

6  
А-65

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

**Сумарокова В. В.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОЛОВОДИИ  
НА РЕКАХ ТЯНЬ-ШАНЯ**

№ 278. Гидравлика и инженерная гидрология.

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Ленинград 1970



ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

СУМАРОВА В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОЛОВОДИЙ НА РЕКАХ  
ТЯНЬ-ШАНЯ

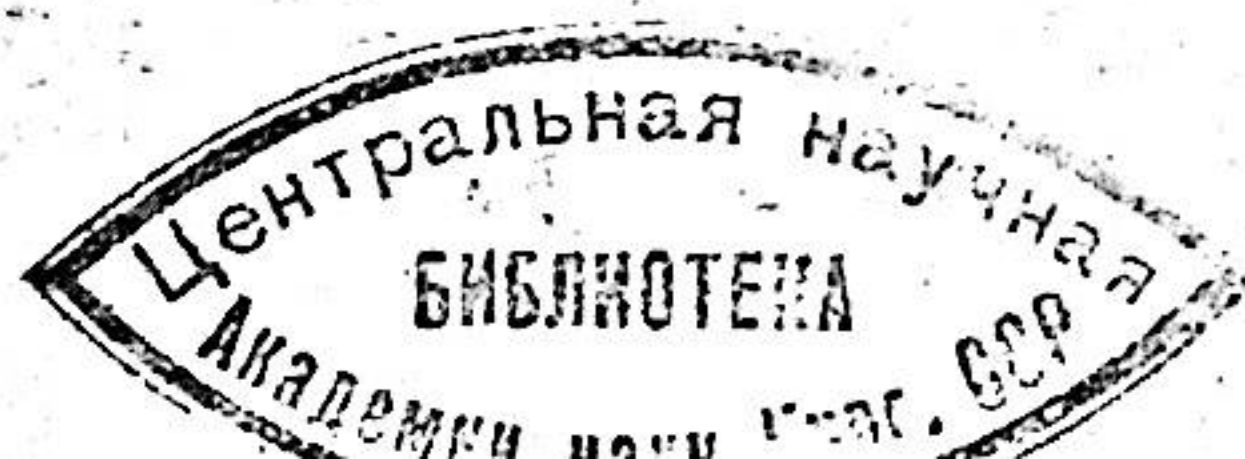


А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

*В.В. Сумарова* 20

Ленинград 1970



6  
AG5  
Д 225.23  
Работа выполнена в Киргизском научно-исследовательском институте водного хозяйства при ММ и ВХ СССР

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Г.А.Алексеев

Официальные оппоненты

Доктор технических наук А.И.Чеботарев

Кандидат технических наук И.Ф.Горошков

Ведущая организация Казахский научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 197 года

Защита диссертации состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 197 года  
на заседании Ученого Совета Государственного ордена Трудового  
Красного Знамени гидрологического института по адресу:  
г.Ленинград, В-58, 2 линия, д.28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета ГТИ Бавина Л.Г.

ГРБ Киргизской ССР  
1973  
им. Ц. Г. Чернышевского

В В Е Д Е Н И Е

Задачи энергетического строительства и расширения площадей орошаемых земель Средней Азии и Казахстана требуют тщательной оценки и учета природных условий, в особенности водных ресурсов. Между тем, изученность режима стока горных рек не достаточна и не вполне соответствует требованиям, которые предъявляются к ней развивающимся народным хозяйством. Одним из основных и наиболее сложных вопросов, возникающих при этом в практике водохозяйственных расчетов, является определение параметров стока в период прохождения половодий. Существующие в настоящее время рекомендации и официальные инструкции по расчетам речного стока предназначены преимущественно для равнинных территорий СССР. Однако, методы гидрологических расчетов, разработанные для равнинных территорий, не всегда применимы для горных стран с их резкими контрастами природных условий. В связи с этим в настоящей работе поставлены следующие главные задачи:

1. Систематизировать и произвести научное обобщение материалов наблюдений по стоку половодий бассейнов рек Чу, Талас, Тарим и оз.Иссык-Куль.
2. На основе анализа имеющихся данных выявить особенности формирования стока половодий рек изучаемой территории.
3. Разработать способы расчета средних многолетних величин продолжительности и объема половодий, максимальных расходов и сроков их прохождения для слабо изученных и неизученных рек. Оценить степень изменчивости указанных стоковых характеристик.

Исследование базируется на данных наблюдений гидрометеорологической сети Управлений Гидрометслужбы и Министерств водного хозяйства Киргизской и Казахской ССР. Используются также

результаты наблюдений Алаарчинского опытного бассейна, в работах которого автор принимал непосредственное участие в период 1961-67 гг.

Диссертация объемом 127 страниц состоит из введения, трех глав и заключения, текст поясняют 19 таблиц, четыре приложения и 52 рисунка. Список использованной литературы содержит 140 наименований.

Работа выполнена в плане исследований по договорной тематике с институтом "Киргизгипропроводхоз".

## Глава I. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ И ИСХОДНЫЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

### Физико-географическая характеристика

Изучаемая территория расположена в центре Азиатского материка. Общая площадь ее 206 тыс. км<sup>2</sup>, причем на территорию Киргизии приходится 83 тыс. км<sup>2</sup>, а Казахстана - 123 тыс. км<sup>2</sup>. Горные поднятия, занимающие около половины площади, относятся к системам Северного и Центрального Тянь-Шаня. Основные хребты Киргизский, Таласский, Кунгей-Алатау, Терскей-Алатау и Кокшаал-Тау - являются естественными водоразделами наиболее крупных речных систем. Исключительное разнообразие форм рельефа от плоских пустынь до высочайших горных хребтов накладывает отпечаток на направление перемещения влагонесущих воздушных масс, на распределение осадков, формирование почв, растительного покрова и, как следствие, на гидрологический режим водных объектов.

Климат отличается сравнительно мягкой зимой в связи со значительной циклической деятельностью; в летние месяцы средняя температура воздуха в зоне пустынь достигает 24-26°.

что обусловлено летней термической депрессией, а в горных районах она понижается по мере увеличения высоты с 23° до 6° в приледниковых областях. Переход температуры воздуха через 0° весной происходит в феврале до высоты 1500 м, в марте - до высоты 2400-2500 м и в апреле - на уровне 3000 м. Продолжительность безморозного периода наибольшая 210-230 дней в равнинных областях и наименьшая в зоне абляции ледников - 60-80 дней.

В режиме увлажнения наблюдаются большие контрасты, хотя в общем количество осадков увеличивается с высотой. Наиболее увлажненными областями являются восточная часть бассейна озера Иссык-Куль (до 1200 мм в год) и район очленения хребтов Каятау, Киргизского и Таласского. Западные склоны хребтов, вообще, получают больше влаги, а внутренние горные области отличаются некоторой засушливостью (150-400 мм в год). Обширные исследования о количестве и интенсивности жидких осадков проведены Ю.Б.Виноградовым. Им установлено, что максимум числа дней с дождями находится на высоте 1400-1800 м. Наличие оледенения в верховьях большинства рек оказывает существенное влияние на гидрологический режим, обуславливая повышенную водность рек от поступления талых вод в течение всего теплого периода года. Залесенность и озерность занимают незначительные пространства, 1-3% от площади водосборов. Практически их действием на величину максимума можно пренебречь. Однако, при прорыве озер формируются чрезвычайно высокие пики половодья.

В результате различий в физико-географических и климатических условиях на изучаемой территории выделены 7 следующих

орогидрографических районов. бассейн озера Иссык-Куль, внутри которого выделяется еще ряд подрайонов, верховья р. Чу, северный склон Киргизского хребта, правобережье р. Чу, бассейн р. Талас, междуречье Чу и Таласа вместе с северным склоном хребта Каратау, бассейн р. Тарим.

Изученность стока половодий и обзор существующих схем расчета максимумов

Чрезвычайное разнообразие природных условий исследуемого района создает трудности в анализе и обобщении материалов по стоку. Вопросы формирования и расчетов максимальных расходов и объемов половодья отличаются особо слабой изученностью. Опубликованные работы в основном касаются описания катастрофических паводков и селей (А.Т.Ильясов, А.А.Григорьев, Н.Л.Корженевский и др.). Качественная оценка факторов половодья имеется в трудах Л.К.Давыдова, З.В.Джорджио, О.П.Щегловой. Впервые рекомендации по расчету максимальных расходов рек Средней Азии разработаны В.Л.Шульцем. Из обзора современных методов расчета стока половодий (Ф.Э.Рубинова, Ю.М.Денисов, С.В.Гринберг, В.М.Болдырев и др.) сделан вывод, что ни одна из существующих схем расчета не может быть применена и рекомендована к использованию без уточнения параметров по эмпирическим данным. Для расчета максимумов на реках бассейна Сыр-Дарьи, примыкающего с юго-запада к исследуемому району, используется формула Ю.М.Денисова, основанная на учете объема половодья, высотного расположения водосбора и увлажнения его жидкими осадками. В бассейне оз. Балхаш применена формула из Строительных норм и правил, рекомендованная Государственным Гидрологическим институтом, главными пара-

метрами которой являются также объем половодья, а, кроме того, площадь водосбора и коэффициент дружности половодья. Последние две схемы положены в основу разработок для расчета максимумов рек в бассейнах Чу, Таласа и оз. Иссык-Куль.

Исходные материалы и методы их обработки

В работе использованы данные наблюдений по 107 постам, из которых 79 находятся на территории Киргизии, а только 28 - в Казахстане. Посты расположены чаще всего при выходе рек из горных долин. Высокогорная зона изучена крайне слабо, здесь расположено менее 10 постов. Средневзвешенные высоты исследуемых водосборов колеблются в пределах 600-3850 м, а площади - от 30 до 5370 км<sup>2</sup>.

Продолжительности периода наблюдений в большинстве случаев составляет около 30 лет (51 пост), а менее 10 лет - всего 13 постов.

Таблица I

Продолжительность периодов наблюдений

Продолжительность, : годы	< 10	11-20	21-30	31-40	> 40
Число постов	13	17	26	48	3

Все материалы наблюдений были подвергнуты детальному гидрологическому и гидрометрическому анализу, произведена оценка надежности имеющихся данных. В результате установлены и ликвидированы некоторые неточности и ошибки в опубликованных ранее изданиях, обнаружены случаи пропуска сведений о прохождении пика половодий.

В 50 случаях удалось произвести восстановление пропущенных ве-

дичин, а по 25 постам внесены исправления в величины срочных и среднесуточных максимумов. При рассмотрении материалов установлена пониженная точность наблюдений на сети постов Министерства Водного Хозяйства, расположенных на территории Казахстана и освещающих низкогорную зону изучаемого района. Измерения уровней и расходов производились здесь раз в пентаду или декаду, что недостаточно для характеристики режима рек в период половодья, в обработке допущено большое количество арифметических ошибок. Но несмотря на это, они включены в обработку для производства обобщений из-за отсутствия более надежных данных.

Статистическая обработка основных характеристик стока половодий (срочных и среднесуточных максимумов, объемов и продолжительности половодья) выполнена графоаналитическим методом. Произведено сопоставление полученных результатов с расчетами параметров кривых обеспеченности по аналитическим формулам на электронно-вычислительной машине Минск-2.

Подготовленные исходные данные послужили основой для обобщений, анализа факторов и создания схем расчета стоковых характеристик половодья. Кроме того, уже сейчас они находят непосредственное применение в практике проектирования водохозяйственных объектов.

## Глава II. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОВОДИЙ НА ГОРНЫХ РЕКАХ ТЯНЬ-ШАНЯ

### Общая характеристика половодья

Изучаемые реки относятся к рекам с весенним половодьем в теплую часть года. Наиболее распространенными подтипами являют-

ся тяньшанский, алтайский и казахстанский. На подавляющем числе рек половодье делится на две части — от таяния сезонных снегозапасов и дождей весной и от таяния высокогорных снегов и ледников летом.

Анализ генезиса стока в период прохождения паводков произведен путем расчленения гидрографов. При этом выделены следующие составляющие стока: грунтовая, дождевая, талая от сезонных снегов, залегающих ниже гляциальной зоны, а талая высокогорная — от таяния снега и льда гляциальной зоны. Результаты подсчета приведены в табл. 2. Роль отдельных источников неодинакова при разных высотах водосборов. Доля участия выделенных типов питания подвержена значительным колебаниям из года в год. К примеру, объем дождевых вод по р. Тамды в 1958 г. достигал 74% от стока за год при средней величине 11-12%. Столь резкие различия объясняются воздействием на сток основных климатических факторов — количества выпадающих осадков и температуры воздуха. Вычисленные коэффициенты вариации средних месячных значений гидрометеорологических данных (сток, осадки, температура воздуха) позволили количественно подтвердить, что колебания стока рек, охватывающих полностью амплитуду высот горных хребтов, наиболее значительны весной и осенью в связи с условиями теплового режима в гляциальной зоне и в начале лета (в июне) — вследствие выпадения ливневых осадков преимущественно в средней зоне гор.

Влияние основных факторов ярко проявляется в годы формирования выдающихся половодий, анализ которых проведен по данным 68 гидрометрических створов с синхронным рядом наблю-

Таблица 2

## Роль отдельных источников питания рек при разных высотах водосборов

Река-пункт	Бассейн	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>		Высота водосбора, м		Доля участия типов питания (в % от годового стока)			
		площадь водосбора, км <sup>2</sup>	площадь водосбора, км <sup>2</sup>	высота водосбора, м	высота водосбора, м	грунтово-водное	снеговое	высокогорное	дождевое
Чон-Кмылсу - лесной кордон	оз. Иссык-Куль	302	302	3,22	3,22	26,7	9,4	61,4	2,5
Алаярча-выше устья р. Диндису	р. Чу	31,6	31,6	3,64	3,64	27,7	10,6	60,0	1,7
Алаярча - устье р. Кашкасу	р. Чу	233	233	3,29	3,29	31,0	7,8	58,2	3,0
Кашкасу - устье	р. Алаярча	26,0	26,0	2,63	2,63	55,2	16,4	22,3	6,1
Ргаиты - с. Чокпар	р. Чу	607	607	1,36	1,36	38,6	57,9	.	3,5
Карабалгы - с. Сосновка	р. Чу	577	577	2,91	2,91	32,6	4,8	60,4	2,2
Каракол - устье р. Акташ	р. Талас	553	553	3,20	3,20	31,8	12,2	54,4	1,6
Тамды - с. Жолак-Тау	р. Талас	271	271	0,91	0,91	31,5	57,0	-	11,5
Кокташ - 2,0 км ниже устья р. Карашат	р. Талас	256	256	0,94	0,94	28,8	67,2	-	4,0

дений. Наибольшие значения максимальных расходов ( $Q_{max}$ ) в слоя стока за половодье ( $h_n$ ) обеспеченностью I-5% по большинству рек наблюдались в 1942, 58, 59 и 66 гг. В эти годы зафиксировано превышение над нормой западных, северо-западных и северных вторжений воздушных масс. Обязательным условием формирования выдающихся половодий является повышенное количество осадков за холдный период (в 1,5-2,5 раза выше нормы) и аномально высокие значения температуры воздуха в течение нескольких суток в периоды таяния снега (льда).

Наивысшие расходы различного происхождения обладают разной степенью превышения над нормой:

а) при резком повышении температуры или при выпадении обильных жидких осадков - в 2 раза,

б) при селях р. сходах от совпадения высокого талого и дождевого стока - до 5 раз,

в) при прорывах озер - до 7-10 раз, а иногда и больше.

В годы прохождения выдающихся максимумов наиболее ярко проявляются черты режима и роль главнейших факторов половодий.

Условия формирования максимальных расходов (пиков половодий) горных рек отличаются чрезвычайной сложностью и характеризуются слабой изученностью. В работе уделено внимание лишь наиболее важным моментам этого процесса.

Максимальные расходы рек Средней Азии чаще всего являются смешанного, дожде-талого происхождения, но в разных высотных зонах по разному проявляется степень участия этих составляющих. На основе расчленения гидрографов стока была определена роль дождей в формировании пика половодья за каждый год и в среднем за многолетие.

Граница разделения талого и дождевого стока на гидрографах проводилась с учетом хода температуры воздуха в период выпадения осадков. В результате установлено, что роль дождей ( $\Delta q$ ) в общей величине максимума наименьшая (5-15%) при средней высоте водосборов более 3 км. С уменьшением высоты  $\Delta q$  возрастает и для большинства рек Киргизии составляет 10-30%, достигая 50-75% в зоне среднегорья и некоторых районов низкогорья.

При анализе гидрографов по нескольким характерным рекам (Алаарча, Аламедин, Иссыката) были выделены годы, когда прохождение паводков обусловлено исключительно подъемом температуры воздуха при полном отсутствии осадков. При этом обнаружено, что за период подъема сумма приращений суточных расходов воды ( $\sum \Delta Q$ ) над предпаводочным расходом находится в зависимости от суммы среднесуточных температур воздуха ( $\sum t$ ). Получены достаточно тесные связи, характеризующиеся высокими значениями коэффициентов корреляции (0,80-0,95), которыми можно пользоваться при прогнозировании ожидаемого максимума и интенсивности подъема расходов воды на конкретном водотоке.

Наличие мощных ледниковых морен в истоках рек оказывает регулирующее влияние на сток. Величины максимумов снижаются, суточные амплитуды колебаний уровней (расходов) сокращаются примерно в 2 раза (по данным наблюдений в Алаарчинском опытном бассейне).

На горных реках обычно нет соответствия между максимальным расходом и объемом половодий, т.е. отклонения их от нормы в определенном году неодинаковы. Особенно ярко это проявилось при анализе выдающихся половодий. Однако, между многолетними величинами этих характеристик разных пунктов наблюдений полу-

чена вполне определенная связь.

#### Классификация рек по условиям формирования половодья

Вид гидрографов и отмеченные особенности в режиме стока рек разных высотных зон дают возможность произвести классификацию рек по условиям формирования половодий и прохождения пиков. Все реки были разделены на 3 основные группы по высотному признаку.

I. Р е к и в ы с о к о г о р ь я - реки ледниково-снегового питания с высотой водосборов более 2700 м. Половодье охватывает период с апреля по октябрь, т.е. всю теплую часть года. Гидрограф многомодальный. Наибольшие расходы наблюдаются в июле-августе и сформированы талыми водами снегов, ледников нередко с участием дождевых вод. Катастрофические паводки вызваны выпадением обильных ливней, прорывом моренных озер, ледниковых пустот. К этой градации относится большинство рек на территории Северной Киргизии.

II. Р е к и с р е д н е г о р ь я - реки снегово-ледникового питания с высотой водосборов в пределах от 1500 м до 2700 м. Гидрографы многопиковые. Максимумы проходят весной при снеготаянии или летом при выпадении обильных ливневых осадков, т.е. в период с апреля по август.

III. Р е к и н и з к о г о р ь я - реки снегового и снегово-дождевого питания с высотами водосборов от 600 до 1500 м. Половодье формируется интенсивно, в короткие сроки, максимумы приурочены к периоду весеннего снеготаяния, охватывающего почти всю площадь водосбора одновременно. Количество пиков на гидрографах уменьшается. Катастрофические паводки обусловлены



выпадением ливней во время снеготаяния.

### Глава III. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТОКА В ПЕРИОД ПОЛОВОДИЙ

#### Сроки прохождения половодий и максимальных расходов

Увеличение водности в реках приурочено к моменту перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}$  и к началу весеннего снеготаяния. Наступление положительных температур воздуха при достаточной амплитуде высот происходит не на всей площади одновременно, а постепенно продвигается снизу вверх. Вследствие этого сроки начала половодий рек разных высотных зон приходится на разные даты. На реках низкогогорья увеличение расходов происходит во второй половине февраля (реки хребта Каратау) или в марте (реки Чу-илийских гор). В среднегорной и высокогорной зоне половодье начинается в апреле или в первой половине мая и даже в июне в зависимости от высотного положения активной зоны питания. В бассейнах рек, ориентированных на юг, подъем расходов начинается на 10-15 дней раньше по сравнению с долинами северной ориентации. Окончание половодья полностью определяется наличием запасов влаги на поверхности водосборов в виде снега (льда), а в случае достаточных запасов лимитируется продолжительностью безморозного периода. Истощение запасов сезонных снегов приходится на май - август в зависимости от высоты водосбора. На реках ледниково-снегового питания мезень наступает в сентябре-октябре. Несмотря на сдвигу как начала, так и конца на более поздние сроки с увеличением высоты водосборов, продолжительность паводочного периода ( $T_n$ ) не остается постоянной. Она удлиняется за счет неодновременности таяния снега (льда) при

больших перепадах высот в бассейнах рек. Наименьшая продолжительность половодья составляет 90-100 дней (реки хребта Каратау), наибольшая 150-160 дней (рр: Топ и Джиргалан). Коэффициенты вариации  $T_n$  исследуемых рек колеблются в пределах 0,08-0,15.

Время прохождения пика половодья тесно связано с типом питания реки, выраженным через коэффициент  $\delta x$ , и с высотой водосбора.

#### Слой стока за половодье

Величины слоя или объема стока за половодье для изученных рек изменяются от 26 мм (р. Беркуты) до 808 мм (в верховьях р. Алаарча) в зависимости от климатических, геологических и орографических условий.

За период половодья проходит от 50 до 95% годового стока, что количественно подтверждает главенство этой фазы в гидрологическом режиме водотоков. Особенно велика доля стока половодья в зоне высокогорья, где зимой наблюдается резкое сокращение расходов воды в реках, сток поддерживается исключительно за счет подледникового и внутриледникового таяния, а иногда прекращается совсем вследствие перемерзания рек. В зоне низких гор после прохождения весеннего половодья нередко наблюдается пересыхание рек. В среднегорье гидрологический режим наиболее выровненный в течение года, за 3-4 месяца

x) Показатель  $\delta$  представляет собой отношение стока за июль-сентябрь к стоку за март-июнь и рекомендуется В.А. Шульцем в качестве главного показателя типа питания рек Средней Азии.

фаза половодья проходит около 60% годового стока.

При близких по значению средневзвешенных высотах водосборов формируется резко отличающийся по слою сток половодий, что объясняется разной степенью увлажненности районов атмосферными осадками ( $x$ ). В связи с различным характером увеличения осадков с высотой в выделенных орографических районах установлено три вида зависимости среднего за многолетие слоя стока половодий ( $\bar{h}_n$ ) от высоты водосборов: первая относится к районам повышенного увлажнения (восточные части хребта Каратау и Иссык-Кульской котловины), вторая - к районам среднего увлажнения для изучаемой территории, куда относится бассейн р. Талас, северный склон Киргизского хребта, средняя часть бассейна оз. Иссык-Куль и третья - к относительно засушливым областям (верховья р. Чу, бассейн р. Тарим и западная часть Иссык-Кульской котловины), где на больших высотах выпадает значительно меньше осадков. Пользуясь полученными зависимостями можно производить расчет слоя  $\bar{h}_n$  неизученных рек с точностью  $\pm 17\%$  в среднем. Для малых рек ( $30 < F < 100 \text{ км}^2$ ) получены поправки к величине  $\bar{h}_n$  вследствие влияния редукиции по площади на сток исследуемых водотоков. Значения поправок  $+\Delta \bar{h}_n$ , отнесенные к площади  $50-60 \text{ км}^2$ , находятся в пределах от 5 до 170 мм в зависимости от высоты водосборов. Для промежуточных площадей значения поправочных коэффициентов определяются интерполяцией.

Величину  $\bar{h}_n$  с точностью  $\pm 10\%$  можно находить по связи с годовым стоком, при этом необходимо учитывать, что годовой сток в свою очередь определяется с погрешностями порядка 10-12%.

Коэффициенты вариации слоя половодья ( $C_{вл}$ ) зависят от условий питания реки. Наличие ледников обуславливает довольно устойчивую величину  $h_n$  из года в год, а в зоне низкогогорья прохождение катастрофических селей в одни годы и формирование половодий исключительно от таяния сезонных снегов после мало-снежных зим в другие годы создают резкие колебания в объемах стока за половодье. В результате получены зависимости  $C_{вл}$  от средней высоты водосбора и, в другом варианте, от коэффициентов вариации годового стока. Коэффициенты асимметрии ( $C_s$ ) получены по обобщенным районным кривым обеспеченности нормированных отклонений от среднего значения  $\frac{h_p - \bar{h}_n}{\sigma} = \frac{K_p - 1}{C_v} = f(p, C_s)$  для каждого из 7 выделенных районов  $C_s$  приняты постоянными и имеют численные значения от 0,5 до 1,0. Обобщенные в пределах однородных физико-географических районов кривые обеспеченности  $\frac{K_p - 1}{C_v} = f(p, C_s)$  дают возможность использовать всю совокупность имеющихся гидрометрических данных, ликвидировать случайные отклонения и в итоге повысить точность определения  $C_s$ .

#### Максимальные расходы воды

Для разработки методов и рекомендаций по расчету максимальных расходов воды использованы статистически обработанные исходные данные. Обработка произведена в соответствии с методическими рекомендациями ГГИ. После рассмотрения существующих схем расчета максимумов основной апробации были подвергнуты три схемы - В.Л. Шульца, Ю.М. Денисова и ГГИ, как наиболее рациональные и наиболее применимые для горных территорий.

В 1941 г. В.Л. Шульц установил зависимость модуля максимальных расходов ( $M_{max}$ ) от площади водосбора при условии, что



в формировании максимума основную роль играют талые воды. Принятая им за основу редуцированная формула Д.И. Кочерина была преобразована в вид:

$$\bar{M}_{max} = \frac{A}{F^{0,6}} \quad (1)$$

где  $A$  - максимальная интенсивность водостдачи от таяния снега. Одновременно этим параметром учитываются и другие особенности формирования стока исследуемых рек.

Формула (1) даже при довольно детальном районировании дает значительные погрешности, порядка 20-25%. Позднее многочисленными исследованиями было установлено, что помимо площади водосборов, на величину максимумов существенное влияние оказывают высотное положение и увлажненность бассейнов рек атмосферными осадками, степень их оледенения.

Наиболее полно основные факторы формирования пиков половодий учитываются в формулах, предложенных Ю.М. Денисовым в Государственном Гидрологическом институте. Последние вошли в "Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений" (СН 356-66).

Ю.М. Денисов для расчета модулей средних многолетних максимумов горных рек бассейна р. Сыр-Дарья вывел формулу, полученную при соответствующем преобразовании формулы Г.А. Алексеева, в следующем виде:

$$\bar{M}_{max} = \frac{0,325 \bar{h}_n}{2,645_n + 0,01 \sqrt{\bar{h}_n}} + \frac{A}{F^{0,6}} \quad (2)$$

где  $\bar{h}_n$  - слой стока за половодье в мм,  
 $F$  - площадь водосбора в км<sup>2</sup>,

$A$  - параметр, учитывающий особенности формирования максимумов, строения водосбора и характер его увлажнения жидкими осадками.

$\sigma_n$  - среднеквадратичное отклонение высот в км, которое вычисляется по уравнению:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum H_i^2 f_i}{F} - H_{cp}^2} \quad (3)$$

где  $H_i$ ;  $f_i$  - высота и площадь каждой высотной зоны, на которые разбивается водосбор при определении средней высоты ( $H_{cp}$ ).

По структуре формула (2) состоит из двух частей, первая из которых отражает величину талой составляющей многолетнего максимума ( $\bar{M}_{max}$ ), а вторая  $\frac{A}{F^{0,6}}$  - роль жидких осадков и особенности прохождения пиков. Недостатком предлагаемой формулы является учет редукиции дождевой составляющей только в зависимости от площади водосбора, без учета влияния вертикальной поясности.

Вычисленные по непосредственным данным значения параметра  $A$  были районированы. Величины их колеблются в широких пределах: от 1400 (междуречье Барскаун-гон) до 150 (восточная часть северного склона Киргизского хребта). Однако, для среднегорных и низкогорных рек формула не применима из-за условий специфического распределения жидких осадков в этих зонах. Наилучшие результаты формула (2) дает для водосборов со средневзвешенными высотами от 2700 м до 3600 м. Точность расчета в этих пределах составляет в среднем 7,7%. Диапазон применения формулы (2) может быть расширен, примерно до высоты 2000 м, при применении установленной автором эмпирической

зависимости дождевой составляющей от средней высоты водосбора

$$\Delta q\% = 98 - 30H_{cp} \quad (4)$$

где  $H_{cp}$  выражается в км,  $\Delta q$  - в процентах от общей величины  $Q_{max}$ .

Вычисления  $Q_{max}$  с использованием установленной зависимости (4) для рек среднегорья ( $H_{cp} = 2000-2700$  м) дают точность  $\pm 16\%$ , для рек с  $H_{cp} < 2000$  м формула (2) не пригодна.

Поскольку формулы (2) и (4) применимы не для всех рек исследуемых районов, была произведена детальная разработка параметров еще одной схемы расчета, которая вошла в Строительные нормы (СН 356-66) и в настоящее время находит широкое применение для расчета максимумов неизученных рек на большей части территории Советского Союза. Расчетная формула СН 356-66, полученная А.А.Соколовым на основе редуцированных формул Д.Л. Соколовского и К.П.Воскресенского, применительно к средним многолетним максимумам горных районов имеет следующую аналитическую интерпретацию:

$$\bar{q} = \frac{K_0 \bar{h}_n}{(F+1)^{0,15}} \quad (5)$$

где  $\bar{q}$  - средний многолетний модуль максимального стока в л/сек км<sup>2</sup>,

$K_0$  - средний многолетний коэффициент дружности половодья,

$\bar{h}_n$  - средний многолетний слой стока за половодье в мм,

$F$  - площадь водосбора в км<sup>2</sup>.

Приближенное значение показателя редукции по фактическим данным оказалось равным 0,17-0,20, вследствие чего формула (5) оставлена без изменения.

Дружность половодья, как видно из приведенной ранее классификации, зависит от высотного положения водосбора. На реках высокогорья половодье имеет растянутую форму, а в зоне низкогорья - приобретает наибольшую компактность. Для отдельных орографических районов построены районные зависимости коэффициента дружности от высоты водосборов, т.е.  $K_0 = f(H_{cp})$ . При выражении модуля в л/сек км<sup>2</sup> величины  $K_0$  изменяются по территории в пределах от 0,2 до 3,5. Коэффициенты дружности  $K_i$ , определяемые по соответственным годовым значениям  $q_i$  и  $h_i$ , изменяются от года к году. Существенные колебания в значениях  $K_i$  зафиксированы на реках, по которым проходят катастрофические сели (рр. Тамга, Джеламыш, Шокпак). Наибольшие и наименьшие значения здесь отличаются друг от друга в 7-10 раз.

Расчет по формуле СН 356-66 с применением выработанной методики получения  $K_0$  показал, что средняя ошибка, в общем для всех рек, составила  $\pm 15\%$ , наибольшие не превышают  $\pm 40-70\%$  (7 случаев). Отсюда следует вывод о достаточной точности и возможности применения указанной формулы для расчета максимальных расходов воды рек всей изучаемой территории в целом.

Сопоставление точности и пределы применения рассмотренных формул показаны в таблице 3.

Помимо определения точности расчета  $Q_{max}$  предлагаемыми способами, была произведена оценка территориальной изменчивости основных расчетных параметров:  $A$  (в формуле В.Л.Шульца),  $K_0$  и  $\bar{h}_n$ . На основе построения кривых распределения и расчета коэффициентов пространственной вариации этих параметров установлено, что они обладают примерно одинаковой и значительной изменчивостью ( $s_x \approx 0,6-0,7$ ), тогда как принятое районирование допу-

Таблица 3

Сопоставление точности расчета максимальных расходов воды различными методами

Формула	Район расчета	Среднее отклонение вычисленных значений $Q_{max}$ от фактических ( $\pm$ %)
1. $\bar{Q} = \frac{K_0 h_n}{(F+1)^{0,15}}$	Вся территория	15,0
2. $\bar{M}_{max} = \frac{0,325 \bar{h}_n}{2,646_n + 0,01 \sqrt{h}}$		
а) $\Delta q = \frac{A}{F^{0,6}}$	Зона высокогорья (2700 м < $H_{cp}$ < 3600 м)	7,7
б) $\Delta q \% = 98 - H_{cp}$	Зона среднегорья (2000 м < $H_{cp}$ < 2700 м)	16,1
3. $\bar{M}_{max} = \frac{A}{F^{0,2}}$	Вся территория	24,2
4. $\bar{Q}_{max ср. сум.} = f(H_{cp}, F, x, \bar{h}_n, \bar{Q}_{max ср. сум.})$	Вся территория	24,3

складывает средние характеристики в большом диапазоне. Для повышения точности расчета максимальных расходов неизученных рек целесообразно ориентироваться на величины расчетных параметров водосборов, расположенных в сходных физико-географических условиях и имеющих примерно одинаковые высоты и размеры бассейнов. Иными словами, следует прибегать к использованию метода аналогии. С этой целью в работе приведена сводная таблица, содержащая значения параметров для всех подлежащих рассмотрению расчетных схем, а также приведены примеры расчета.

Величина среднесуточного максимума является также необхо-

димой характеристикой для водохозяйственных расчетов. Наилучшим образом она увязывается с объемом половодий. Полученные эмпирические зависимости выражаются соотношениями:

$$a) \bar{Q}_{max ср. сум.} = 0,19 \bar{h}_n \quad \text{при } H_{cp} > 1200 \text{ м} \quad (6)$$

$$б) \bar{Q}_{max ср. сум.} = 0,58 \bar{h}_n \quad \text{при } H_{cp} \leq 1200 \text{ м} \quad (7)$$

Обычно для расчетов  $\bar{Q}_{max ср. сум.}$  пользуются величиной отношения  $\frac{Q_{max сроч.}}{Q_{max ср. сум.}}$  в зависимости от площади водосбора. На исследуемой территории такой связи не обнаружено из-за влияния на эту характеристику высоты водосбора, степени селеактивности, наличия конечных ледниковых морен, осыпей и т.д. Вообще, соотношение срочного и среднесуточного максимума характеризует степень зарегулированности внутрисуточного хода стока в период прохождения пиков. Для большинства рек это соотношение выражается эмпирической формулой:

$$\bar{Q}_{max ср. сум.} = 0,67 \bar{Q}_{max сроч.} \quad (8)$$

В случае, если в истоках реки имеются мощные конечные морены, большие пространства занимают осыпи (рр. Кашкатор, Адыгине, створ вблизи стока р. Алаарчи), сток в значительной степени зарегулирован и величины максимумов близки по значению:

$$\bar{Q}_{max ср. сум.} = 0,86 \bar{Q}_{max сроч.} \quad (9)$$

На реках низкогогорья и активных селевых зон сток внутри суток подвержен резким колебаниям (рр. Тамга, Тоссор, Кутурга, Чункурчак, Кашкасу, Шокпак и др.). Здесь максимумы формируются мгновенно, среднесуточный расход во время прохождения пика значительно меньше среднего:

$$\bar{Q}_{max ср. сум.} = 0,54 \bar{Q}_{max сроч.} \quad (10)$$

Изменчивость срочных максимумов ( $C_{vQ}$ ) подвержена закону вертикальной поясности. Два вида зависимости  $C_{vQ}$  от средней взвешенной высоты водосборов обусловлено разной степенью

селективности бассейнов, определение которой необходимо производить при полевых обследованиях речных долин. Величины коэффициента асимметрии определены также по обобщенным кривым обеспеченности, приняты постоянными для выделенных районов.

Особенностью гидрологического режима горных рек является сильная насыщенность потоков наносами при прохождении селевых паводков. Вследствие этого на отдельных бассейнах наибольшие наблюдаемые расходы превышают расчетные расходы 1% и даже 0,1% обеспеченности, полученные в результате статистической обработки исходных данных. Учитывая это обстоятельство, разработаны способы определения коэффициентов перехода от расходов воды, рассчитанных предлагаемыми способами, к селевым расходам. Коэффициенты перехода  $\lambda = \frac{Q_{сел}}{Q_{р}}$  находятся по зависимости от высоты водосбора и имеют значения от 1,3 до 2,0 в зоне высокогорья, от 2,0 до 4,0 в среднегорье и от 4,0 до 6,0 в области низких гор. Указанные соотношения необходимо учитывать при расчете селевых максимумов повторяемостью  $p \leq 10\%$ .

Точность расчета основных характеристик стока паводхий предлагаемыми методами приведена в сводной таблице 4.

Построение расчетного гидрографа стока за время паводья

Гидрографы большинства исследуемых рек имеют очень сложную форму, пики образуются под воздействием локальных метеорологических условий. Паводье представляет собой сочетание целой системы паводков. На первый пик от таяния сезонных снегов иногда накладывается дождевой паводок, а затем следует многовершинное паводье от таяния высокогорного снега и льда с пиками от дождей и колебаний температурного режима. Число основных пиков в среднем равно 5-8, а общая их число достигает

Таблица 4

Оценка точности расчета параметров стока паводья предлагаемыми способами

Характеристика	Способ расчета	Число случаев отклонений (в %) вычисл. - Средняя денных величин от фактических в пре- : ошюка, делах : +		
		до -2%	до 10% : до 20% : до 30%	до 50%
1. Срой стока за паводье	$\bar{h}_n = f(h_2)$ $\bar{h}_n = f(H_{ср}, J, x)$	42	72	90
2. Коэффициент вариации стока за паводье	$C_{vn} = f(C_{v2})$ $C_{vn} = f(H_{ср})$	22	41	69
3. Максимальный расход (срочный)	$M_{max} = \frac{0,325 \bar{h}_n}{2,646 + 0,01 \sqrt{\bar{h}_n}} + \frac{A}{J^{2,6}}$	42	61	88
а) зона высокогорья	$\bar{Q} = \frac{K_0 \bar{h}_n}{(J+1)^{0,25}}$	18	28	49
б) зона среднегорья и низкогорья	$\bar{Q}_{max\ ср-сут.} = f(h_n)$ $\bar{Q}_{max\ ср-сут.} = f(\bar{Q}_{max\ ср-сут.})$	55	76	89
4. Максимальный средний суточный расход	$C_{v0} = f(H_{ср})$	24	47	65
5. Коэффициент вариации срочных максимумов		25	44	68
		31	66	92
		16	43	74
		98	98	98
		91	91	91
		93	93	93
		70	70	70
		10,4	10,4	10,4
		16,7	16,7	16,7
		8,8	8,8	8,8
		23,8	23,8	23,8
		7,7	7,7	7,7
		19,5	19,5	19,5
		14,6	14,6	14,6
		9,5	9,5	9,5
		14,9	14,9	14,9

и 20. В зоне низких гор количество пиков на гидрографах снижается до 1-3.

Обобщенной характеристикой формы гидрографов является безразмерная величина  $\delta$ , представляющая собой отношение между средним расходом половодья и максимальным среднесуточным расходом. Ориентировочно для рек среднегорья и высокогорья колеблется в пределах 0,2-0,6, а для низко расположенных водотоков  $\delta < 0,2$ .

Существующий способ построения расчетного гидрографа по уравнению практически не применим, т.к. одномодальная форма встречается в крайне редких случаях. В основном используется способ построения по гидрографу - модели. За модель принимается гидрограф стока реки, расположенной в сходных физико-географических условиях с примерно одинаковыми размерами и высотой водосбора. При многовершинном половодье берутся жесткие календарные сроки и подсчитывается объем наиболее интенсивной (главной) части гидрографа, что используется для пересчета координат модели в координаты расчетного гидрографа. Возможно также проектирование по существующим в настоящее время рекомендациям расчета внутригодового распределения стока. Из-за отсутствия надежных аналогов расчет гидрографов горных рек является приближенным.

Метод проектирования гидрографов, предложенный Ю.М.Денисовым, дает хорошие результаты при условии использования обширной информации о тепловом режиме и о запасах влаги в почве и на поверхности водосбора. Метод применим только с использованием электронно-вычислительных машин из-за необходимости производства большого объема математических операций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненной работы сводятся к следующему:

1. Произведены систематизация и научное обобщение материалов наблюдений по стоку половодий 107 гидрометрических постов, расположенных в бассейнах рек Чу, Талас, Тарим и оз. Иссык-Куль.

2. Выявлены особенности формирования половодий и максимальных расходов рек разных высотных зон, на основе чего предложена классификация, раздояющая реки по виду гидрографов, по способу образования пиков и времени их прохождения.

3. Получены способы расчета основных характеристик стока половодий (продолжительности, объема, времени начала, окончания и прохождения пиков) для неизученных или слабо изученных рек в зависимости от высоты, площади водосбора и степени его увлажненности атмосферными осадками. Произведена оценка точности расчета этих характеристик.

4. Разработаны рекомендации по расчету максимальных расходов воды (средних за многолетие). Наибольшую точность при расчете  $Q_{max}$  дает уточненные автором формулы Ю.М.Денисова (для высокогорных рек) и СН 356-66 (для среднегорных и низкогорных рек). Даны способы нахождения максимумов различной повторяемости. Получены коэффициенты перехода, которые необходимо вводить в значения максимальных расходов воды для вычисления целевых расходов.

5. Предлагаются приближенные способы построения гидрографов стока за период половодий.

Отдельные разделы диссертационной работы докладывались и

обсуждались на заседании Ученого Совета САНИГМИ (1963 г.), на У научной конференции Тянь-Шаньской физико-географической станции (1963 г.), на научной конференции, посвященной 40-летию образования Киргизской ССР и Компартии Киргизии (1966 г.), на III и IV всесоюзных гляциологических симпозиумах (1965 и 1968 гг.), на I съезде Киргизского географического общества (1970 г.) и на секции Ученого Совета ГТИ (1970 г.) -

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ СОДЕРЖАТСЯ В  
СЛЕДУЮЩИХ СТАТЬЯХ И ДОКЛАДАХ:

1. Влияние таяния ледников на сток рек Ала-Арчинского бассейна. Гляциологические исследования на Тянь-Шане. Изд. "Илим", Фрунзе, 1965.

2. О взаимосвязи абляции ледников, осадков и стока высокогорных областей. Сб. "Успехи советской гляциологии". Изд. "Илим", Фрунзе, 1968.

3. Применение статистических методов для выяснения причин изменчивости стока горных рек. Сб. работ Фрунзенской гидромет-обсерватории, № 2, Ташкент, 1968.

4. К вопросу об условиях формирования и изменчивости паводкового стока горных рек Киргизии. Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. Вып. 15. М., 1969.

5. О способах расчета талых и дождевых максимальных расходов рек Киргизии (в соавторстве с Е.В.Петряшовой). Географические исследования в Киргизии (Материалы к I съезду Киргизского Географического Общества). Изд. "Илим", Фрунзе, 1970.

---

Подписано в печать 3/ХП-70 г. Объем 1,75 печ. л.  
Формат бумаги 60x90/16. Зак. 2449. Тир. 200. Д-06735

Фрунзе, тип. АН Кирг. ССР  
ул. Пушкина, 144