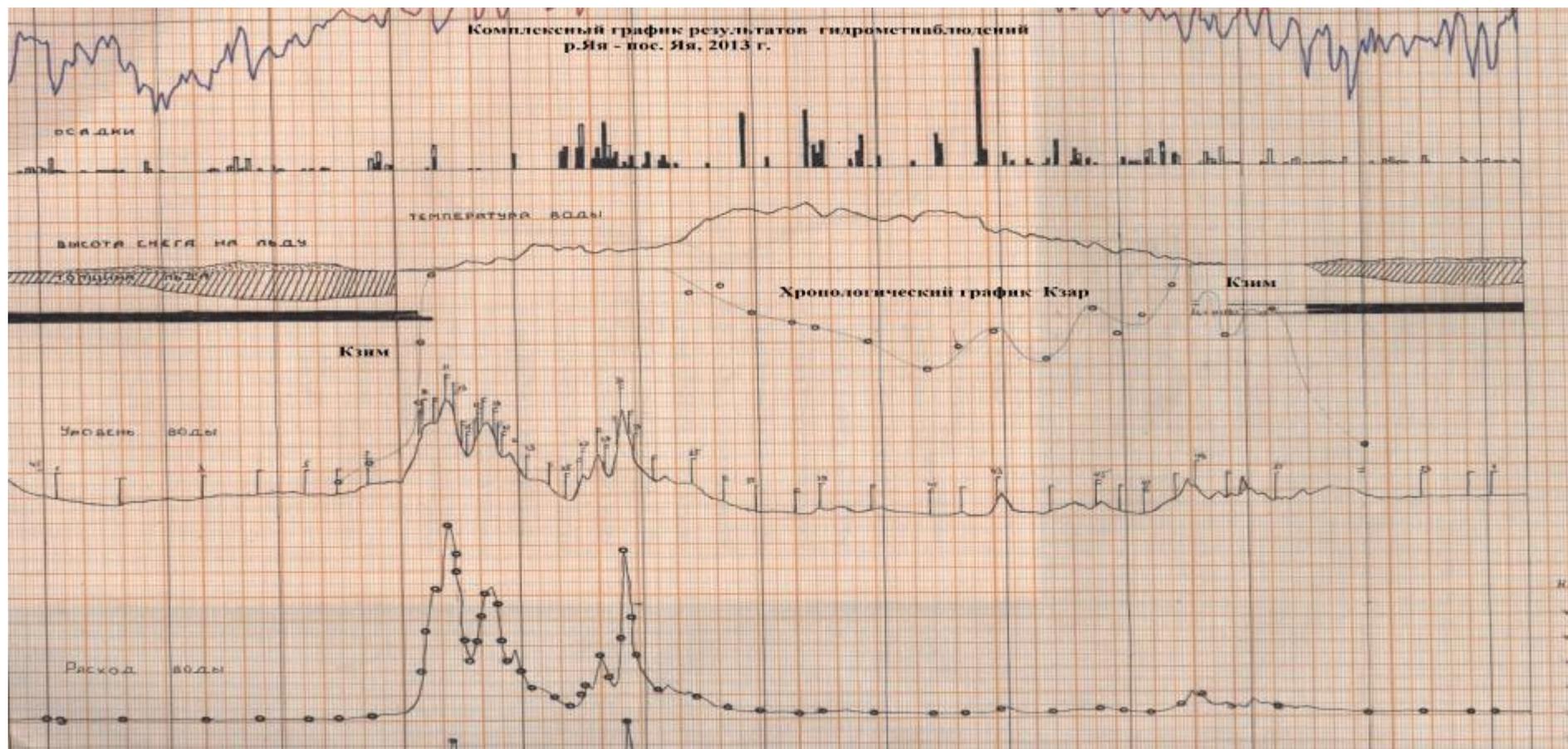


Рисунок 2.5 – Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений, р.Яя – пос. Яя. Вид хронологических графиков $K_{зар}$ и $K_{зим}$ за период влияния на сток водной растительности и ледовых явлений

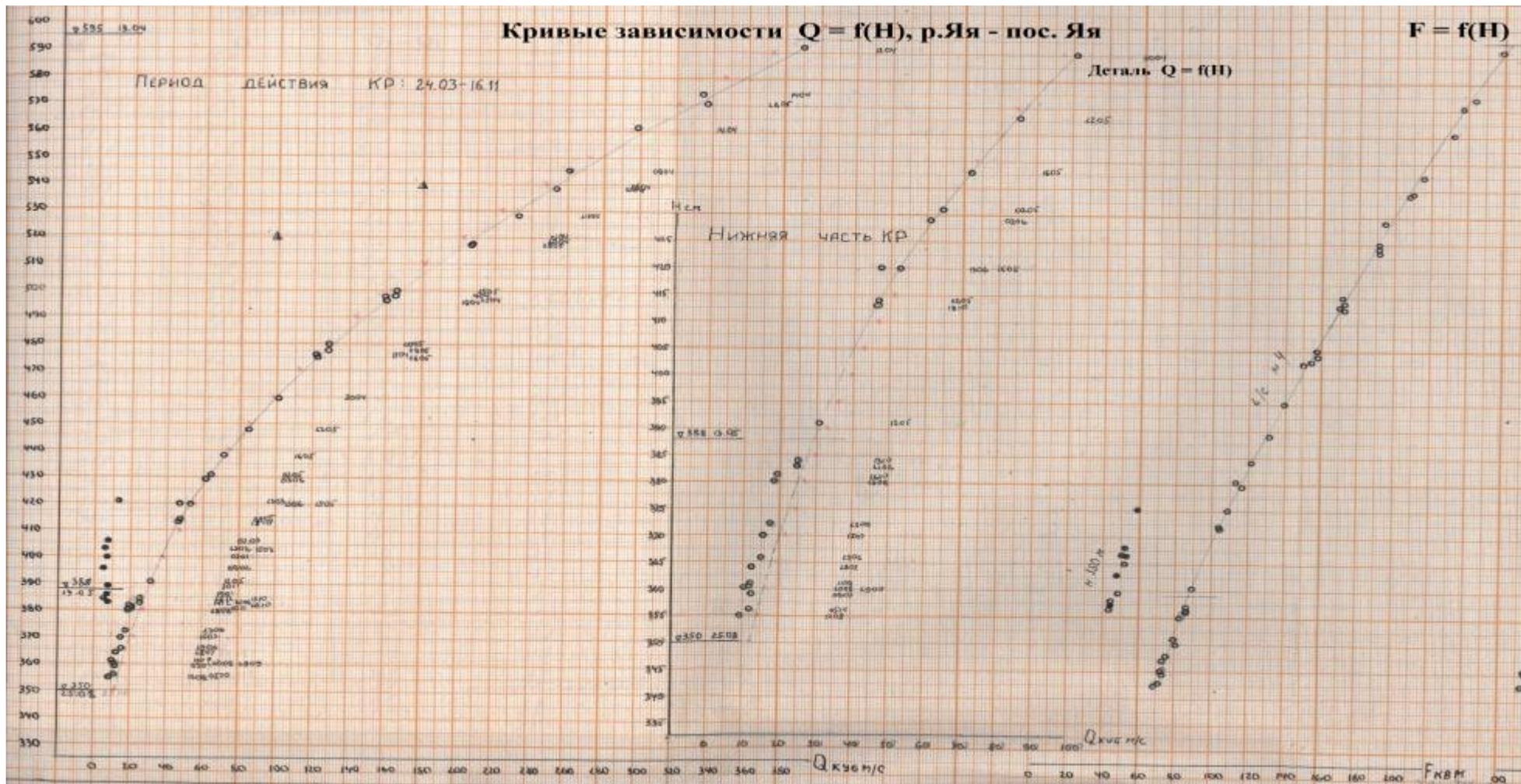


Рисунок 2.6 – Графики зависимости элементов расхода воды, показывающие отклонение точек измеренных расходов при зарастании и ледоставе от кривой зависимости $Q = f(H)$, р. Яя - пос. Яя

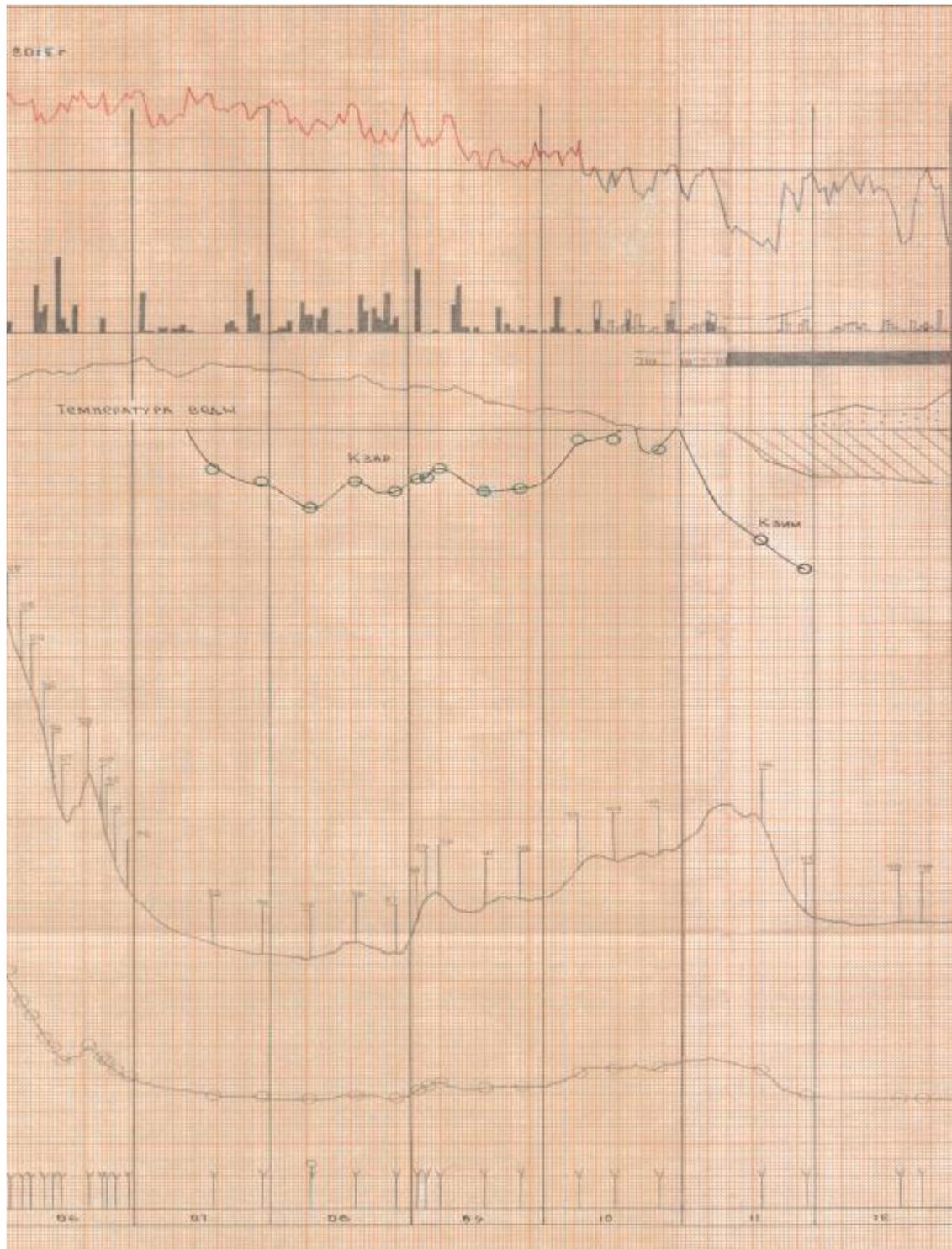


Рисунок 2.7 – Фрагмент хронологического графика гидрометеозаэлементов и коэффициента Кзар на р.Тара - с.Верхняя Тарка, 2014 г.

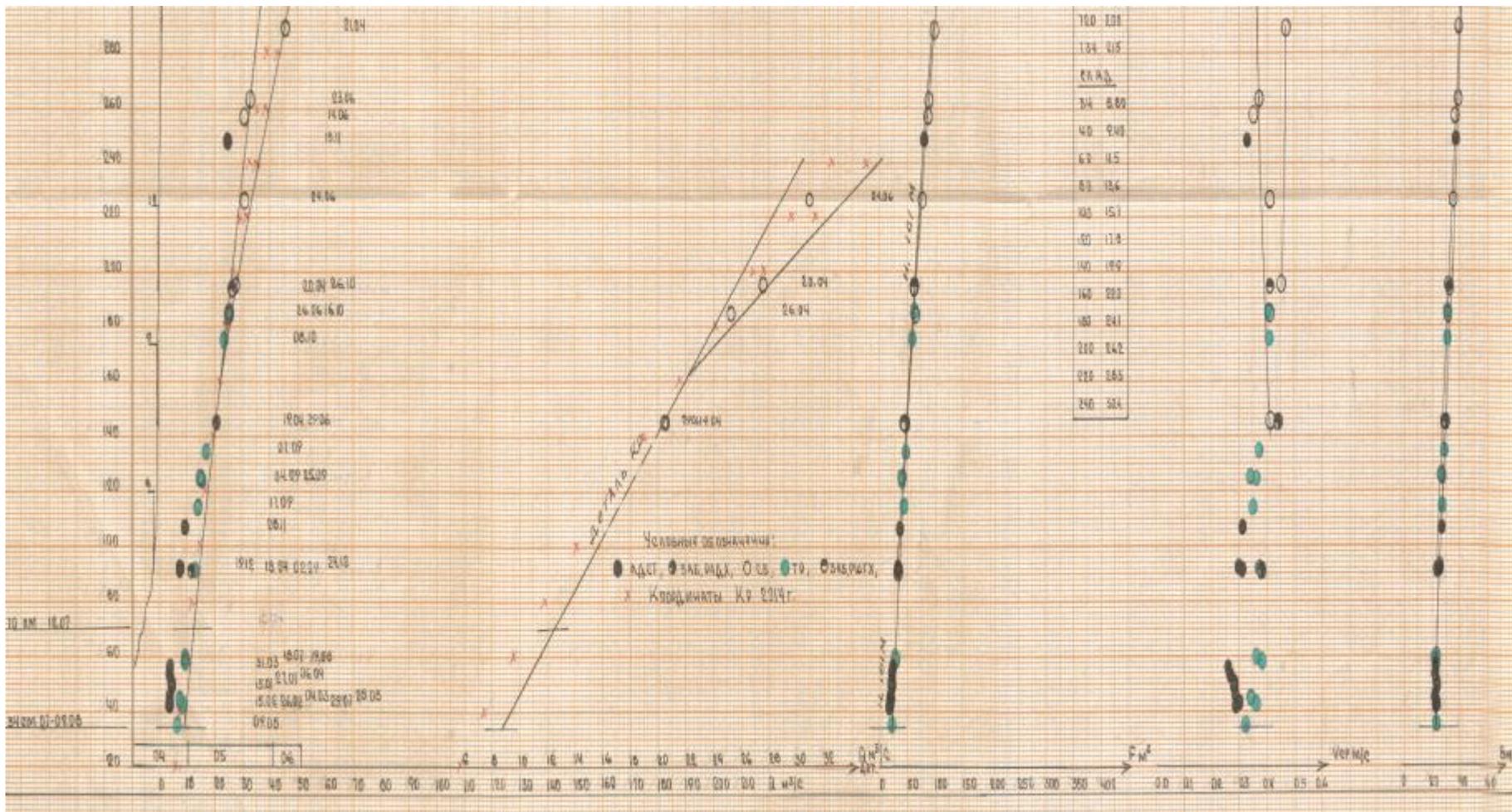


Рисунок 2.8 Расположение точек ИРВ при зарастании и ледоставе на кривых зависимости $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, р Тара – с. Верхняя Тарка, 2014 г.

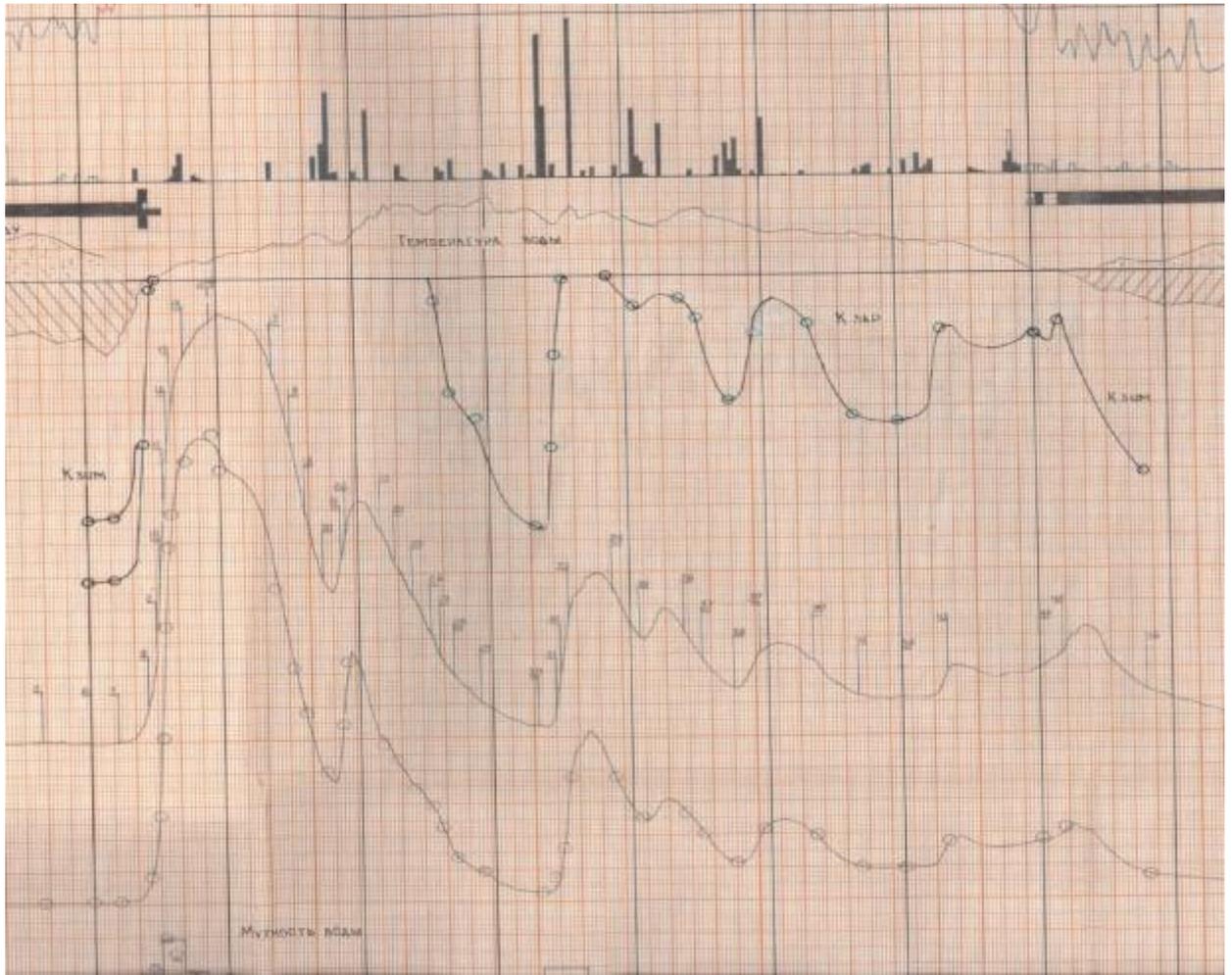


Рисунок 2.9 - Фрагмент хронологического графика гидрометеоэлементов и коэффициента Кзар на р. Тартас - с. Северное, 2013 г.

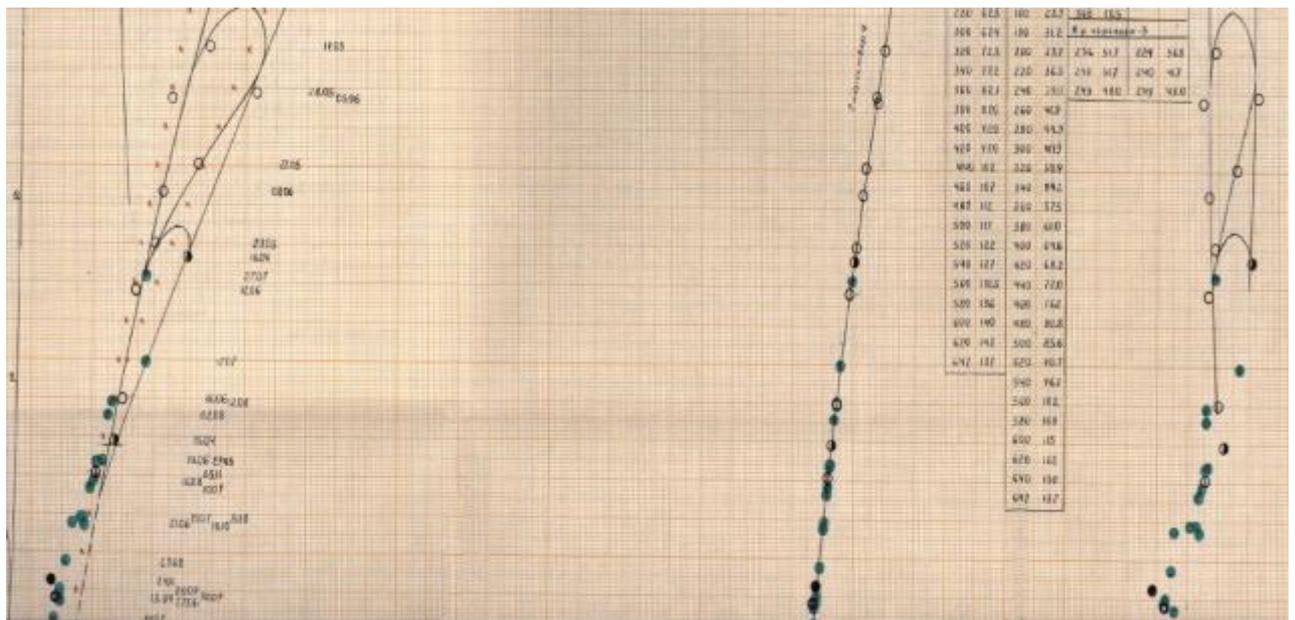


Рисунок 2.10 Расположение точек ИРВ при зарастании и ледоставе на кривых зависимости $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, р Тартас – с. Северное

2.5.5 Экстраполяция кривых расхода

Экстраполяция расходов за пределы диапазона измерения – одна из достаточно сложных форм интерпретации гидрометрических данных. Наиболее простой способ экстраполяции, чаще всего используемый до недавнего времени – графический способ проведения кривой по тенденции. Заключается он в достаточно произвольном продолжении кривой до высшего уровня соответственно направлению обоснованной части кривой.

К более обоснованным способам можно отнести экстраполяцию по гидравлическим зависимостям, которые можно разделить на две группы:

- 1) выражения, представляющие собой решения уравнений неустановившегося движения воды;
- 2) формулы для квазиравномерного движения потока, включающие различные расчетные выражения для коэффициента Шези.

2.5.5.1 Экстраполяция кривых по уравнению кинематической волны

Примером экстраполяции кривой по решению уравнения неустановившегося движения является уравнение кинематической волны (при таком движении кривая не образует отчетливых петель). Уравнение кинематической волны имеет вид:

$$Q = Q_0 \left(\frac{F}{F_0} \right)^m, \quad (2.7)$$

где Q_0 и F_0 – соответственно расход воды и площадь живого сечения, принятые в качестве начальных условий. Показатель степени m служит основной характеристикой формы движения потока.

Экстраполируемым параметром здесь является величина m , которая определяется в интервале между двумя предшествующими измерениями расхода Q_{i-1} и Q_i , которым соответствуют площади живых сечений F_{i-1} и F_i

$$m_i = \frac{\lg Q_i - \lg Q_{i-1}}{\lg F_i - \lg F_{i-1}} \quad (2.8)$$

Чтобы исключить некорректность расчета по выражению (2.8), модуль разности $[Q_i - Q_{i-1}]$ должен существенно, по крайней мере в 2 раза, превосходить погрешность измерения расходов σ_Q . Экстраполированный расход определяется по формуле

$$Q_{\text{э}} = Q_i \left(\frac{F_{\text{э}}}{F_0} \right)^{m_i}, \quad (2.9)$$

где $F_{\text{э}}$ - площадь живого сечения при уровне $H_{\text{э}}$, отвечающем расходу $Q_{\text{э}}$.

2.5.5.2 Экстраполяция на основе формулы Шези.

При использовании для экстраполяции формулы Шези (вторая группа формул) предварительно определяемой величиной является коэффициент C , который рассматривается не только как функция гидравлического радиуса R (средней глубины $h_{\text{ср}}$) и коэффициента шероховатости n_0 , но и относительной ширины русла $b = B/h_{\text{ср}}$. Для достаточно широких русел ($b > 30$) коэффициент Шези выражается формулой

$$C = \left(1 + \frac{0.042 h^{1/3}}{g \delta n_0^2} \right)^{-0.5} \frac{h^{1/6}}{n_0} \quad (2.10)$$

Для вычисления коэффициента шероховатости n_{0i} по данным последнего измерения вычисляют коэффициент Шези (C_i)

$$C_i = \frac{Q_i}{F_i \sqrt{h_i l}},$$

затем из выражения (2.10) определяют n_{0i} :

$$n_{0i} = h_i^{1/6} \left(\frac{1}{C_i^2} - \frac{0.042 h^{1/3}}{g b} \right)^{1/2}. \quad (2.11)$$

Значение $Q_{\text{э}}$ рассчитывается по формуле Шези в сочетании с выражением (2.11) при соответствующих морфометрических характеристиках $F_{\text{э}}$, $h_{\text{э}}$, $b_{\text{э}}$.

$$Q_{\text{э}} = \left(1 + \frac{0.042h^{1/3}}{g\delta n_0^2}\right)^{-0.5} \frac{h_{\text{э}}}{n_0} F_{\text{э}} \sqrt{h_{\text{э}}} I. \quad (2.12)$$

Принимая значения Q_i и F_i не только по данным последних, но и по ряду предшествующих им измерений, можно получить несколько значений $Q_{\text{э}}$, а из них среднее. Точность экстраполяции при этом возрастает.

Указанная методика аналитической экстраполяции расчетов применима и для пойменных створов при условии, что пойма затоплена на достаточную глубину: $h_{\text{п}} \geq 0.8h_{\text{р.б.}}$, где $h_{\text{р.б.}}$ – глубина русла в пойменных бровках [8].

2.5.5.3 Исследование Коэффициента Шези C , параметра M , уклона водной поверхности I для экстраполяции кривых расходов

Для определения коэффициента C (с целью дальнейшего использования формулы Шези для вычисления максимальных расходов воды) ряд исследователей рекомендует опираться на закономерности изменений непосредственно коэффициента Шези по данным натуральных измерений. Трудность этой задачи состоит в получении величины C при высоких уровнях, в зоне, где нет измеренных скоростей. В практической деятельности для экстраполяции зависимости $C = f(H)$ следует учитывать закономерности изменения коэффициента C с увеличением уровня.

На основе специальных исследований было выявлено, что для беспойменных участков рек при паводочных наполнениях русла коэффициент C в большинстве сохраняет практически постоянное значение [9]. Устойчивость C может отсутствовать в следующих случаях:

- на малых реках со средними глубинами в паводок до 1 м;
- при наличии дополнительного гидравлического сопротивления при высоких паводках, обусловленного влиянием кустарника и деревьев, растущих на берегах, приводящего к уменьшению коэффициента C ;
- при интенсивных подъемах, когда переформирование дна русла отстает от хода изменения уровня;

- при большой деформации русла, когда резко изменяются формы и площади живых сечений;
- при резко выраженном неустановившемся движении.

Постоянство коэффициента C_* (C_* - коэффициент Шези для случая неравномерного движения в естественных потоках) установлено на большом эмпирическом материале. Примерная устойчивость C_* наблюдается, начиная с некоторой «глубины выравнивания». Эта глубина примерно на 1 – 2 м больше средней меженной глубины. Следовательно, формулу Шези можно использовать для экстраполяции кривых средних скоростей до наивысших уровней в условиях неравномерного движения.

Большое значение для вычисления коэффициента C_* и его экстраполяции имеет уклон водной поверхности, измерения которого часто отсутствуют или недостаточно точны. Если же участок, выбранный для измерения уклона, не является репрезентативным, (измеренный уклон на нем не выражает действительные потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений), то закономерность постоянства C_* не прослеживается.

Вид кривой уклонов при паводочных наполнениях оценивается также с помощью зависимости параметра M от уровня. Характер измерения параметра M с увеличением уровня, как известно, пропорционален изменению \sqrt{I} .

$$M = \frac{V_{\text{ср}}}{\sqrt{h_{\text{ср}}}}, \quad (2.13)$$

2.5.5.4 Исследование зависимостей $C = f(H)$, $M = f(H)$, $I = f(H)$ по данным наблюдений на постах Западно-Сибирского УГМС

В ходе исследования закономерностей изменения коэффициента Шези по постам Западно-Сибирского УГМС (где имеются наблюдения за уклонами) нами выявлены створы, где не прослеживается постоянство коэффициента Шези, на что следует обратить внимание при оценке репрезентативности

расположения уклонных постов или выявления факторов, которые создают дополнительные сопротивления.

В целях оценки репрезентативности выбранных участков для измерения уклона водной поверхности по материалам наблюдений за многоводные 2010, 2014, 2015 годы дополнительно к кривым уклонов $I = f(H)$ построены зависимости от уровня параметра $M = \frac{V_{cp}}{\sqrt{h_{cp} I}} = C^* \sqrt{I}$ и коэффициента C^* формулы Шези, $C^* = \frac{V_{cp}}{\sqrt{h_{cp} I}}$.

Рассмотрим примеры вида зависимостей на некоторых постах УГМС, где следует исследовать репрезентативность расположения уклонных постов. На рисунках 2.11 – 2. под буквенными обозначениями (а) – (в) представлены зависимости коэффициента C формулы Шези, $C^* =$ параметра $M = \frac{V_{cp}}{\sqrt{h_{cp} I}}$, уклона водной поверхности I от уровней воды для гидрологических постов Западно-Сибирского УГМС.

Для поста р. Тогул – с.Тогул (см рисунок 2.11 (а), (б), (в)) синхронное уменьшение параметров для всех трех зависимостей с увеличением уровня до 621 см (выход на пойму при 674 см), связанное, вероятнее всего, с влиянием подпора от реки Уксунай, в которую впадает Тогул в 4 км ниже поста. При уровнях 500 – 600 см коэффициент C равен примерно 20 - 25 м^{0.5}/с.

Для участка реки Белой на посту Бугрышиха (приток р.Чарыша) характерно уменьшение уклонов с увеличением уровней. Коэффициент Шези и параметр M при этом изменяются в обратном кривой уклонов направлении. Высокий скоростной режим (средняя скорость потока при высших уровнях 1.52 – 1.79 м/с) и небольшие глубины (до полутора метров в половодье) определяют вид зависимостей $C = f(H)$ и $M = f(H)$ и высокие значения параметра M (до 1.50 – 1.57 м^{0.5}/с). При уменьшении уклонов при увеличениях, близких к выходу воду на пойму (300 - 350 см) до 0,10 ‰, коэффициент C увеличивается до 31 - 35 м^{0.5}/с. На графике зависимости гидравлических элементов русла от уровня (см. рисунок 2.12 в)) хорошо

заметно, что стабилизация уклонов наступает с уровня 250 см, следовательно, кривую $I = f(H)$ можно экстраполировать до наивысших уровней при отсутствии наблюдений на основе формулы Шези.

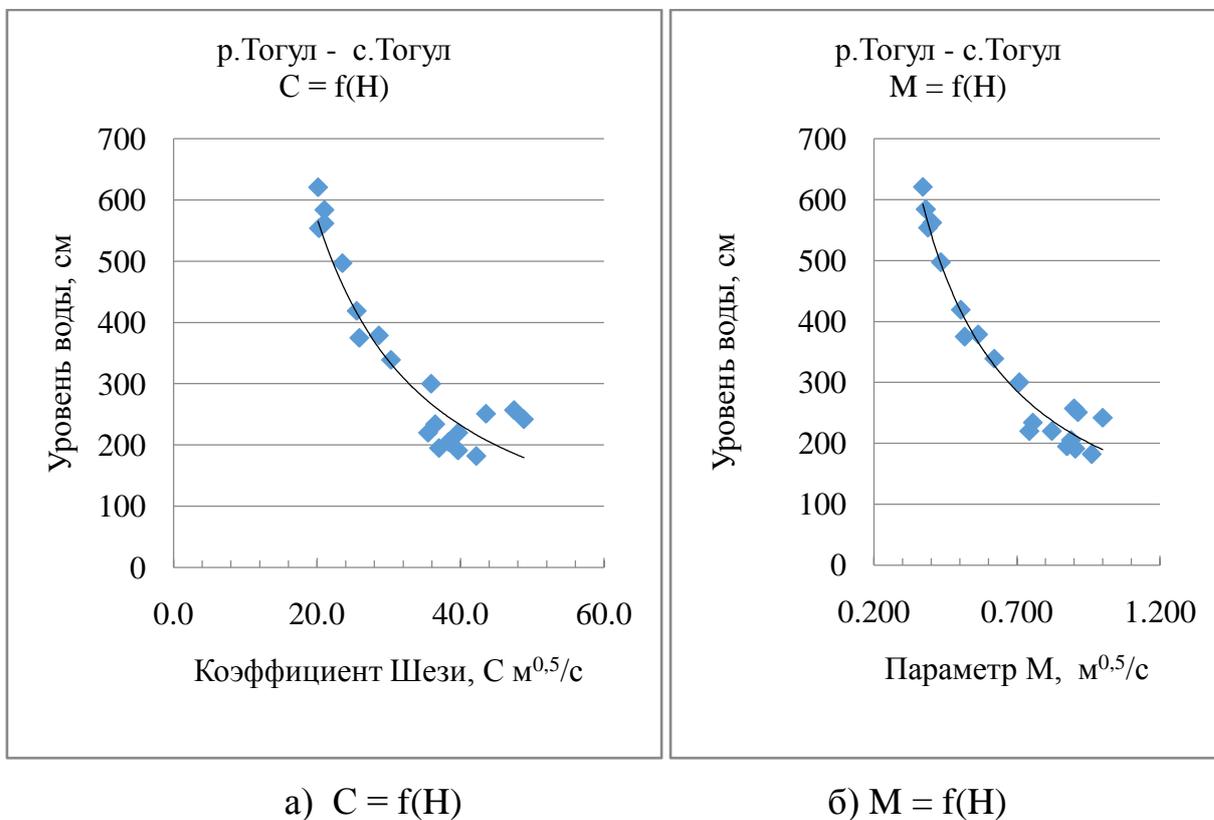


Рисунок 2.11 - Зависимости: а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, р.Тогул – с.Тогул

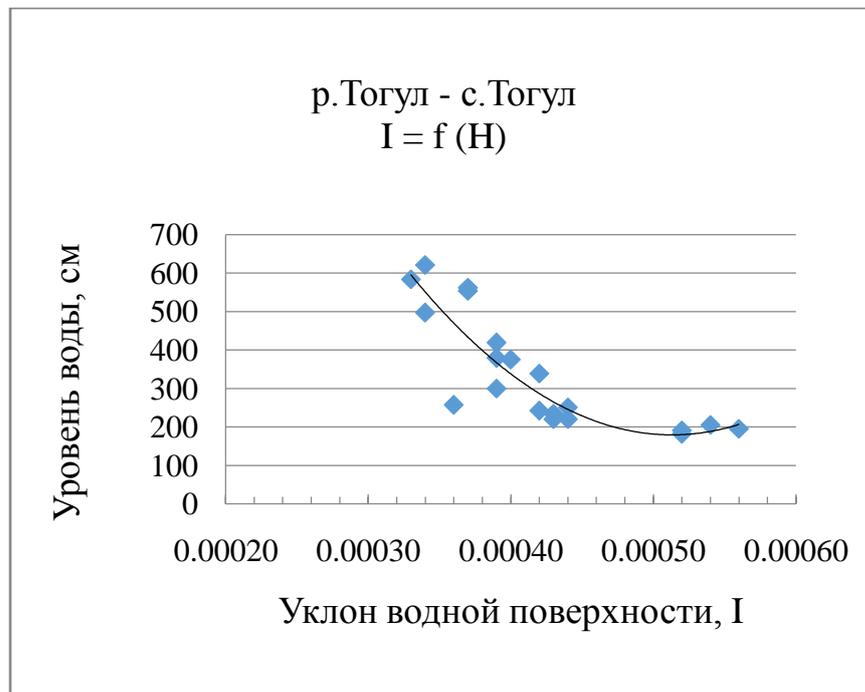


Рисунок 2.11 в) - Зависимость $I = f(H)$ р.Тогул – с.Тогул, 2014 г.

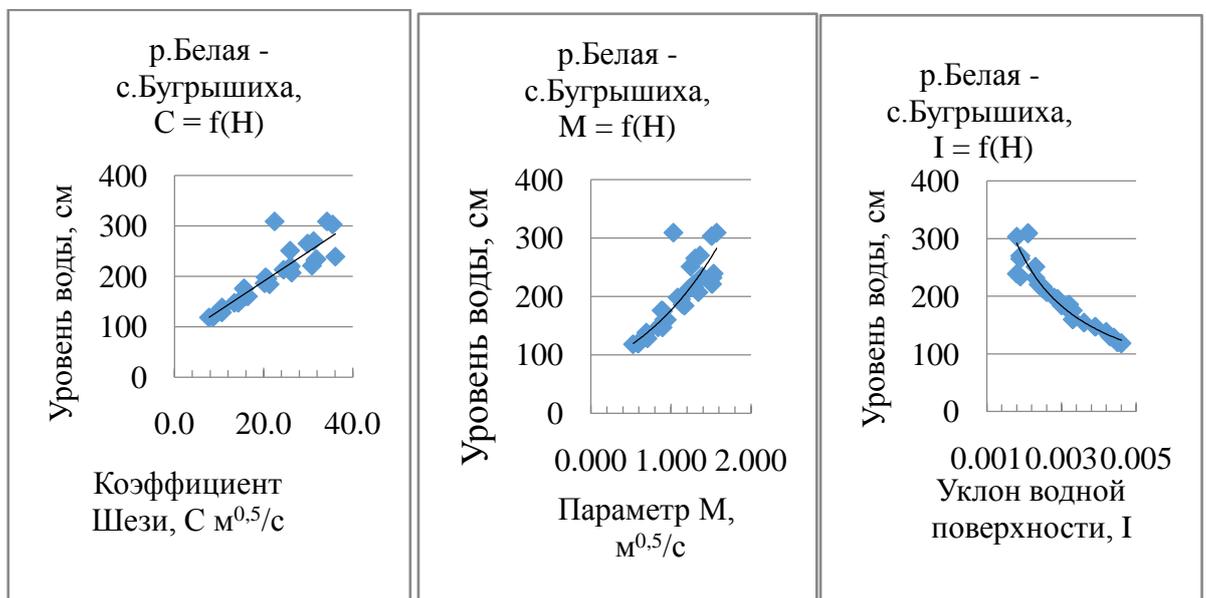


Рисунок 2.12 - Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, в) $I = f(H)$,
р. Белая – с. Бугрышиха, 2014 г.

Сравнивая графики зависимости уклонов водной поверхности на р. Чумыше по данным наблюдений двух постов – с. Ельцовка и с. Кытманово (рисунки 2.13 в), 2.14 в)) можно отметить влияние местных особенностей русла и расположения уклонных постов на форму кривой $I = f(H)$. В целом на посту Ельцовка уклоны возрастают с повышением уровня воды от 0.05 до 0.25 ‰, а на ГП-1 Кытманово уклоны уменьшаются с повышением уровня от 0.5 до 0.09 ‰.

На посту Ельцовка уклоны в интервале уровней 1 - 100 см изменяются от 0.05 до 0.20 ‰, далее кривая $I(H)$ стабилизируется, и значения уклонов находятся в пределах 0.27 – 0.30 ‰, что может быть обусловлено особенностями местного уклона – влиянием валунного русла, подпором от острова ниже основного поста и влиянием моста ниже уклонного поста.

Стабилизация кривых $C = f(H)$ и $M = f(H)$ с уровня 200 см над нулем поста позволяет использовать эти зависимости для экстраполяции кривых $Q(H)$ и $V(H)$ до наивысших уровней при отсутствии измерений.

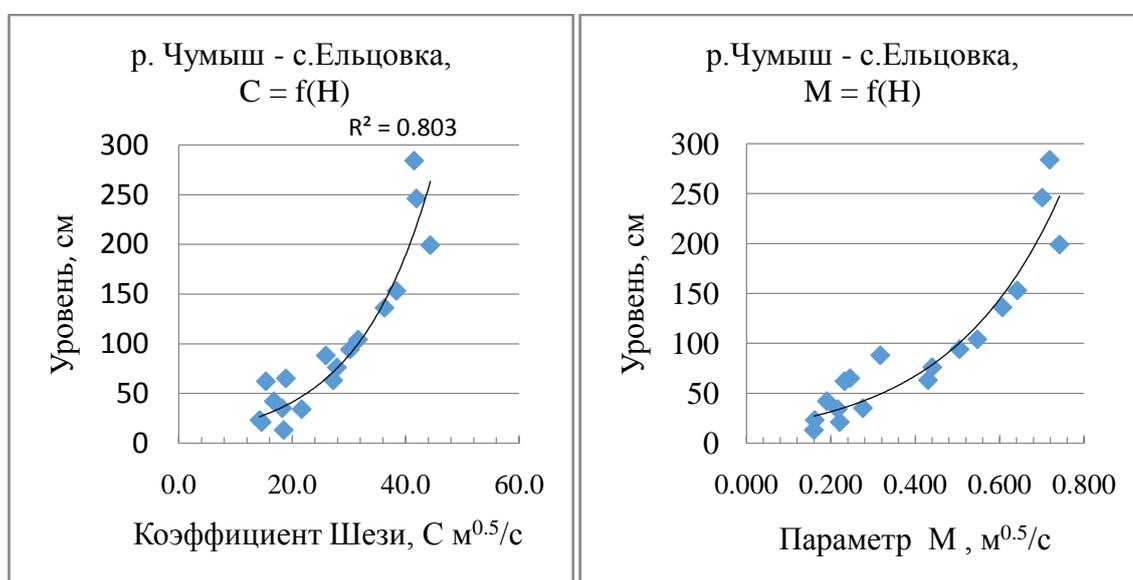


Рисунок 2.13 – Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, р. Чумыш – с. Ельцовка

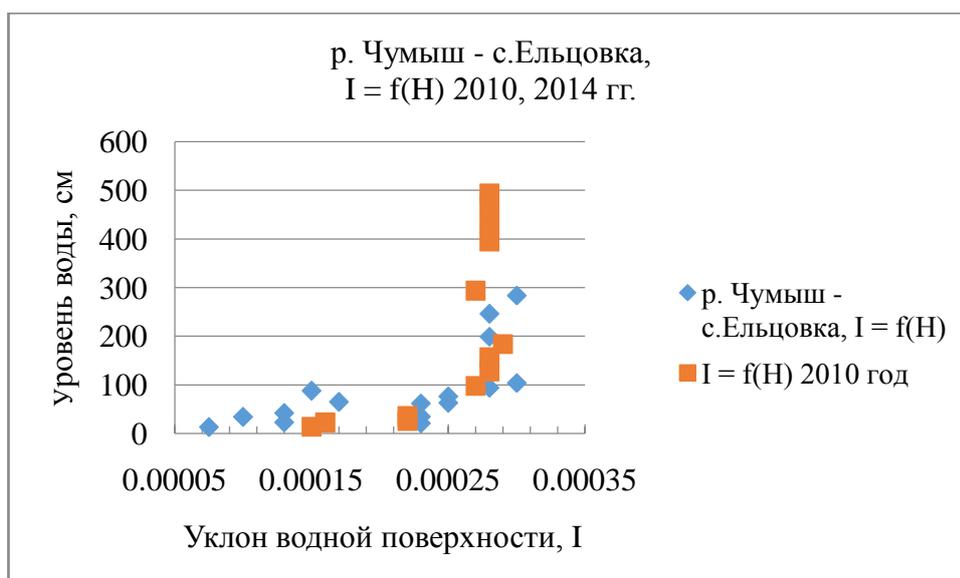


Рисунок 2.13 в) $I = f(H)$, р.Чумыш - с. Ельцовка, 2010, 2014 гг.

Графики зависимостей $C = f(H)$, $M = f(H)$, $I = f(H)$ ГП-1 р. Чумыш - с. Кытманово (рисунок 2.14 а) - в)), построенные по данным измерений за 2009, 2010, 2013 годы демонстрируют значительный разброс эмпирических точек, особенно в нижних частях кривых. При уровнях выше 400 см на графиках $C(H)$ и $M(H)$ прослеживается стабилизация кривых, что дает возможность использования этих зависимостей для подсчета максимального стока при отсутствии измерений.

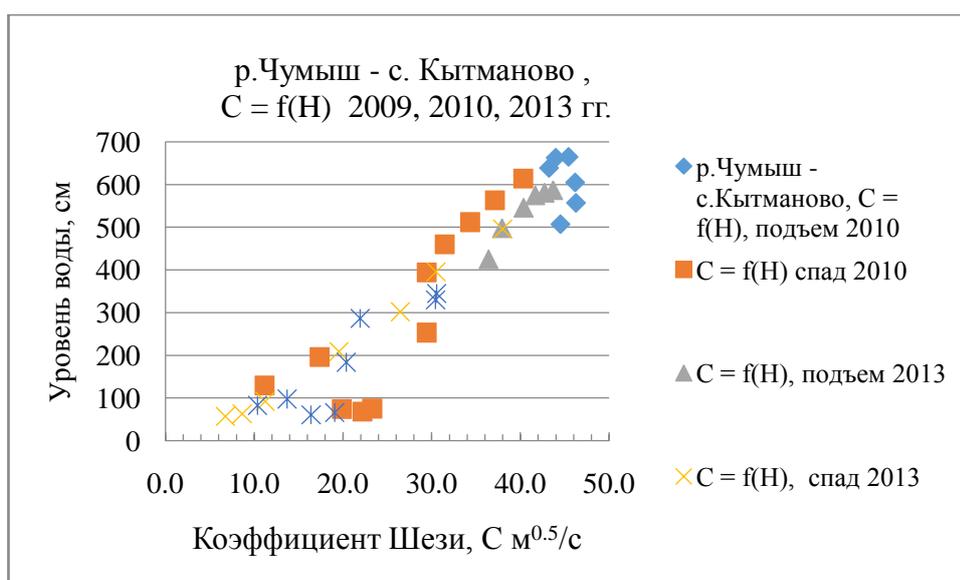
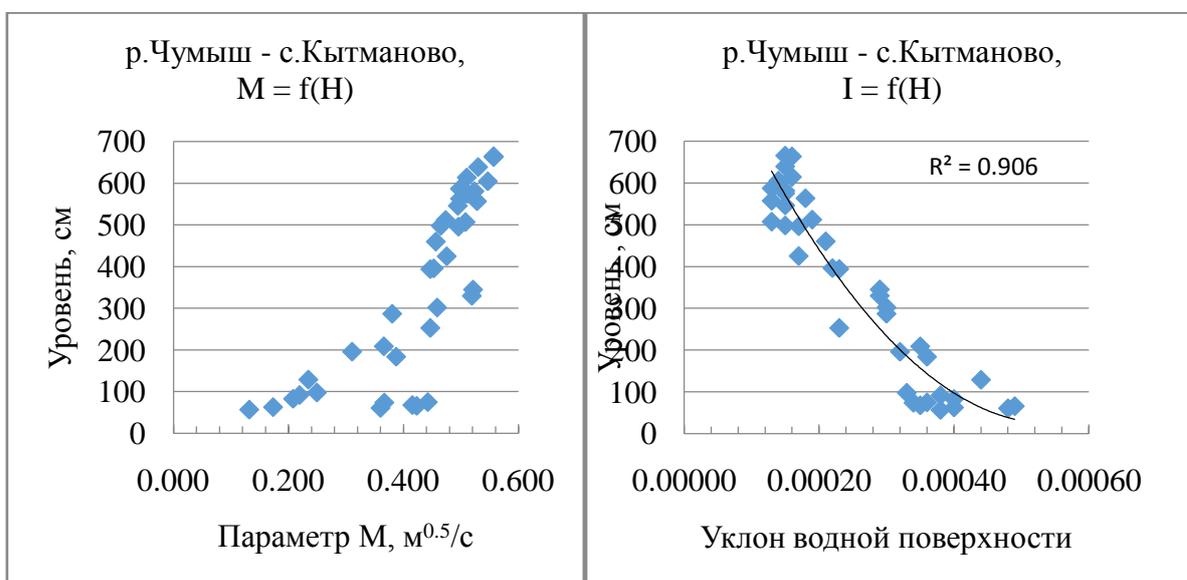


Рисунок 2.14 а) - Зависимость $C = f(H)$, р.Чумыш – с.Кытманово, 2009, 2010, 2013 гг.



б) $M = f(H)$

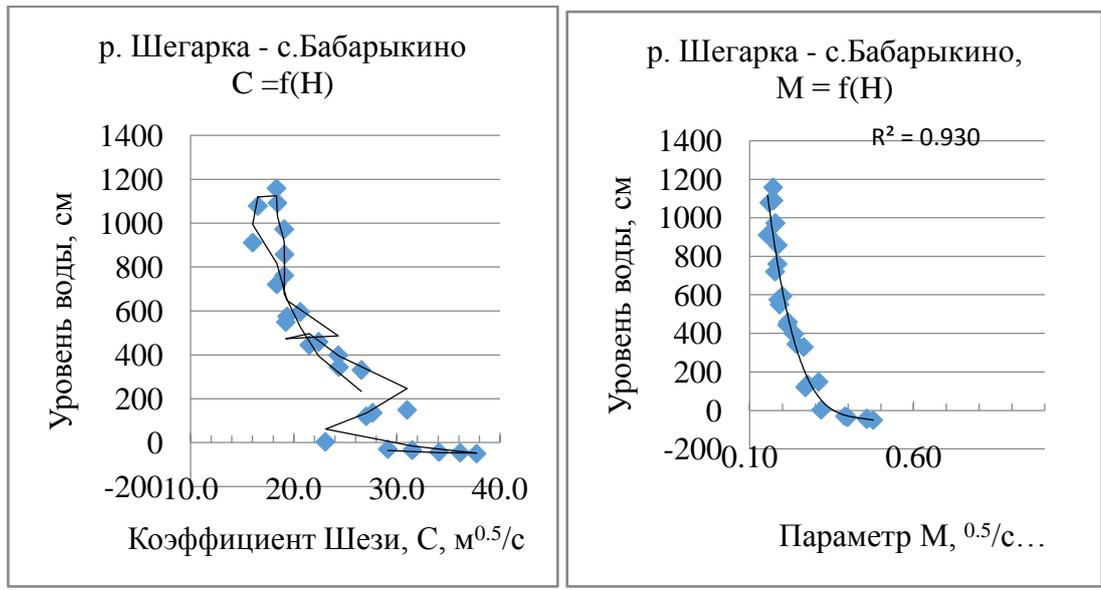
в) $I = f(H)$

Рисунок 2.14 - Зависимости б) $M = f(H)$, в) $I = f(H)$ р. Чумыш – с. Кытманово, 2009, 2010, 2013 гг.

Характерной особенностью зависимостей $C = f(H)$ и $I = f(H)$ на посту р. Шегарка – с. Бабарыкино (Рисунок 2.15 а) – в)) является максимальное их значение при низких уровнях. Коэффициент C принимает максимальные значения ($37.7 m^{0.5}/c$) при уровне -51 см, минимальное ($16.0 m^{0.5}/c$) - при уровне 911 см на спаде половодья, после достижения максимума 1160 см. Такой ход зависимостей может объясняться уменьшением шероховатости русла при снижении глубин: в соответствии с описанием поста - русло глинисто-илистое, берега русла зарастающие, что способствует появлению дополнительных сопротивлений при увеличении уровня. Значительный рост уклонов при уровнях ниже 0 см может объясняться снижением подпора от сооружений нижерасположенного моста.

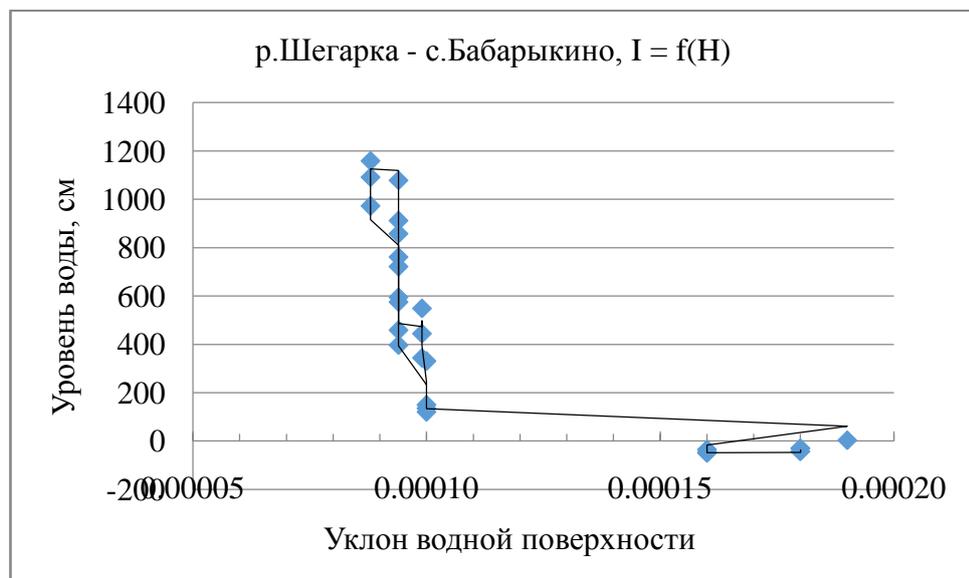
Подобный вид зависимостей $C = f(H)$ и $M = f(H)$ (Рисунок 2.16 а, б) характерен и для поста р. Бакса – с. Пихтовка, русло которой подвержено

значительному зарастанию водной растительностью, а также на условия протекания влияют временные грунтовые плотины с трубами в теле ниже и выше поста. Влияние грунтовых плотин подтверждается кривой уклонов $I = f(H)$. Значения уклона водной поверхности меняется в зависимости от состояния плотин.



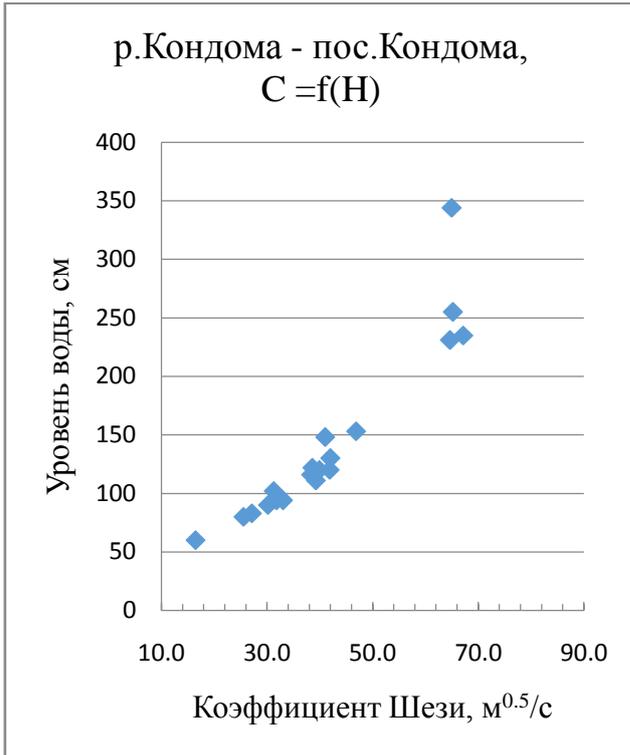
а) $C = f(H)$

б) $M = f(H)$

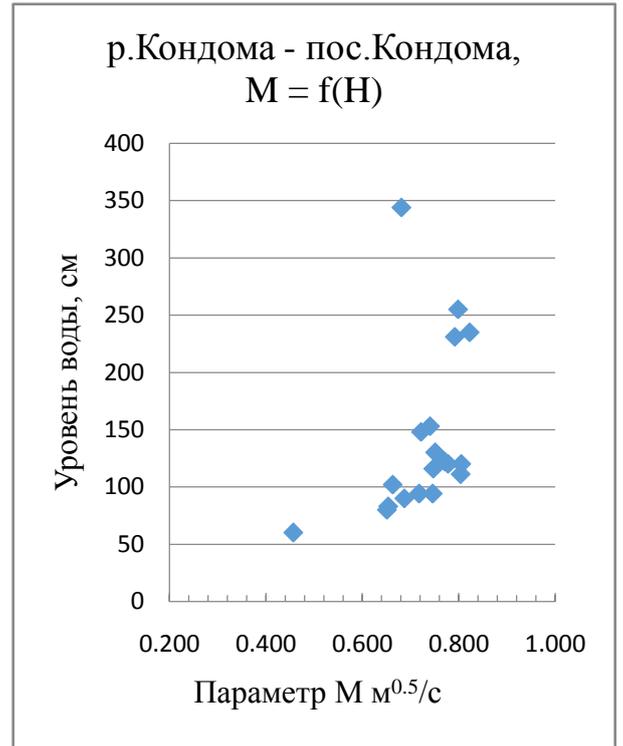


в) $I = f(H)$

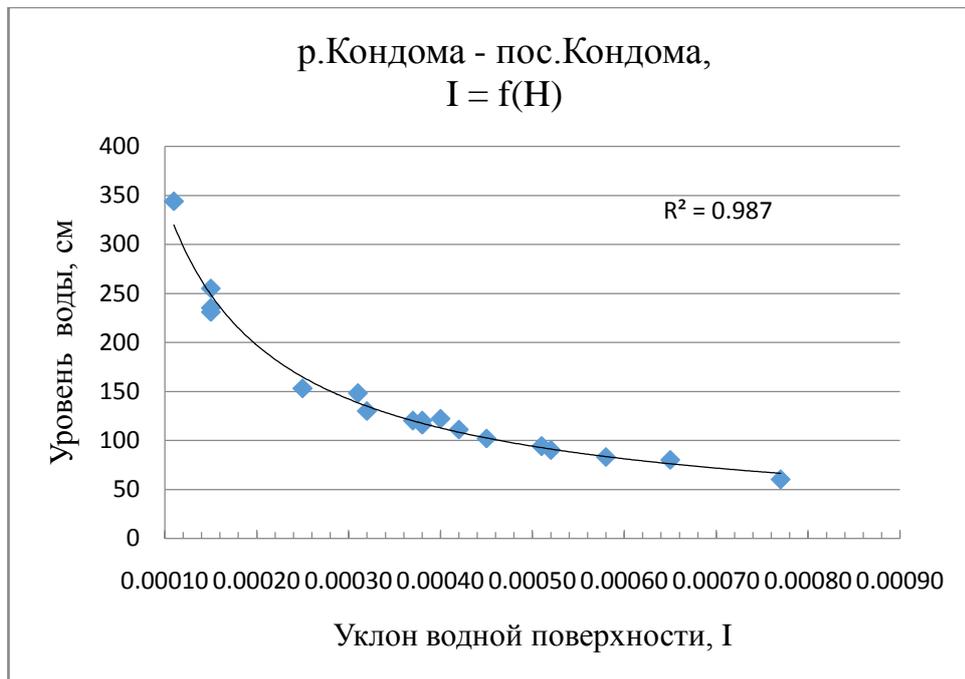
Рисунок 2.15– Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, в) $I = f(H)$, р. Шегарка – с. Бабарыкино, 2014 г.



а) $C = f(H)$



б) $M = f(H)$



в) $I = f(H)$

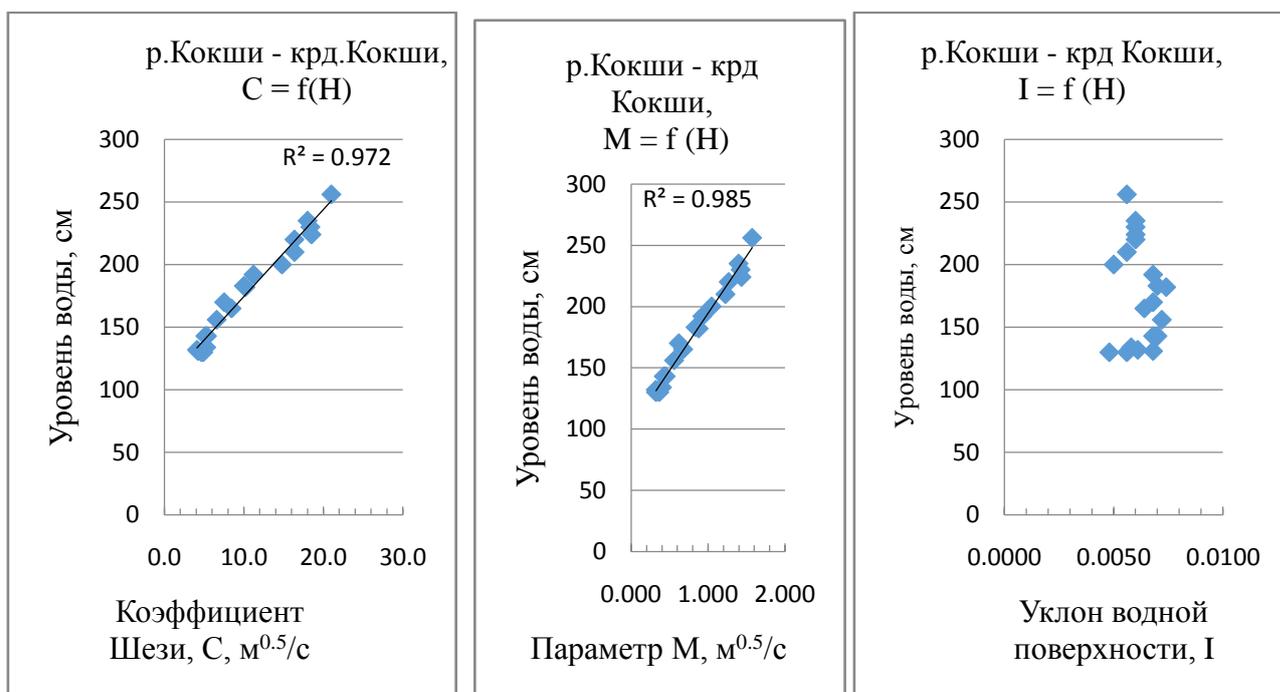
Рисунок 2.17 – Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, в) $I = f(H)$,
р. Кондома – пос. Кондома, 2014 г.

На ГП-1 р. Кондома – пос. Кондома уменьшение уклонов водной поверхности в интервале уровней 50 – 150 см над нулем поста от 0.8 до 0.25 ‰ обусловлено подпорным влиянием нижерасположенного моста (0.55 км ниже основного поста) и острова в 0.75 км ниже поста (см. рисунок 2.17 а-в)). Выше уровней 200 см отмечается стабилизация кривой уклонов, а также кривых $C = f(H)$ и $M = f(H)$, что позволяет использовать эти зависимости для экстраполяции кривых $Q(H)$ и $V(H)$ до наивысших уровней. Высокие значения коэффициента Шези при уровнях достижения поймы (350 см) 65 – 67 м^{0.5}/с могут быть обусловлены особенностями морфометрических характеристик русла и поймы: русло каменисто-галечное, не зарастающее кустарником, пойма луговая (см. фото участка поста ниже).



Рисунок 2.17 г) Вид участка гидроствора р. Кондома – пос. Кондома

На рисунке 2.18 а) – в) зависимости коэффициента Шези и параметра М, построенные по данным измерений на ГП-1 Кокши, позволяют использовать их для экстраполяции кривых $Q = f(H)$ и $V = f(H)$ до высших уровней, несмотря на то, что кривая уклонов водной поверхности имеет сложный вид из-за близкого расположения устьевой зоны (400 м до впадения реки в оз. Телецкое)



а) $C = f(H)$

б) $M = f(H)$

в) $I = f(H)$

Рисунок 2.18 – Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, в) $I = f(H)$,

р. Кокши – крд. Кокши, 2014 г.

При отсутствии данных об измеренных уклонах водной поверхности экстраполяция кривых средних скоростей возможна по зависимости параметра М от уровня: $M = f(H)$.

При $C_* = \text{const}$ и $I = \text{const}$, параметр М постоянен, построив зависимость $M=f(H)$ и осреднив эмпирические данные, можно экстраполировать график $M(H)$ до значения, соответствующего максимальному уровню.

2.5.5.5 Экстраполяция кривых в условиях пойменных створов

В условиях пойменных створов, к числу которых относятся многие гидростворы Западно-Сибирского УГМС, исследуемые в данной работе, применение рассмотренных способов экстраполяции значительно осложняется в связи с резкими различиями морфометрических характеристик и шероховатости русла и поймы, а также необходимостью учета взаимодействия руслового и пойменного потоков. Кроме того, измерения скоростей течения на пойме, как правило, отсутствуют. А закономерности изменения коэффициента C^* формулы Шези не всегда соответствует коэффициенту Шези C_0 (коэффициент, характеризующий сопротивление трения и влияния взаимодействия потоков русла и поймы) вследствие сложности происходящих явлений. Но все же некоторые рекомендации исследователи приводят.

Меньшие ошибки при использовании формулы Шези будут, если уклон при высоких уровнях меняется мало по сравнению с его значением на бровке русла. Надо определять для главного русла уменьшение коэффициента C^* на бровке русла до наивысших уровней (по формуле Шези-Манинга). При отсутствии данных об измеренных уклонах иногда можно пользоваться параметром M , который может быть определен приближенно по уравнению. $M_0 = (A - 4.8\eta)M_6$. При частичном освещении амплитуды уровня ИРВ на пойме можно пользоваться методом экстраполяции коэффициента C^* или M . Типичным видом кривой зависимости C^* от уровня является кривая параболического вида.

Гидрометрические створы с неширокими (не более двух ширин русла в паводок) луговыми поймами в гидравлическом отношении можно рассматривать как единое целое, т.к. там преобладает сопротивление главного русла. Уравнения гидравлики применяются для всего русла в целом. Такой подход при экстраполяции кривых рекомендован в Наставлении вып. 6, ч.1. Такой подход применялся и в нашей работе при экстраполяции кривых различными методами.

3 Примеры подсчета стока воды на постах ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» за 2014, 2015 гг., экстраполяция кривых расходов воды до наивысших уровней различными методами

3.1 Подсчет стока за 2014 год, экстраполяция $Q(H)$ различными методами на ГП-1 р. Бия – с. Турочак

Гидрологический пост р. Бия – с. Турочак расположен в западной части села, в 10 км выше впадения р. Лебедь, в 20 км ниже впадения р. Тандошки, в 300 м выше ручья Рукавичка.

Прилегающая местность горная.

Долина реки ящикообразная, с крутыми, высокими, до 150 м, скалистыми склонами, местами террасированными, покрытыми густым смешанным лесом.

Пойма левобережная, затопляется при уровне 450 см над нулем поста. При экстремально высоких уровнях на участке поста и ниже пойма затопляется на ширину 300-400 м.

Русло реки на участке поста прямолинейное, валунно-галечное, устойчивое. В 0.8 км ниже поста расположен пережат.

На участке поста в русле имеются мезоформы: осередок в створе поста на середине реки, появляется при уровне ниже 221 см, в 500 м ниже поста у левого берега - песчаная коса, обсыхающая при уровне 215 см и ниже. Правый берег русла крутой, незатопляемый, левый – пологий, низкий. На обоих берегах имеются выходы грунтовых вод.

Ледостав на участке поста устойчив, выше и ниже поста на перекатах наблюдаются открытые участки русла. На плесовых участках реки ледостав устанавливается в конце декабря – начале января. Русло реки зимой зашуговано, бывают зажоры, а при весеннем ледоходе – заторы льда.

Пост свайный, расположен на правом берегу.

Отметка нуля поста 307.31 м БС - 77. Уровень выхода воды на пойму 311.81 м БС – 77.

Гидроствор №2 расположен в 400 м выше поста, где расходы в зимы с устойчивым ледоставом измеряются со льда, гидроствор №3 – в 285 м ниже поста, оборудован гидрометрической установкой ГР-64М. Гидроствор №4 (зимний) расположен в 500 м выше поста.

Уклонный пост расположен в 300 м ниже основного поста.

Единичные пробы воды на мутность отбираются в период открытого русла в гидростворе №3, на 80 м от п.н.

Температура воды измеряется в 100 м выше поста, толщина льда при устойчивом ледоставе измеряется в 285 м ниже поста, на середине реки.

Наблюдения за уровнем режимом производятся с 1938 года, измерения расходов воды с 1962 года. Сток воды за период открытого русла вычисляется по ежегодным кривым расхода воды, в зимний период - по интерполяции между измеренными расходами, при отсутствии измерений в переходный периоды установления и разрушения ледостава – с применением коэффициентов $K_{зим}$. Ежегодная освещенность кривых расходов воды составляет 80 – 100 %. Изменчивость ежегодных кривых расхода воды показана на рисунке 3.1.1. Обусловлена она деформациями русла и ошибками измерений.

Измерения расходов воды производятся с дистанционной установки ГР-64 (груз 100 кг), гидрометрическими вертушками ГР-21 М основным способом на 4-6 вертикалях в зимний период, 7 – 10 - в период открытого русла. Распределение промерных и скоростных вертикалей соответствует требованиям Наставления вып.6, ч.1.

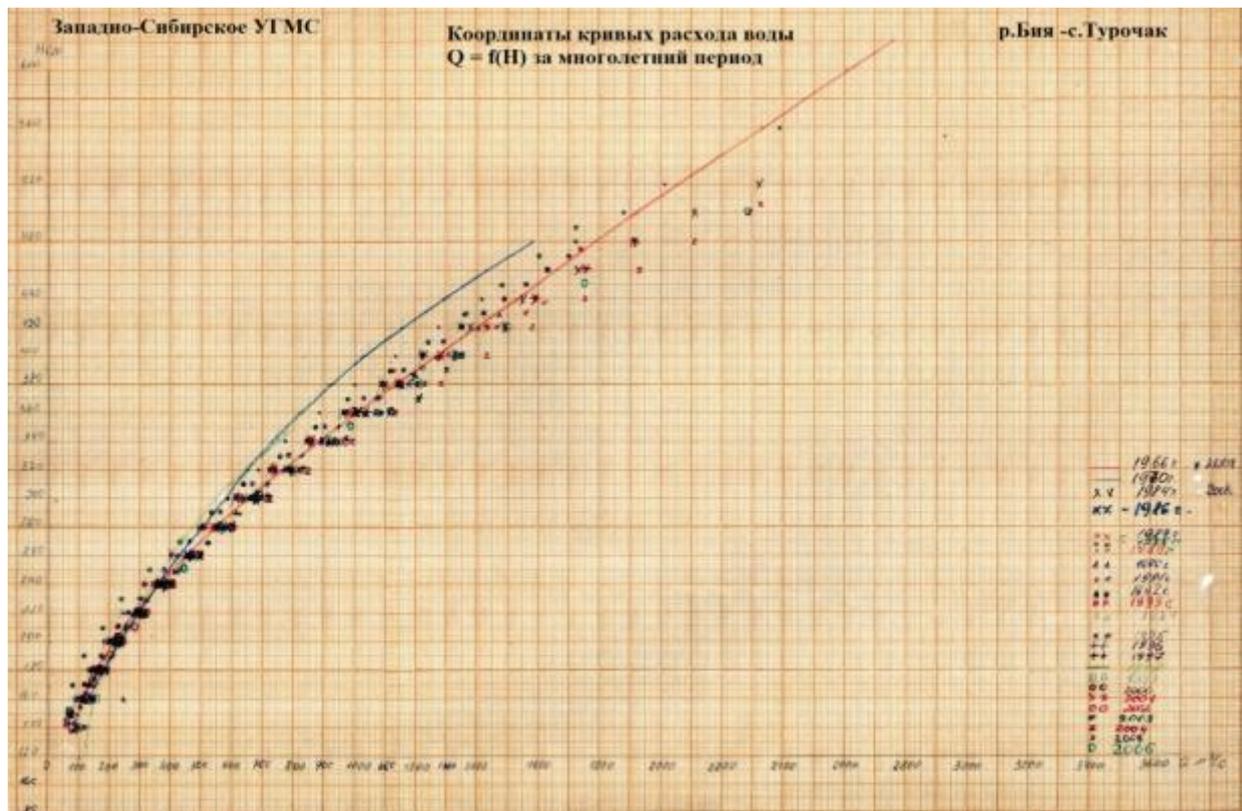


Рисунок 3.1.1 Координаты ежегодных кривых $Q = f(H)$ в многолетнем пучке р. Бия - с. Турочак

30.05.2014 наблюдался наивысший уровень за период наблюдений (76 лет) 782 см над нулем поста, превысивший прежний максимум 29.05.69 742 см. Освещенность амплитуды колебания уровня измерениями расходов составила 81 %. Сток воды за период открытого русла вычислен по кривой $Q = f(H)$, экстраполяция кривой до наивысшего уровня составила 15 %, и произведена по уравнению кинематической волны, для сравнения, расчет максимального расхода воды проверен по формуле Шези. Наивысший уровень, при котором измерен расход, 692 см, ($Q = 4350$ куб.м/с). Для анализа надежности экстраполяции с помощью формулы Шези вычислены значения коэффициентов Шези ($C, м^{0.5}/с$) и параметра M по данным натурных измерений (таблица 3.1.2). В дополнение к графикам гидравлических

элементов расхода воды, построенным по данным таблицы измеренных расходов воды (приложение Б), построены графики зависимости $C = f(H)$ и $M = f(H)$ (см. приложение Б4).

При уровнях выше 311.81 м БС сток левобережной поймы не учитывается (см. приложение Б2 – профиль гидроствора до УВВ)

В течение 2014 года сток вычислен с использованием следующих методов: 01.01 – 06.03, 25.11 – 31.12 – по интерполяции; 07.03 – 03.04 – по КрКзим; 04.04 – 24.11 – $Q(H)_{2014}$.

Для построения зависимости $Q = f(H)$ использовано 20 измерений расхода воды вертушкой. Среднее отклонение расходов от кривой $\pm 4\%$, наибольшее – 9% (расход от 11.08). $Q(H)_{2014}$ отклоняется от $Q(H)_{2013}$ влево до 5% при $H = 320$ см. В интервале уровней 169 – 219 кривые однозначны.

Для построения хронологического графика Кзим за 07.03 – 03.04 использовано одно измерение расхода воды при ледовых явлениях. График проведен с учетом хода гидрометеозлементов и изменением в соответствии с ними гидравлических условий потока.

Для интерполяции за период 01.01 – 06.03 использовано три измерения расхода воды, за период 25.11 – 31.12 в связи с выходом из строя дистанционной установки ГР - 64 М в период развития ледовых явлений и в связи с отсутствием устойчивого ледостава до конца года расходы не были измерены. Для подсчета стока использован вычисленный расход за 24.11 и измеренный вертушкой 28.01.2015 г. Сток за этот период принят пониженной точности. В приложениях Б - Б6 приведены исходные данные для построения кривых зависимости гидравлических элементов расхода воды и подсчета стока, таблица увязки кривых $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, таблица ежедневных уровней воды, таблица ежедневных расходов воды.

Для экстраполяции кривой расхода воды наибольший расход вычислен по уравнению кинематической волны (2.9), показатель степени уравнения – по формуле (2.8).

F_3 - площадь водного сечения для наивысшего уровня $H = 782$ см, в m^2 ;

Таблица 3.1.1 – Пример вычисления наибольшего расхода по уравнению кинематической волны р. Бия – с. Турочак

Дата ИРВ	H, см	Q м ³ /с	F м ²	lgQ	lgF	m
31.05	692	4350	1360	3.34	3.14	
02.06	561	2860	1060	3.46	3.03	1.64
03.06	513	2320	911	3.37	2.96	1.50
20.06	396	1230	660	3.10	2.82	1.68
Среднее						1.60

$$F_3 = 1580 \text{ м}^2; \quad Q_3 = 4350 \left(\frac{1580}{1360} \right)^{1.6} = 5520 \text{ куб.м/с};$$

Для проверки экстраполяции на основе формулы Шези использовалась зависимость $C = f(H)$, построенная по эмпирическим значениям коэффициента Шези, вычисленным по ИРВ за 2014 год. Вид зависимости, в верхней части близок к прямой, что позволяет более-менее надежно экстраполировать кривую до наивысших значений уровня (Приложение Б4). В нашем случае для H макс. получены значения параметров, входящих в формулу Шези:

- коэффициент Шези ($C \text{ м}^{0.5}/\text{с}$) равен 36.0;
- уклон ($I, \%$) - 1,4
- средняя скорость ($V, \text{м/с}$) - 3.36;
- расход воды ($Q \text{ м}^3/\text{с}$) - 5360.

Разница в полученных двумя методами результатах составила 2.9 %:

Q_{max} по уравнению кинематической волны - 5520 м³/с;

Q_{max} по формуле Шези – 5360 м³/с.

Таблица 3.1.2 – Пример расчета коэффициента Шези ($C = \frac{V_{cp}}{\sqrt{h_{cp} * I}}$)

р. Бия-с. Турочак, уровень выхода воды на пойму 450 см

Дата	Уровень, Н, см	Скорость, V ср.	Уклон, I	Глубина средняя, h ср, м	Кoeffи- циент Шези, C, м ^{0,5} /с	Параметр $M = \frac{V_{cp}}{\sqrt{h_{cp}}}$
08.04.2014	212	1,06	0,00093	1,87	25,4	0,775
10.05.2014	227	1,18	0,00090	1,88	28,7	0,861
16.05.2014	300	1,58	0,00093	2,55	32,4	0,989
17.05.2014	284	1,49	0,00093	2,44	31,3	0,954
31.05.2014	692	3,2	0,00140	5,8	35,5	1,329
01.06.2014	612	2,77	0,00140	5,2	32,5	1,215
02.06.2014	561	2,7	0,00130	4,84	34,0	1,227
03.06.2014	513	2,55	0,00130	4,26	34,3	1,235
13.06.2014	385	1,84	0,00130	3,33	28,0	1,008
20.06.2014	396	1,86	0,00110	3,27	31,0	1,029
06.07.2014	339	1,69	0,00090	2,89	33,1	0,994
14.07.2014	297	1,47	0,00090	2,5	31,0	0,930
29.07.2014	250	1,18	0,00080	2,02	29,4	0,830
31.07.2014	286	1,39	0,00087	2,42	30,3	0,894
11.08.2014	258	1,15	0,00077	2,16	28,2	0,782
20.08.2014	229	1,10	0,00080	1,99	27,6	0,780
27.08.2014	218	1,08	0,00083	1,81	27,86	0,80
13.05.2015	319	1,72	0,0009	2,68	35,0	1,051
14.05.2015	376	1,92	0,0010	3,18	34,0	1,077
19.05.2015	342	1,80	0,00093	2,88	34,8	1,061
31.05.2015	389	2,03	0,0011	3,23	34,1	1,130
09.06.2015	369	1,99	0,001	3,08	35,9	1,134
17.06.2015	350	1,83	0,001	2,96	33,6	1,064
02.07.2015	272	1,45	0,0008	2,31	33,7	0,954

3.2 Подсчет стока за 2014 год, экстраполяция $Q(H)$ различными методами на ГП-1 р. Иша с. Усть-Иша

Гидрологический пост р. Иша – с. Усть-Иша расположен у села, в 1.0 км ниже впадения ручья Тальга. Прилегающая местность холмистая, открытая. Долина реки трапецеидальная, асимметричная. Склоны долины крутые, открытые, изрезаны логами, постепенно сливается с прилегающей местностью. Дно долины ровное, покрыто травянистой растительностью.

Пойма открытая, переходящая с одного берега на другой, на участке поста левобережная, шириной до 50 м, ниже по течению расширяется до 120 - 150 м, далее, в 300 м ниже поста, пойма выклинивается и в 0.8 км ниже поста переходит на правый берег. Пойма затопляется при уровне 590-600 см над нулем поста.

Русло извилистое, деформирующееся. Дно русла песчано-галечное. Берега крутые, обрывистые, высотой 3-5 м, только в створе поста левый берег понижается до 2 м. Оба берега подмываются и обваливаются. При уровнях ниже 150 см в 50 м выше поста становится обозримым осередок, который увеличивается и зарастает травянистой растительностью.

Пост свайный, расположен на левом берегу.

Отметка нуля поста 228.82 м БС-77.

Уклонный пост совмещен с гидроствором №2.

Гидроствор №2 расположен в 1.7 км ниже поста, оборудован гидрометрической установкой ГР-64М.

Отбор проб воды на мутность прекращен с 2006 г., производится учащенное измерение расходов взвешенных наносов в целях оптимизации наблюдений по учету стока взвешенных наносов.

Температура воды измеряется в створе поста, в 2-3 м от берега, толщина льда – в 1.7 км ниже поста, на середине реки.

Наблюдения за уровнем и стоковым режимом производятся с 1954 года. Наивысший уровень за период наблюдений был отмечен 30.04.69 900 см

над нулем поста, наибольший расход 1770 куб.м/с относится к наивысшему уровню. Сток воды в периоды свободного русла вычисляется по ежегодным кривым расхода, устойчивость которых в многолетнем ряду незначительно нарушается в связи с деформацией русла. Вид ежегодных зависимостей $Q = f(H)$ в многолетнем пучке кривых расходов воды представлен на рисунке 3.2.1 В нижней части кривые достаточно устойчивы, изменение координат находится в пределах 20 – 25 % . В средней и верхней частях отклонение кривых из года в год меняется из-за погрешностей измерения расходов при различных уровнях заполнения поймы. Разброс координат кривых здесь находится в пределах 30 – 45 %. При наивысшем уровне 900 см (1969 год) кривая расходов освещена измерениями на 65 %. Наивысший уровень, освещенный измерениями - 642 см.

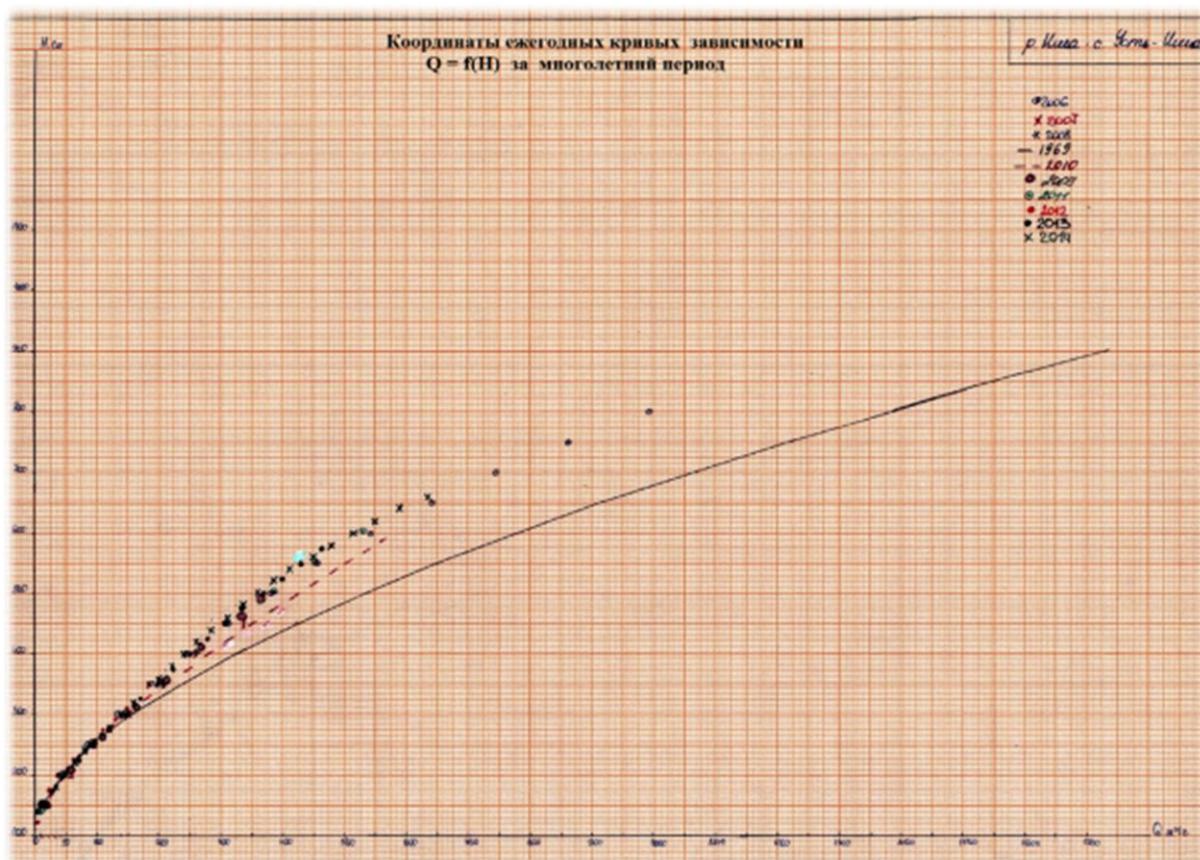


Рисунок 3.2.1 Ежегодные кривые расходов $Q = f(H)$

За 2014 год сток воды вычислен:

- по интерполяции между измеренными расходами воды: в период устойчивого ледостава 01.01 - 18.03, метод обоснован 6 ИРВ и вычисленным расходом за 19.03; 18.11 – 31.12 по 2 ИРВ и вычисленному за 17.11;

- по графику зимних коэффициентов $K_{зим}$: в период развития весенних ледовых явлений 19.03 – 02.04 с вычислением коэффициентов по двум измерениям расхода воды;

- по графику зависимости $Q = f(H)$ (рисунок 3.2.2): 03.04 – 17.11, в период открытого русла. Для построения кривой расходов воды использованы данные 19 измерений расходов воды вертушкой (приложение В). Амплитуда колебания уровня освещена измерениями на 72 %. Среднее отклонение расходов от кривой ± 3 %, наибольшее 10 % (расходы 19.06, 30.06). Экстраполяция произведена вверх на 148 см (28 %) для расхода более 385 куб.м/с по уравнению кинематической волны (2.9).

Таблица 3.2.1 – Пример вычисления наибольшего расхода по уравнению кинематической волны р. Иша – с. Усть-Иша

Дата ИРВ	H, см	Q м ³ /с	F м ²	lgQ	lgF	m
03.04	431	279	294	2.45	2.47	
18.04	233	83.1	108	1.92	2.03	1.6
07.05	182	36.1	64.4	1.56	1.81	1.3
29.05	433	276	296	2.44	2.47	1.4
03.06	520	385	362	2.59	2.56	1.7
30.06	169	22.0	52.2	1.34	1.72	1.5
15.08	156	15.9	43.6	1.20	1.64	1.5
Среднее						1.5

$$F_3 = 513 \text{ м}^2; \quad Q_3 = 385 \left(\frac{513}{362} \right)^{1.5} = 638 \text{ куб.м/с};$$

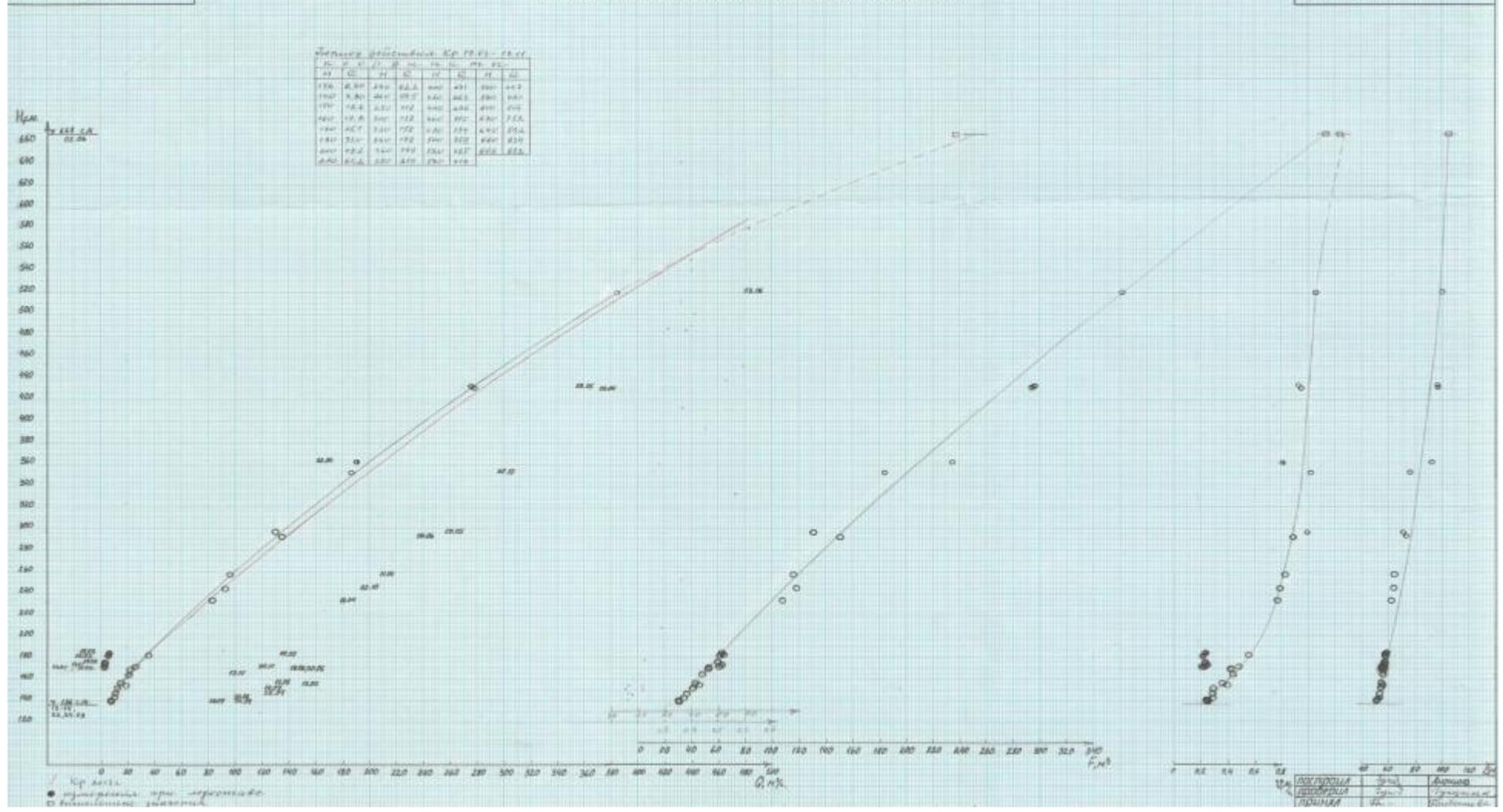


Рисунок 3.2.2 - Графики зависимости гидравлических элементов Q = f(H), F = f(H), V = f(H), B = f(H), р. Иша - с. Усть-Иша, 2014 г.

Для вычисления наибольшего расхода по формуле Шези использовалась зависимость $C = f(H)$, построенная по эмпирическим значениям коэффициента Шези по ИРВ за 2009 - 2010 годы, когда проводились измерения уклонов, и зависимость параметра $M = f(H)$ за период 2009 – 2014 гг. (рисунки 3.2.3 а, б).

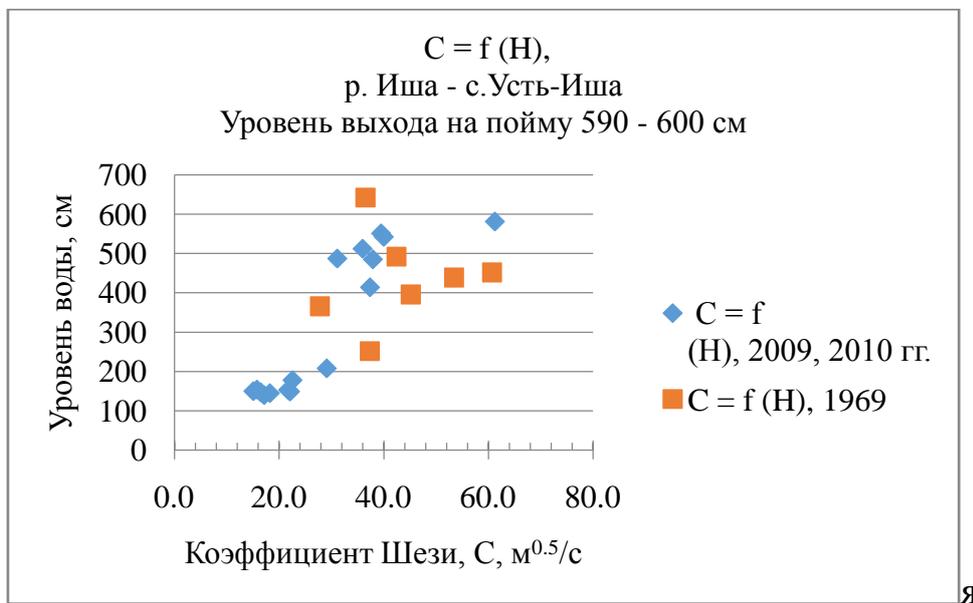


Рисунок 3.2.3 а) – Зависимость $C = f(H)$, р. Иша –с.Усть-Иша

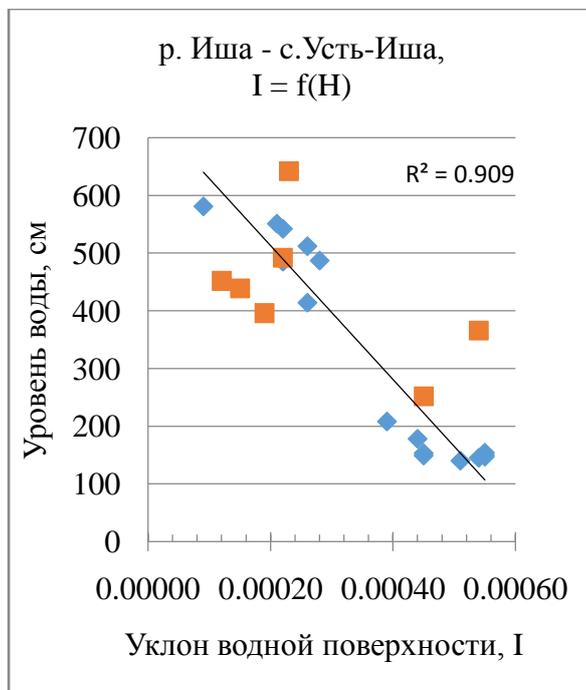
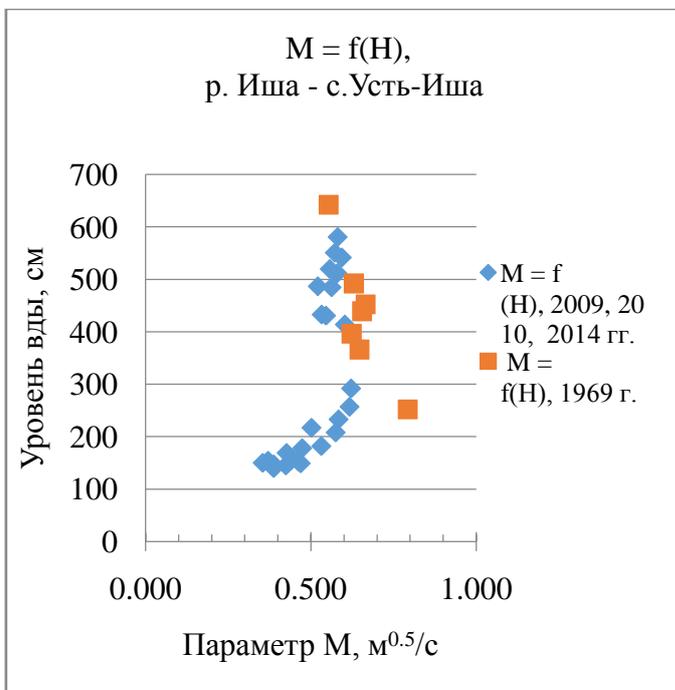


Рисунок 3.2.3 б), в) - Зависимости $M = f(H)$, $I = f(H)$, р. Иша – с. Усть - Иша

Кривые зависимостей коэффициента Шези и уклонов от уровня имеют сложный вид: уклоны с возрастанием уровня уменьшаются, стабилизация уклона не прослеживается до уровней затопления поймы, коэффициент Шези также при этом убывает, но примерно при уровнях 400 см значения C стабилизируются. Можем принять для наивысшего уровня за год (668 см) значение коэффициента Шези, равное $40 \text{ м}^{0.5}/\text{с}$. На спаде волны, при снижении уровней до пойменных бровок коэффициент может возрастать и до 55 - 60 $\text{м}^{0.5}/\text{с}$ (по данным измерений, таблица 3.2.2).

Разброс точек на графике зависимости $C = f(H)$ обусловлен увеличением шероховатости русла за счет кустарниковой растительности, что подтверждается ИРВ (рисунок 3.2.4).

Таблица 3.2.2 – Пример расчета коэффициента Шези C и параметра M формулы Шези; уровень выхода воды на пойму 590 - 600 см, отметка выхода воды на пойму 234.72 м БС – 77, р. Иша – с.Усть-Иша

Дата	Уровень, $H, \text{см}$	Скорость, $V \text{ ср.}$	Уклон, I	Глубина средняя, $h \text{ ср, м}$	Коэффициент Шези, $C, \text{м}^{0.5}/\text{с}$	Параметр $M = \frac{V_{\text{ср}}}{\sqrt{h_{\text{ср}}}}$, $\text{м}^{0.5}/\text{с}$
11.04.2009	485	1.06	0.00022	3.55	37.9	0.563
14.04.2009	414	1.03	0.00026	2.92	37.4	0.603
17.04.2009	487	0.98	0.00028	3.54	31.1	0.521
20.05.2009	208	0.69	0.00039	1.44	29.1	0.575
31.05.2009	178	0.49	0.00044	1.07	22.6	0.474
14.06.2009	145	0.36	0.00054	0.72	18.3	0.424
20.06.2009	149	0.44	0.00045	0.88	22.1	0.469
27.06.2009	153	0.44	0.00045	0.91	21.7	0.461
25.07.2009	140	0.31	0.00051	0.64	17.2	0.388
04.08.2009	147	0.31	0.00055	0.64	16.5	0.388
10.08.2009	154	0.31	0.00055	0.70	15.8	0.371
20.08.2009	150	0.29	0.00055	0.67	15.1	0.354
23.04.2010	512	1.12	0.00026	3.73	36.0	0.580
24.04.2010	542	1.19	0.00022	4.02	40.0	0.594

Продолжение таблицы 3.2.2

Дата	Уровень, Н, см	Скорость, V ср.	Уклон, I, м	Глубина средняя, h ср, м	Коэффици- циент Шези, C, м ^{0.5} /с	Параметр $M = \frac{V_{ср}}{\sqrt{h_{ср}}}$, м ^{0.5} /с
26.04.2010	551	1.18	0.00021	4.25	39.5	0.572
29.04.2010	581	1.22	0.00009	4.41	61.2	0.581
08.05.2010	337	0.97	0.00012	2.45	56.6	0.620
08.05.2010	337	0.97	0.00012	2.45	56.6	0.620
13.05.2010	217	0.60	-	1.43	-	0.502
03.04.2014	431	0.95	-	3.03	-	0.546
11.04.2014	257	0.83	-	1.81	-	0.617
18.04.2014	233	0.77	-	1.74	-	0.584
07.05.2014	182	0.56	-	1.11	-	0.532
13.05.2014	154	0.40	-	0.83	-	0.439
29.05.2014	433	0.93	-	3.05	-	0.533
03.06.2014	520	1.06	-	3.62	-	0.557
04.06.2014	292	0.89	-	2.05	-	0.622
19.06.2014	169	0.42	-	0.97	-	0.426

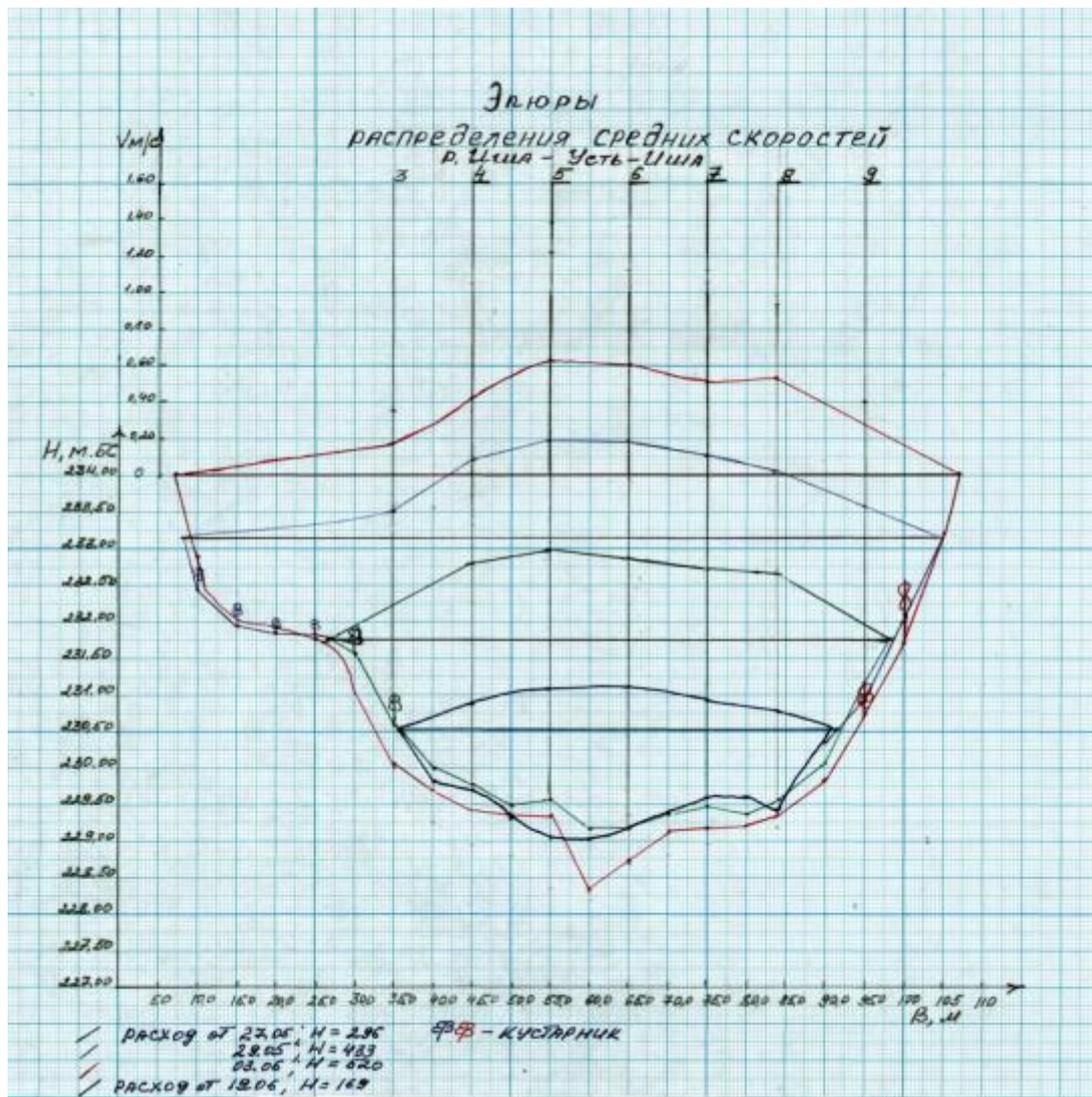


Рисунок 3.2.4 – Профиль водного сечения при различных уровнях воды и соответствующие им эпюры распределения скоростей по ширине потока, р. Иша – с.Усть-Иша

Для $H_{\text{макс}}$ (668 см) принимаем значения параметров, входящих в формулу Шези:

- коэффициент Шези ($C \text{ м}^{0.5}/\text{с}$) - 40;
- уклон ($I, \text{‰}$) - 0.10;
- средняя глубина ($h_{\text{ср}}, \text{м}$) – 4.89;
- площадь водного сечения (м^2) – 513;

тогда:

- средняя скорость (V , м/с) - 0.89;
- расход воды (Q м³/с) – 453.

Разница в полученных двумя методами результатах составила 40 %:

Q_{max} по уравнению кинематической волны - 638 м³/с;

Q_{max} по формуле Шези – 453 м³/с, что, вероятно, связано с недостаточно точным определением коэффициента Шези вследствие сложной формы зависимости $C = f(H)$, отсутствием данных надежных измерений уклонов водной поверхности.

В случае использования для экстраполяции кривой параметра M получаем:

- параметр M при уровне 668 см принимаем 0.570 м^{0.5}/с (в соответствии с рисунком 2.12 б), тогда в соответствии с формулой (2.13),

$V_{\text{ср.}} = 1.26$ м/с;

$Q = 646$ м³/с, что дает близкий результат (1.3 %) с методом кинематической волны.

Комплексный график и таблицы результатов подсчета стока находятся в приложениях В1 – В4

3.3 Подсчет стока за год, экстраполяция кривой расходов на ГП-1 р. Ануй – с. Солонешное

Гидрологический пост р. Ануй – с. Солонешное расположен в центральной части села, в 1.4 км ниже впадения р. Язевки, в 0.8 км выше впадения р. Солонешенки, в 59 м выше железобетонного моста.

Прилегающая местность крупнохолмистая, открытая.

Долина реки ящикообразная, шириной на участке поста 0.8 - 0.9 км, выше поста долина реки расширяется до 1.0 - 1.2 км. Склоны долины высотой 300 - 400 м, крутые (25-40°), каменистые, только местами поросшие кустарником, сильно изрезаны долинами рек и логами. Дно долины неровное, открытое.

Пойма двухсторонняя, в створе поста и выше – правобережная, шириной 80 - 100 м, ниже – левобережная, шириной до 50 м, ровная, покрытая луговой растительностью, затопляется при уровне воды 235 - 240 см над нулем поста.

Русло каменисто-галечное, слабоизвилистое, на участке поста прямолинейное. В 120 м выше поста русло разделено островами на две протоки. Берега преимущественно открытые, правый – пологий, левый – крутой, в створе поста сливается со склоном долины. Песчано-гравийная дамба, высотой 1.0 - 1.2 м, длиной 0.6 км, сооруженная вдоль правого берега, укрепляет правый берег.

Пост свайный, расположен на левом берегу.

Уклонный пост свайный, расположен в 67 м ниже основного. Разрушен вследствие дождевого паводка, прошедшего в мае 2014 г.

Гидроствор №3 расположен в 6 м выше поста, оборудован дистанционной установкой ГР-70.

Наблюдения за уровнем производятся с 1944 года, измерения расходов воды - с 1955 года. Однородность уровня нарушена в 1985 году в связи с переносом поста. Наивысший уровень за период наблюдений 365 см наблюдался 30.04.2014, превысивший предыдущий максимум 15.04.2004 295 см. Наибольший расход воды за период наблюдений 549 куб.м/с от 30.05.2014. Сток воды в периоды свободного русла вычисляется по ежегодным кривым расхода, положение которых в пучке кривых меняется ежегодно незначительно и может объясняться деформациями русла и погрешностями измерений расхода воды. Вид ежегодных зависимостей $Q = f(H)$ в многолетнем пучке кривых расходов воды представлен на рисунке 3.3.1

Как видно на рисунке, смещение ежегодных кривых расходов воды за многолетний период находится в пределах 15 – 20 % многолетней амплитуды изменения уровня. Значительно отклоняются от общего направления «пучка» кривые 1955 и 1983 года. Что может быть связано с изменением условий протекания.

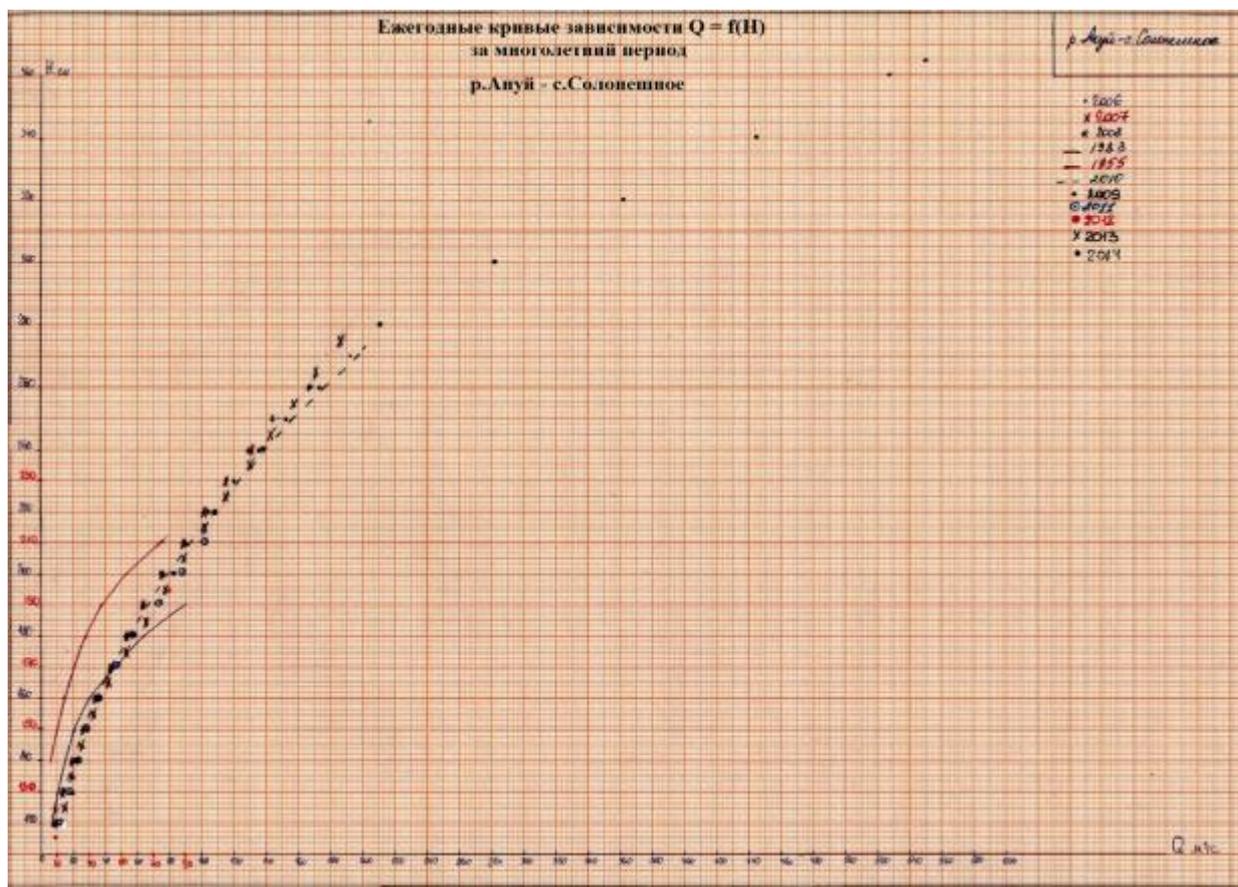


Рисунок 3.3.1 - Ежегодные кривые расходов $Q = f(H)$,
р. Ануй - с. Солонешное

В 2014 году при прохождении дождевого паводка в конце мая – начале июня наблюдались экстремальные уровни и расходы воды. За 2014 год сток был подсчитан с применением следующих методов (см. рисунки 3.3.2, 3.3.3):

- по интерполяции между измеренными расходами воды: 01.01 - 12.03 – в период устойчивого ледостава с применением 5 ИРВ и вычисленного расхода за 13.03; 24.11 – 31.12 в период ледостава по интерполяции между вычисленным расходом за 23.11 и двумя измеренными;

- по графику зимних коэффициентов $K_{зим}$: в период разрушения ледостава и развития весенних ледовых явлений 13.03 – 01.04 с вычислением коэффициентов ($K_{р1}K_{зим}$) по двум измерениям расхода воды; 11 - 23.11 в период развития ледовых явлений осенью с вычислением коэффициента ($K_{р2}K_{зим}$) по 1 ИРВ;

- по графикам зависимости $Q_1 = f(H)$ и $Q_2 = f(H)$ (приложение Г1): в период открытого русла возникновение двух кривых расхода воды обусловлено изменением условий протекания после прохождения паводка и расчистки русла в ходе гидротехнических работ; для построения Кр 1 (30.04 - 30.05) использовано 10 измерений расхода вертушкой, освещающих 68 % амплитуды колебания уровня; кривая экстраполирована вверх на 21 % для $Q > 342$ куб. м/с, вниз на 11 % для $Q < 32.9$ куб. м/с; экстраполяция кривой выполнена по уравнению кинематической волны; выполнена проверка подсчета наибольшего расхода по формуле Шези с применением построения зависимостей $C = f(H)$, $M = f(H)$.

Для построения Кр 2 (11.06 – 10.11) использовано 14 ИРВ, освещающих 100 % амплитуды колебания уровня. 31.05 – 10.06, в период отсутствия зависимости расхода от уровня, сток был подсчитан по интерполяции с учетом хода уровня.

В приложениях Г – Г3 представлены исходные материалы для построения кривых зависимостей $Q = f(H)$ и результаты подсчета стока за год. Комплексный график (рисунок 3.3.2) представлен для анализа соответствия методов подсчета стока ходу гидрологических факторов.

Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений за 2014 г.
Пост 10120. Р.АНУЙ - С.СОЛОНЕШНОЕ

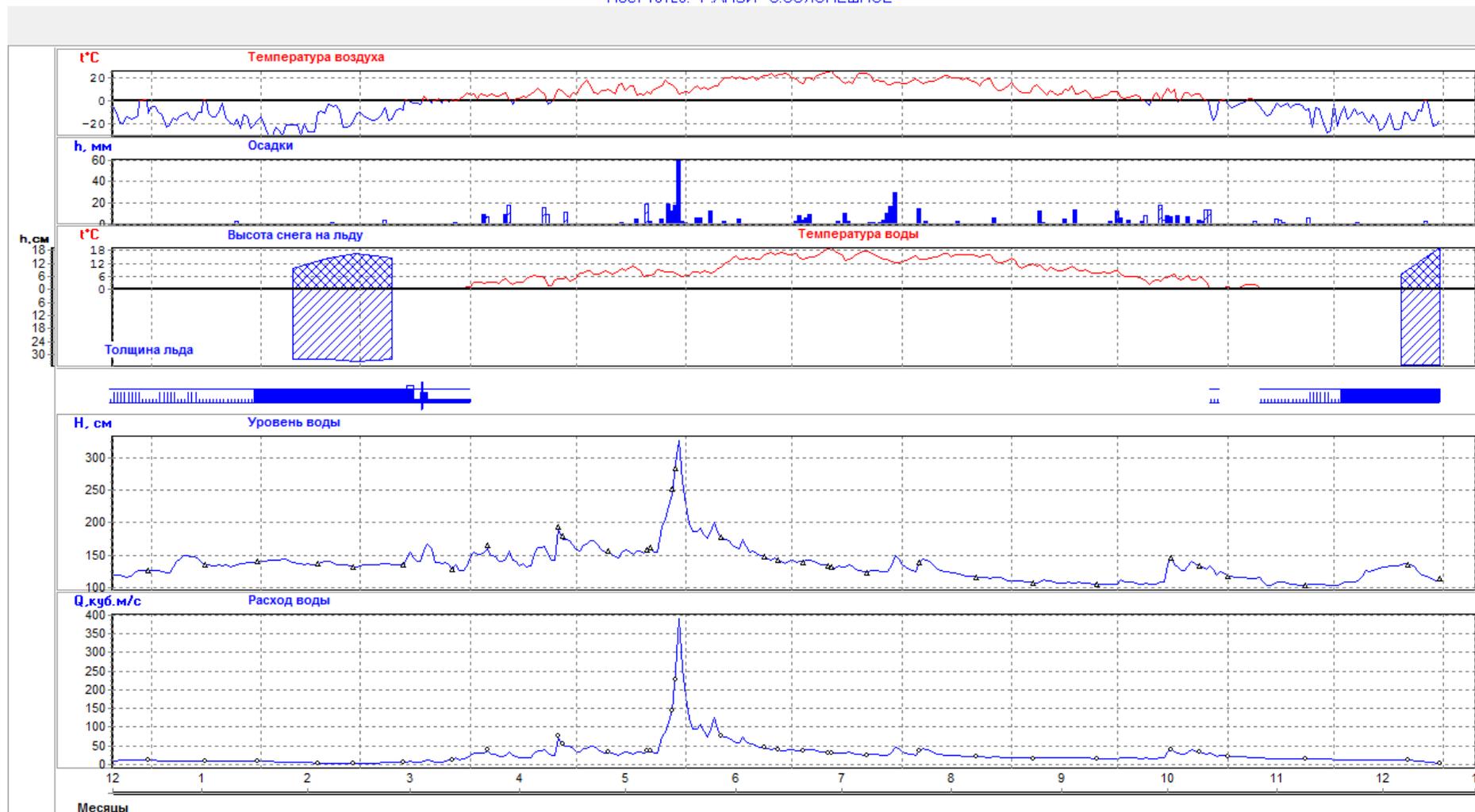


Рисунок 3.3.2 - Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений, р. Ануй – с. Солонешное

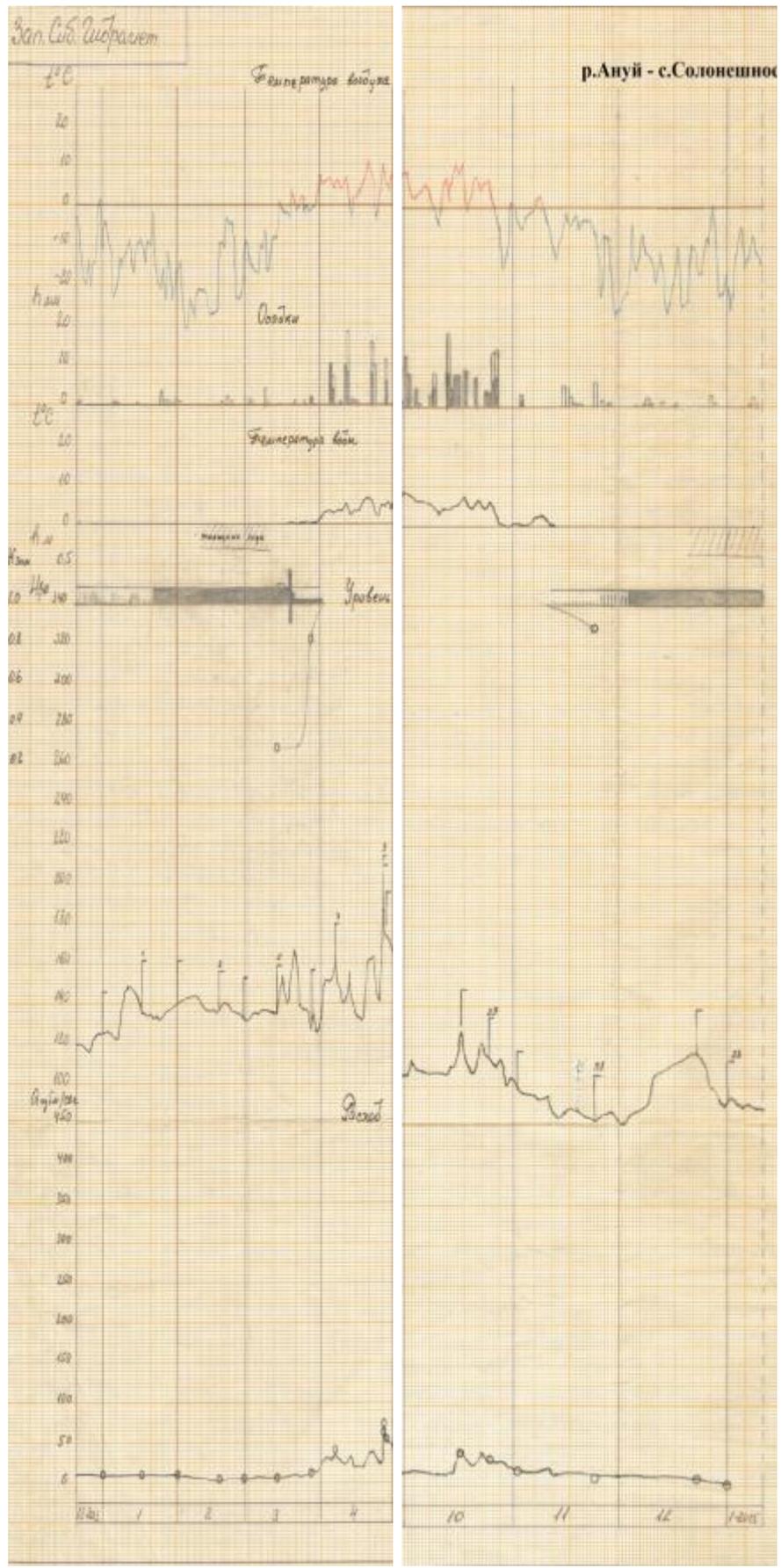


Рисунок 3.3.3 - Фрагменты комплексного графика с подсчетом зимнего стока по графику $K_{зим}$ и интерполяции

Таблица 3.3.1 – Пример вычисления наибольшего расхода по уравнению кинематической волны р. Ануй – с. Солонешное

Дата ИРВ	H, см	Q м ³ /с	F м ²	lgQ	lgF	m
29.05	315	343	127	2.54	2.10	
29.06	284	226	103	2.35	2.01	2.1
28.05	252	144	78.2	2.16	1.89	1.8
11.06	178	78.4	65.4	1.89	1.82	2.3
Среднее						2.1

Для наивысшего уровня (365 см): $F_3 = 165 \text{ м}^2$; $Q_3 = 343 \left(\frac{165}{127}\right)^{1.8} = 549 \text{ куб.м/с}$;

Несмотря на то, что высший уровень 30.05.2014 на 125 см превышал уровень выхода воды на пойму, в створе поста пойма затапливалась на небольшую ширину (менее 2В) - (рисунок 3.3.4), а расходы на пойме не измерялись в связи со сложностью выполняемых работ, поэтому при подсчете стока и экстраполяции кривой расходов, поток не разделялся на пойменный и русловой, а принят единым по преобладанию русловой составляющей. Несмотря на то, что при выходе на пойму поток подвергается значительным изменениям, для проверки надежности экстраполяции с помощью формулы Шези, были использованы натурные данные.

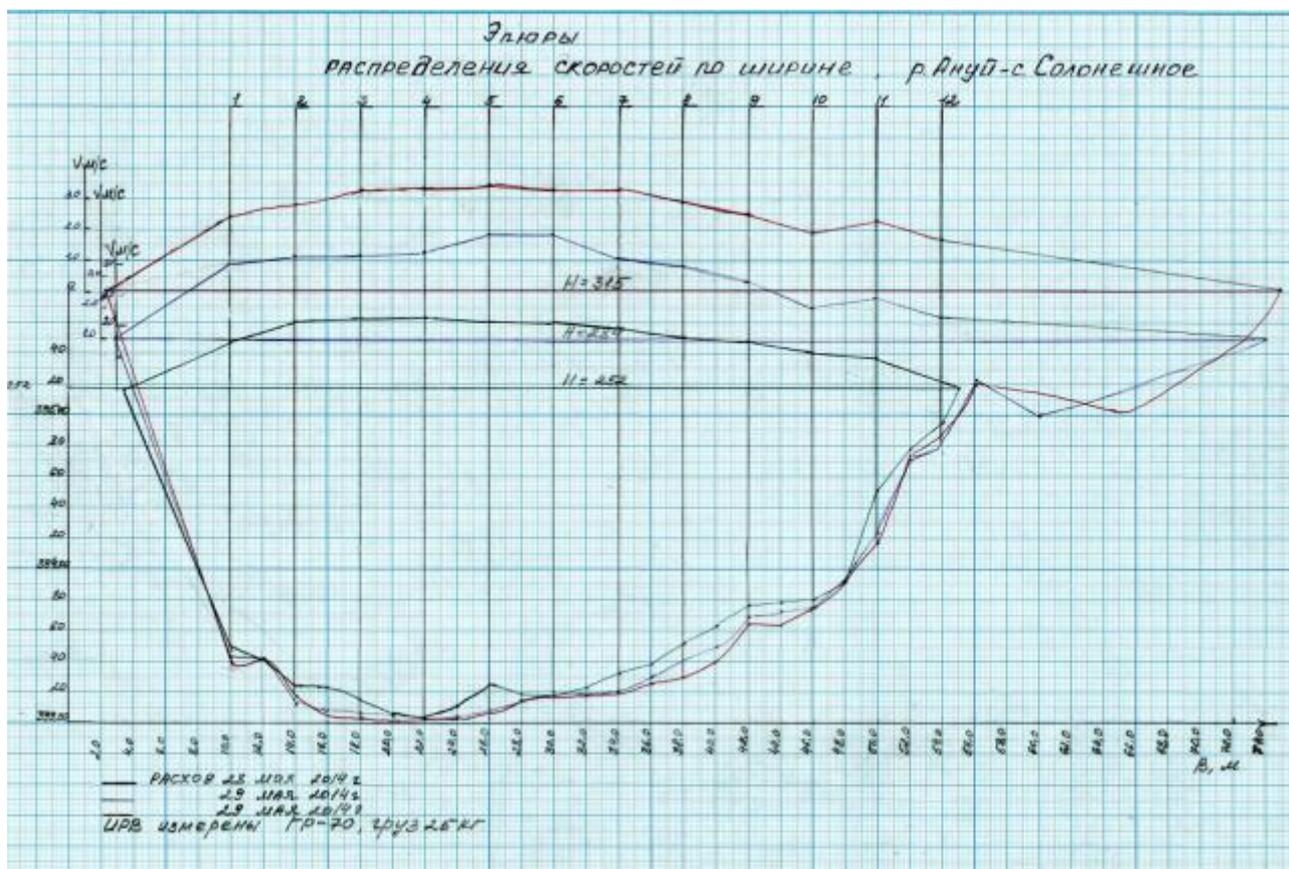


Рисунок 3.3.4 – Профиль водного сечения при различных уровнях воды и соответствующие им эпюры распределения скоростей по ширине потока, р. Ануй – с.Солонешное

Таблица 3.3.2 - Проверка экстраполяции по формуле Шези,
Уровень выхода на пойму 235 - 240 см, отметка выхода воды на пойму
395.01 м БС-77

Дата	Уровень, Н, см	Скорость, V ср.	Уклон, I, м	Глубина средняя, h ср, м	Коэффициент Шези, C, м ^{0.5} /с	Параметр $M = \frac{V_{ср}}{\sqrt{h_{ср}}}$, м ^{0.5} /с
27.03.2014	128	0,54	0,0036	0,59	11,7	0,703
06.04.2014	166	1,00	0,0028	0,91	19,8	1,048
26.04.2014	194	1,40	0,0030	1,18	23,5	1,289
26.04.2014	188	1,31	0,0030	1,13	22,5	1,232
27.04.2014	180	1,22	0,0028	1,03	22,7	1,202
11.05.2014	156	0,95	0,003	0,85	18,8	1,030

Дата	Уровень, Н, см	Скорость, V _{ср}	Уклон, I, м	Глубина средняя, h _{ср} , м	Коэффициент Шези, С, м ^{0.5} /с	Параметр $M = \frac{V_{ср}}{\sqrt{h_{ср}}}, \text{ м}^{0.5}/\text{м}$
11.05.2014	156	0,95	0,003	0,85	18,8	1,030
21.05.2014	158	0,95	0,003	0,87	18,6	1,019
22.05.2014	162	1,00	0,003	0,89	19,4	1,060
28.05.2014	252	1,84	0,0027	1,51	28,8	1,497
29.05.2014	284	2,19	0,0009	2,53	45,9	1,377
29.05.2014	315	2,70	0,0009	1,74	68,2	2,047
11.06.2014	178	1,2	0,0030	1,33	19,0	1,041
12.04.2013	198	1,41	0,0028	1,17	24,6	1,304
14.04.2013	223	1,68	0,0032	1,30	26,0	1,473
16.05.2013	211	1,53	0,0025	1,25	27,4	1,368

Для Н макс (365 см) принимаем значения параметров, входящих в формулу Шези на основании экстраполяции кривых (см. графики зависимости гидравлических элементов в Приложении Г1):

- коэффициент Шези (С м^{0.5}/с) - 76;
- уклон (I, ‰) - 0.9;
- средняя глубина (h_{ср}, м) – 1.85;
- площадь водного сечения (м²) – 165;

тогда:

- средняя скорость (V, м/с) - 3.10;
- расход воды (Q м³/с) – 511.

Разница в полученных двумя методами результатах составила 7 %:

Q_{тах} по уравнению кинематической волны - 549 м³/с;

Q_{тах} по формуле Шези – 511 м³/с.

В случае использования для экстраполяции кривой параметра М получаем:

- параметр M при уровне 365 см принимаем $2.24 \text{ м}^{0.5}/\text{с}$ (см. Приложение Г1), тогда в соответствии с формулой 2.13 $V_{\text{ср.}} = 3.05 \text{ м/с}$;

$Q = 503 \text{ м}^3/\text{с}$, что дает близкий результат (1.6 %) с методом кинематической волны.

3.4 Подсчет стока за 2014 год по данным наблюдений на ГП-1 р. Ануй – свх. Ануйский

Пост расположен в 0.5 км выше впадения р.Берсень, в 120 м ниже железобетонного моста.

Прилегающая местность слабохолмистая, открытая. Долина реки ящикообразная, шириной на участке поста до 4.0 км. Склоны и дно долины открытые, покрыты травянистой растительностью.

Пойма на участке поста двухсторонняя, на правом берегу шириной до 410-450 м, на левом берегу на участке поста шириной 300-320 м, выше – сужается до 120 м, ниже – расширяется до 350 м, заливается при уровнях 480-550 см над нулем поста. Поверхность поймы неровная, изрезана ложками, покрыта луговой растительностью, местами – кустарником.

К северо-востоку от поста, в междуречье рек Ануй и Берсень и по правому берегу р.Берсень, имеется много озер.

Русло реки сильноизвилистое, на участке поста протяженностью 300-350 м, прямолинейное, песчано-галечное. Берега русла крутые, высотой 2-8 м, сложены суглинком, при высоких уровнях подмываются, наблюдаются обвалы берегов. На посту происходит деформация русла. В 20 м выше поста на середине реки образовался осередок длиной 10-15 м, шириной 3-5 м, в створе поста коса. При уровнях ниже 185 см над нулем поста образуется протока правого берега. В 130 м выше поста правый берег укреплен каменисто-галечной насыпью.

Пост свайный, расположен на правом берегу.

Гидроствор №2 расположен в 10 м выше поста, оборудован дистанционной установкой ГР-70.

Сток воды в периоды свободного русла вычисляется по ежегодным кривым расхода, положение которых в пучке кривых меняется ежегодно и объясняется деформациями русла.

Наблюдения за уровнем и стоковым режимом производятся с 1961 г., за этот период наивысший уровень 629 см наблюдался 09.04.1969, в 2014 году наивысший уровень, сформированный дождевым паводком в конце мая составил 622 см. Максимальный расход воды в 2014 году превысил предыдущий максимум 1966 года (462 куб.м/с) и составил 689 куб.м/с.

В связи со сложностью организации измерений расходов воды при высших уровнях, сток по пойме не учитывался, скоростные вертикали расположены только в пределах русловой части (рисунок 3.4.1) Экстраполяция кривой расходов воды до высшего уровня составила 21 %, для расхода более 458 куб.м/с.

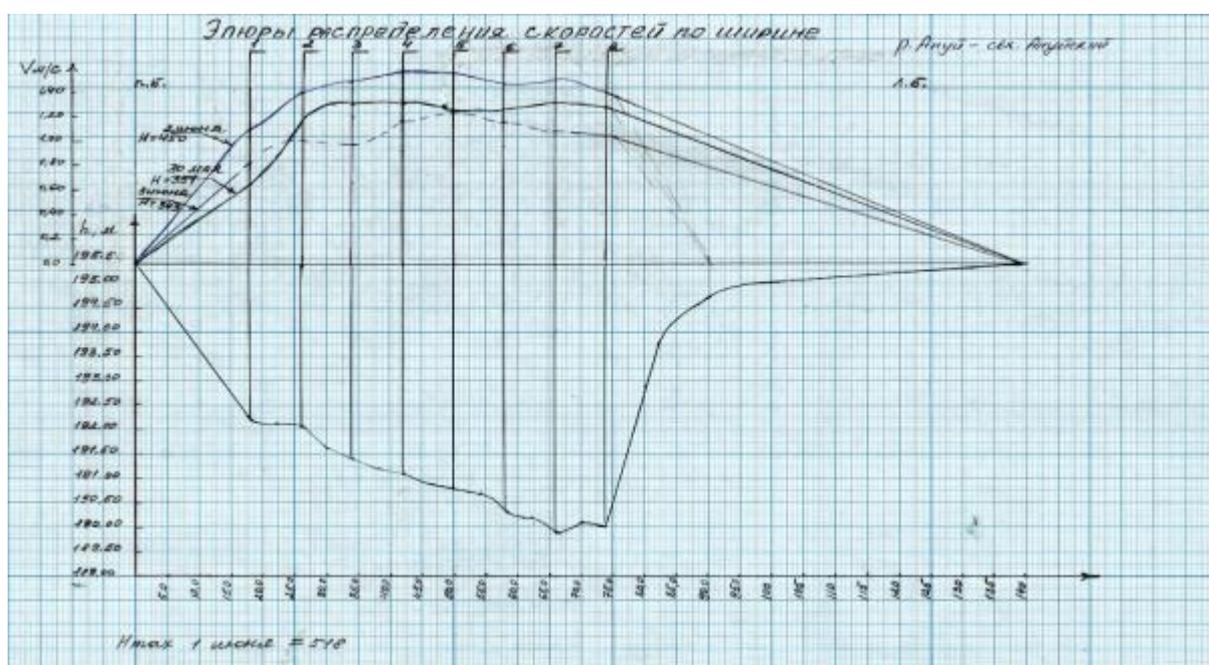


Рисунок 3.4.1 - Профиль водного сечения при различных уровнях воды и соответствующие им эпюры распределения скоростей по ширине потока, р. Ануй – свх. Ануйский

За период свободного русла сток вычислен по кривой $Q = f(H)$ (Приложение Д1). Для построения КР использованы данные 22 измерений расхода воды вертушкой (Приложение Д). Амплитуда колебания уровня освещена измерениями на 79 %. Среднее отклонение расходов от КР ± 5 %. $Q(H)_{2014}$ отклоняется от $Q(H)_{2013}$ вправо до 11 %. Отклонение кривых объясняется деформациями русла. Экстраполяция КР произведена по уравнению кинематической волны (2.9).

Таблица 3.4.1 – Пример вычисления наибольшего расхода по уравнению кинематической волны р. Ануй – свх. Ануйский

Дата ИРВ	H, см	Q м ³ /с	F м ²	lgQ	lgF	m
01.06	518	459	331	2.66	2.52	
02.06	450	345	251	2.54	2.40	1.0
30.05	351	254	165	2.30	2.22	1.2
03.06	343	191	182	2.28	2.26	1.5

Для наивысшего уровня (622 см): $F_3 = 493 \text{ м}^2$;

$$Q_3 = 459 \left(\frac{493}{331} \right)^{1.0} = 689 \text{ куб.м/с};$$

$$Q_3 = 459 \left(\frac{493}{331} \right)^{1.2} = 748 \text{ куб.м/с};$$

$$Q_3 = 459 \left(\frac{493}{331} \right)^{1.5} = 843 \text{ куб.м/с}$$

Принято $Q_3 = 689 \text{ куб.м/с}$.

В связи с отсутствием на ГП-1 Ануйский наблюдений за уклонами водной поверхности, использование для экстраполяции кривой параметров, входящих в формулу Шези (по натурным данным) не представляется возможным. Кроме того, полученная по данным измерений зависимость $M = f(H)$ (см. рисунок 3.4.2) не подтверждает постоянства уклона и

коэффициента Шези с ростом уровня и не позволяет использовать данные зависимости для экстраполяции кривых до наивысших уровней.

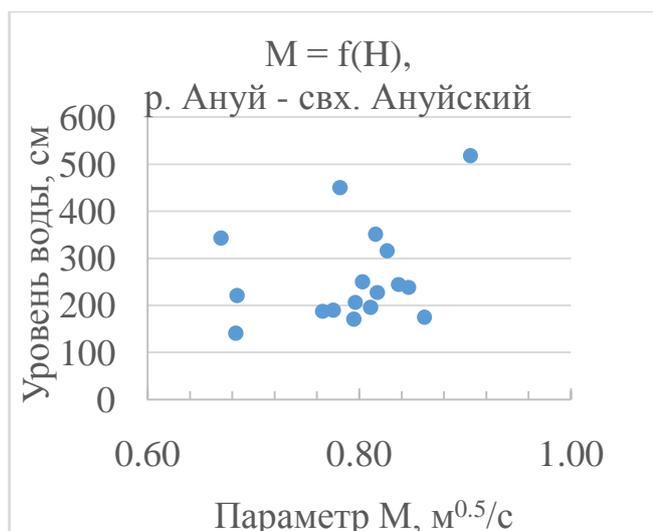


Рисунок 3.4.2 – Зависимость $M = f(H)$, р.Ануй – свх. Ануйский

Таблица 3.4.2 – Пример подсчета параметра M по данным измерений на ГП -1 Ануйский

Дата	Уровень H, см	Скорость. $V_{\text{ср.}}$, м/с	Глубина средняя, h ср. м	Параметр $M = \frac{V_{\text{ср.}}}{\sqrt{h_{\text{ср.}}}}$
20.04.2014	188	0.81	1.12	0.77
24.04.2014	207	0.89	1.25	0.80
27.04.2014	250	1.00	1.55	0.80
30.04.2014	228	0.96	1.38	0.82
15.05.2014	175	0.87	1.02	0.86
26.05.2014	239	0.98	1.34	0.85
29.05.2014	316	1.18	2.04	0.83
30.05.2014	351	1.22	2.24	0.82
01.06.2014	518	1.39	2.36	0.90
02.06.2014	450	1.37	3.07	0.78
03.06.2014	343	1.05	2.46	0.67
21.06.2014	221	0.83	1.47	0.68
08.07.2014	196	0.91	1.26	0.81
05.08.2014	171	0.83	1.09	0.79

Дата	Уровень Н. см	Скорость. V ср., м/с	Глубина средняя, h ср. м	Параметр $M = \frac{V_{ср}}{\sqrt{h_{ср}}}$
10.08.2014	190	0.86	1.23	0.78
31.08.2014	141	0.68	0.99	0.68
17.10.2014	245	0.98	1.37	0.84

3.5 Подсчет стока воды за 2014 год на ГП-1 р. Белая - с. Бугрышиха

Пост расположен в 250 м ниже впадения р.Бугрышишки, Прилегающая местность горная. Северные склоны гор покрыты лесом, кустарником. Лес смешанный.

Долина реки ящикообразная с высокими крутыми склонами, поросшими лесом, местами с выходом скальных пород и осыпями, ширина долины на участке поста 0.53 км.

Пойма правобережная, шириной 400 м, луговая, местами заросшая кустарником, с многочисленными ложбинами и старицами. Вдоль правого склона долины протекает ручей, русло которого сильно заросло кустарником. При уровне 280 см вода входит в русло ручья, при 350 см начинается затопление поймы, полное затопление поймы происходит при уровне 440 см над нулем поста.

Русло реки извилистое, каменистое, с крупными валунами, недеформирующееся. В 100 м выше поста на перекате русло разделяется островами на ряд рукавов. В межень на этом перекате уклоны водной поверхности достигают 11‰.

Пост свайный, расположен на левом берегу.

Уклонный пост расположен в 160 м выше поста.

Гидроствор №1 совмещен с основным постом, оборудован дистанционной установкой ГР-70. В половодье не учитывается расход в протоке п.б.

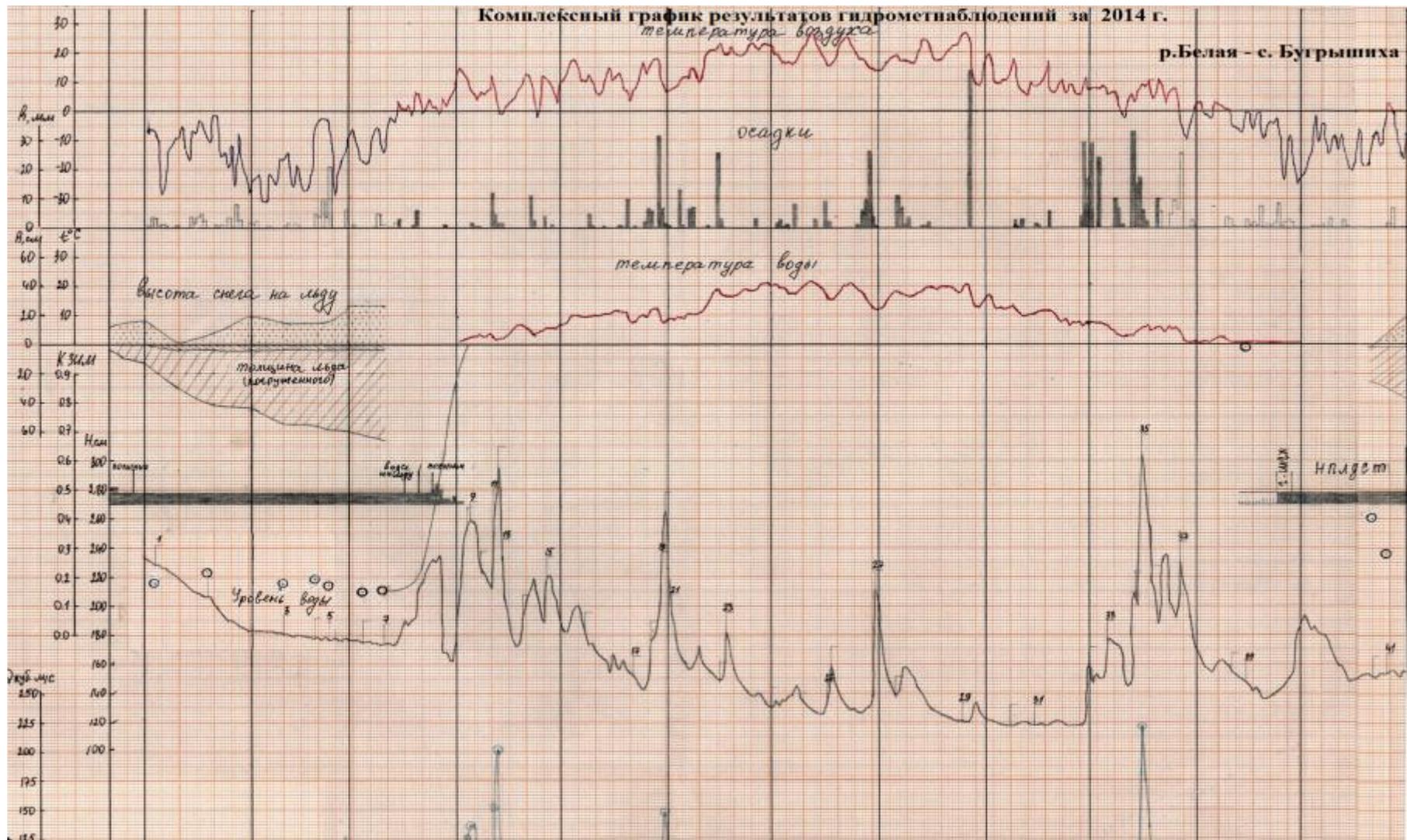


Рисунок 3.5.1 - Пример комплексного графика результатов гидрометеорологических наблюдений на посту р. Белая – с. Бугрышиха за 2014 г.

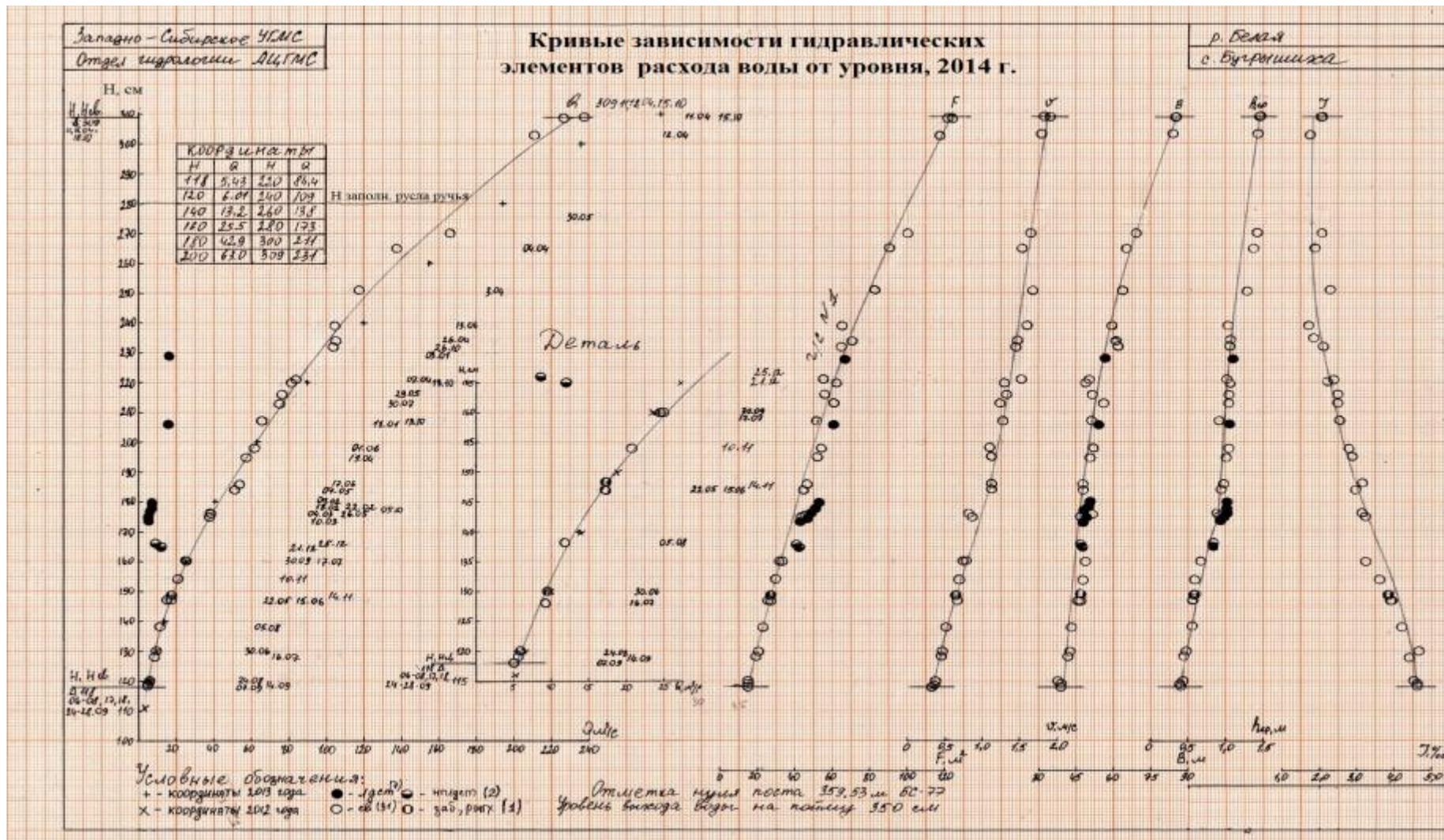


Рисунок 3.5.2 - Графики зависимости $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, $B = f(H)$, $h = f(H)$, $I = f(H)$
 р. Белая – с. Бугрышиха, 2014 г.

По результатам данных наблюдений за 2014 г. на ГП-1 р. Белая – с. Бугрышиха построен комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений (рисунок 3.5.1). На основании комплексного графика проведен анализ гидрологического режима, особенностей наступления фаз водного режима и приняты соответствующие им методы подсчета стока.

Половодье выражено несколькими пиками, обусловленными колебаниями температуры воздуха, выпадением осадков и разновременностью таяния снежного покрова на различных высотах. Летне-осенняя межень прерывалась дождевыми паводками. Наивысший уровень осеннего дождевого паводка 15.10 достиг высшего уровня за половодье 309 см (11.04.2014).

Снижение уровня в январе обусловлено уменьшением подпора вследствие размыва и подледных скоплений шуги, выравниванием нижней поверхности льда, истощением грунтового питания. Повышение уровня в конце ноября вызвано подпором от шугоходов и сжатия живого сечения потока нарастающим льдом.

Сток за период открытого русла 03.04 – 11.11 вычислен по зависимости $Q = f(H)$ (рисунок 3.5.2), подтвержденной 31 измерением расхода воды. Среднее отклонение расходов от кривой составляет 4 %. Освещенность амплитуды изменения уровня воды составила 100 %.

В зимний период сток вычислен по интерполяции между измеренными расходами воды (7 ИРВ с января по 10 марта, 2 ИРВ в декабре). В сложные периоды разрушения и установления ледостава измерение расходов воды не производилось, сток вычислен с пониженной точностью, за вторую и третью декады марта по графику $K_{зим}$, построенному в соответствии с изменением гидрометеозлементов (рисунок 3.5.1).

3.6 Особенности подсчета стока воды за 2014 год по данным наблюдений на ГП-1 р. Чарыш - с. Чарышское

Пост расположен в 1.2 км ниже железобетонного автодорожного моста через р.Чарыш.

Долина реки ящикообразная, шириной 1.5-2.5 км. Оба склона долины крутые, обрывистые, высотой до 350 м, служат составной частью горной системы. Дно долины пересечено протоками, ложбинами, ручьями, покрыто в прирусловой части кустарником.

Пойма двухсторонняя: правобережная шириной до 2.0 км, изрезана многочисленными ложбинами, ручьями, левобережная – шириной до 200 м, изрезана ложбинами, затопляется при уровне воды 180 см над нулем поста.

Русло реки умеренно извилистое, сложено валунно-галечными отложениями, деформирующееся. В меженный период в русле образуется много островов, полуостровов, осередков, которые при высоких уровнях затопляются, течение бурное, стремительное. При уровне воды 180 см над нулем поста начинают действовать две протоки правого берега. В 3.5 км выше поста вдоль правого берега сооружена дамба, перекрывающая вход паводочных вод в протоки. В многоводные годы дамба прорывается, тогда сток осуществляется и по протокам. Ниже поста наблюдается косоструйность. На участке 50-150 м выше поста выполнено укрепление правого берега для предотвращения размыва автодороги.

Пост свайный, расположен на правом берегу. Уклонный пост расположен в 140 м ниже основного.

Гидроствор №3 расположен в 15 м выше поста, оборудован дистанционной установкой ГР-64 М, гидроствор №5 совмещен с постом.

Наблюдения за уровнем и стоковым режимом производятся с 1958 г. На основании комплексного графика (рисунок 3.6.1) проведен анализ гидрологического режима р. Чарыш по ГП-1 Чарышское за 2014 год,

особенностей наступления фаз водного режима и приняты соответствующие методы подсчета стока.

Половодье выражено двумя волнами: первая волна связана со снеготаянием на пониженных частях водосбора с небольшими снегозапасами 2013-2014 гг.; вторая волна – значительно выше, обусловлена интенсивными осадками, охватившими территорию Алтая в конце мая, и снеготаянием в высокогорных частях водосбора. Наивысший уровень 29.05 превысил максимум 1993 года (271 см) и составил 283 см (за период с 1958 г.), определен по меткам высоких вод. Из-за разлива реки подход к посту был невозможен, наблюдения не производились 30, 31 мая. Сток воды учитывался только в русловой части с установки ГР-64 (см. рисунки 3.6.3, 3.6.4).

За период открытого русла сток вычислен по зависимости $Q = f(H)$ (см. рисунок 3.6.2), обоснованной 23 ИРВ. Освещенность амплитуды колебания уровня составила 64 %. Максимальный расход за 2014 г. не вычислен. Оценить его можно только весьма приближенно, приняв к расчету площадь до ГВВ, полученную по данным профиля долины реки 1974 года, (рисунок 3.6.3), применив для расчета максимальной скорости параметры формулы Шези, построенные по натурным данным (только для русловой части) (рисунок 3.6.5 а) – в)).

$$\text{Для } H = 285 \text{ см } C \approx 25 \text{ м}^{0.5}/\text{с}, I \approx 0.004,$$

Сток в зимний период вычислен по интерполяции между измеренными расходами воды, в переходные периоды до замерзания и перед вскрытием, по графикам $K_{\text{зим}}$, построенным с учетом гидрометеорологической обстановки, без обоснования измерениями.

К сожалению, наилучшим способом повышения качества учета стока и обоснованности принятия методов подсчета стока остается производство надежных измерений по всей амплитуде, измерения на пойме при высших уровнях, в русле в период ледообразования и разрушения льда, что трудно организуемо в реальных условиях.

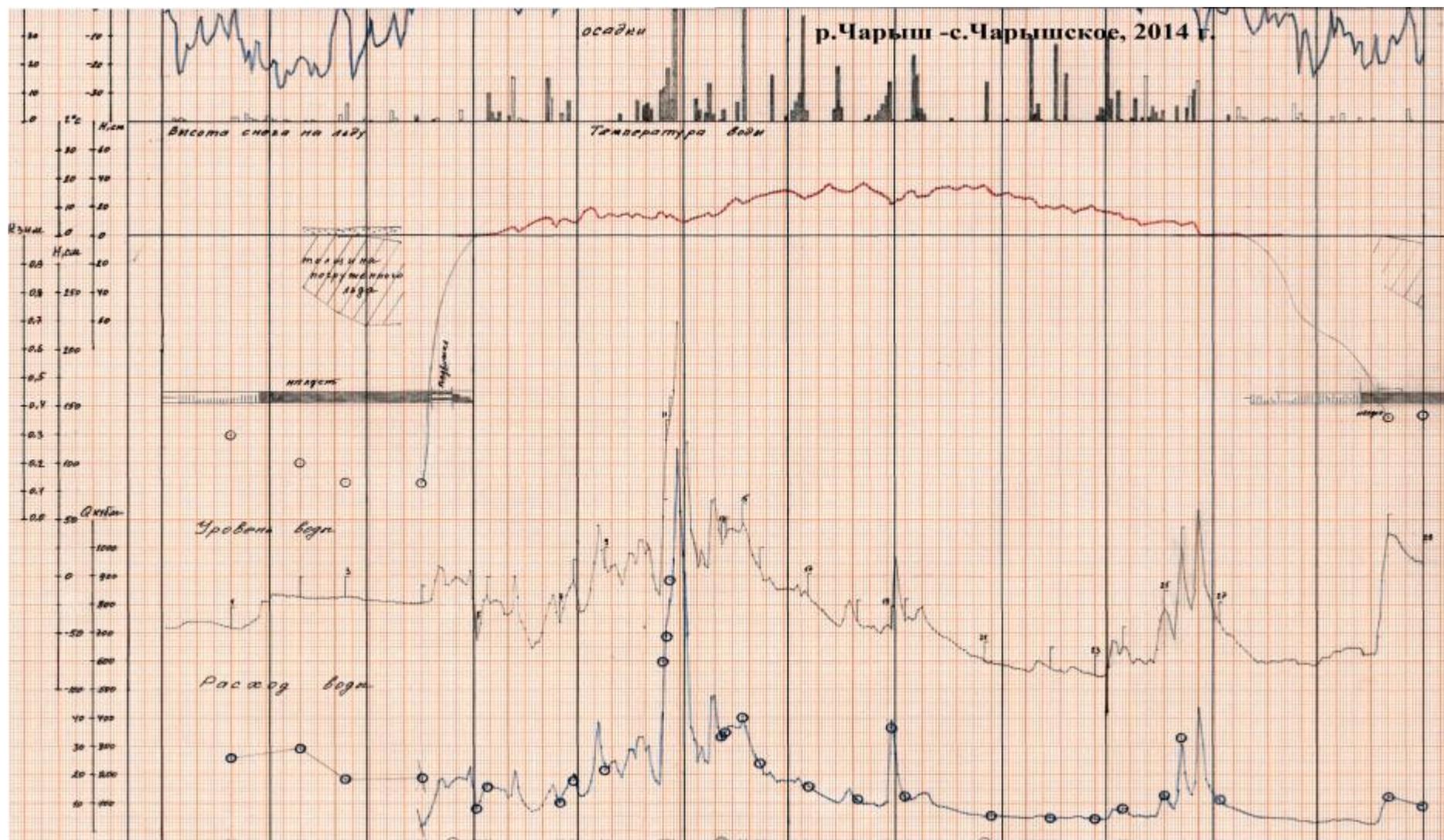


Рисунок 3.6.1 – Пример комплексного графика результатов гидрометеорологических наблюдений на посту р.Чарыш - с.Чарышское за 2014 г.

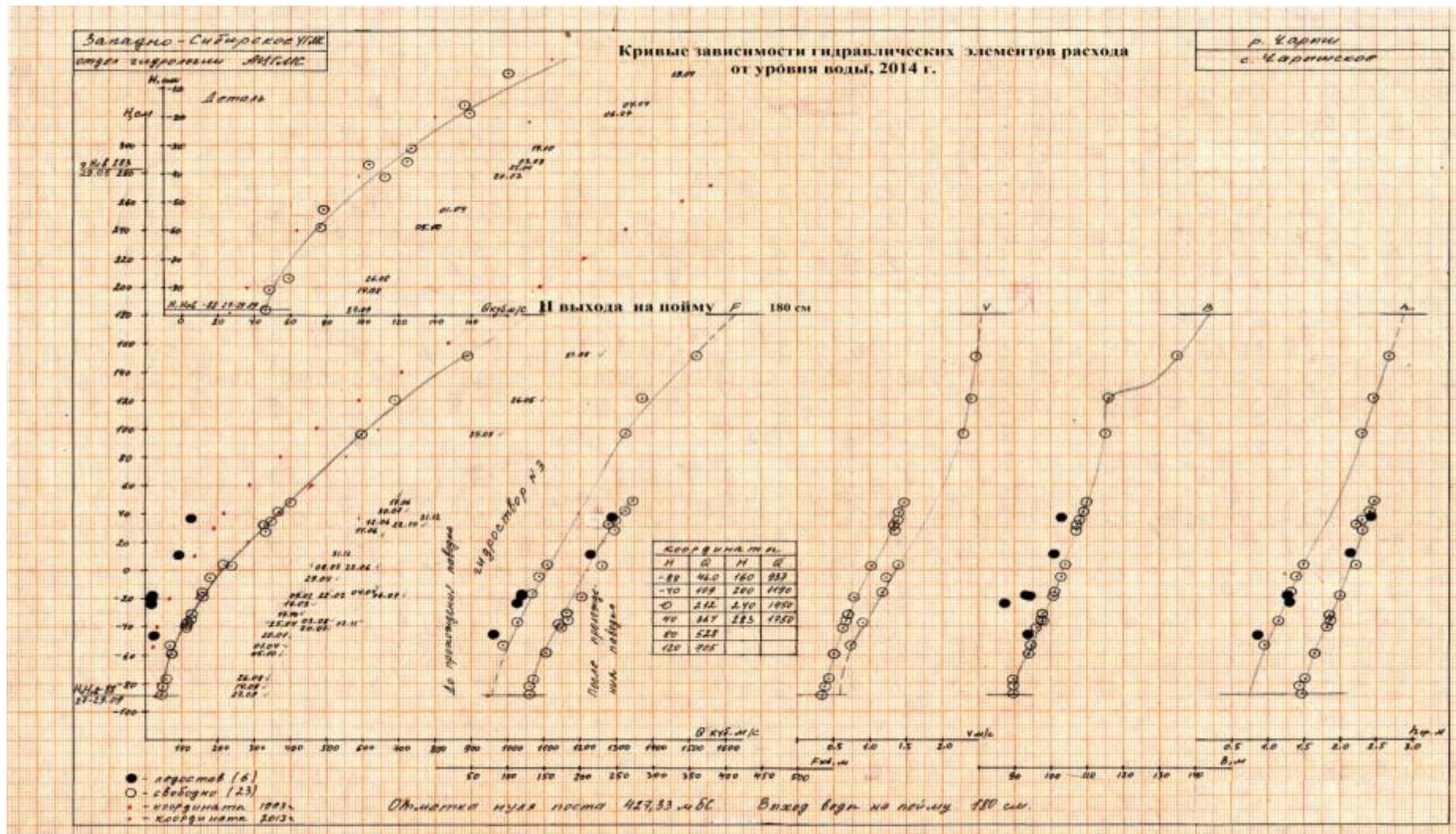


Рисунок 3.6.2 - Графики зависимости $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, $B = f(H)$, $h = f(H)$, $I = f(H)$,
р. Чарыш – с. Чарышское, 2014 г.

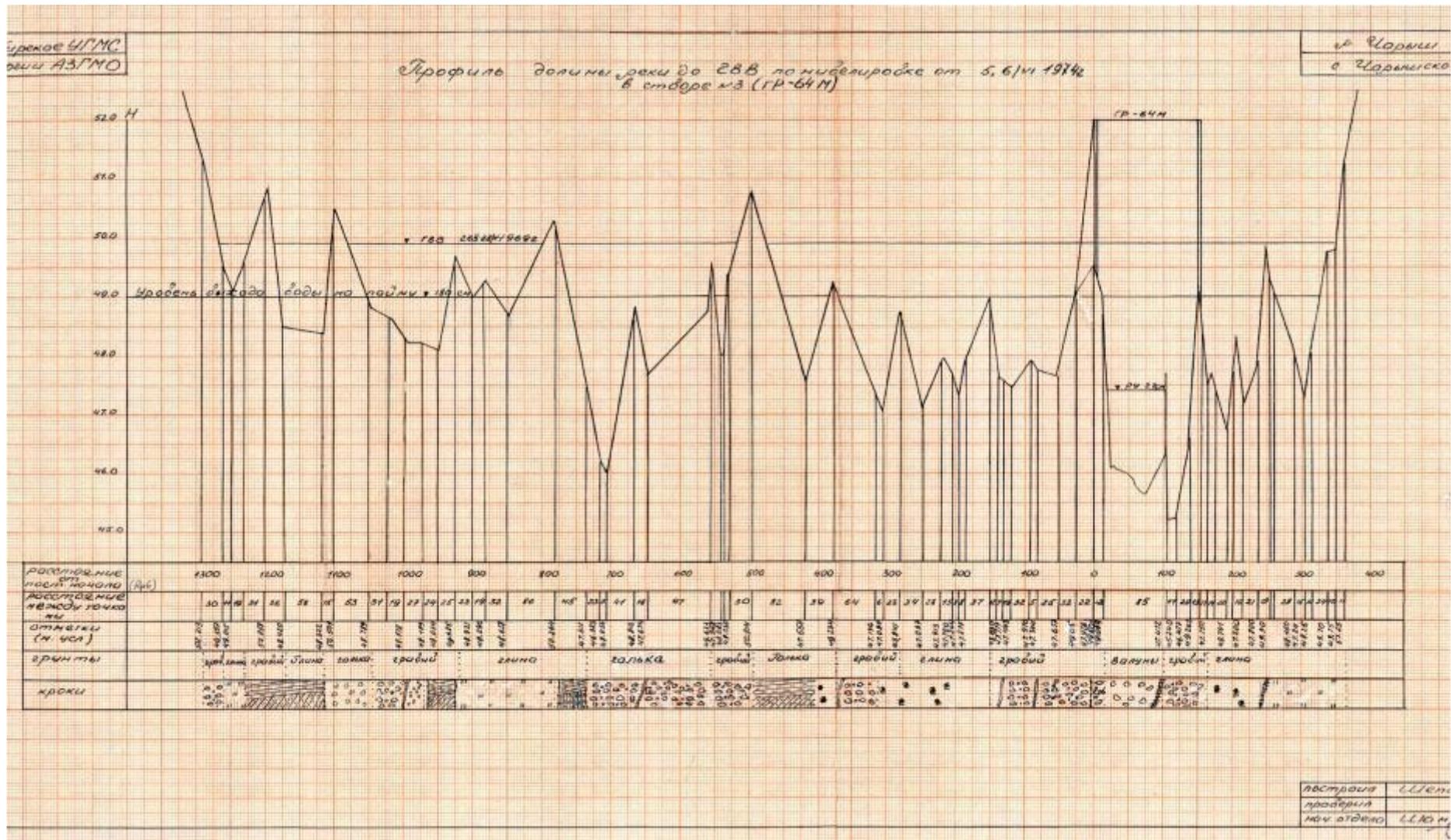


Рисунок 3.6.3 – Профиль гидроствора с поймой до ГВВ, р.Чарыш - с.Чарышское, 1974 г.

Рисунок 3.6.5 – Зависимости а) $C = f(H)$, б) $M = f(H)$, ГП-1 Чарышское

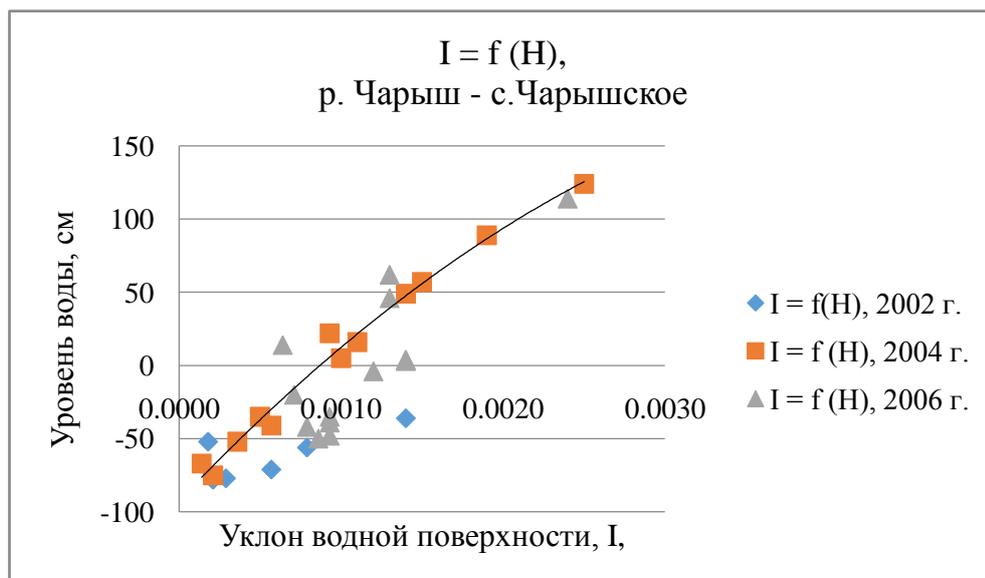


Рисунок 3.6.5 в) – Зависимость $I = f(H)$ р. Чарыш – с. Чарышское



Затопление поймы р. Чарыша в районе с. Чарышского, 1 июня 2014 г.

3.7 Подсчет стока воды с применением Q(H)ПЕТЛ на ГП-1 р.Омь – с. Вознесенское за 2014, 2015 гг.

Пост расположен в 3.0 км выше впадения р.Тунтырки. Окружающая местность – степная, заболоченная равнина, поросшая березовыми колками, изрезанная озерами. Долина реки неясно выраженная.

Пойма на участке поста двухсторонняя, шириной до 2 км, частично затопляется при уровне 690 -750 см над нулем поста, полностью – при уровне 920 см. Правобережная пойма частично застроена, левобережная – поросла луговой растительностью, пересечена старицами и протоками.

Русло реки умеренно извилистое, на участке поста прямолинейное, песчано-илистое, деформирующееся, у берегов зарастает водной растительностью. Правый берег пологий, левый – обрывистый. В створе поста оба берега открытые, выше и ниже поста заросшие кустарником. В 250 м ниже поста расположен остров, в 25 м выше подходит старица, по которой в период половодья осуществляется незначительный сток воды с поймы.

Гидрологический режим р. Оми по данным наблюдений на посту с. Вознесенское в 2014, 2015 годах характеризовался высокой водностью, обусловленной высокими влагозапасами осенней межени 2013 года, запасами воды в снежном покрове в зимние периоды 2014, 2015 годов, достигающими 1.8 нормы.

Высший уровень за 2014 год составил 762 см (03-06.06.2014), за 2015 год 759 см (18 – 20.06.2015). Наивысший за период наблюдений (1931- 2015 гг.) – 962 см 08.06.1941 г. Подъемы уровня в апреле – июне, сформированные весенним снеготаянием, равномерно освещены измерениями расходов (кроме периода отсутствия наблюдателя 17.03 - 17.04.2014), колебания уровня воды в осенне-зимнюю межень (октябрь – ноябрь) 2015 года обусловлены выпадением большого количества осадков и в дальнейшем (с 9 ноября) стеснением живого сечения ледяными образованиями. В этот период (04.11 –

08.12.2015) уровни не освещены ИРВ из-за сложной ледовой обстановки (см. комплексные графики на рисунках 3.7.1, 3.7.3).

В периоды открытого русла 2014 и 2015 годов сток вычислен по Q(H) ПЕТЛ в связи с выраженным неустановившимся режимом, обусловленным малыми уклонами руслового потока на бесприточном участке (рисунки 3.7.2, 3.7.4). Для построения Q(H) 2014 за период 19.04 – 17.10 использовано 25 ИРВ, Q(H) 2015 за период 20.04 - 21.10.2015 – 28 ИРВ.

В периоды зимней межени сток вычислен по интерполяции между измеренными расходами воды: 01.01 - 05.03.2014 – по 6 ИРВ; 11.11 - 31.12.2014 по 4 ИРВ; 01.01 – 28.03.2015 – по 8 ИРВ; 09 - 31.12.2015 – по 3 ИРВ.

В периоды развития весенних ледовых явлений сток вычислен по графику зимних коэффициентов $K_{зим}$: 06.03 – 18.04.2014 с вычислением коэффициентов по данным трех измерений расхода воды; 29.03 – 19.04.2015 по данным 7 ИРВ.

В период развития осенних ледовых явлений сток вычислен с использованием $K_{зим}$: 18.10 – 10.11.2014 по данным 3 ИРВ; 22.10 – 08.12.2015 – 3 ИРВ.

Таблицы вычисления отклонений ИРВ от КР, координаты кривых расходов воды за 2014, 2015 годы представлены в приложении Е.

Таблица 3.7.1 - Вычисление переходных коэффициентов $K_{зим}$,
р.Омь – с.Вознесенское, 2015 г.

№ расхода	Дата измерения	Состояние реки	Н, см	Q изм.	Qкр	Kзим
7	28.03	ЛДСТ	113	6.42	26.9	0.24
8	04.04	ЛДСТ	115	6.77	27.5	0.25
9	09.04	ВДСТЛД	118	7.64	28.4	0.27
10	13.04	НПЛДСТ	168	20.0	44.7	0.45
11	17.04	НПЛДСТ	226	54.1	67.9	0.80
12	18.04	РАЗВ.РЛДХ	271	80.9	86.7	0.93

№ расхода	Дата измерения	Состояние реки	Н, см	Q изм.	Qкр	Кзим
13	19.04	РЛДХ	311	103	104	0.99
42	25.10	ЗАБ, РШГХ	225	64.7	67.5	0.96
43	03.11	ЗАБ, РСНЕЖ	296	94.7	97.3	0.97
44	09.12	ЛДСТ	198	33.0	56.7	0.58

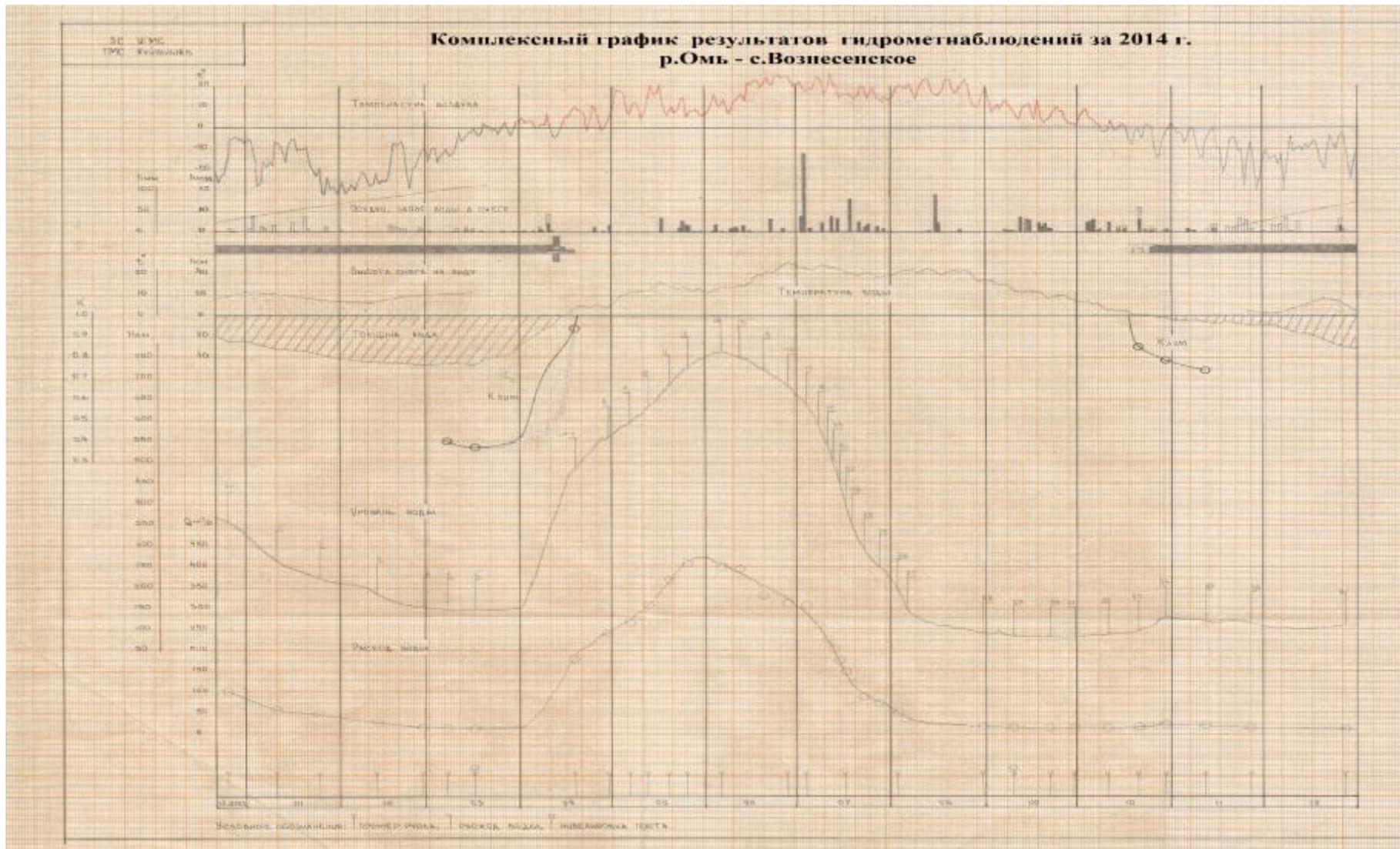
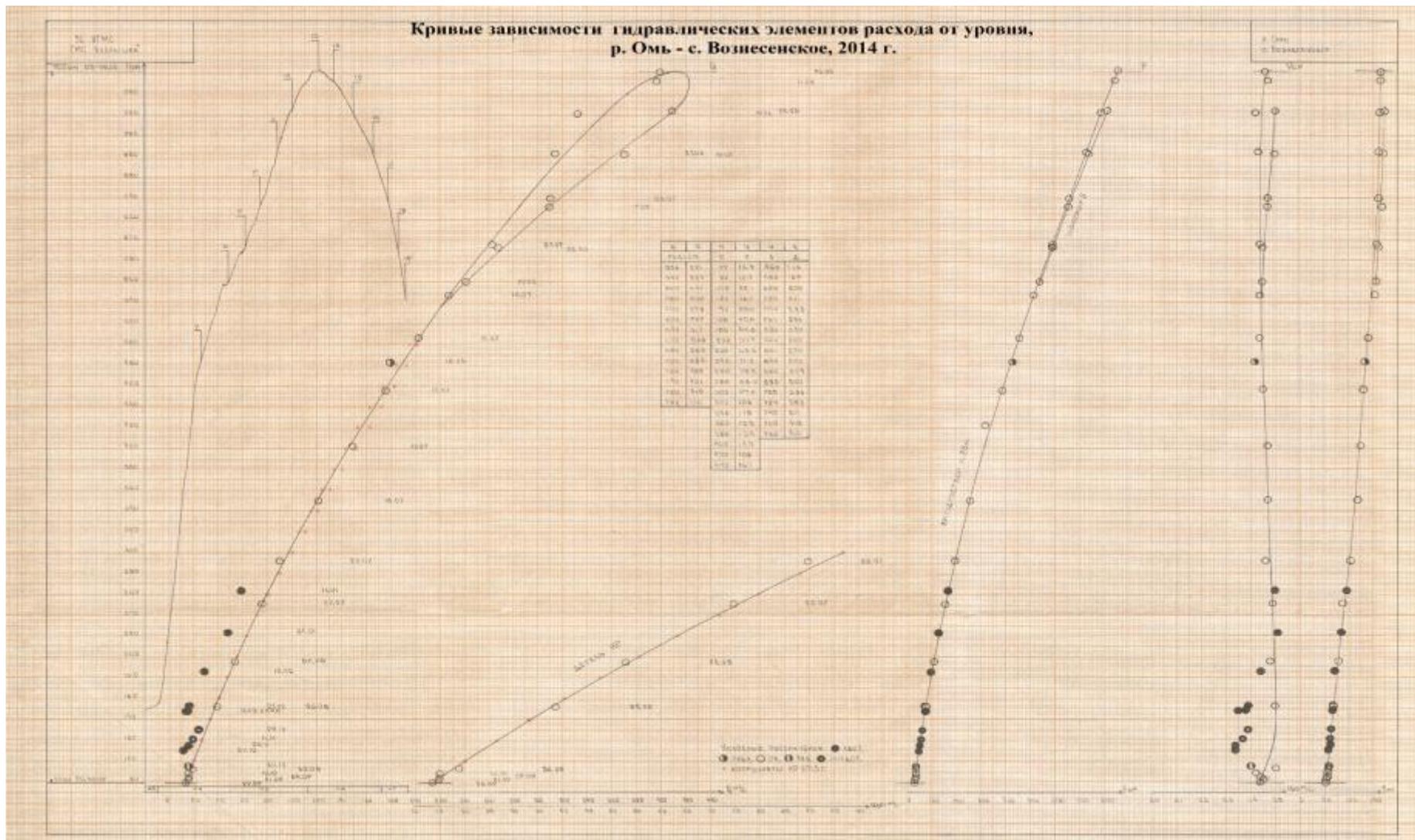


Рисунок 3.7.1 – Комплексный график результатов гидрометнаблюдений р.Омь – с.Вознесенское



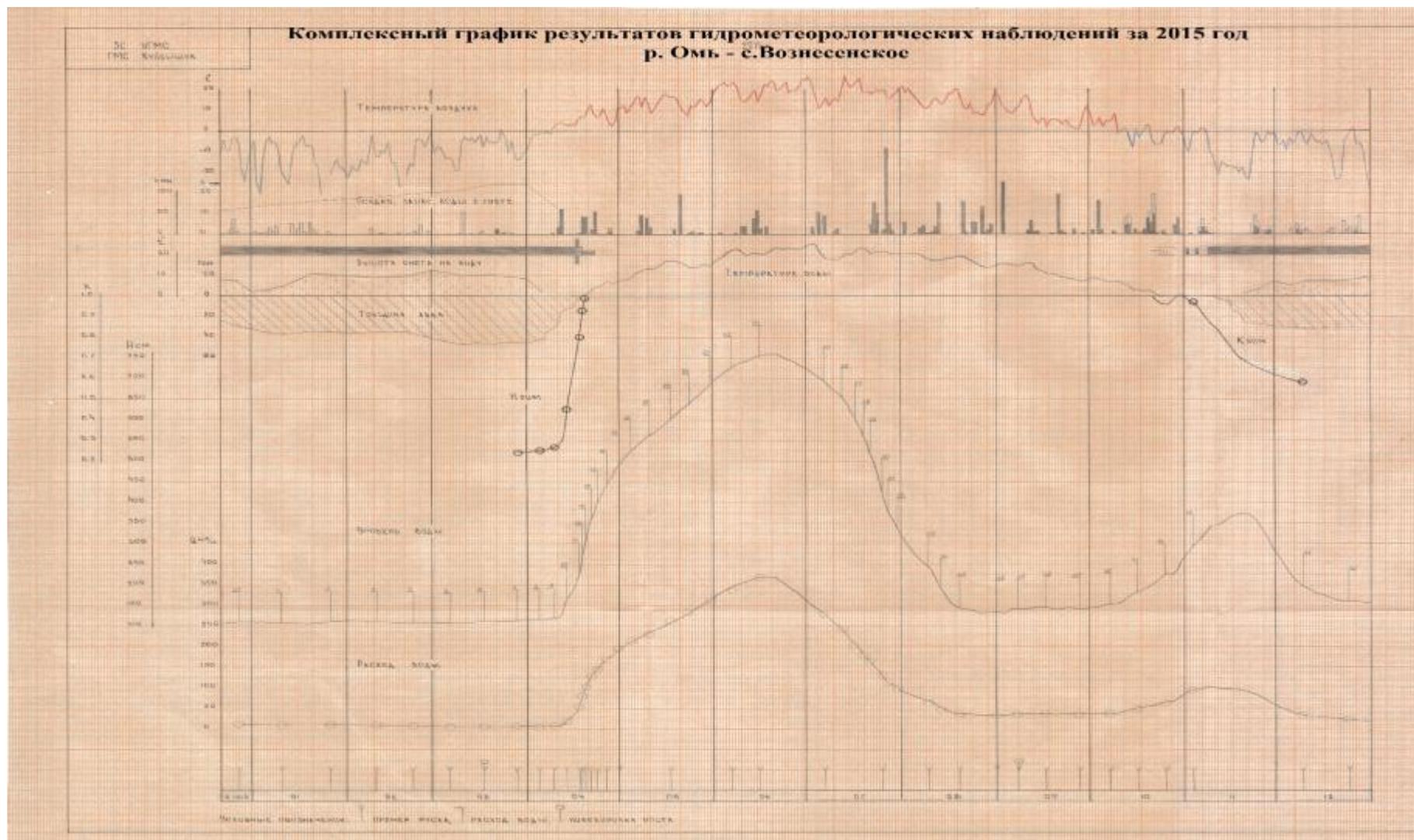


Рисунок 3.7.3 – Пример комплексного графика результатов гидрометнаблюдений за 2014 г.
р. Омь – с. Вознесенское

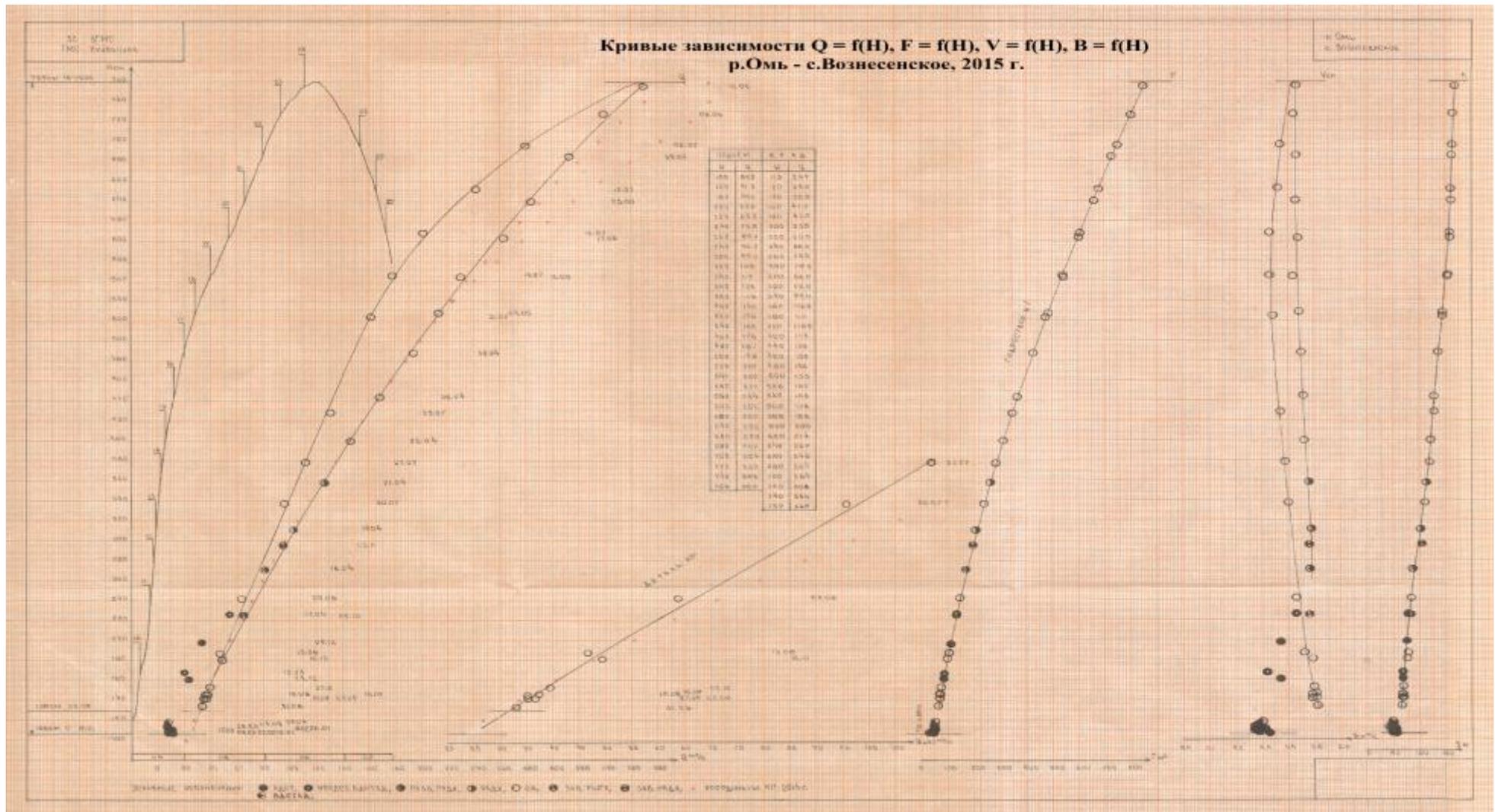


Рисунок 3.7.4 – Кривые зависимости $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$, $B = f(H)$, р.Омь - с.Вознесенское, 2015 г.

3.8 Подсчет стока воды с применением Q(H)ПЕТЛ на ГП-1 р. Тара – с. Верхняя Тарка

Пост расположен в 11 км выше впадения реки Кии, в 6.0 км ниже впадения р. Назаровки.

Прилегающая к речной долине местность представляет собой низменную, слабовсхолмленную, заболоченную равнину, поросшую кустарником и березовыми колками.

Долина реки неясно выраженная, заболоченная, поросшая кустарником и луговой растительностью.

Пойма двухсторонняя, шириной до 2.0 км, заболоченная, затопляется при уровне 740 см над нулем поста.

Русло реки извилистое, на участке поста прямолинейное, песчаное, деформирующееся, зарастает водной растительностью. Берега крутые, обрывистые, высотой 5-9 м, размываются под влиянием, выходящих в виде ключей грунтовых вод. В створе поста и гидростворов берега открытые, в 0.5 км ниже поста – заросшие кустарником. В 190 м ниже поста при уровне 200 см над нулем поста начинает действовать протока.

Гидроствор №1, паводочный, расположен в 100 м ниже поста, оборудован дистанционной гидрометрической установкой ГР-70. Сток на пойме не учитывается. Гидроствор №2, меженный, расположен в 190 м ниже поста, оборудован лодочной переправой.

В приложениях Ж, Ж1 представлены примеры вычисления стока в различные фазы водного режима по данным гидрологического поста р. Тара – с. Верхняя Тарка за 2011 год (комплексный график результатов гидрометнаблюдений и графики зависимости гидравлических элементов расхода воды). Особенности гидрологического режима в 2011 г. было активное прохождение дождевых паводков в летний период, обычно характеризуемый низкими уровнями. Весеннее половодье началось с 12

апреля обусловлено весенним снеготаянием. В мае-октябре колебания уровня вызваны выпадением атмосферных осадков. В ноябре повышения уровней обусловлены возникновением подпора от ледовых образований. Наивысший уровень весеннего половодья не достигал уровня затопления поймы и составил 630 см. Выраженный режим неустановившегося движения потока на данном створе подтверждается хорошо освещенными измерениями расходов по всей амплитуде изменения уровня в период половодья и дождевых паводков (см. приложение Ж, Ж1). На графиках $Q = f(H)$ и $V = f(H)$ хорошо прослеживается образование петлеобразных основной КР и переходных КР-1 – КР-4 (координаты кривых помещены на графиках зависимости гидравлических элементов расхода воды, приложение Ж1), сформированных прохождением волны половодья и четырех волн дождевых паводков. Наступление максимального расхода половодья (126 куб. м/с, 03,04.05) опережает пик уровня воды (630 см), наступивший 07 – 09.05.

3.9 Особенности подсчета стока воды за 2015 год на ГП-1 р. Тартас – с. Венгерovo в условиях подпора от водоприемника – реки Оми.

Пост расположен в 2.0 км ниже автодорожного железобетонного моста.

Прилегающая местность – заболоченная, изрезанная озерами равнина.

Долина реки неявно выраженная, поросшая кустарниково-луговой растительностью, слагающие ее грунты суглинистые.

Пойма двухсторонняя, шириной до 1 км, заболоченная, застроена жилыми домами, заливается в годы с исключительно высоким половодьем при уровне 720 см над нулем поста. Берега в районе села обвалованы.

Русло реки умеренно извилистое, песчано-илистое, деформирующееся, зарастает водной растительностью. Правый берег обрывистый, размывается, левый – пологий, намывается.

На ледово-термический режим реки оказывают влияние сточные воды маслозавода, расположенного в 1.1 км выше поста.

В отдельные годы в период весеннего половодья на уровенный режим оказывает влияние подпор от реки Оми и скопления сушняка у опор моста.

Пост свайный, расположен на левом берегу.

Гидроствор №2 совмещен с постом, оборудован дистанционной гидрометрической установкой ГР-70. Сток учитывается полностью.

Пост расположен в 21 км от устья, в связи с этим в период весеннего половодья на уровенный режим р. Тартаса на ГП-1 Венгерovo оказывает влияние подпор от реки Оми. Это подтверждается данными измерений расходов воды за в 2015 году, которые в период 01.06 – 11.08, на пике и спаде половодья, значительно отклоняются от кривой расходов воды, точки измеренных скоростей кривой $V = f(H)$ соответствующих расходов также подтверждают эти выводы, см. приложение И.

В период нарушения зависимости $Q = f(H)$ при влиянии подпора от р. Оми сток вычислен по линейной интерполяции в связи с хорошей освещенностью амплитуды изменения уровня измерениями.

За период открытого русла сток вычислен по $Q(H)_{2015}$, подтвержденной 20 ИРВ.

В период зимней межени сток вычислен по интерполяции между измеренными расходами воды: 01.01 - 20.03 – по 7 ИРВ; 01 - 31.12.2014 по 2 ИРВ.

В периоды развития весенних ледовых явлений сток вычислен по графику зимних коэффициентов $K_{зим}$: 21.03 – 20.04 с вычислением коэффициентов по трем измерениям расхода воды (табл. 3.9.1).

В период развития осенних ледовых явлений сток вычислен с использованием $K_{зим}$: 01 – 31.11 по 2 ИРВ (табл. 3.9.1).

Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений за 2015 г.
Пост 11337. Р.ТАРТАС-С.ВЕНГЕРОВО

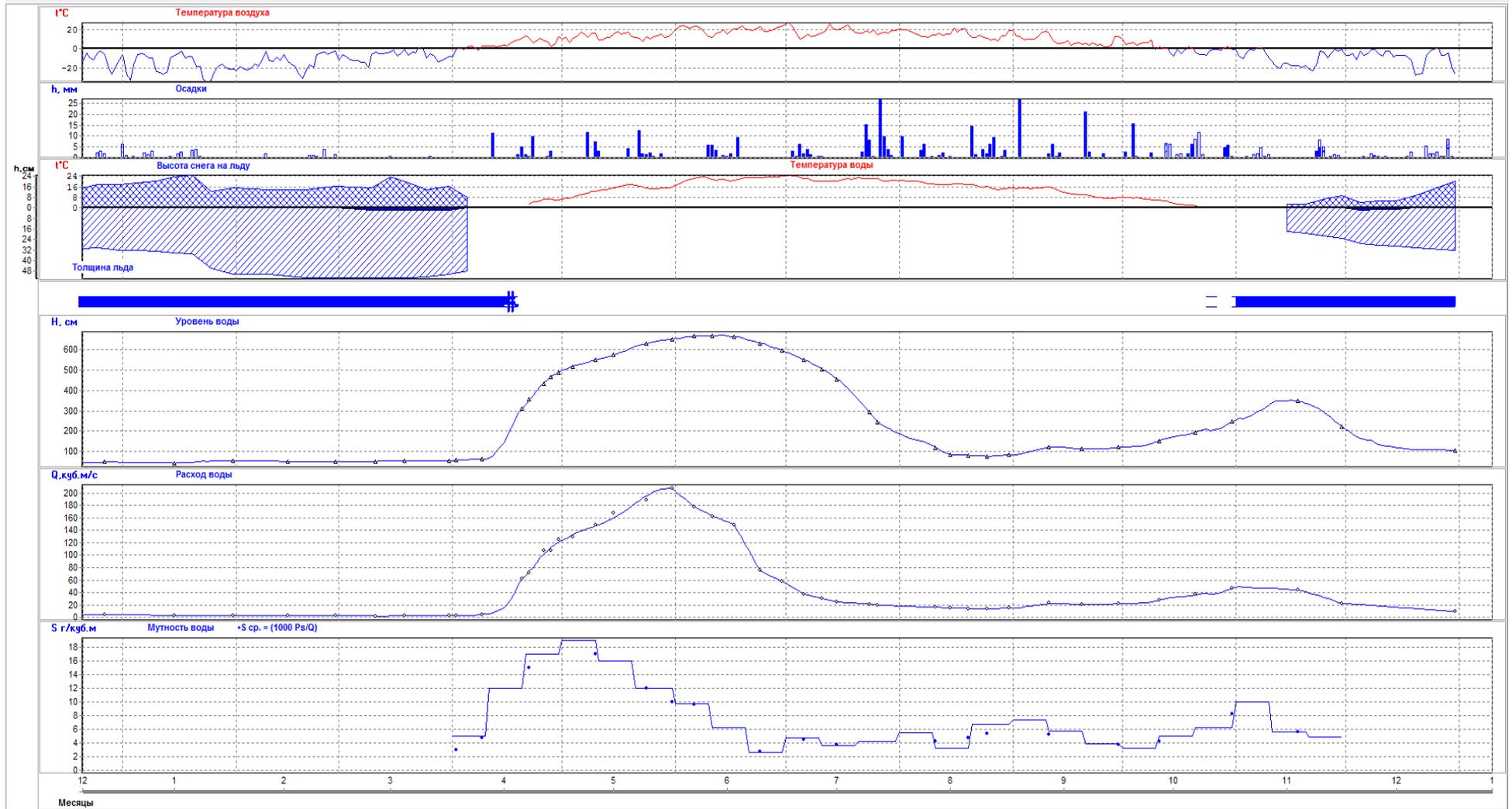


Рисунок 3.9.1 – Комплексный график ГП-1 р.Тартас – с.Венгерово, 2015 г.

Таблица 3.9.1 – Вычисление Кзим р. Тартас – с.Венгерово, 2015 г.

№ расхода	Дата измерения	Состояние реки	Н, см	Q изм.	Qкр	Кзим
6	19.03	ЛДСТ	53	2.68	10.9	0.25
7	31.03	ЛДСТ	56	2.76	11.3	0.24
8	02.04	ЛДСТ	57	2.96	11.4	0.26
9	09.04	ВДЛДСТ	62	4.56	12.1	0.38
10	20.04	СВ	310	62.3	62.6	1.0
41	18.11	ЛДСТ	348	44.4	72.9	0.61
42	30.11	ЛДСТ	221	22.7	41.8	0.54

3.10 Примеры вычисления стока на реках лесной зоны в условиях затопления пойм в 2015 году

3.10.1 ГП-1 р.Чулым – с.Зырянское

Пост расположен в 2.23км ниже впадения р.Кии.

Прилегающая местность равнинная, поросшая отдельными колками березового леса.

Долина ящикообразная, шириной до 11 км, изрезана старицами и озерами. Склоны долины высокие, крутые, задернованные, открытые.

Пойма правобережная, шириной до 8 км, поросшая кустарником, местами заболоченная, пересеченная большим количеством стариц, частично затопляется при уровне воды 360 см, полностью – при уровне 505 см над нулём поста.

Русло реки слабоизогнутое, песчаное, деформирующееся. Правый берег низкий, обрывистый, песчаный, слабозадернованный, подвержен размыву. Левый берег – высокий, до 9.0 м, крутой, в период половодья размывается.

Выше поста в 0.7-0.8 км у левого берега находится песчаная коса, обнажающаяся при низких уровнях воды и затапливаемая в паводок. Из года в год наблюдается медленное продвижение косы вниз по течению.

Пост свайный, расположен на левом берегу.

Гидроствор №1 расположен в 0.643 км выше основного поста, оборудован створными вехами. Расстояния до скоростных и промерных вертикалей определяются GPS - навигатором.

Высший уровень в период половодья достиг 628 см (02.05). Наивысший за период наблюдений (с1894 г.) отмечен 21.05.1966 688 см. Выход воды на пойму начался при 360 см, полное заполнение поймы водой произошло при уровнях, близких к 500 см. На кривых расходов воды и скоростей точки ИРВ при уровнях выше 505 см отклоняются влево, образуя самостоятельные кривые, расположенные слева от кривых подъема до заполнения поймы, что свидетельствует о тормозящем влиянии пойменного потока на русловой (рисунок 3.10.2). Отсутствие данных измерений скоростей течения на пойме вследствие сложности организации работ не позволяет разделить расходы на русловую и пойменную составляющие при построении зависимостей гидравлических элементов расхода воды. В этом случае на сети принимается рекомендация Наставления вып.6.ч.3 (не применимая для рек с широкими поймами) о вычислении общего расхода без разделения на русловую и пойменную составляющие, что значительно снижает точность учета стока воды на пойменных створах.

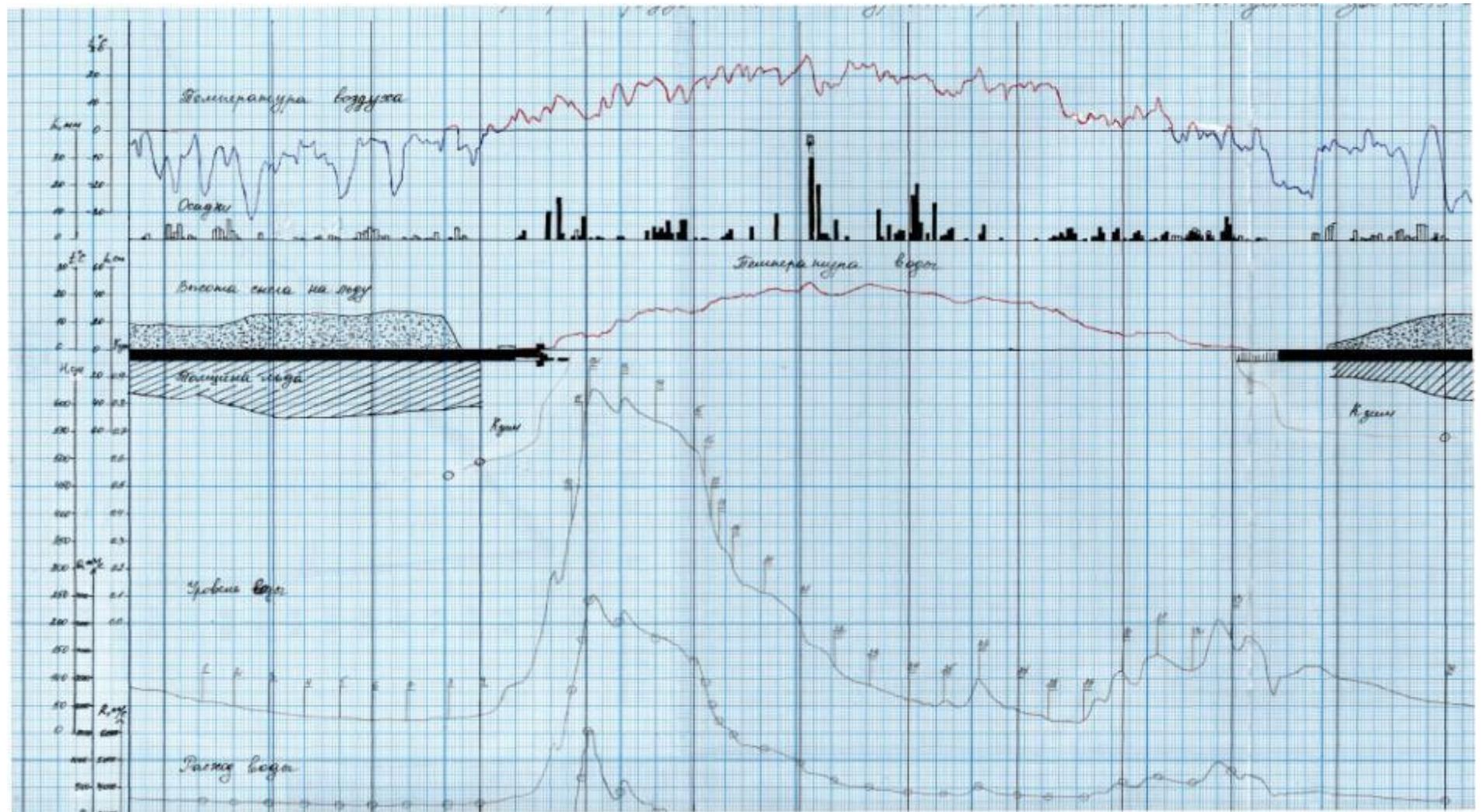


Рисунок 3.10.1 – Фрагмент комплексного графика результатов гидрометнаблюдений за 2015 г. р.Чулым – с.Зырянское

Рисунок 3.10.2 Кривые $Q = f(H)$, $F = f(H)$, $V = f(H)$
р.Чулым – с.Зырянское, 2015 г.

Рисунок 3.10.3 – Профиль гидроствора по данным измерений расходов воды на
ГП-1 р. Чулым - с.Зырянское

3.10.2 р. Большая Пиковка - с. Дальнее

Прилегающая местность – заболоченная равнина, поросшая смешанным лесом, с преобладанием хвойных пород. Болота верховые, с открытыми участками воды.

Долина реки трапецеидальная, пойменная. Склоны долины пологие. Левый склон песчаный, высотой до 6 м, рассечен оврагами, слабоодернован, застроен, правый – высотой до 3 м, поросший смешанным лесом, суглинистый.

Пойма в створе поста правобережная, шириной 430 м, заболоченная, неровная, со старичными образованиями, с редкими колками леса в пониженных участках, у подножья склона – полоса смешанного леса, начинает заливаться в 300 м выше поста при уровне 435 см над нулем поста по старице, при уровне 480 см пойма полностью заливается. Пойма левого берега в 100 м выше поста шириной до 300 м в излучине реки, песчаная, поросшая редкой растительностью, заливается при уровне 400 см над нулем поста. Сток воды по пойме начинается примерно при уровне 460 см.

Русло реки суглинистое, извилистое, засорено остатками древесины, зарастает водной растительностью. Левый берег крутой, обрывистый, высотой до 6 м, песчаный, не одернован, сливается со склонами долины, подвергается разрушению. Правый – умеренно крутой, высотой до 3 м, слабоодернован, суглинистый, подвергается разрушению.

Гидроствор №1 совмещен с постом, оборудован канатной переправой, дюралевой лодкой, в межень мостиком.

Наивысший уровень за период наблюдений (1974 – 2015 гг.) 613 см 08.05.1999, в 2015 году наивысший уровень отмечен в период половодья 562 см 29.04.2015. За период открытого русла сток вычислен по кривой расходов $Q = f(H)$, подтвержденной данными 34 измерений расходов воды. Сток по пойме не учитывался, измерения производились в русловой части потока. За период влияния поймы сток вычислен по интерполяции между измеренными

расходами воды. Комплексные графики и графики зависимости гидравлических элементов расхода воды даны в приложении К, К1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.15, Алтай и Западная Сибирь, Вып. 2. Средняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 470 с.
- 2 Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.15, Алтай и Западная Сибирь, Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Л.: Гидрометеиздат, 1972. - 316 с.
- 3 Шурупа Е.П., Современное состояние сети стационарных гидрологических наблюдений на реках Западной Сибири и проект ее рационализации на ближайшие годы. Труды ЗСРНИГМИ, вып. 26, 1976. – 118 с.
- 4 Вендеров С.Л., Комлев А.М. Состояние и перспективы изучения водных ресурсов Западной Сибири в связи с их народнохозяйственным использованием. Труды ЗСРНИГМИ, вып. 26, 1976. – 118 с.
- 5 Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. РГГМУ, 2012. – 402 с.
- 6 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. III. Д.: Гидрометеиздат, 1958. – 290 с.
- 7 Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Часть II. Изучение уровня и стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 173 с.
- 8 Карасев И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 375 с.
- 9 Пособие по экстраполяции кривых расходов воды до наивысших уровней. Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 114 с.
- 10 Скородумов Д.Е. Гидравлические основы экстраполяции кривых расходов воды до наивысших уровней. Труды ГГИ, 1960, вып. 77. – 44 с.
- 11 Шестакова Р.А. Определение расходов воды при высоких уровнях по уклону водной поверхности и коэффициенту С формулы Шези. Труды ГГИ, 1963, вып. 106. - 122 с.

- 12 Шестакова Р.А. Выбор участка для измерений уклона водной поверхности в беспойменных руслах. Труды ГГИ, 1968, вып. 164. – 140 с.
- 13 Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды. Труды ГГИ, 1965, вып. 128. – 97 с.
- 14 Кривоносов Б.М. Штрихи истории Западно-Сибирской гидрометслужбы. – Новосибирск. ЗСУГМС. 1991 – 1997.
- 15 Акт комплексной инспекции ЗСУГМС, ЗСРНИГМИ, 1973.
- 16 Малик Л.К. О подпорных явлениях на реках Западно-Сибирской равнины. Труды ЗСНИГМИ, 1971, вып. 4. – 163 с.
- 17 Барышников Н.Б. Руководство к лабораторным работам по динамике русловых потоков и русловым процессам. Л.: Гидрометеиздат. 1991.
- 18 Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. I. Д.: Гидрометеиздат, 1978.
- 19 Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод, том I, вып. 10 за различные годы.
- 20 Основные гидрологические характеристики, том 15, выпуск 2. – Л.: Гидрометеиздат. 1975.
- 21 Материалы наблюдений гидрологических постов, архивные данные ЗСУГМС: КГ-1М(н), КГ-3М(н), ТГ-8, стоковые и технические дела постов.