



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

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

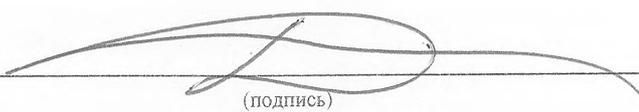
На тему Методика расчетов средних и средних на вертикалях скоростей
руслowych потоков, находящихся под воздействием пойменных потоков

Исполнитель Мущенко Надежда Игоревна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2019 г.

Санкт-Петербург
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(дипломная работа)

на тему: «Методика расчетов средних и средних на вертикалях
скоростей русловых потоков, находящихся под воздействием
пойменных потоков»

Исполнитель: Мущенко Н.И.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель: доктор географических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Барышников Н.Б.

(фамилия, имя, отчество)

« К защите допускаю»

Заведующей кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Д.И.

(фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2019 г.

Санкт-Петербург, 2019

Содержание:

Введение.....	3
1. Происхождение, классификация, морфометрические характеристики речных пойм.....	5
1.1 Происхождение пойм.....	5
2. Взаимодействие руслового и пойменного потоков	
2.1. Общие положения.....	17
2.2. Лабораторные исследования.....	18
2.3. Трансформация поля скоростей при взаимодействии руслового и пойменного потоков.....	20
3. Типизация процесса взаимодействия руслового и пойменного потоков.....	25
3.1 Общие положения.....	25
3.1.1 Первый тип.....	25
3.1.2 Второй тип.....	26
3.1.3 Третий тип.....	26
3.1.4 Четвертый тип.....	27
3.1.5 Пятый тип.....	27
3.2. Анализ влияния пойменного потока на характер изменения средних скоростей на вертикалях руслового потока при изменении уровней воды.....	28
4. Учет влияния морфологии пойм и русел на средние скорости и сопротивления в русловой части потока.....	32
5. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на их транспортирующую способность.....	34
5.1 Общие положения.....	34
6. Результаты оценки методики расчётов, основанной на концепции равномерного движения.....	36
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	48

Введение

Главной методикой расчёта средних на вертикалях скоростей русловых потоков является методика, которая основана на теории равномерного движения, то есть по формуле Шези-Маннинга. При её использовании к русловым составляющим потоков при их взаимодействии с пойменными, погрешности расчётов достигают нескольких сотен процентов, ввиду этого необходима корректировка этой методики на основе учёта влияния эффекта взаимодействия потоков в виде зависимости погрешностей расчётов от угла α .

Для беспойменных створов расчёты средних на вертикалях скоростей осуществляют по методике А.В. Караушева, которая основанной на формулы Шези-Маннинга. Методика довольно проста и основана на допущении о равномерном движении воды русловых потоков.

Сложнее проблема расчёта средних на вертикалях скоростей русловых потоков, которые являются составной частью руслопойменных потоков, под воздействием пойменных потоков.

На основе анализа информации в РГГМУ была разработана типизация процессов взаимодействия русловых и пойменных потоков. В основу положено взаимное расположение динамических осей взаимодействующих потоков; разработана она для стационарных условий. Натурные руслопойменные потоки в периоды паводков и половодий по затопленным поймам, являются нестационарными, с переменным по длине расходом воды. Данная типизация вполне может быть применена и к натурным русловым потокам при их взаимодействии с потоками поймы. Непосредственно при подъёме уровней, когда массы жидкости руслового потока поступают на пойму, процесс взаимодействия таких потоков аналогичен второму типу. При этом значительно увеличиваются уклоны водной поверхности и скорости русловой составляющей потоков и пропускная способность русел.

На спаде паводков и половодий наблюдается обратный процесс: массы пойменного потока, вторгаясь в русловой поток, создают подпор, это приводит к уменьшению скоростей последнего и к уменьшению пропускной способности русла, т.е. процесс аналогичный третьему типу взаимодействия потоков. Таким образом, эти процессы полностью соответствуют двум типам взаимодействия потоков.

1. Происхождение, классификация, морфометрические характеристики речных пойм

1.1 Происхождение пойм.

Пойма — это часть речной долины, затопляемая в половодье или во время паводков. Она является результатом эрозионно-аккумулятивной деятельности реки и формируются при смещении ее русла по дну долины. Имеют сложное двухслойное строение. Нижняя часть сложена из косослойно расположенных отложений, верхняя — представляет тонкозернистые слои, которые расположены горизонтально.

Ширина пойм равнинных рек может равняться ширине русла и доходить до нескольких десятков ширин русла, иногда достигая 40 км. Участки бывшей поймы, которые находятся выше уровня современного поднятия вод в половодье или паводок, называются террасами. Край поймы часто отмечен крутым склоном, на бровке которого иногда расположены прирусловые валы.

При разливе река выносит на пойму наносы, которые, отлагаясь, постепенно повышают уровень её поверхности. Одновременно с отложением наносов на поверхности поймы происходит непрерывный подмыв её берегов речным потоком на одних участках и наращивание пляжей в других местах, поэтому границы поймы часто изменяются.

Почвы пойм очень плодородны. Важную роль в формировании рельефа поймы играет растительность.. При культурном освоении большая часть поймы занята заливными лугами, которые относятся к кормовым угодьям. В период затопления поймы имеют большое значение для рыбного хозяйства. Вопросам происхождения и развития пойм особенно много внимания уделяется в последние годы, это объясняется возросшей интенсивностью их хозяйственного использования и внедрением новых, более совершенных методов исследования. Важными

являются вопросы формирования русловой и пойменной фаций аллювия на пойме.

. Расчеты, проведенные рядом исследователей [2, 4, 5], показывают, что на большинстве рек мощность аллювия обычно не достигает максимального значения. Доказано, что за периоды, измеряемые несколькими тысячелетиями, река, перемещаясь по дну долины несколько раз переоткладывает свои наносы.

В более поздних работах уточняет определение аллювия: «Аллювий включает отложения русловых водных потоков, текущих по дну созданных ими самими эрозионных долин и по поверхности также ими создаваемых аллювиальных аккумулятивных равнин». С учетом исследований Ламакина, Шанцер рассматривает динамику формирования и развития аллювиальной свиты, учитывая влияние таких причин, как активные движения земной коры и изменения климата. На реках с ледниковым типом питания аккумуляция аллювия может переходить в констративную фазу.

Огромное значение имеют проработки, которые посвящены анализу факторов, которые нарушают нормальное строение пойм. Одним из таких факторов является ветер, который в засушливых районах может переносить большие объемы песчаных отложений, изменяя рельеф поймы, созданный русловым процессом. Вторым фактором является эрозия поймы водными потоками, перемещающимися по пойме со значительными скоростями при ее глубоком затоплении. Эрозия может быть особенно большой при неразумной эксплуатации пойм, связанной с вырубкой пойменных лесов и снятием дерна.

Наиболее крупные исследования за последние годы были выполнены. Маккавеев Н.И. отмечает, что пойма, будучи морфологически схожей с террасой, существенно отличается от последней тем, что находится в сфере хотя и эпизодического, но непосредственного воздействия речного потока;

поверхность поймы является либо ареной аккумуляции речных наносов, принесенных тальми водами, либо те же воды эродируют ее.

Типы речных пойм. Основной особенностью типизации пойм, рассматриваемой ниже, является, как упоминалось, установление связи типов речных пойм (пойменных массивов) с типами руслового процесса, выделенными ГГИ. Связь типов речных пойм с русловыми процессами предложена в 1969 г. И. В. Поповым и вошла в ряд нормативных документов. Речные поймы можно разделить на две основные группы— современные и унаследованные. Они образовались в условиях иной водности, чем современные, в этом случае имеется тесная связь этих пойм с типом руслового процесса, который имел место, когда формировались эти поймы. На унаследованных поймах обнаруживаются системы береговых валов (вееров перемещения русла), обычно по своему рисунку отличающихся от имеющегося на современных пойменных массивах..

Разновидностями пойм при русловой многорукавности могут быть осередковая пойма (острова незаросшие, повышенные части осередков) и островная пойма, представленная заросшими растительностью островами с развитой пойменной фацией аллювия. Интересны разновидности островных пойм в условиях больших амплитуд колебания уровня воды, где наивысшие уровни половодья поднимаются над меженью на несколько десятков метров. В зависимости от крупности наносов могут возникать острова, сложенные в основании валунами и галькой и более мелкими частицами вплоть, слагающей остров. Это, прежде всего, надморенная и подкоренная поймы, названные так потому, что русло реки в этих случаях врезано соответственно в моренные и коренные отложения, залегающие под дном долины. Поэтому образуется широкий береговой вал. Две другие разновидности унаследованных пойм, названные Р. А. Еленевским озерно-плавневой и древней озерно-плавневой поймами, имеют озерное происхождение.

Р. А. Еленевский выделил также пониженно-равнинную и повышенно-равнинную поймы. Оба этих типа пойм встречаются соответственно в расширениях и сужениях долин в условиях немеандрирующих типов руслового процесса. В первом случае отложения взвешенных наносов приводят к образованию высокого и широкого берегового вала, перекрывающего дно долины древнего происхождения, во втором случае этот вал оказывается невысоким и сильно распластным.

2. Взаимодействие руслового и пойменного потоков

2.1. Общие положения

Русла с поймами — частный случай сложносоставных русел, отличительной особенностью которых является наличие двух и более потоков, движущихся с различными скоростями параллельно или под различными углами друг к другу. При взаимодействии таких потоков возникают дополнительные сопротивления, изменяющие пропускную способность таких русел.

Первые сведения об особенностях пропускной способности русел с поймами приводятся Ф. Форхгеймером, который указывает, что расчетное значение расхода воды, определенное по выражению (1.1) будет больше фактического:

$$Q = Q_p + Q_n = \omega_p C_p \sqrt{h_p I_p} + \omega_n C_n \sqrt{h_n I_n}, \quad (1.1)$$

где Q — совокупный расход воды в русле и пойме, м³/с;

Q_p — расход воды в русле, м³/с;

Q_n — расход воды на пойме, м³/с;

ω_p — площадь живого сечения русла, м²;

ω_n — площадь живого сечения поймы, м²;

- C_p – коэффициент Шези русловой части потока, м/с^{1/2};
- C_n – коэффициент Шези пойменной части потока, м/с^{1/2};
- h_p – глубина русла, м;
- h_n – глубина поймы, м;
- I_p – уклон свободной поверхности руслового потока, в долях единиц;

2.2. Лабораторные исследования

На комплексном графике видно, что на реке до 03.05.2018 года наблюдался сплошной ледостав, во время ледостава уровень изменялся, но незначительно.

Во второй декаде апреля начался постепенный переход через ноль градусов, а с конца месяца наблюдается положительная температура. В результате потепления в начале мая на реке появляются первые ледовые явления, в частности закраины. С 7 по 8 мая отмечаются подвижки льда и разводья, с 9 мая начинается вскрытие реки и до 11 мая наблюдается ледоход различной интенсивности, с характерным подъемом уровней воды в период весеннего половодья. 10 мая отмечается прохождение максимального уровня весеннего половодья, который составил 887 см над нулем поста.

12 мая река очистилась ото льда и по 31 октября сохраняется период открытого русла. С 4 по 20 июня из Вилуйского водохранилища в плановом порядке производились сбросы для нужд навигации, вследствие этого у гидропоста Сунтар до 23 июня отмечались высокие уровни воды

С октября месяца начинается понижение среднесуточной температуры воздуха в сторону отрицательной и река постепенно начинает остывать. С 1 ноября отмечается начало появления плавучих форм льда и 6

ноября образование неполного ледостава. И река снова переходит в зимний режим.

Таблица 4.1 Количество измеренных расходов воды

Период	Метод подсчета стока	Количество ИРВ
01.01-11.05	К зим	12
12.05-31.10	Q (H) Мн	13
01.11-31.12	Кзим	7

Для подсчета стока за свободный период использована многолетняя кривая.

13 измеренных расходов данного года подтвердили принятое направление КР с отдельными отклонениями влево до 13 %, вправо до 0,9 %

Расходы № 15,16,20,26,28,31 не подтвердили выбранное направление КР, к подсчету стока не приняты из-за нарушения методики измерений.

Освещенность годовой амплитуды колебания уровня данного года за свободный период составляет 62 % (в многолетнем разрезе 100%).

№№ п/п	№№ рас ходов	Дата измере ния	1.1.1 Ур ове нь на ОВП	Расходы, м/с		$\Delta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} * 100$	Δ^2
				Q ₁ (изм)	2 Q ₂ (кр)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	13	16.05	552	2550	2630	-3.0	9.0
2	14	21.05	501	2100	2240	-6.3	39.7
3	15	31.05	469	1680	2010	-16.4*	-
4	16	07.06	395	1240	1500	-17.3*	-
5	17	15.06	446	1680	1850	-9.2	84.6
6	18	20.06	200	1830	2070	-11.6	135
7	19	29.06	181	353	404	-12.6	159
8	20	10.07	187	360	426	-15.5*	-
9	21	18.07	179	357	397	-10.1	102
10	22	29.07	217	531	540	-1.7	2.89
11	23	30.07	229	588	590	-0.3	0.09
12	24	31.07	244	661	655	0.9	0.81
13	25	01.08	258	713	720	-1.0	1.0
14	26	13.08	226	482	577	-16.5*	-
15	27	22.08	273	800	791	-1.1	1.21
16	28	12.09	223	491	565	-13.1*	-
17	29	20.09	231	532	598	-11.0	121
18	30	27.09	235	545	616	-11.5	132
19	31	11.10	240	544	637	-14.6	-
						$\Sigma -78.5$	788.3 ¹¹
						Cp -6.0	5.2

№№ расхода	Дата измерения расхода	Уровень на ОВП	Q _{зим.}	Q _{кр.}	$K_{зим} = \frac{Q_{зим.}}{Q_{кр.}}$	Состояние реки
1	11.01	362	635	1290	0,49	лдст
2	30.01	393	737	1480	0,50	//
3	09.02	405	799	1560	0,51	//
4	28.02	407	801	1580	0,51	//
5	13.03	393	746	1480	0,50	//
6	20.03	385	734	1430	0,51	//
7	30.03	355	564	1250	0,45	//
8	10.04	347	574	1200	0,48	//
9	20.04	334	477	1120	0,43	//
10	28.04	365	583	1310	0,45	//
11	09.05	752	3490	4380	0,80	лдх
12	10.05	804	4680	4920	0,95	//
32	03.11	264	701	748	0,94	заб,лдх
33	04.11	259	645	724	0,89	//
34	05.11	278	308	817	0,38	//
35	27.11	471	947	2030	0,47	лдст
36	11.12	434	901	1770	0,51	//
37	20.12	405	745	1560	0,48	//
38	29.12	439	969	1800	0,54	//

1	10.01.19	407	855	1580	0.54	лдст
---	----------	-----	-----	------	------	------

5.3 Вычисление ежедневных расходов воды при ледовых явления

Мес.	Январь				Февраль				Март				Апрель			
	дата	Н см	Q с-р	Кзим	Q	Н см	Q с-р	Кзим	Q	Н см	Q с-р	Кзим	Q	Н см	Q с-р	Кзим	Q
1	394 I	1490	0,50	745	393 I	1480	0,50	740	409^I	1590	0,51	811	371 I	1350	0,45	608
2	389 I	1460	0,50	730	394 I	1490	0,50	745	404 I	1560	0,51	796	376 I	1380	0,46	635
3	386 I	1440	0,50	720	394 I	1490	0,50	745	402 I	1540	0,51	785	379^I	1390	0,46	639
4	390 I	1460	0,50	730	394 I	1490	0,50	745	401 I	1540	0,51	785	376 I	1380	0,46	635
5	393 I	1480	0,50	740	395 I	1500	0,50	750	401 I	1540	0,51	785	366 I	1320	0,47	620
6	389 I	1460	0,49	715	401 I	1540	0,51	785	402 I	1540	0,51	785	355 I	1250	0,47	588
7	381 I	1410	0,49	691	407^I	1580	0,51	806	404 I	1560	0,50	780	357 I	1260	0,47	592
8	370 I	1340	0,49	657	407^I	1580	0,51	806	400 I	1530	0,50	765	360 I	1280	0,48	614
9	361_I	1290	0,49	632	405 I	1560	0,51	796	398 I	1520	0,50	760	355 I	1250	0,48	600
10	361_I	1290	0,49	632	404 I	1560	0,51	796	397 I	1510	0,50	755	347 I	1200	0,48	576
11	362 I	1290	0,49	632	395 I	1500	0,51	765	395 I	1500	0,50	750	345 I	1190	0,48	571
12	372 I	1350	0,49	662	382 I	1410	0,51	719	394 I	1490	0,50	745	351 I	1230	0,48	590
13	387 I	1450	0,49	711	376_I	1380	0,51	704	393 I	1480	0,50	740	357 I	1260	0,47	592
14	398 I	1520	0,49	745	379 I	1390	0,51	709	390 I	1460	0,50	730	360 I	1280	0,47	602
15	404 I	1560	0,49	764	380 I	1400	0,51	714	386 I	1440	0,50	720	354 I	1240	0,46	570
16	406 I	1570	0,49	769	382 I	1410	0,51	719	385 I	1430	0,51	729	342 I	1170	0,45	527
17	408 I	1590	0,49	779	384 I	1430	0,51	729	385 I	1430	0,51	729	336 I	1140	0,45	513
18	408 I	1590	0,49	779	385 I	1430	0,51	729	384 I	1430	0,51	729	335 I	1130	0,44	497
19	407 I	1580	0,49	774	387 I	1450	0,51	740	384 I	1430	0,51	729	335 I	1130	0,43	486
20	406 I	1570	0,49	769	389 I	1460	0,51	745	385 I	1430	0,51	729	334 I	1120	0,43	482

21	409 I	1590	0,49	779	392 I	1480	0,51	755	381 I	1410	0,51	719	332_I	1110	0,43	477	
22	414 I	1630	0,50	815	392 I	1480	0,51	755	379 I	1390	0,51	709	340 I	1160	0,43	499	
23	418 I	1660	0,50	830	391 I	1470	0,51	750	377 I	1380	0,50	690	346 I	1200	0,44	528	
24	419^I	1660	0,50	830	397 I	1510	0,51	770	376 I	1380	0,49	676	346 I	1200	0,44	528	
25	417 I	1650	0,50	825	405 I	1560	0,51	796	366 I	1320	0,49	647	354 I	1240	0,44	546	
26	413 I	1620	0,50	810	405 I	1560	0,51	796	345 I	1190	0,48	571	363 I	1300	0,44	572	
27	406 I	1570	0,50	785	406 i	1570	0,51	801	332_I	1110	0,47	522	367 I	1320	0,45	594	
28	401 I	1540	0,50	770	407^I	1580	0,51	806	332_I	1110	0,47	522	365 I	1310	0,45	590	
29	399 I	1520	0,50	760				0	344 I	1180	0,46	543	366 I	1320	0,46	607	
30	393 I	1480	0,50	740					355 I	1250	0,45	563	367 I	1320	0,47	620	
31	392 I	1480	0,50	740					366 I	1320	0,45	594					

Продолжение таблицы 5.2.2

Мес.	май				ноябрь				декабрь			
дата	Н см	Q с-р	Кзим	Q	Н см	Q с-р	Кзим	Q	Н см	Q с-р	Кзим	Q
1	369_I	1330	0,47	625	257_):	715	0,98	701	460 I	1950	0,48	936
2	376 I	1380	0,48	662	262X)	738	0,96	708	459 I	1940	0,49	951
3	398 I	1520	0,49	745	263ЛХ	743	0,94	698	458 I	1940	0,49	951
4	431 (	1750	0,50	875	267Л)	762	0,89	678	459 I	1940	0,49	951
5	489 (	2150	0,53	1140	278Л)	817	0,85	694	462^I	1960	0,49	960
6	536 (	2500	0,56	1400	285 Z	854	0,8	683	458 I	1940	0,50	970

7	613ПП(	3130	0,61	1909	294Z	902	0,75	677	454 I	1910	0,50	955
8	676ПП	3670	0,67	2459	300 Z	934	0,71	663	449 I	1870	0,50	935
9	711ЛРП	3990	0,80	3192	308 Z	976	0,67	654	446 I	1850	0,51	944
10	799^ЛX	4870	0,95	4627	318 Z	1030	0,635	654	443 I	1830	0,51	933
11	818ЛX	5070	0,98	4969	325 Z	1070	0,6	642	434 I	1770	0,51	903
12					332 Z	1110	0,57	633	427 I	1720	0,51	877
13					340 Z	1160	0,55	638	422 I	1680	0,51	857
14					348 Z	1210	0,53	641	423 I	1690	0,51	862
15					356 I	1260	0,515	649	423 I	1690	0,51	862
16					366 I	1320	0,5	660	424 I	1700	0,51	867
17					371 I	1350	0,49	662	424 I	1700	0,51	867
18					369 I	1330	0,48	638	417 I	1650	0,51	842
19					367 I	1320	0,475	627	409 I	1590	0,51	811
20					364 I	1300	0,47	611	405 I	1560	0,51	796
21					399 I	1520	0,465	707	403_I	1550	0,51	791
22					414 I	1630	0,46	750	406 I	1570	0,51	801
23					435 I	1780	0,46	819	412 I	1610	0,51	821
24					446 I	1850	0,46	851	421 I	1680	0,51	857
25					451 I	1890	0,46	869	423 I	1690	0,51	862
26					472^I	2030	0,46	934	426 I	1710	0,52	889
27					471 I	2030	0,47	954	434 I	1770	0,53	938
28					468 I	2010	0,47	945	438 I	1800	0,54	972
29					465 I	1980	0,48	950	439 i	1800	0,54	972
30					463 I	1970	0,48	946	439 I	1800	0,54	972
31									438 I	1800	0,54	972

5.4 Расчет ежедневных расходов воды

Таблица 5.4.1 Ежедневные расходы воды на р.Виллой у гидропоста Сунтар за 2018 год

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	745	740	811^	608	625_	1960	455	717	807	656	701	936
2	730	745	796	635	662	1900	463	708	823^	665	708	951
3	720	745	785	639^	745	1810	470	679	774	675	698	951
4	730	745	785	635	875	1680	478	665	698	656	678	951
5	740	750	785	620	1140	1600	482	651	633	637	694	960
6	715	785	785	588	1400	1520	448	646	620	637	683	970
7	691	806^	780	592	1910	1530	422	642	620	642	677	955
8	657	806^	765	614	2460	1670	418	646	616	637	663	935
9	632_	796	760	600	3190	1640	437	642	598	642	654	944
10	632_	796	755	576	4630	1570	422	633	548	646	654	933
11	632_	765	750	571	4970^	1530	390	624	529_	637	642	903
12	662	719	745	590	3980	1580	363_	611	590	633	633	877
13	711	704_	740	592	3470	1760	366_	560	684	646	638	857
14	745	709	730	602	3110	1820	376	505	727	675	641	862
15	764	714	720	570	2840	1840	383	467_	703	717	649	862
16	769	719	729	527	2590	1790	386	467_	624	760	660	867
17	779	729	729	513	2420	1770	393	470	573	769	662	867
18	779	729	729	497	2270	1860	397	490	581	760	638	842
19	774	740	729	486	2160	2030	393	529	598	731	627	811
20	769	745	729	482	2130	2070^	393	590	598	736	611_	796
21	779	755	719	477_	2280	2060	411	675	594	745	707	791_
22	815	755	709	499	2370	2010	444	860	581	712	750	801
23	830^	750	690	528	2350	1730	448	1110	590	731	819	821
24	830^	770	676	528	2310	1250	437	1210^	607	760	851	857

1. Средний годовой расход

$$Q_{\text{ср}} = 896 \text{ м}^3/\text{сек}$$

2. Объем стока W (м^3 , км^3) - количество воды, стекающей с водосбора за год, определяется по формуле:

$$W = Q_{\text{ср}} * t = 28,3 \text{ км}^3$$

Q - средний расход за расчетный период времени, $\text{м}^3/\text{с}$

T - число секунд в том же периоде времени.

3. Модуль стока M $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ - количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени, определяется по формуле:

$$M = Q_{\text{ср}} * 10^3 / F = 896 * 1000 / 202000 = 4,44 \text{ л}/\text{с} \cdot \text{км}^2$$

F - площадь водосбора, км^2

10^3 - переводной коэффициент из метров кубических в литры.

4. Слой стока y (мм) - количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади этого водосбора, определяется по формуле:

$$h = W \cdot 10^3 / F = 140 \text{ мм}$$

10^3 - коэффициент размерности

T - число секунд в расчетном периоде.

5. Коэффициент стока a - отношение слоя стока к количеству выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение стока, определяется по формуле:

$$A = h / x = 0.89$$

h - слой поверхностного стока, мм

x - атмосферные осадки, вызвавшие этот сток, мм

В качестве примера рассмотрены данные по р. Пьяне у д. Камкино, где динамические оси потоков расходятся под углом $\alpha = 45^\circ$. На рисунке (2.2), эпюра распределения средних на вертикалях скоростей по ширине русла, полученная по данным натурных измерений при наивысшем уровне 666 см, располагается значительно выше аналогичной по полученной формуле Шези-Маннинга. Отклонения расчётных данных средних на вертикалях скоростей от натурных в среднем составляют 32 %, при максимальном значении 45 %.

Расчёт значений средних на вертикалях скоростей осуществлялся на основе следующих допущений:

✓ средняя скорость на вертикали определялась по формуле

$$v = \frac{h^2 / 31^{1/2}}{n}$$

В качестве примера при третьем типе взаимодействия потоков рассмотрим р. Ветлугу у д. Быстри, где динамические оси потоков сходятся

под углом $\alpha = 50^{\circ}$. На рис. (2.3), при затоплении поймы на 170 см наблюдается резкое (в 2-3 раза) уменьшение средних на вертикалях скоростей потоков. При расчётах этих скоростей по формуле Шези - Маннинга получили завышенные значения средних на вертикалях скоростей потоков: величины завышений достигают 356 % , при средней погрешности в 211 %.

При проектировании и строительстве мостовых переходов необходимо иметь сведения не только о средних скоростях русловых потоков, но и о распределении средних на вертикалях скоростей по ширине русловых потоков.. Первые исследования в этом направлении выполнены Н.Б. Барышниковым , в результате которых установил, что величина воздействия распространяется на всю ширину руслового потока на малых и средних реках. При этом эпюра распределения средних на вертикалях скоростей приобретает S- образную форму.

3. Типизация процесса взаимодействия руслового и пойменного потоков

3.1 Общие положения

Н.Б. Барышниковым [15] разработаны типизации процессов взаимодействия потоков, в основу которых положено взаимное расположение динамических осей взаимодействующих потоков. В частности, Барышниковым выделено пять типов (рисунок 4.1) для участка, расположенного ниже расчетного створа.

3.1.1 Первый тип

Первый тип характеризуется параллельностью динамических осей руслового и пойменного потоков и параллельностью геометрических осей русла и поймы. Дополнительные сопротивления взаимодействия потоков создаются за счет возникновения вихрей с вертикальной осью вращения и их перемещения по закону Кутта-Жуковского в сторону руслового потока. Большое количество энергии потока при этом затрачивается на его торможение и на компенсационные течения. Это приводит к уменьшению пропускной способности русла. Небольшое увеличение скоростей в прирусловой части пойменного потока не компенсирует этих затрат энергии. Поэтому пропускная способность потока в целом уменьшается на 6—11%

3.1.2 Второй тип

Второй тип взаимодействия руслового и пойменного потоков характеризуется расхождением их динамических осей. Это может наблюдаться как при не параллельности геометрических осей русла и поймы, так и при их параллельности, когда подача воды на пойму меньше, а в русло больше их пропускной способности. При этом типе взаимодействия может наблюдаться как увеличение, так и небольшое уменьшение пропускной способности русла.

Данный тип взаимодействия потоков довольно часто встречается в природных условиях. Основной причиной поступления масс руслового потока на пойму является расширение долины вниз по течению реки.

3.1.3 Третий тип

Третий тип взаимодействия характеризуется схождением динамических осей руслового и пойменного потоков. Геометрические оси русла и поймы

могут быть параллельными или непараллельными. При третьем типе взаимодействия массы пойменного потока поступают в русловой под различными углами, вызывая торможение последнего и уменьшая его пропускную способность.

Анализ натуральных материалов, выполненный Барышниковым показал, что основной причиной данного типа взаимодействия потоков является сужение долины и поймы, вниз по течению реки. Данный тип взаимодействия потоков также широко распространен в натуральных условиях.

3.1.4 Четвертый тип

В натуральных условиях он наблюдается при меандрирующих типах руслового процесса, на долю которых, по данным Этот тип взаимодействия потоков обобщает три предшествующих. При углах пересечения динамических осей потоков α , близких к нулю, переходим к первому типу. При углах ($0^\circ < \alpha < 50^\circ$) в зависимости от характера изменения ширины долины и поймы отмечается тип взаимодействия руслового и пойменного потоков, аналогичный второму типу (расширение поймы) или третьему типу (сужение поймы). При больших углах пересечения динамических осей потоков ($\alpha > 90^\circ$), а в природных условиях при углах α меньших 90° , отмечается новый характер взаимодействия руслового и пойменного потоков, когда затраты энергии русловым потоком велики, что течение в нем прекращается.

3.1.5 Пятый тип

Типизация не охватывает всего многообразия природных условий и требует соответствующей доработки. Поэтому целесообразно дополнить ее пятым типом, отнеся к нему наиболее сложные случаи взаимодействия потоков в руслах с двусторонними, разновысотными. Основным признаком этого типа взаимодействия является изменение направления динамической

оси пойменного потока относительно оси руслового при изменении уровня воды.

4. Учет влияния морфологии пойм и русел на средние скорости и сопротивления в русловой части потока

Эта проблема является крайне сложной и недостаточно разработанной. Морфометрические характеристики русел определены достаточно давно и общепризнанны. Это в первую очередь, средние глубины и ширины русел, их площади поперечного сечения и другие, позволило ряду авторов установить достаточно надежные зависимости между ними и рекомендовать их для инженерных расчетов.

Для пойм дело обстоит значительно хуже. Это обусловлено не только значительным отличием размеров пойм от русел, но в большей степени тем, что все их характеристики резко изменяются как по ширине и длине, так и при увеличении уровней воды. Эти характеристики определяют гидравлику пойменных и частично русловых потоков в период пропуска паводков по затопленным поймам.

5. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на их транспортирующую способность.

5.1 Общие положения

При различных типах руслового процесса наблюдаются периодические повышения или понижения отметок дна русел, особенно резко выраженные на перекатах, или перемещения русел по дну долины, приводящие к размыву или намыву различных участков поймы и пойменных массивов.

В меженные периоды транспортирующая способность потока мала, но грунты и наносы в этот период практически не поступают в русло, поэтому поток, размывая гребни перекатов или берега пойм, увеличивает расход наносов, приводя его в соответствие со своей транспортирующей способностью.

На необходимость гидравлического обоснования теории русловых процессов указывали ведущие исследователи. Это направление интенсивно разрабатывалось сотрудниками руслового отдела ГГИ. Однако его развитие в значительной степени тормозится отсутствием теории турбулентности и четких представлений о закономерностях деформаций русла и соответствующих им гидравлических структурах потока.

$$k_1 = 1 - l^{-\frac{\Delta t_1}{\tau}} = 1 - 2,71^{-1800/7176} = 0,22$$

$$k_2 = 1 - l^{-\frac{\Delta t_2}{\tau}} = 1 - 2,71^{-3600/7176} = 0,39$$

$\Delta t_1 =$	1800 сек	$k_1 =$	0,22
$\Delta t_2 =$	3600 сек	$k_2 =$	0,39

$$Q_{H,t} = Q_{H,t-\Delta t} + (Q_{B\Delta t} - Q_{H-\Delta t}) * (1 - l^{-\Delta t/\tau})$$

Таблица 3

в случае при $\Delta t_1 = 1800$ сек

Время	$Q_{B\Delta t}$	$Q_{Ht-\Delta t}$	$Q_{B\Delta t} - Q_H$	$(Q_{B\Delta t} - Q_H) * k_1$	Q_t	Q_t	δ	δ^2	δ'	δ'^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8:30		10,00	29,85			10,0				
	39,85			6,61	16,61					
9:00		16,61	36,79			18,1	-1,49	2,21	8,10	65,61
	53,40			8,15	24,76					
9:30		24,76	44,34			29,1	-4,34	18,83	11,00	121,00
	69,10			9,82	34,58					
10:00		34,58	51,37			40,5	-5,92	35,02	11,40	129,96
	85,95			11,38	45,96					
10:30		45,96	56,74			53,6	-7,64	58,36	13,10	171,61
	102,7			12,57	58,53					

11:00		58,53	59,42			64,4	-5,87	34,47	10,80	116,64
	117,95			13,16	71,69					
11:30		71,69	58,51			81,5	-9,81	96,21	17,10	292,41
	130,2			12,96	84,65					
12:00		84,65	53,50			97,6	-12,95	167,67	16,10	259,21
	138,15			11,85	96,50					
12:30		96,50	44,40			107,5	-11,00	120,96	9,90	98,01
	140,9			9,83	106,34					
13:00		106,34	31,81			114,6	-8,26	68,29	7,10	50,41
	138,15			7,05	113,38					
13:30		113,38	16,82			120,6	-7,22	52,08	6,00	36,00

6. Результаты оценки методики расчётов, основанной на концепции равномерного движения

Методики расчётов средних на вертикалях скоростей для русел с простыми формами сечения основаны на концепции равномерного движения, т.е. на формулах Шези-Маннинга. Сложнее расчёты средних скоростей на вертикалях в русловых потоках, находящихся под воздействием пойменных потоков. Сведения о них востребованы при проектировании и строительстве различных гидротехнических сооружений, мостовых переходов, водозаборов и водовыпусков.

Для оценки точности и надёжности применения этой методики к расчётам гидравлики русловых и пойменных потоков на кафедре гидрометрии были выполнены контрольные расчёты.

По графику рассчитанных гидрографов можно убедиться, что прогноз рассчитанный для $\Delta t_1 = 1800$ сек практически совпадает с гидрографом фактического расхода в нижнем створе. Прогноз для $\Delta t_2 = 3600$ сек отличается незначительно.

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_1^{29} (\Delta H_{1i} - \overline{\Delta H_1})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{24189,79}{28}} = 29,6$$

$$S/\sigma_{\Delta} \leq 0,8$$

$$\frac{S}{\sigma_{\Delta}} = \frac{35,38}{25,02} = 1,2$$

Затем выразили эту скорость по формуле Шези-Маннинга через среднюю глубину руслового потока, т.е. $\bar{V} = C\sqrt{hI} = \frac{\bar{h}^{2/3} I^{1/2}}{n}$, где C и n – коэффициенты Шези и шероховатости.

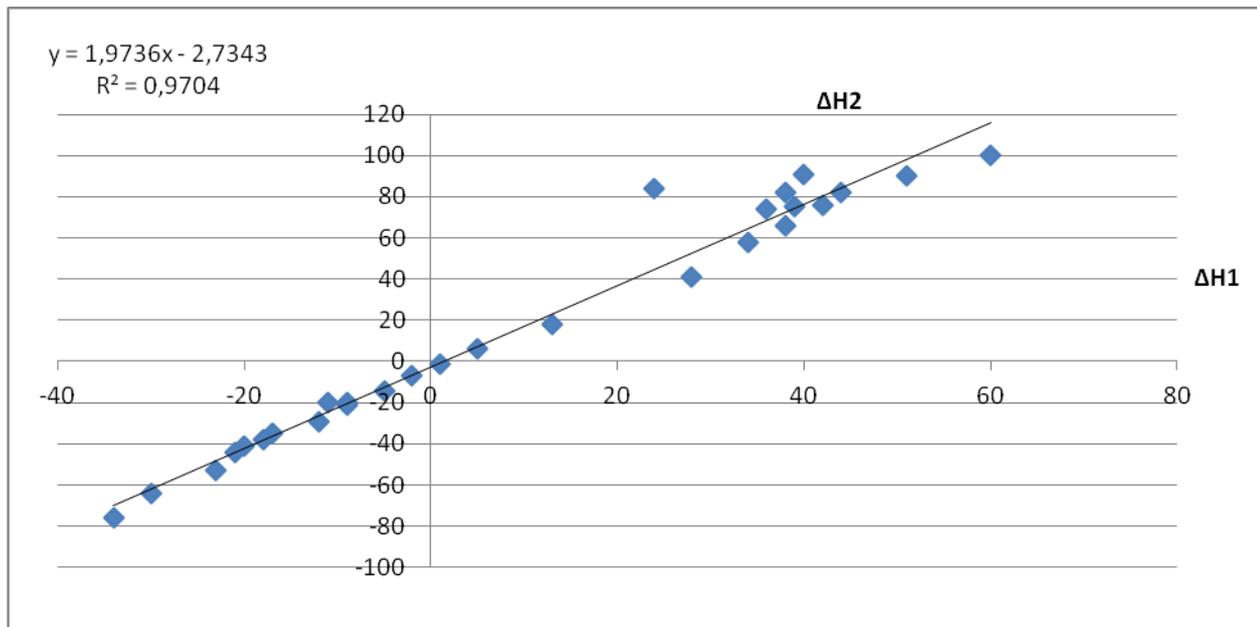
Графический способ основан на построении кривой распределения q_i по ширине руслового потока. Расчётное значение расхода воды Q_p может быть получено графическим способом на основе определения площади фигуры, заключённой между линией уровня воды и кривой $q_i=f(b)$ по формуле $Q_p = \int_0^B q_i db$. Полученное значение расхода Q_p может существенно отличаться от заданного, т.е. $Q_p = \alpha' Q$, где $\alpha' = \frac{Q_p}{Q}$. Умножив, расчётные значения средних на вертикалях скоростей на этот коэффициент α' , получаем уточненные значения этих скоростей v_{pi} .

Так как на большинстве рек скоростные вертикали расположены по ширине потока равномерно, среднюю погрешность расчётов для каждой реки определяем простым суммированием $\frac{\Delta V}{V_{\text{визм}}} = \frac{\sum(V_{\text{визм}} - V_p)}{mV_{\text{визм}}}$, где m – число скоростных вертикалей.

Интервал величина изменения УВ	Частота изменения УВ / в % от общего		Обеспеченность величины изменения УВ , %		
	+	-	+	-	Σ
1	2	3	4	5	6
0-12	2/6,90	6/20,69	6,90	20,69	27,59
13-24	2/6,90	5/17,24	13,80	37,93	51,73
25-36	3/10,34	2/6,90	24,14	44,83	68,97
37-48	6/20,69	1/3,45	44,83	48,26	93,09
49-60	2/6,90		51,73	48,26	99,99

Таблица 3

Дата	Н, см	ΔH_1	ΔH_2	Н _{пр}	δ	Оценка		δ^2	Опр - ть
						ГГИ	ГМЦ		
						δ'	δ''		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16.04.1969	363								
17.04.1969	394	31	58,4						-
18.04.1969	453	59	113,7	421	31,55	-	-	995,57	-
19.04.1969	470	17	30,8	508	-37,71	-	-	1421,90	+
20.04.1969	486	16	28,8	484	2,18	+	+	4,77	+
21.04.1969	504	18	32,8	499	5,16	+	+	26,59	+
22.04.1969	520	16	28,8	519	1,21	+	+	1,46	+
23.04.1969	534	14	24,9	533	1,16	+	+	1,34	+
24.04.1969	546	12	20,9	545	1,10	+	+	1,22	+
25.04.1969	558	12	20,9	555	3,05	+	+	9,31	+
26.04.1969	569	11	19,0	567	2,05	+	+	4,21	+
27.04.1969	578	9	15,0	577	1,02	+	+	1,05	+



Для русел сложной формы сечения, в частности русел с поймами, в которых движение русловых потоков неравномерное и с переменным расходом воды, необходимо совершенствование расчётной методики. Поэтому представляется целесообразной но и в улучшенных моледах. По интегральной теореме Лапласа вероятность наступления события от k_1 до k_2 раз при n испытаниях равна

$$P(k_1 \leq x \leq k_2) = \Phi(x_2) - \Phi(x_1), x_{1,2} = \frac{k_{1,2} - np}{\sqrt{npq}}, \Phi - \text{функция Лапласа.}$$

Найдем

$$x_1 = \frac{75 - 125 \cdot 0.8}{\sqrt{125 \cdot 0.8 \cdot 0.2}} = -5.59, x_2 = \frac{90 - 125 \cdot 0.8}{\sqrt{125 \cdot 0.8 \cdot 0.2}} = -2.24$$

$$P(75 \leq x \leq 90) = \Phi(-2.24) - \Phi(-5.59) = \Phi(5.59) - \Phi(2.24) = 0.5 - 0.4875 = 0.0125$$

Таблица 3

Дата	Н, см	ΔH_1	ΔH_2	$N_{пр}$	δ	Оценка		δ^2	Опр - ть
						ГГИ	ГМЦ		
						δ'	δ''		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16.04.1969	363								

17.04.1969	394	31	58,4							-
18.04.1969	453	59	113,7	421	31,55	-	-	995,57	-	
19.04.1969	470	17	30,8	508	-37,71	-	-	1421,90	+	
20.04.1969	486	16	28,8	484	2,18	+	+	4,77	+	
21.04.1969	504	18	32,8	499	5,16	+	+	26,59	+	
22.04.1969	520	16	28,8	519	1,21	+	+	1,46	+	
23.04.1969	534	14	24,9	533	1,16	+	+	1,34	+	
24.04.1969	546	12	20,9	545	1,10	+	+	1,22	+	
25.04.1969	558	12	20,9	555	3,05	+	+	9,31	+	
26.04.1969	569	11	19,0	567	2,05	+	+	4,21	+	
27.04.1969	578	9	15,0	577	1,02	+	+	1,05	+	

Таблица 7.2 - Значения измеренных и расчетных средних на вертикалях скоростей по р. Нестеровке – рзд. Таловый (по ширине руслового потока)

Расстояние от п.н, м.		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Глубина, м		0,8	1,7	2,9	3,5	4,0	5,1	5,4	5,0	4,4	3,7	3,1	1,9
Скорости на вертикалях, м/с	Измеренные	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
	Расчетные	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5
$\Delta v = v_p - v_{изм}$		-	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
$\Delta v/v_{изм} \%$		-33	2	42	60	87	136	161	168	203	273	311	279



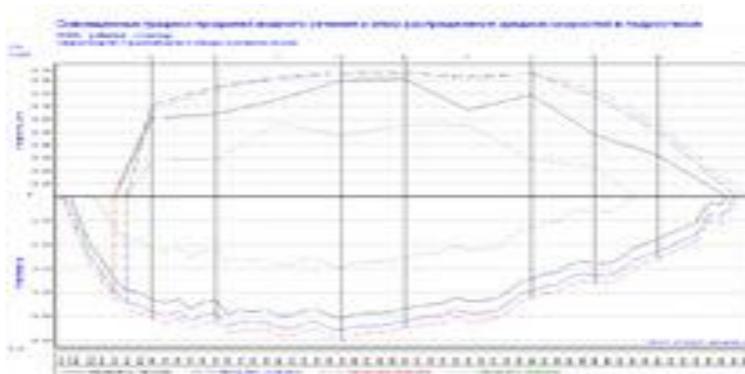
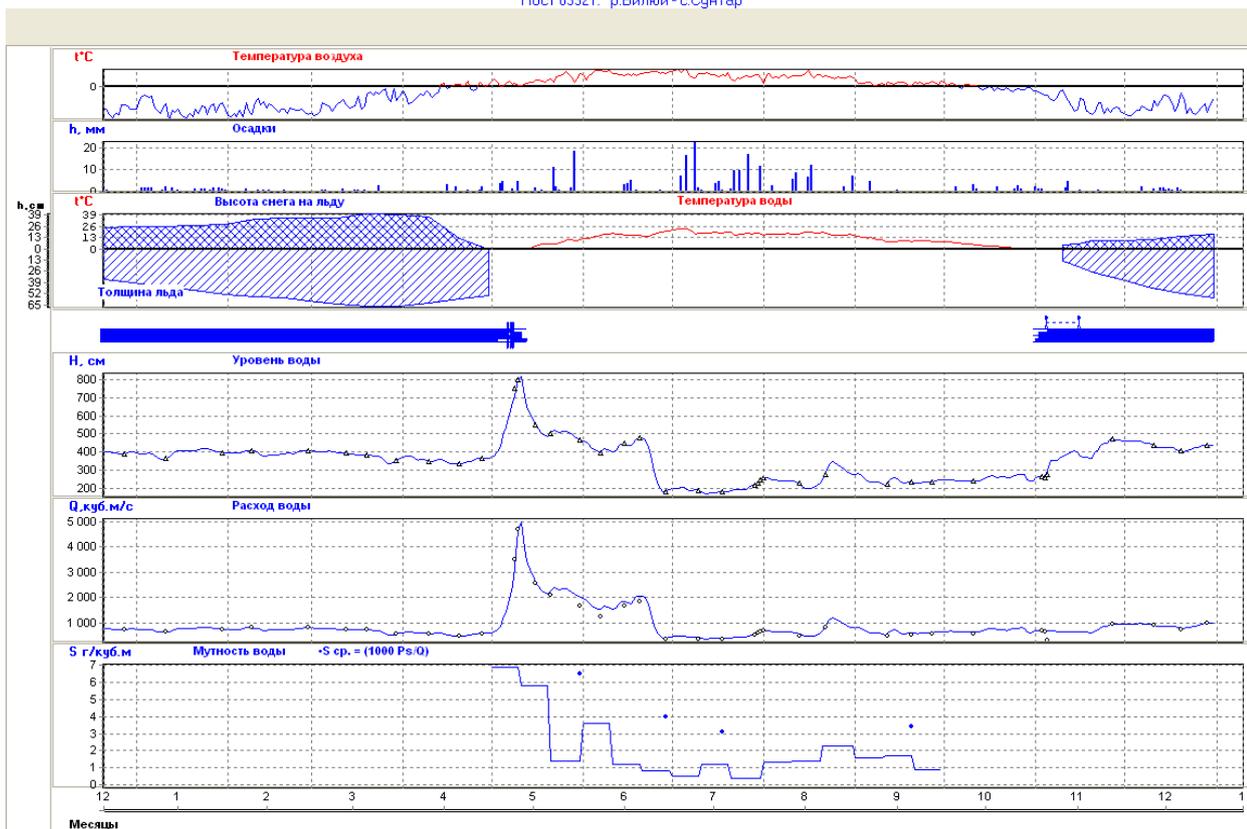
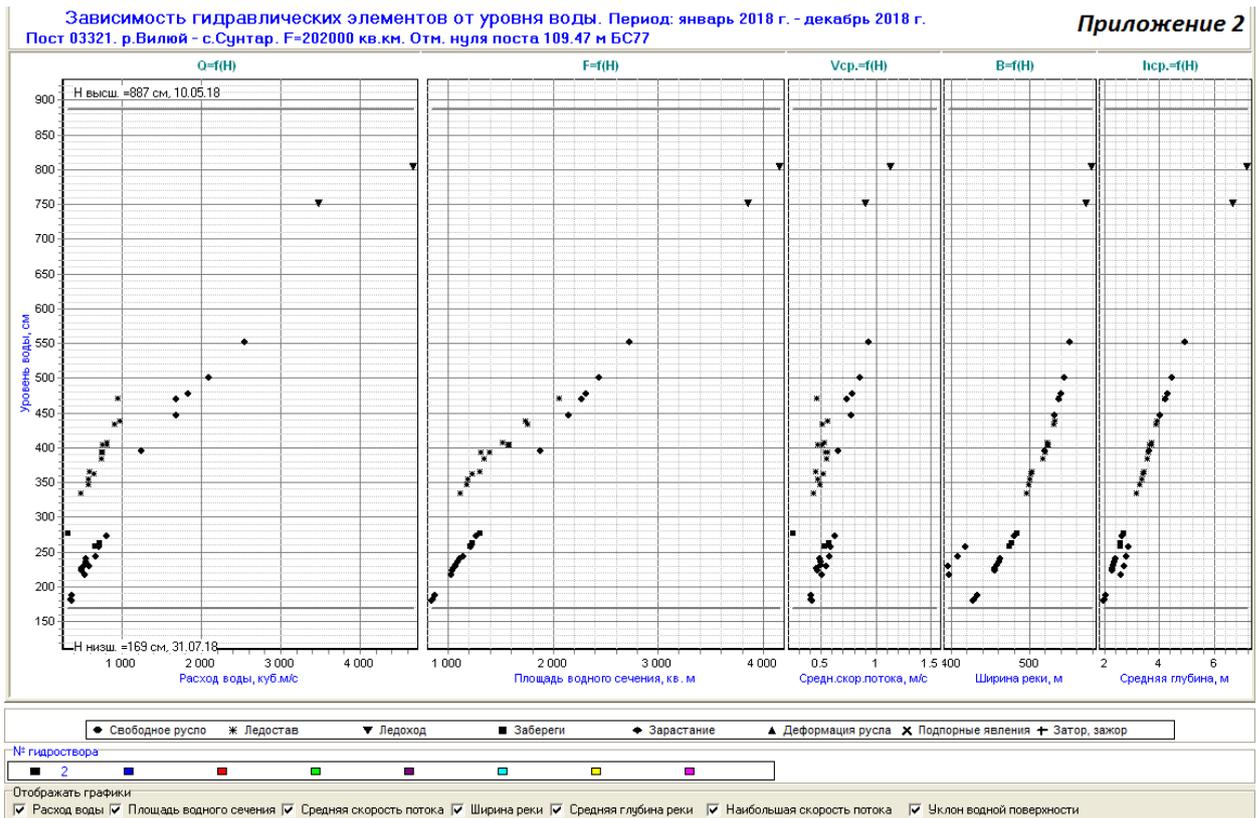


Таблица 7.4 - Сведения о расчётных значениях максимальных на вертикалях скоростей и погрешностях расчётов по методике, основанной на формулах Шези – Маннинга р. Луга - пос. Толмачево.



Рис. 7.7. Профиль поперечного сечения с изотохами и кривыми распределения средних на вертикалях скоростей по ширине гидроствора р. Луги - пос. Толмачево.



Учитывая все сведения о расчётных значениях максимальных и средних на вертикалях скоростей и погрешностях расчётов в таблицах 7.1 – 7.4. Итоговые сведения приведены в таблице 7.5.

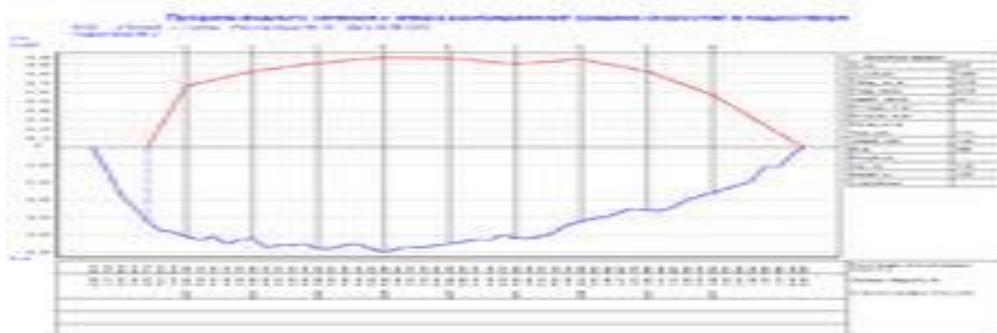
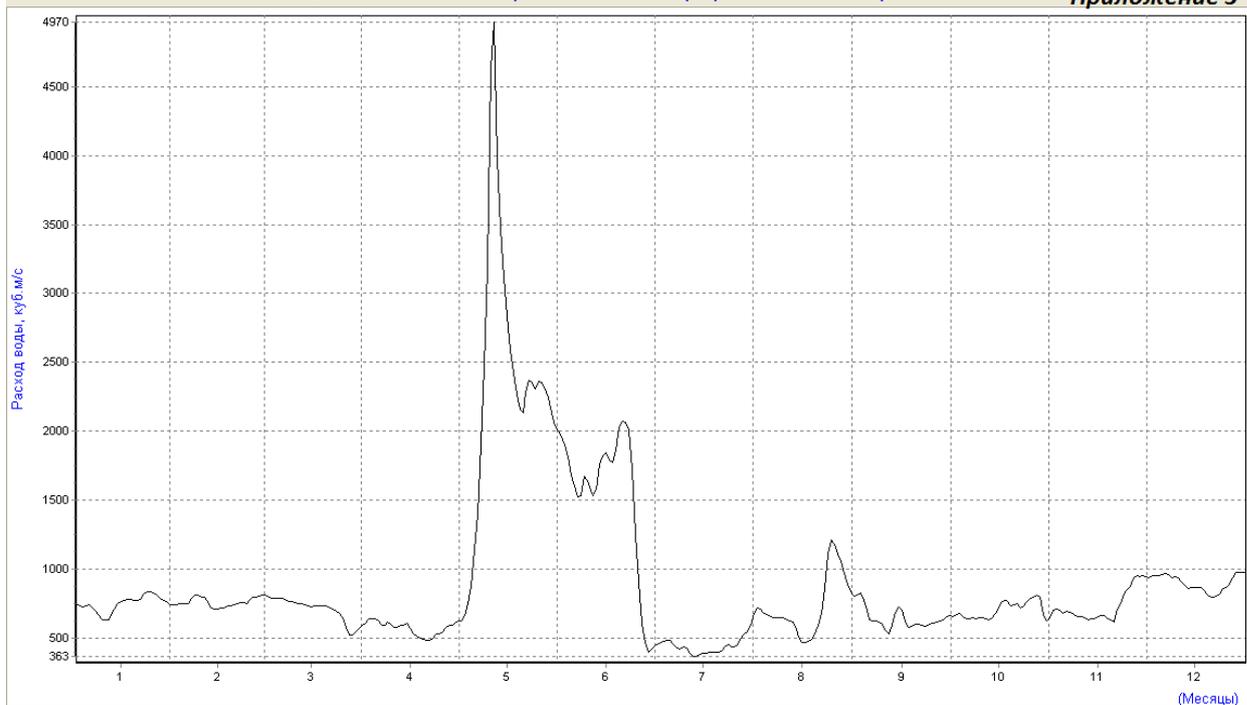


Таблица 7.5 - Сведения о величинах средних и максимальных погрешностей расчётов средних на вертикалях скоростей русловых потоков при их взаимодействии с потоками поймы при третьем и пятом типах на

Из анализа данных, приведённых в таблице 7.5, количество исходной информации ограничено, но уже приобретает некую общую картину. Более того, хоть мы и добавили данные для условий второго типа взаимодействия руслового и пойменного потоков помимо р Пьяне–д. Камкино, этого также не достаточно, чтобы с уверенностью утверждать в правильности методики. Поэтому данная информация была использована для построения корреляционных зависимостей как средних, так и максимальных величин погрешностей расчётов средних на вертикалях скоростей от углов α только для второго и третьего типов взаимодействия потоков (рис. 7.8 и 7.9). Для условий V типа взаимодействия расчётное значение угла α определялось по формуле :

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \Delta h_i \alpha_c}{h_i}. \text{ Здесь } \Delta h_i - \text{ интервал глубин соответствующий значению } \alpha_i.$$



—	Пост 03321. р.Виллой - с.Сунтар. F = 202000 кв.км. Год - 2018.

Заключение

Анализ информации, приведённой в таблице 7.5 и на рисунках 7.8 и 7.9 позволяет сделать следующие выводы и рекомендации:

–погрешности расчётов по рекомендуемой методике, основанной на методике Медоева при третьем типе взаимодействия потоков почти на порядок больше, чем при втором типе;

В тоже время необходимо отметить отсутствие натурной информации о скоростях в параллельных русловых и пойменных потоках. Это не позволяет вывести полученные зависимости на нулевую отметку.

Как показал анализ лабораторных данных, при параллельных потоках необходимо вводить в качестве третьего фактора глубину, что возможно необходимо дальнейшее совершенствование методики расчётов средних на вертикалях скоростей русловых составляющих потоков, в частности, за счёт учёта эффекта взаимодействия при других его типах.

Список использованных источников

1. Попов И.В., Кочаненкова Н.П. О морфологических особенностях речных пойм [Текст]/ Попов И.В. // Труды ГГИ. – Вып. 190. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1970. – С. 18 – 26.
2. Чалов Р.С. Русловые исследования [Текст]: уч. пособие / Р.С. Чалов – М.: Изд. МГУ, 1995.
3. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы [Текст]/ Маккавеев Н.И. – М.: Изд. МГУ, 1986.
4. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов [Текст]/ Чалов Р.С. – М.: Изд. МГУ, 1983.
5. Обидиентова Г.В. Формирование речных систем Русской равнины [Текст]/ Обидиентова Г.В. – М.: Изд. Недра, 1974. – 121 с.
6. Барышников Н.Б., Иванов Г.В. Взаимодействие руслового и пойменного потоков при пересечении их осей [Текст]/ Барышников Н.Б.// Труды ЛГМИ. – Вып.46. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1972. – С. 26 – 39.
7. Барышников Н.Б. Поймы равнинных рек (морфология, гидрология и гидравлика) [Текст]/ Барышников Н.Б.// Труды ЛГМИ. – Вып.74. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1981. – С. 85 – 94.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – вып. 6, ч. 1. – 3-е изд. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1977. – 270 с.
9. Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды [Текст]/ Скородумов Д.Е.// Труды ГГИ. – Вып. 127. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1964
10. Барышников Н.Б. Речные поймы (морфология и гидравлика) [Текст]/ Барышников Н.Б. – Л.: Изд. Гидрометеиздат, 1977. – 144 с.
11. Барышников Н.Б. Русловые процессы [Текст]/ Барышников Н.Б. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 186 с.

