



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

Кафедра гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Исследование и расчет максимального
стока бассейна реки Яна»

Исполнитель:

Борисова В. Б.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель:

Винокуров И. О.
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(учёная степень, учёное звание)

Сикан А. В.

(фамилия, имя, отчество)

« 9 » 06 2017 г.

Санкт – Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Физико-географическая и климатическая характеристика района.....	4
1.1. Физико-географические условия	5
1.2. Климатические условия.....	19
2. Условия и особенности формирования половодий и паводков.....	25
2.1. Весеннее половодье	25
2.2. Дождевые паводки.....	30
2.3. Половодье и паводки бассейна реки Яна.....	32
3. Расчет максимального стока при наличии данных наблюдений.....	35
3.1. Расчет максимального стока половодий.....	40
3.2. Расчет максимального стока дождевых паводков.....	47
Заключение	54
Список использованной литературы	55
Приложение А	57
Приложение Б.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Изучение максимального стока представляет собой исключительно важное значение, так как объём максимального стока может составлять до 90%, а иногда и более, суммарного годового стока рек.

Исходными материалами для характеристики и расчёта максимального стока рек рассматриваемого бассейна реки Яна послужили данные наблюдений на сети станций Гидрометслужбы с момента их открытия с 1935 г. по 2012 год.

Главным недостатком исходных данных по максимальному стоку являются: ограниченное количество данных для малых и средних рек, малая продолжительность периодов наблюдений, неравномерное распределение пунктов измерений расходов воды на гонных районах и по высотным зонам.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

1.1. Физико-географические условия

Общие сведения

Рассматриваемый бассейн реки Яна относится к бассейну моря Лаптевых и находится на территории Республики Саха (Якутия) между $67^{\circ}27'50''$ и $71^{\circ}32'49''$ с. ш. и $133^{\circ}15'06''$ и $136^{\circ}43'03''$ в. д., а площадь бассейна составляет 238 тыс. км².



Рисунок 1.1 – Бассейн реки Яна

Помимо реки Яна в бассейн входят такие реки как: Батынтай, Туостах, Адыча, Дэрбэке, Нэлыгэсэ, Сартанг, Дулгалаах, Ольджо, Чаркы, Боруулаах, а также малые реки: Аргаа-Билээх, Турагас, Буор-Юрях, Артык-Юрях, Амбар-Юрюетэ, Омчан, Хатыннах, Эбитиэм.

Таблица 1.1 – Пункты наблюдений бассейна реки Яна

№ п/п	Название водного объекта и пункт наблюдений	Расстояние (км) от		Площадь водосбора км ²
		истока	устья	
1	р. Яна – г. Верхоянск	22,0	850	45300
2	р. Сартанг – с. Бала	552	68,0	16700
3	р. Дулгалаах – с. Томтор	379	128	23900
4	руч. Хоптолоох – г. Верхоянск	7,10	0,30	18,3
5	р. Аргаа-Билээх – 46 км от устья	5,00	46,0	560
6	р. Оччугуй-Эсэлээх – 1,0 км от устья	11,0	1,00	44,8
7	р. Дэрбэки – 18 км выше устья р. Некучан	263	126	6540
8	р. Нэлыгэсэ – 5,0 км от устья	561	5,00	15200
9	р. Чаркы – 3,5 км от устья	272	3,50	8290
10	р. Боруулаах – с. Томтор	226	92,0	7570
11	р. Турагас – 1,2 км от устья	22,0	1,20	98,0
12	р. Бытантай – пос. Асар	566	20,0	40000
13	р. Буор-Юрях – пос. Куйдусун	67,0	0,70	743
14	р. Артык-Юрях – 3,5 км от устья	56,0	3,50	644
15	р. Амбар-Юрюетэ – г.п. Ремпункт	10,00	1,00	16,6
16	руч. Без названия – 0,3 км от устья	8,00	0,30	23,0

Продолжение таблицы 1.1 – Пункты наблюдений бассейна реки Яна

№ п/п	Название водного объекта и пункт наблюдений	Расстояние (км) от		Площадь водосбора км ²
		истока	устья	
17	р. Омчан – 4.5 км выше устья р. Туора-Тас	70,0	44,0	1830
18	руч. Беличий – 0.2 км от устья	6,80	0,20	14,5
19	р. Хатыннах – ГМС Предпорожная	18,0	1,50	101
20	р. Адыча – пос. Лазо	357	358	28700
21	р. Эбитиэм – г.п. Эбетем	68,0	6,10	1000
22	р. Яна – п.ст. Юбилейная	715	157	224000

Сама река Яна длиной в 872 км от истока до устья. Своё начало река формирует благодаря слиянию двух горных рек Сартанг и Дулгалаах, которые начинают своё течение с Верхоянского хребта, где высота истока равняется 132 м над уровнем моря. После слияния рек Сартанг и Дулгалаах река течёт в глубокой и широкой долине, а после впадения в неё реки Адычи долина в некоторых местах расширяется до 10 км и более, а само русло разделяется на протоки. Долина сужается при пересечении хребта Кулар и в русле образуются пороги. Далее река Яна течёт по Яно-Индибирской низменности и разбивается на рукава. При впадении в Янский залив моря Лаптевых образует дельту с площадью около 10200 км². В этом месте река разделяется на основное русло и притоки Самадон и Правая.

Рельеф и геологическое строение

Бассейн реки Яна располагается в Верхояно-Колымской горноскладчатой области, которая охватывает всю восточную часть Лено-Индигирского региона. Данная область весьма неоднородна по рельефу и геологическому строению.

На западе области простирается Верхоянская цепь, которая представляет собой систему горных хребтов, сложенных из верхнепалеозойских терригенных отложений верхоянского складчатого комплекса. И только в пределах хребтов Хараулахского и Сетте-Дабан, что расположены на севере и юго-западе Верхоянской цепи, распределены терригенные и карбонатные породы верхнего протерозоя, нижнего и среднего палеозоя.

Восточные склоны хребтов Верхоянской цепи довольно пологие и постепенно превращаются в поверхность Яно-Оймяконского нагорья. Абсолютные отметки водоразделов хребтов уменьшаются с юга на север. Водоразделом Верхоянской цепи является хребет Орулган, абсолютные отметки которого достигают 1700 - 1900 м в средней части, а в южной достигают до 2300 м. Хребет Сетте-Дабан выражает собой южную часть Верхоянской цепи, а к востоку от хребта располагается высокогорный узел Сунтар-Хаята, абсолютная отметка которого составляет 2959 м, что является наивысшей точкой Верхоянья.

Высокие абсолютные отметки хребтов Верхоянской цепи совмещаются с глубоким расчленением их склонов речными долинами, а это в свою очередь обеспечивает альпинотипный характер рельефа. Особенно отчётливо это можно заметить на западных склонах хребтов.

Яно-Оймяконское нагорье располагается между Верхоянской цепью и Полоусненско-Верхнеколымской системой. Нагорье сложено преимущественно из триасовых, и в меньшей степени из юрских отложений верхоянского складчатого комплекса. Рельеф Яно-Оймяконского нагорья

характеризуется сочетанием плоскогорий, межгорных впадин и относительно невысоких хребтов. Абсолютные отметки повышаются с севера на юг от 500 до 1500 м, в то время, как глубина вреза речной сети колеблется от 200 до 300 м. Водоразделы горных хребтов достигают высот до 1760 м (хребет Терехтяхский), а отметка днища Янской межгорной впадины составляет примерно 150 м.

Низменная Яно-Индибирская равнина приурочена к побережью северных морей и Колымскому срединному массиву. Она состоит из четвертичных озёрно-аллювиальных отложений, состоящих преимущественно из супеси и суглинков. На поверхности низменности располагаются термокарстовые озёра и понижения, полигональный рельеф и другие формы криогенной морфоструктуры. Абсолютные отметки не превышают 100 м. Долины рек рассматриваемого бассейна врезаны незначительно и хорошо выработаны.

Вся рассматриваемая территория характеризуется относительно спокойным неотектоническим режимом. В тектоническом отношении бассейн реки Яна принадлежит Верхояно-Колымской горноскладчатой области. В качестве структур первого порядка выделяются: Верхоянская антиклинальная зона, выраженная Верхоянской горной системой - одной из крупнейшей на Северо-Востоке; Момо-Полоусная антиклинальная зона; Яно-Колымская и Ольджойско-Иньяли-Дебинская синклиналильные зоны; Приморская впадина платформенного типа.

Яно-Оймяконское нагорье охватывает область малоконтрастных новейших тектонических движений и слабых недифференцированных поднятий. Неотектонические движения выразились в слабом и равномерном поднятии. Равномерность поднятия и денудации привела к выравниванию первичного горного рельефа, и способствовало образованию плоскогорий.

Территорию Верхоянского хребта охватывает область преимущественно монолитных мезокайнозойских сводовых поднятий. В форме значительных и неравномерных поднятий проявились неотектонические движения Верхоянского хребта, амплитуда которых достигает 1000 м. Наибольшее поднятие наблюдается в южной части Верхоянья - межледниковый врез речных долин в хребет Сетте-Дабан достигает 400 м. А в северной части Верхоянской горной страны, в хребтах Хараулахском и Орулган, врез межледниковых долин достигает 200 - 250 м.



Зона I. Платформенные равнины, плоскогорья и остаточные горы Северной Евразии

I.5 Плоскогорья и низменности Восточной Сибири	I.5.1 Среднесибирское плоскогорье
	I.5.2 Якутская равнина
	I.5.3 Север Средней Сибири

Зона IV. Дальневосточный горный пояс

IV.2 Горы и равнины Северо-Востока	IV.2.1 Верхоянская-Сунтархаятинская
	IV.2.2 Яно-Оймяконско-Колымская
	IV.2.3 Горная система Черского
	IV.2.4 Юкагиро-Анойская
	IV.2.5 Охотско-Чукотская
	IV.2.6 Яно-Индигиро-Колымская
	IV.2.7 Охотоморская (Западнокамчатская область)

Рисунок 1.2 – Геоморфологическое районирование бассейна реки Яны

Карст

Рассматриваемый бассейн находится в области распространения некарстовующих пород. Эта территория сложена терригенными, вулканогенными, кристаллическими и метаморфическими породами, которые не подвержены процессам карстообразования.

Растительный покров

Бассейн реки Яна располагается в субарктической климатической зоне. Для данного региона основными представителями растительности являются флора лесотундровой и тундровой зон. Тундра характеризуется безлесьем и преобладанием безкорневых мхов и лишайников, наличием карликовых ив и берёз.

В бухте Янского залива распространены приморские луга, формирующиеся на засоленных почвах и периодически орошаются водами морских приливов и нагонов.

В междуречье рек Яна и Омолон простираются кочкорные осоко-пушицевые тундры, которые раскиданы участками среди горных и равнинных тундр. Поверхность таких тундр покрыта плотными кочками пушицы дернистой, между которыми растут мох и лишайник, иногда встречаются кустовая берёза, кусты брусники, голубики и морошки.

Редкие и низкорослые леса, состоящие преимущественно из лиственницы даурской характерны для лесотундровой зоны. В низовьях реки Яна 50% площади лесотундры занято озёрно-болотистой растительностью. Ель и сосна встречаются только на южных склонах Верхоянских гор по южным частям долин рек.

Мёрзлая зона

Мёрзлая зона - один из важнейших факторов, формирующих сток на территории рассматриваемого бассейна реки Яна.

Особенностью геологических структур данного региона является обширное развитие тектонических и криогенных трещин горных пород, благодаря которым происходит взаимосвязь поверхностных и подземных вод. По этим трещинам развиваются многочисленные гигантские наледи площадью 50 - 90 км². Юг Яно-Оймяконского нагорья охватывает область интенсивной разрывности тектоники, для которых типичны трещиноватые верхнемеловые эффузивные породы.

Для гор данного района типичен горно-складчатый вид сплошной мерзлоты, она особенно прерыванием её пласта таликовыми участками и тектоническими разломами.



Распространение многолетнемерзлых пород (ММП)

- зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП со средними годовыми температурами (Т_{ср}) от +3 до -1°С и мощностью (М) мерзлой толщи от 0 до 100 м
- зона сплошного распространения ММП:
 - Т_{ср} от -1 до -3°; М от 50 до 300 м
 - Т_{ср} от -3 до -5°; М от 100 до 400 м
 - Т_{ср} от -5 до -9°; М от 200 до 600 м
 - Т_{ср} ниже -9°; М от 400 до 900 м и ниже
- безмерзлотные области

Масштаб 1:30 000 000

Рис. 1.3 – Схема распространения мёрзлой зоны в бассейне реки Яна

Характеристика водного режима

Среднемноголетний расход воды на станции Юбилейная, которая находится в 157 км от моря, составляет 1070 м³/с, а объём годового стока воды равен 33,8 км³.

Среднегодовые расходы воды составляют от 1810 до 623 м³/с, минимальные в период открытого русла – 778 м³/с, зимой – 0,18 м³/с. В районе г/п Джангкы река перемерзает, сток отсутствует в среднем 43 суток.



Рисунок 1.4 – Деление бассейна реки Яны по питанию

90% годового стока проходит в тёплое время года - с мая по август. Средний расход воды у города Верхоянск равен $150 \text{ м}^3/\text{с}$, а в устье расход воды - $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. Наибольший расход воды наблюдается весной и достигает от $2840 \text{ м}^3/\text{с}$ до $12400 \text{ м}^3/\text{с}$.

Внутригодовое распределение стока: весна - лето (с мая по август); осень (с сентября по октябрь); зима (с ноября по апрель). Лимитирующий период – осень - зима (с сентября по апрель) и лимитирующий сезон - зима.

Таблица 1.2 – Относительное распределение сезонного стока (в % от годового) р. Яна – г. Верхоянск

Число лет	Весна – лето	Лимитирующий период	Осень	Зима
5	87,1	12,9	12,5	0,38
10	88,3	11,7	11,3	0,40
15	88,0	12,0	11,6	0,43
20	87,0	13,0	12,6	0,39
25	87,8	12,2	11,8	0,37
30	87,3	12,7	12,3	0,37

В среднем течении (г/п Джангкы) доля стока за весенний период (май–июнь) – 39,2% в многоводные годы, до 40,5% в маловодные, в средние по водности годы – около 40%. Сток за половодье, осложнённое паводками, составляет 48%, изменяясь от 22 до 82%. В летне-осенний период проходит около 60%, зимой – 0,5% годового стока.

Наблюдения за уровнем воды на реке начаты в начале XX века в целях обеспечения судоходства. Производились они, как правило, только в навигационный период. Первый пост был основан в 1927 году у села Казачье на реке Яна. Колебания уровня воды в средних течениях находятся в пределах 9 м, в нижнем - 12 м.

Наибольший размах колебаний уровней (свыше 10 м) в нижнем течении, наиболее высокий подъём уровней половодья – в вершине дельты: 8,6 м у п/ст Юбилейная, 7,8 м у с. Усть-Янск (124 км от моря). Вверх по течению высота половодья уменьшается в 1,4 раза. Средняя величина подпора при ледяных заторах у г/п Джангкы – 170 см, у п/ст Юбилейная – 330 см. В устьевой области волна половодья расплывается. Высота подъёма уровней на г/п Нижнеянск (22 км от моря) 2,65 м, на г/п Юэдей (8 км от моря) – 1,6 м.

Нагоны проникают в дельту на 60–70 км. Приливы на взморье (величина 18 см) распространяются вверх по течению на 30 км. Величина сгонно-нагонных колебаний уровня составляет 260 см в устье рукава Куогостаах, 210 см в устье рукава Главное Русло.

Среднегодовая величина стока взвешенных наносов 4,35 млн т. Среднегодовой расход наносов изменяется (п/ст Юбилейная) от 30 кг/с до 420 кг/с, в зимнюю межень сток наносов иногда вообще отсутствует. Среднемноголетний максимальный годовой расход взвешенных наносов 3540 кг/с, мутность воды 130 г/м³.

Ледостав

Река покрывается льдом в конце сентября - начале октября, от истока к устью. В верховье, у населённого пункта Верхоянск река ежегодно замерзает на 70–110, у г/п Джангкы – на 225, у села Казачье – на 238, у г/п Юэдей – 252 суток. Зимой, особенно в нижнем течении, может промерзнуть до самого дна. Толщина льда: на г/п Джангкы – 136 см, село Казачье – 160 см, максимум 240 и 210 см. Ото льда вскрывается во второй половине мая – в первой половине июня. Ниже г/п Казачьего формируются заторы, где они приводят к подъёму уровня до 10 м.

Наледи у реки Яна считаются самыми крупными. Многие из них могут обладать площадью более 100 км². Активное образование наледей происходит в местах тектонического движения, которые связаны с нарушением целостности горных пород, произошедших в результате разломов. Они нарастают на протяжении всей зимы, заполняя собой поймы и русла других рек.

Озёра и болота

При впадении река Яна создаёт большие низменности и заболоченные дельты с бесчисленным количеством мелких озёр. В бассейне реки располагаются более 40000 озёр. В низменностях Яны сосредоточено большое количество мелких и крупных озёр, а также встречаются и болота. Большая часть озёрных котловин обладают термокарстовым происхождением, образуется за счёт протаивания многовековой мерзлоты и подземных льдин.

Химический состав вод

По составу вода в бассейне реки Яна очень малой минерализации, за исключением устья. У посёлка Нижнеянск минерализация составляет около 360 мг/л. Во время половодья и паводков у Верхоянска минерализация воды составляет 20–40 мг/л, у Джангкы – 30–60 мг/л, в период летне-осенней межени возрастает в 1,5–2 раза. Вода на всём протяжении реки очень мягкая. По ионному содержанию воды в реке является гидрокарбонатнокальциевой. Кислородный режим в бассейне не выходит за пределы нормы.

Хозяйственное использование поверхностных вод

Река Яна является судоходной рекой. Регулярное судоходство началось с 1939 года. Судоходные пути проходят от устья до города Верхоянск на протяжении 730 км. Самыми крупными портами-городами на берегу реки являются: посёлок Усть-Куйга, город Верхоянск, посёлок Батагай и посёлок Нижнеянск. На участке Батагай - Верхоянск паромные переправы возможны только в полноводный период. Затрудняют судоходство короткая навигация,

которая длится 3–4 месяца и мелководность перекаатов и устьевых баров. Зимой на реке Яна делают ледовые переправы и автозимники.

Гидроэнергетические ресурсы составляют 1477 тыс. кВт. Объёмы использования воды не превышают 10 млн. м³/год.

Подземные воды

Подземные воды Якутии – одна из богатейших кладовых вод различного происхождения, химического состава, свойств и целевого назначения. В пределах Республики Саха (Якутия) расположен Якутский артезианский бассейн – один из крупнейших в мире. Его площадь составляет около 1 млн км², что охватывает треть территории республики.

На условия формирования, питание, химический состав, минерализацию, режим и ресурсы подземных вод очень сильно влияет криолитозона.

На территории Якутии достаточно широко распространены минеральные подземные воды. Выделяют восемь основных групп минеральных вод, в настоящее время из них известно шесть в республике. Наибольший интерес представляют углекислые минеральные подземные воды. Ценность этих вод определяется повышенной физиологической активностью углекислоты. Углекислые минеральные воды обнаружены в пределах Верхоянского гидрогеологического массива. По своему химическому составу и содержанию углекислоты они близки к знаменитым Боржоми.

1.2. Климатические условия

Бассейн реки Яна располагается на территории, характеризующейся резкой континентальностью, которая проявляется очень высокими летними (до 20 - 35°C) и очень низкими зимними (до -50 - 60°C) температурами воздуха. Разность температур самого тёплого и самого холодного месяцев равна 45-65°C, что является мировым максимумом. Наибольшие величины этих разностей присущ долинам и котловинам, а распределение разностей температур по территории показывает, что континентальность возрастает с запада на восток. На морских побережьях климат мягче, ведь моря обогревают берега зимой и осенью, а летом и весной - охлаждают.

Главными факторами, которые определяют такое своеобразие климата являются характер общей циркуляции воздушных масс и физико-географические условия. Данная территория отгорожена горами от Атлантического и Тихого океанов, открыта со стороны Северного Ледовитого океана и имеет большую протяжённость как с севера на юг, так и с запада на восток, имеет сложное строение рельефа.

Зимой данную территорию заключает мощный сибирский антициклон, который начинает образовываться ещё в сентябре. В антициклоне и происходит формирование очень холодного (континентального) воздуха. Дальнейшему развитию антициклона, который достигает своего максимума в январе и феврале, оказывает воздействие вторжение арктических воздушных масс.

Зима малоснежная, снежный покров залегает неравномерно из-за сильных ветров. Низкие температуры и небольшой снежный покров способствуют широкому распространению вечной мерзлоты, которая в некоторых местах достигает большой мощности, которая может достигать 300 - 500 м и более.

Лето очень короткое, но тёплое, а иногда и жаркое. Суточные колебания очень значительны, ночью температура воздуха может упасть до 10°C и ниже, когда днём температура часто превышает 30°C.

Весна и осень кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температур. Средняя температура воздуха весной составляет 7°C, а осенью -10°C.

Таблица 1.3. – Среднегодовая температура, измеренная на метеостанции Верхоянск с 1936 по 2010 гг.

Год	Т, °С	Год	Т, °С	Год	Т, °С
1936	-14,8	1961	-16,3	1986	-14,7
1937	-13,9	1962	-16,2	1987	-17,0
1938	-13,9	1963	-14,7	1988	-12,7
1939	-14,7	1964	-15,9	1989	-14,3
1940	-15,7	1965	-15,9	1990	-13,5
1941	-16,0	1966	-16,7	1991	-13,4
1942	-15,5	1967	-15,9	1992	-15,7
1943	-14,5	1968	-14,0	1993	-14,8
1944	-14,8	1969	-16,0	1994	-14,6
1945	-15,3	1970	-15,6	1995	-13,3
1946	-16,9	1971	-14,6	1996	-13,5
1947	-13,7	1972	-16,2	1997	-12,2
1948	-13,7	1973	-14,5	1998	-14,6
1949	-14,1	1974	-16,1	1999	-15,1
1950	-	1975	-13,3	2000	-14,9
1951	-15,3	1976	-16,0	2001	-15,5
1952	-16,3	1977	-15,9	2002	-14,9
1953	-14,7	1978	-14,4	2003	-14,2
1954	-14,7	1979	-	2004	-16,3
1955	-16,4	1980	-15,2	2005	-12,5

Продолжение таблицы 1.3. – Среднегодовая температура, измеренная на метеостанции Верхоянск с 1936 по 2010 гг.

Год	Т, °С	Год	Т, °С	Год	Т, °С
1956	-15,7	1981	-14,2	2006	-14,2
1957	-16,3	1982	-17,1	2007	-12,6
1958	-17,6	1983	-14,4	2008	-12,8
1959	-15,0	1984	-15,8	2009	-14,5
1960	-16,0	1985	-14,2	2010	-13,1

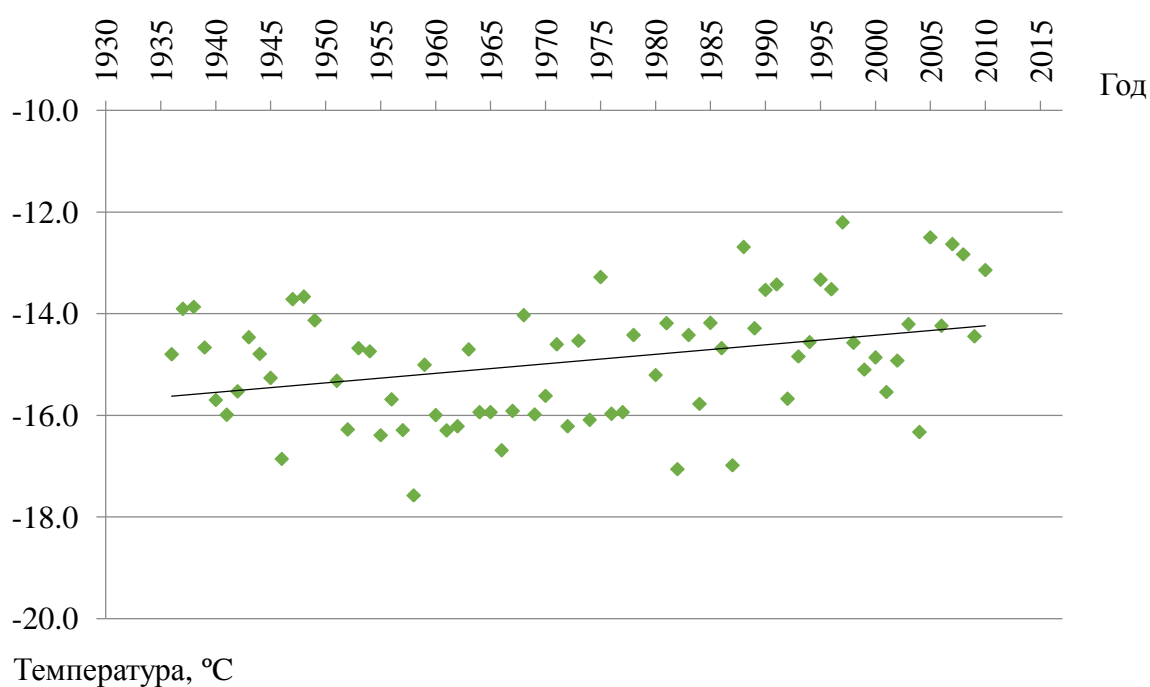


Рисунок 1.5 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Верхоянск

Из данного хронологического графика температуры воздуха видно, что линия тренда со временем возрастает. С 1946 года по 2010 температура воздуха на метеостанции Верхоянск повысилась в среднем почти на два градуса Цельсия.

Таблица 1.4 – Среднегодовая температура, измеренная на метеостанции Юбилейная с 1937 по 2010 гг.

Год	Т, °С	Год	Т, °С	Год	Т, °С
1937	-11,6	1962	-15,1	1987	-15,8
1938	-12	1963	-13,9	1988	-11,8
1939	-13,6	1964	-14,0	1989	-13,1
1940	-13,0	1965	-14,2	1990	-11,5
1941	-14,6	1966	-14,8	1991	-11,7
1942	-14,3	1967	-13,8	1992	-14,6
1943	-12,1	1968	-12,4	1993	-13,5
1944	-12,7	1969	-13,9	1994	-12,5
1945	-13,1	1970	-14,0	1995	-11,7
1946	-15,4	1971	-12,5	1996	-
1947	-12,3	1972	-14,5	1997	-
1948	-12,4	1973	-13,9	1998	-
1949	-12,3	1974	-14,7	1999	-14,7
1950	-16,1	1975	-11,8	2000	-
1951	-14,0	1976	-14,6	2001	-
1952	-14,6	1977	-14,4	2002	-13,8
1953	-13,3	1978	-13,8	2003	-11,9
1954	-12,6	1979	-16,6	2004	-15,4
1955	-14,5	1980	-14,1	2005	-11,2
1956	-14,0	1981	-11,8	2006	-13,0
1957	-14,6	1982	-15,0	2007	-11,0
1958	-16,3	1983	-12,6	2008	-12,1
1959	-13,3	1984	-15,0	2009	-13,0
1960	-14,1	1985	-13,2	2010	-11,6
1961	-14,8	1986	-13,8		

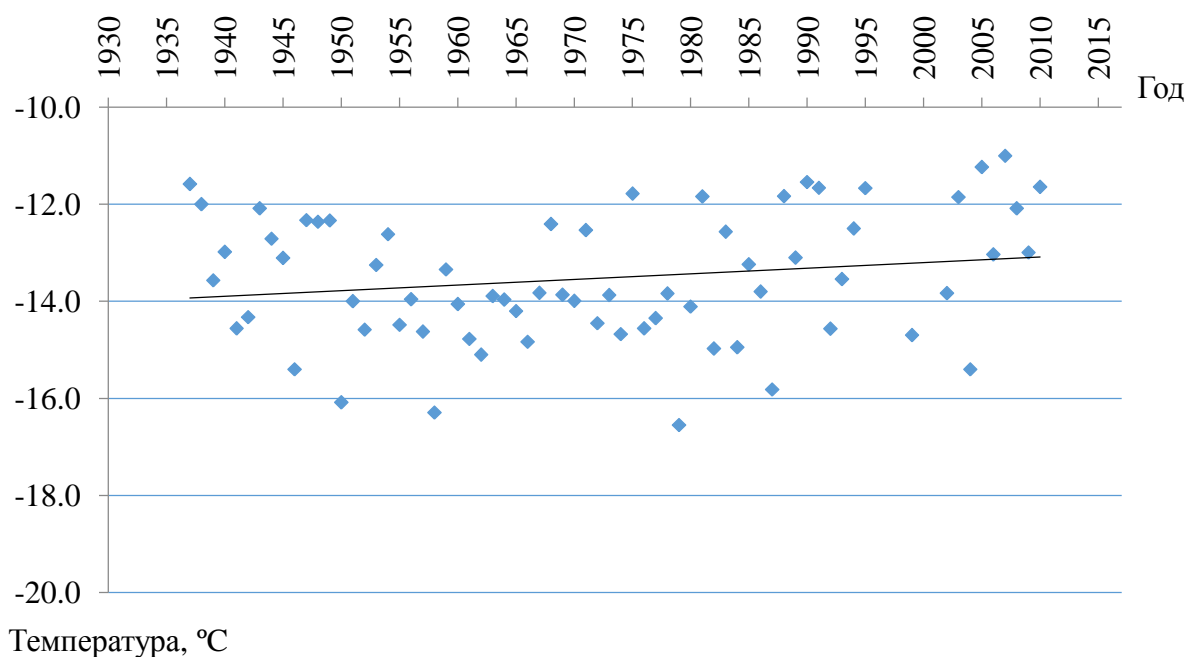


Рисунок 1.5 – Хронологический график среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Юбилейная.

Из данного хронологического графика температуры воздуха также видно, что линия тренда со временем возрастает, как и на метеостанции Верхоянск. На метеостанции Юбилейная с 1937 года по 2010 температура воздуха повысилась в среднем почти на один градуса Цельсия. Многие исследователи говорят о потеплении климата, и рассмотренные данные подтверждают это.

Осадки.

Благодаря резко выраженному антициклоническому режиму зима малоснежная и сухая, а летом выпадает наибольшее количество осадков за год. В отдельные годы количество атмосферных осадков может значительно разниться от среднего многолетнего значения.

В замкнутой Верхоянской впадине годовое количество осадков может достигать 1000 мм. Больше количество осадков приходится на западные

склоны Верхоянского хребта - более 75 мм. А в Верхоянской котловине выпадает особенно мало осадков - около 30 мм и меньше.

Наибольшее суточное количество осадков наблюдается в летние месяцы, обычно в августе. Иногда осадки бывают грозовыми, кратковременными и довольно интенсивными.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОВОДИЙ И ПАВОДКОВ

2.1. Весеннее половодье.

Под половодьем понимается многоводная фаза водного режима рек, которая характеризуется длительным и высоким подъёмом уровней воды и увеличением её расходов и ещё более длительным спадов уровней и расходов воды. Вода, в период половодья, обычно выходит на пойму и затапливает обширные пространства. Половодье вызывается непосредственно основным источником питания реки: снеготаянием на равнине или таянием снега и ледников в горных областях. В результате снеготаяния на равнине образуется весеннее половодье, а в результате таяния снега и ледников - весенне-летнее или летнее половодье. На реках, которые находятся в одной и той же климатической зоне половодье ежегодно повторяется в один и тот же сезон, но с различной интенсивностью и продолжительностью.

Сток за время половодья составляет свыше 50% годового стока, а в отдельных районах, как, например, на бассейне реки Яна его доля значительно больше. Расходы воды во время половодья обычно достигают максимальных в году значений и в несколько раз, нередко в десятки раз, превышают средний годовой расход.

Размеры и время прохождения половодья изменяются по территории под влиянием зональных факторов. Для каждой географической зоны характерен свой водный режим и характер половодья.

Сток за период половодья наибольшей абсолютной величины достигает в зоне избыточного увлажнения. К югу, в зоне степей, он уменьшается, а в пустынных областях снижается до нуля. В пределах Восточно-Европейской равнины в лесной зоне он колеблется от 40 до 150 мм

(без подземного питания), в лесостепной - от 30 до 100 мм, в степной - от 25 до 64 мм и в полупустынной не превышает 20-25 мм.

В противоположность этому относительная величина стока за половодье наибольшая в полупустынной зоне - более 80% годового стока, а наименьшая в лесной - в среднем 50-60%.

В зависимости от географического расположения бассейна время прохождения половодья сильно различается: на реках севера и северо-востока половодье проходит в среднем в мае - июле, а на юге Европейской равнины в марте - апреле.

С повышением местности, в горах, возрастают осадки и особенно запасы воды в снежном покрове, которые увеличиваются из-за возрастания продолжительности холодного периода. Также увеличивается и сток за период половодья (как по абсолютной, так и по относительной величине). Начало и конец половодья сдвигаются на более поздние сроки из-за запаздывания снеготаяния.

На большей части территории России весеннее или весенне-летнее половодье формируется преимущественно талыми водами сезонных снегов, а в горах - также ледников. Увеличить сток половодья может выпадение дождей в период таяния снега и ледников.

Продолжительность его зависит от дружности таяния снега в бассейне. На равнинах одновременное таяние может охватить бассейны площадью до миллиона и более квадратных километров. В таких условиях половодье бывает высоким и продолжается не более 1,5-3 месяцев. С увеличением бассейна возрастает и его длительность, потому что снег не одновременно тает по всей площади и, кроме того, возрастает время добегания от верхних к нижним створам.

В горах одновременное таяние снега на всей площади бассейна наблюдается очень редко – только во время интенсивных фёнов, когда температура выравнивается в большом диапазоне высот. Обычно, таяние распространяется постепенно вверх по склонам. Снег сходит в предгорьях ранней весной, далее таяние распространяется на средние зоны, а летом, в самые жаркие месяцы тают ледники. Чем больше диапазон высот, тем продолжительнее половодье. Время добегания здесь играет второстепенную роль, так как оно измеряется несколькими днями.

Половодье на горных реках обычно длится в течение 3–6 месяцев и в ледниковых бассейнах заканчивается в конце сентября – начале октября. В связи с неравномерным таянием снега и выпадением дождевых осадков наблюдается несколько пиков, перемежающихся понижениями уровня.

Максимальные расходы половодья. Максимальные расходы на большинстве рек России формируются талыми водами во время половодья. Но при этом большое влияние могут оказать и дожди. Максимумы только дождевого происхождения наблюдаются лишь в немногих районах – на Дальнем Востоке, в Карпатах, местами на Кавказе и в Крыму.

На европейской территории страны дождевые максимумы превышают снеговые только на реках с малыми водосборами, которые могут быть полностью охвачены интенсивными ливнями. В лесной зоне они преобладают на малых реках с площадями водосборов менее 200 км², а в лесостепной и степной - лишь в ручьях.

При рассмотрении отдельных рек, находящихся в пределах какой-либо одной природной зоны, можно увидеть, что высота половодья на них будет сильно различаться в связи с региональными особенностями водосборов - рельефом, почвогрунтами, растительностью, озёрностью, залесённостью, заболоченностью и т. д. Чем меньше водосборы, тем больше будут различия.

В бассейнах с густой речной сетью стекание воды происходит быстрее, чем в условиях плоского рельефа. Поэтому в расчлененных водосборах половодье проходит более дружно, продолжительность его меньше, а максимальные расходы больше, по сравнению со слабо расчлененными водосборами.

Лес способствует переводу поверхностного стока в подземный, за счет этого весенний сток понижается, а водность летней и зимней межени увеличивается. Ведь лесу снег тает с меньшей интенсивностью и с некоторым запозданием, в отличие от полевой местности. Талая вода задерживается на поверхности, затем большая её часть фильтруется в почву. Вследствие этого на лесных реках половодье немного запаздывает, а высота его ниже, чем на открытых участках. Однако регулирующая роль леса неодинакова в разных климатических зонах и зависит от многих факторов, например от распределения насаждений на водосборе, видового состава, возраста и сомкнутости леса, почво-грунтов и рельефа. Сложность учёта влияния леса объясняется еще и тем, что факторы, связанные с залесённостью, действуют часто в противоположных направлениях, и выделить влияние каждого из них весьма трудно.

Снижение максимальных расходов в лесных бассейнах зависит от степени дренирования подземных вод. В больших бассейнах глубина вреза русел больше, чем в малых. Поэтому можно увидеть, что снижение максимумов на малых водосборах больше, чем на больших. Максимальные расходы талых вод снижаются в 2–2,5 раза, а в малых – до 5 и более раз при полном облесении в больших бассейнах.

Также оказывают регулирующее воздействие на режим рек озёра и болота - они снижают максимальный сток и выравнивают половодья. Болота влияют главным образом на снижении летних максимумов, когда уровень

грунтовых вод в болотных массивах понижается и аккумулирующая ёмкость их возрастает.

С увеличением площади водосбора уменьшается величина модуля максимального расхода талых вод и зависит также от направления течения реки. В больших бассейнах снеготаяние не происходит одновременно по всей площади. Потому талая вода поступает в русло в разное время, и половодье становится более низким. Кроме того, сглаживание происходит за счёт того, что добегающие талых вод с разных частей бассейна происходит не одновременно. Если река течет из районов с большими запасами снега в районы с меньшими запасами (т. е. с севера на юг) и в направлении, противоположном движению фронта снеготаяния, то половодье еще больше сглаживается и модуль снижается, так как поступление талых вод из верховий отстает.

Зависимость половодья от гидрометеорологических факторов. Форма и размеры гидрографа весеннего половодья одной и той же реки сильно различаются по годам в зависимости от метеорологических условий. Главные факторы, влияющие на размеры половодья: запас воды в снежном покрове; осадки, которые выпали на снежный покров и обнажившуюся почву; испарение с почвы и снежного покрова во время снеготаяния; инфильтрация воды в почву.

Также следует отметить температуру воздуха, которая влияет на испарение и на интенсивность таяния снега и ледников.

Осадки и температура воздуха в предзимние месяцы влияют на влагосодержание почвы. Что, в свою очередь, сказывается на потерях воды на инфильтрацию и размерах будущего половодья. Водопроницаемость почвы зависит от различного увлажнения и перед началом половодья колеблется в больших пределах, особенно в зоне недостаточного увлажнения.

Зимние низкие температуры воздуха вызывают более глубокое промерзание почвы и меньшее просачивание воды во время снеготаяния при одинаковом насыщении почвы водой. Заметно, что колебания глубины промерзания почвы в лесу меньше сказываются на величине потерь на инфильтрацию, чем в поле, потому как в лесу проникновение воды в почву сильно зависит от некапиллярных пустот, незаполненных льдом. Эту особенность лесных почв можно сравнить с горными почвогрунтами, в которых имеется много крупных пустот.

Солнечная радиация и температура воздуха являются главными факторами, определяющими размеры половодья на реках ледникового питания.

2.2. Дождевые паводки.

Под паводком понимается быстрый, относительно кратковременный подъём уровней и увеличение расходов воды и такой же быстрый их спад. Паводки формируются в тёплый период года дождями, но в южных районах с неустойчивыми зимами они могут возникнуть зимой - в период оттепели, в результате снеготаяния и выпадения дождей. Паводки возникают нерегулярно. Они могут быть всегда меньше половодья, сопоставимы с ним или всегда больше, в зависимости от географического района.

Зависимость высоты паводков от гидрометеорологических факторов. Высота паводков различается в разных физико-географических районах. Определяется климатом, ландшафтными особенностями территории и, что немаловажно, зависит от площади бассейна, потому как модуль максимального стока уменьшается с увеличением бассейна. Поэтому, всегда следует учитывать размеры бассейна, сравнивая модули разных рек.

В определённом бассейне величина паводкового стока зависит:

а) от характеристик дождя, то есть от слоя выпавших осадков, их интенсивности и продолжительности;

б) от влагонасыщенности бассейна к началу дождя, то есть от дефицита влаги в почве и наличия воды на поверхности.

При слабых и продолжительных дождях почва может поглотить всю воду и тогда значительные паводки не образуются. Наиболее опасными являются продолжительные и интенсивные ливни. В случае прохождения серии циклонов, когда дожди следуют друг за другом в течение нескольких дней, то каждый последующий дождь будет более эффективным с точки зрения формирования стока, чем предыдущий, так как насыщенность бассейна влагой постепенно повышается. Обычно большие паводки как в горах, так и на равнине, образуются при продолжительных ливнях.

Основные потери дождевых осадков происходят в результате инфильтрации в почву. Часть воды расходуется на заполнение бессточных углублений и смачивание растительности. В лесу вода задерживается в подстилке и моховом покрове, но в болотистой местности идёт на насыщение торфяной массы. Испарение играет роль главным образом в промежутках между дождями.

Для образования паводков наиболее благоприятные условия наблюдаются после весеннего снеготаяния, когда почва увлажняется до состояния наименьшей влагоёмкости. Летом почва иссушается при помощи испарения и транспирации, она способна интенсивно поглощать воду. Осенью инфильтрационная способность снова понижается, вследствие уменьшения испарения и возрастания осадков.

В соответствии с ходом влажности почвы изменяется и паводкообразующая эффективность осадков. коэффициент дождевого стока повышается сразу же после схода снега. В горных районах в отдельные

паводки он может достигать до 0,85–0,95. Летом величина его понижается, но затем снова возрастает к осени.

В некоторых районах России наблюдаются зимние паводки, которые возникают при сильных оттепелях и иногда сопровождаются дождями. Интенсивность зимних паводков связана с температурой воздуха, а также жидкими осадками. Наиболее значительные зимние паводки наблюдаются в лесной и степной зонах в западной части европейской территории страны.

Модули максимального снегового и дождевого стока во всех климатах и районах зависят от площади бассейна, всегда убывают с увеличением площади и возрастают с уменьшением ее. Характер этой связи меняется по территории. Особенно явно она выражена в южных районах, где паводки образуются от ливней, очень интенсивных, но которые охватывают сравнительно небольшие площади.

Интенсивность ливня быстро убывает по мере удаления от его центра и тем быстрее, чем больше сама интенсивность. Это и объясняет быстрое убывание модуля паводкового стока с увеличением водосбора. Кроме того, с возрастанием водосбора усиливается влияние неодновременного добегания вод с разных его частей. В более северных районах, где преобладают дожди обложного характера, а также в районах муссонного климата, связь максимальных дождевых модулей с площадью проявляется слабее.

2.3. Половодье и паводки бассейна реки Яна

Водоносность рек Восточной Сибири примерно в 2–2,5 раза ниже, чем у рек северных районов Европейской части России в тех же широтах. Например, река Яна, по площади водосбора соответственно равна Печоре и Северной Двине, но по своей водности уступает им в 2-3 раза. Следует отметить, что водность рек бассейна Яны, учитывая малое количество

выпадающих здесь атмосферных осадков, является все же значительной; этому способствуют: благоприятные условия стока поверхностных вод, малые потери на испарение и фильтрацию и высокие коэффициенты стока (0,6–0,8). Особенно высоки коэффициенты стока талых вод, которые в условиях вечной мерзлоты близки к единице.

Реки бассейна Яны относятся к рекам с восточно-сибирским типом водного режима и с элементами дальневосточного режима в летне-осенний период. Питание рек в основном происходит за счёт таяния снега и выпадения дождевых осадков; летом в верховьях – от тающих наледей. Для рассматриваемого бассейна характерны высокое весеннее половодье, летне-осенние паводки и низкая зимняя межень.

В среднем течении доля стока за весенний период (май–июнь) в многоводные годы составляет 39,2%, до 40,5% в маловодные, а в средние по водности годы – около 40%. Сток за половодье, осложнённое паводками, составляет 48%, и может изменяться от 22 до 82%. В летне-осенний период проходит около 60%, зимой – 0,5% годового стока.

Максимумы стока наблюдаются в периоды весеннего половодья. Вследствие дружного таяния снега они обычно высокие и более чем в 25 раз превышают средние годовые расходы воды. В отличие от других рек Восточной Сибири, в бассейне Яны наблюдаются максимумы дождевого происхождения в период прохождения летних паводков (июль-август). В основном максимальные расходы воды наблюдаются при прохождении половодья, но бывает так, что в отдельные паводки они больше расходов половодья.

Минимумы стока на рассматриваемых реках падают на зимние периоды, отличающиеся исключительно малой водностью рек. Низкий зимний сток и массовое перемерзание рек - одна из важнейших особенностей режима рек этого района. Перемерзают на длительный срок, который составляет 5-6

месяцев, и прекращают свой сток не только малые и средние водотоки, но и сама Яна.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Задача расчёта максимального стока при наличии данных гидрологических наблюдений сводится к выбору статистической схемы, которая будет описывать закон распределения имеющегося ряда величин, определению параметров этого распределения и вычислений характеристик паводка или половодья заданной или расчётной вероятности ежегодного превышения или обеспеченности.

Расчётные максимальные расходы воды были установлены путём тщательного анализа данных о высоких весенних половодьях и дождевых паводках, наблюдавшихся на бассейне реки Яна.

Определение расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометеорологических наблюдений достаточной обеспеченности осуществляется с помощью кривых обеспеченностей. Также должны выполняться следующие условия:

1. Продолжительность ряда наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период представителен, а относительная средняя квадратическая погрешность расчётного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 20% для максимального стока.
2. Прежде чем приступить к расчёту аналитической кривой распределения рассматриваемой гидрологической характеристики необходимо произвести оценку однородности и стационарности исходных данных наблюдений. [8]

Расчет числовых характеристик является корректным только в том случае, если ряд однороден, т.е. в течение всего периода наблюдений условия

формирования стока не менялись. Для проверки однородности гидрологических рядов используются специальные тесты – критерии однородности.

В данной работе для проверки однородности использовались два критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера. Критерий Стьюдента производит проверку ряда по среднему значению, а критерий Фишера по дисперсии.

Параметрический критерий Стьюдента.

Критерий Стьюдента стандартный критерий и рекомендуется нормативными документами, но надо учитывать:

1. большинство гидрологических рядов имеют небольшую положительную асимметрию, а критерий предполагает, что будут анализироваться выборки с нормальными совокупностями;
2. выборки должны иметь одинаковую дисперсию;
3. длина выборки должна быть большой, что не всегда возможно на практике.

Критерий Стьюдента позволяет оценить однородность ряда по среднему значению. Эмпирическое значение Статистика Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (1)$$

где \bar{x}_1 и \bar{x}_2 – средние значения по первой и второй частям анализируемого ряда;

σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

S – среднеквадратическое отклонение разности $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$, определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2)$$

Критическое значение статистики Стьюдента определялось по таблицам, опубликованным в [6], в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (3)$$

Результаты проверки рядов на однородность для минимальных 30-суточныхлетне-осенних расходов воды представлены в таблице 3.4.

В практике гидрологических расчетов эта статистика используется для проверки однородности гидрологических рядов по среднему значению.

Параметрический Критерий Фишера.

Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Эмпирическое значение Статистика Фишера рассчитывалось по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (4)$$

где D_1^* и D_2^* – дисперсии по первой и второй частям анализируемого ряда, при этом в качестве первой дисперсии обычно рассматривают ту, которая больше ($D_1^* > D_2^*$).

Критическое значение статистики Фишера определялось по таблицам, опубликованным в [6], в зависимости от числа степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$,

$v_2 = n_2 - 1$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ (n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда).

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялись условие:

$$F^* < F_{2\alpha}$$

Так же в этой работе для расчета оценок параметров аналитических кривых распределения используется метод моментов. Метод моментов относится к аналитическому методу расчета. Он основан на использовании моментов эмпирического распределения, которые являются состоятельными оценками соответствующих теоретических моментов. Достоинствами этого метода является то, что расчетные формулы достаточно просты и позволяют получить искомые параметры в явном виде.

Средняя многолетняя величина максимального стока определяется по формуле (5):

$$m_x = \bar{Q} = \frac{(\sum_{i=1}^n Q_i)}{n} \quad (5)$$

Где Q_i – годовые значения максимальных расходов воды.

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s определяются по формулам (6) и (7):

$$C_v = \left(a_1 + \frac{a_2}{n}\right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n}\right) \bar{C}_v + \left(a_5 + \frac{a_6}{n}\right) \bar{C}_v^2 \quad (6)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{b_2}{n}\right) + \left(b_3 + \frac{b_4}{n}\right) \bar{C}_s + \left(b_5 + \frac{b_6}{n}\right) \bar{C}_s^2 \quad (7)$$

Где a_1, \dots, a_6 и b_1, \dots, b_6 – коэффициенты определяемые по таблице 1 [8]; \bar{C}_v и \bar{C}_s – смещённые оценки коэффициентов вариации и асимметрии, определяемые по формулам (8) и (9):

$$\widetilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$\widetilde{C}_s = \frac{[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3]}{[\widetilde{C}_v^3 (n-1)(n-2)]} \quad (9)$$

Дисперсия представляет собой второй центральный момент и определяется по формуле (10):

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx \quad (10)$$

Среднее квадратическое отклонение – есть квадратный корень из дисперсии, рассчитывается по формуле (11):

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (11)$$

Расчёт погрешностей производится по формулам (13), (14) и (15)

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{n} \cdot 100\% \quad (12)$$

$$\varepsilon_{C_s} = \sqrt{\frac{6 \cdot (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)}{n}} \cdot 100\% \quad (13)$$

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \cdot \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \cdot 100\% \quad (14)$$

Далее производим расчёт элементарного модуля стока. Элементарным модулем стока весеннего половодья называется расход воды, стекающей во время снеготаяния с 1 м² площади водосбора минимальных размеров (когда площадь водосбора стремится к нулю). И рассчитывается по формуле (15):

$$A = \frac{\bar{Q} \cdot 100}{F} \quad (15)$$

Где \bar{Q} – это средний многолетний расход воды, F – площадь водосбора.

3.1. Расчёт максимального стока половодий

Определение максимального стока половодий рек и его характеристик является важной задачей. При рассмотрении водного режима рек в течение календарного, гидрологического или водохозяйственного года максимальным стоком считается наибольший расход воды, объём или слой стока за многоводную фазу, то есть половодье или паводок.

Таблица 3.1 – Соответствие кодов пунктов наблюдений с названиями водных объектов и пунктов наблюдений за весенним половодьем

№ п/п	Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункт наблюдений
1	3414	р. Яна - г. Верхоянск
2	3424	р. Сартанг - с. Бала
3	3430	р. Дулгалаах - с. Томтор
4	3433	руч. Хоптолоох - г. Верхоянск
5	3434	р. Аргаа-Билээх - 46 км от устья
6	3435	р. Оччугуй-Эсэлээх - 1,0 км от устья
7	3448	р. Дэрбэки - 18 км выше устья р.Некучан
8	3468	р. Нэлгэсэ - 5,0 км от устья
9	3474	р. Чаркы - 3,5 км от устья
10	3479	р. Боруулаах - с. Томтор
11	3480	р. Турагас - 1,2 км от устья
12	3483	р. Бытантай - пос. Асар
13	3498	р. Буор-Юрях - пос. Куйдусун
14	3510	р. Артык-Юрях - 3,5 км от устья
15	3516	р. Амбар-Юрюетэ - г.п. Ремпункт
16	3527	руч. Без названия - 0,3 км от устья
17	3529	р. Омчан - 4,5 км выше устья р. Туора-Тас

Продолжение таблицы 3.1 – Соответствие кодов пунктов наблюдений с названиями водных объектов и пунктов наблюдений за весенним половодьем

№ п/п	Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункт наблюдений
18	3530	руч. Беличий - 0,2 км от устья
19	3534	р. Хатыннах - ГМС Предпорожная
20	3572	р. Адыча - пос. Лазо
21	3847	р. Эбитиэм - г.п. Эбетем
22	3861	р. Яна - п.ст. Юбилейная

В дальнейшем для упрощения вида всех расчётных таблиц будут использоваться только коды пунктов наблюдений.

Объектом изучения является бассейн реки Яна, который располагается на территории Республики Саха (Якутия). За исходные данные были взяты максимальные расходы воды весеннего половодья в бассейне реки Яна по двадцати двум пунктам наблюдений (см. приложение А).

По всем пунктам наблюдений были посчитаны параметры распределения, такие как среднее (m_{cp}), дисперсия (D), среднее квадратическое отклонение (σ), коэффициенты вариации и асимметрии (Cv , Cs), их соотношение, а также их относительные погрешности. Результаты приведены в таблице 3.2 и таблице 3.3.

Также были построены кривые обеспеченности, которые приводятся в Приложении Б.

Таблица 3.2 – Сводная таблица рассчитанных статистических характеристик расходов весеннего половодья

№ поста	m_{cp}	D	σ	C_v	C_s	C_s/C_v
3414	1246	390218	625	0,501	0,647	1,29
3861	9946	14321285	3784	0,381	0,911	2,39
3424	497	51831	228	0,458	0,515	1,12
3430	1189	891548	944	0,794	1,67	2,11
3572	2056	1048578	1024	0,498	1,29	2,60
3443	3091	1862062	1365	0,441	1,53	3,46
3444	3505	2672260	1635	0,466	1,21	2,59
3445	4532	3405057	1845	0,407	0,962	2,36
3468	775	290332	539	0,695	2,01	2,90
3474	754	332176	576	0,765	1,30	1,70
3479	213	22099	149	0,697	0,918	1,32
3480	3,93	11,08	3,33	0,846	1,07	1,27
3483	1471	587157	766	0,521	0,97	1,86
3498	16,5	191	13,8	0,837	1,22	1,46
3510	34,8	758	28,0	0,791	0,825	1,04
3516	4,79	10,4	3,23	0,673	1,28	1,90
3527	1,98	2,96	1,72	0,867	1,51	1,74
3529	176	14998	122	0,697	1,37	1,96
3530	1,74	4,27	2,07	1,19	4,13	3,48
3534	9,69	4,27	10,1	1,04	1,38	1,32
3448	260	22632	150	0,578	0,765	1,32
3847	323	13826	118	0,364	0,663	1,82

Средние значения расходов воды в бассейне реки Яна варьируются от 1,74 м³/с до 9946 м³/с, так как рассматриваемый бассейн очень неоднороден по размерам рек: присутствуют ручьи, малые, средние и большие реки.

Коэффициент вариации C_v варьируется в пределах от 0,364 до 1,19, что говорит о неоднородности исходных данных.

Таблица 3.3 – Сводная таблица рассчитанных статистических характеристик и их относительных погрешностей расходов весеннего половодья

№ поста	Длина ряда	m_{cp} , %	$\varepsilon_{m_{cp}}$, %	C_v	ε_{C_v} , %	C_s	ε_{C_s} , %	СКП
3414	78	1246	0,643	0,501	4,43	0,647	46,6	4,02
3861	36	9946	1,00	0,381	4,45	0,911	55,7	16,8
3424	56	497	0,818	0,458	4,69	0,515	51,5	3,01
3430	57	1189	1,34	0,794	9,10	1,67	84,4	4,61
3572	18	2056	2,77	0,498	8,79	1,29	96,5	11,0
3443	53	3091	0,833	0,441	4,62	1,53	51,7	7,71
3444	52	3505	0,897	0,466	4,96	1,21	54,2	8,29
3445	73	4532	0,558	0,407	3,61	0,962	41,9	7,93
3468	31	775	2,24	0,695	10,1	2,01	99,0	5,08
3474	50	754	1,53	0,765	9,19	1,30	86,4	3,92
3479	54	213	1,29	0,697	7,89	0,918	75,2	2,01
3480	41	3,93	2,06	0,846	11,4	1,07	107	0,31
3483	73	1471	0,714	0,521	4,79	0,97	49,6	4,52
3498	38	16,5	2,20	0,837	11,7	1,22	110	0,67
3510	64	34,8	1,24	0,791	8,58	0,825	79,3	0,74
3516	48	4,79	1,40	0,673	7,99	1,28	77,1	0,32
3527	65	1,98	1,33	0,867	9,62	1,51	87,7	0,18
3529	37	176	1,88	0,697	9,39	1,37	90,9	2,21
3530	37	1,74	3,21	1,19	18,6	4,13	177	0,22
3534	21	9,69	4,97	1,04	19,3	1,38	196	0,70
3448	29	260	1,99	0,578	8,38	0,765	85,8	3,05
3847	43	323	0,847	0,364	4,13	0,663	51,3	2,77

Относительная погрешность параметров распределения, то есть математического ожидания и коэффициента вариации находятся в пределах нормы; относительная погрешность коэффициента асимметрии превышает

норму по четырём постам (3480, 3498, 3530, 3448), что зависит от длины выборки меньше 40 лет.

Относительная средняя квадратическая погрешность (СКП) расчётных значений исследуемых гидрологических характеристик не превышает 20%, можно считать, что продолжительность рядов наблюдений достаточна, а рассматриваемые периоды представителены.

Так как расчет числовых характеристик является корректным только в том случае, если ряд однороден, то далее была произведена проверка рядов максимального стока весеннего половодья на однородность с использованием критериев Стьюдента и Фишера. Полученные значения приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сводная таблица расчёта характеристик однородности с использованием критериев Стьюдента и Фишера для расходов весеннего половодья

№ поста	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
	t^*	t^T	опровержение	F^*	F^T	опровержение
3414	-0,56	1,99	не опровергается	1,21	1,91	не опровергается
3861	-0,13	2,03	не опровергается	1,09	2,67	не опровергается
3424	-0,30	2,00	не опровергается	1,09	2,14	не опровергается
3430	0,11	2,00	не опровергается	1,07	2,14	не опровергается
3572	-1,51	2,12	не опровергается	4,25	4,43	не опровергается
3443	0,57	2,01	не опровергается	1,09	2,22	не опровергается
3444	1,12	2,01	не опровергается	1,39	2,23	не опровергается
3445	-0,59	1,99	не опровергается	1,15	1,95	не опровергается
3468	-0,16	2,05	не опровергается	1,22	2,89	не опровергается
3474	1,45	2,01	не опровергается	1,64	2,27	не опровергается
3479	-0,67	2,01	не опровергается	1,36	2,19	не опровергается
3480	0,25	2,02	не опровергается	1,21	2,51	не опровергается
3483	0,07	1,99	не опровергается	1,32	1,95	не опровергается

Продолжение таблицы 3.4 – Сводная таблица расчёта характеристик однородности с использованием критериев Стьюдента и Фишера для расходов весеннего половодья

№ поста	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
	t^*	t^T	опровержение	F^*	F^T	опровержение
3498	0,32	2,03	не опровергается	1,02	2,60	не опровергается
3510	1,19	2,00	не опровергается	1,75	2,05	не опровергается
3516	1,23	2,01	не опровергается	2,15	2,33	не опровергается
3527	0,23	2,00	не опровергается	1,75	2,04	не опровергается
3529	1,51	2,03	не опровергается	2,48	2,65	не опровергается
3530	1,60	2,03	не опровергается	9,61	2,65	опровергается
3534	0,71	2,09	не опровергается	2,34	3,96	не опровергается
3448	-0,98	2,05	не опровергается	2,45	3,01	не опровергается
3847	-0,38	2,02	не опровергается	1,82	2,42	не опровергается

Как видно из таблицы все рассматриваемые ряды однородны и по критерию Стьюдента, и по критерию Фишера, за исключением пункта наблюдения (№3530), находящийся на ручье Беличий – 0,2 км от устья, который неоднороден по критерию Фишера.

Таблица 3.5 – Сводная таблица рассчитанных модулей стока весеннего половодья

Номер пункта наблюдений	$F, \text{ км}^2$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$q, \text{ л}/\text{с}\cdot\text{км}^2$
3414	45300	1246	2,75
3861	224000	9933	4,43
3424	16700	497	2,98
3430	23900	1189	4,97
3572	28700	2056	7,16

Продолжение таблицы 3.5 – Сводная таблица рассчитанных модулей стока весеннего половодья

Номер пункта наблюдений	F, км ²	Q, м ³ /с	q, л/с·км ²
3443	52800	3091	5,85
3444	65500	3505	5,35
3445	89600	4532	5,06
3468	15200	775	5,10
3474	8290	754	9,09
3479	7570	213	2,82
3480	98,0	3,93	4,01
3483	40000	1471	3,68
3498	743	16,5	2,22
3510	644	34,8	5,41
3516	16,6	4,79	28,9
3527	23,0	1,98	8,62
3529	1830	176	9,60
3530	14,5	1,74	12,0
3534	101	9,69	9,59
3448	6540	260	3,98
3847	1000	323	32,3

Модули стока весеннего половодья колеблются от 2,22 л/с·км² до 12,0 л/с·км². В пунктах 3516 (р. Амбар-Юрюетэ - г.п. Ремпункт) и 3847 (р. Яна - п.ст. Юбилейная) значения модулей стока весеннего половодья намного превышают значения по другим постам, что связано с большими расходами и небольшой площадью водосборов.

На основе произведённых расчётов построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей рядов максимальных расходов весеннего половодья по всем рассматриваемым объектам (Приложение Б). Как видно на представленных рисунках, аналитические кривые хорошо описывают эмпирические данные и могут быть использованы для проектирования.

3.2. Расчёт максимального стока дождевых паводков

Формирование стока дождевых паводков — это сложный процесс, возникающий в результате выпадения атмосферных осадков на поверхность водосбора. Часть осадков просачивается и заполняет впадины на поверхности склонов, расходуется на смачивание растительности, испаряется, и только оставшиеся после всех потерь осадки образуют слой воды, стекающей по склонам к руслу.

Таблица 3.6 – Соответствие кодов пунктов наблюдений с названиями водных объектов и пунктов наблюдений дождевых паводков.

№ п/п	Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункт наблюдений
1	3414	р.Яна - г.Верхоянск
2	3424	р.Сартанг - с.Бала
3	3430	р.Дулгалаах - с.Томтор
4	3572	р.Адыча - пос.Лазо
5	3443	руч.Хоптолоох - г.Верхоянск
6	3444	р.Аргаа-Билээх - 46 км от устья
7	3445	р.Оччугуй-Эсэлээх - 1.0 км от устья
8	3468	р.Нэлгэсэ - 5.0 км от устья
9	3474	р.Чаркы - 3.5 км от устья
10	3478	руч.Без назв.(Гнус) - 0.2 км от устья
11	3871	р.Эмэнтэк - 0.1 км н.устья руч.Прямой
12	3498	р.Буор-Юрях - пос.Куйдусун
13	3510	р.Артык-Юрях - 3.5 км от устья
14	3516	р.Амбар-Юрюетэ - г.п.Ремпункт
15	3527	руч.Без названия ближний - 0.3 км от устья
16	3448	р.Дэрбэки - 18 км выше устья р.Некучан
17	3529	р.Омчан - 4.5 км выше устья р.Туора-Тас
18	3530	руч.Беличий - 0.2 км от устья

Продолжение таблицы 3.6 – Соответствие кодов пунктов наблюдений с названиями водных объектов и пунктов наблюдений дождевых паводков.

№ п/п	Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункт наблюдений
19	3534	р.Хатыннах - ГМС Предпорожная

В дальнейшем также для упрощения вида всех расчётных таблиц будут использоваться только коды пунктов наблюдений.

Объектом изучения является бассейн реки Яна, который располагается на территории Республики Саха (Якутия). За исходные данные были взяты максимальные расходы воды дождевых паводков в бассейне реки Яна по девятнадцати пунктам наблюдений (см. приложение А).

Как и для предыдущих расчётов максимальных расходов весеннего половодья, так и для расчёта дождевых паводков были посчитаны параметры распределения (среднее, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации и асимметрии, их соотношение, а также их относительные погрешности). Результаты приведены в таблице 3.7 и таблице 3.8.

Таблица 3.7 – Сводная таблица рассчитанных статистических характеристик расходов дождевых паводков

№ поста	m_{cp}	D	σ	C_v	C_s	C_s/C_v
3414	1460	378586	615	0,421	0,536	1,27
3424	574	61552	248	0,432	0,193	0,45
3430	1620	676691	823	0,508	0,286	0,563
3572	1783	337378	581	0,326	-0,31	-0,95
3443	3055	1322046	1150	0,376	0,61	1,61
3444	3427	2974584	1725	0,503	1,00	1,99
3445	4240	3501426	1871	0,441	0,538	1,22
3468	533	49206	222	0,416	0,25	0,61
3474	973	291343	540	0,555	1,15	2,08
3478	2,42	3,83	1,96	0,810	2,02	2,49
3871	6662	2751068	1659	0,249	0,207	0,83
3498	26,5	324	18,0	0,679	1,16	1,71
3510	54	657	26	0,477	0,054	0,11
3516	7,72	40,8	6,38	0,827	2,51	3,03
3527	3,92	8,03	2,83	0,723	1,87	2,59
3448	150	3521	59,3	0,397	-0,183	-0,462
3529	267	14840	122	0,456	0,704	1,54
3530	2,42	3,02	1,74	0,720	1,40	1,95
3534	17,9	69,5	8,34	0,470	0,032	0,068

Средние значения расходов воды дождевых паводков в бассейне реки Яна варьируются от 2,42 м³/с до 6662 м³/с, эти данные в среднем не превышают расходов весеннего половодья на тех же пунктах.

Коэффициент вариации C_v варьируется в пределах от 0,249 до 0,827, что говорит об однородности расходов воды дождевых паводков.

Таблица 3.8 – Сводная таблица рассчитанных статистических характеристик и их относительных погрешностей для расходов дождевых паводков

№ поста	Длина ряда	m_{cp}	$\varepsilon_{m_{cp}}, \%$	C_v	$\varepsilon_{C_v}, \%$	C_s	$\varepsilon_{C_s}, \%$	СКП
3414	78	1460	0,540	0,421	3,63	0,536	41,4	4,35
3424	55	574	0,785	0,432	4,43	0,193	50,0	3,26
3430	57	1620	0,891	0,508	5,24	0,286	55,1	5,38
3572	17	1783	1,92	0,326	5,73	-0,31	77,3	10,6
3443	53	3055	0,710	0,376	3,86	0,61	47,0	7,66
3444	52	3427	0,968	0,503	5,42	1,00	57,2	8,20
3445	73	4240	0,605	0,441	3,95	0,538	44,0	7,67
3468	31	533	1,34	0,416	5,59	0,25	65,1	4,22
3474	59	973	0,940	0,555	5,72	1,15	58,1	4,10
3478	55	2,42	1,47	0,810	9,49	2,02	88,0	0,21
3871	59	6662	0,422	0,249	2,35	0,207	37,6	10,7
3498	38	26,5	1,79	0,679	8,98	1,16	87,3	0,85
3510	65	54	0,734	0,477	4,57	0,054	49,2	0,92
3516	49	7,72	1,69	0,827	10,3	2,51	95,5	0,40
3527	65	3,92	1,11	0,723	7,59	1,87	71,3	0,25
3448	29	150	1,37	0,397	5,49	-0,183	65,4	2,31
3529	36	267	1,27	0,456	5,78	0,704	64,1	2,76
3530	36	2,42	2,00	0,72	9,89	1,40	95,3	0,26
3534	21	17,9	2,22	0,47	7,63	0,032	85,2	0,95

Все относительные погрешности параметров распределения, то есть математического ожидания, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии находятся в пределах нормы.

Так как относительная средняя квадратическая погрешность (СКП) расчётного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 20%, можно считать, что продолжительность ряда наблюдений достаточна, а рассматриваемый период репрезентативен.

Была произведена проверка рядов дождевых паводков на однородность с использованием критериев Стьюдента и Фишера. Полученные значения приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Сводная таблица рассчитанных характеристик однородности с использованием критериев Стьюдента и Фишера для расходов дождевых паводков

№ поста	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
	t^*	t^T	опровержение	F^*	F^T	опровержение
3414	-0,462	1,99	не опровергается	1,40	1,91	не опровергается
3424	0,347	2,01	не опровергается	1,46	2,17	не опровергается
3430	0,455	2,00	не опровергается	1,08	2,15	не опровергается
3572	-0,686	2,13	не опровергается	3,45	4,90	не опровергается
3443	-2,03	2,01	не опровергается	1,19	2,22	не опровергается
3444	2,35	2,01	опровергается	7,00	2,23	опровергается
3445	-0,635	1,99	не опровергается	1,08	1,95	не опровергается
3468	-0,685	2,05	опровергается	1,15	2,89	не опровергается
3474	1,41	2,00	не опровергается	3,18	2,12	опровергается
3478	-1,54	2,01	не опровергается	1,32	2,18	не опровергается
3871	-2,07	2,00	не опровергается	1,24	2,12	не опровергается
3498	-1,75	2,03	не опровергается	1,34	2,60	не опровергается
3510	-1,72	2,00	не опровергается	1,46	2,03	не опровергается
3516	0,23	2,01	не опровергается	1,66	2,28	не опровергается
3527	-1,55	2,00	не опровергается	1,00	2,04	не опровергается
3448	-0,937	2,05	не опровергается	0,976	0,33	опровергается
3529	0,359	2,03	не опровергается	1,02	2,67	не опровергается
3530	-0,050	2,03	не опровергается	1,53	2,67	не опровергается
3534	2,20	2,09	не опровергается	1,68	3,78	не опровергается

Как видно из таблицы почти все рассматриваемые ряды однородны по критерию Стьюдента и по критерию Фишера. Исключение составляют: пункт наблюдений, находящийся на р. Аргаа-Билээх – 46 км от устья (3444),

который не однороден по обоим критериям Стьюдента и Фишера; пункт р. Нэлгэсэ – 5 км от устья (3468) – по критерию Стьюдента; пункты р.Чаркы – 3,5 км от устья (3474) и р. Дэрбэки - 18 км выше устья р.Некучан (3448) – по критерию Фишера.

Таблица 3.10 – Сводная таблица рассчитанных модулей стока дождевых паводков

Номер поста	F, км ²	Q, м ³ /с	q, л/с·км ²
3414	45300	1460	3,22
3424	16700	574	3,44
3430	23900	1620	6,78
3572	28700	1783	6,21
3443	52800	3055	5,79
3444	65500	3427	5,23
3445	89600	4240	4,73
3468	15200	533	3,51
3474	8290	973	11,7
3478	22,6	2,42	10,7
3498	743	26,5	3,57
3510	3,5	54,0	15,3
3516	16,6	7,72	46,5
3527	23,0	3,92	17,0
3448	6540	150	2,29
3529	1830	267	14,6
3530	14,5	2,42	16,7
3534	101	17,9	17,7

Модули стока весеннего половодья колеблются от 2,29 л/с·км² до 17,0 л/с·км². И только в пункте 3516 (р. Амбар-Юрюетэ - г.п. Ремпункт) значение модуля стока дождевых паводков составляет 46,5 л/с·км² и намного

превышает значений по другим постам, что связано с большими расходами и небольшой площадью водосбора.

На основе произведённых расчётов построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей рядов максимальных расходов дождевых паводков по всем рассматриваемым объектам (Приложение Б). Как видно на представленных рисунках, аналитические кривые хорошо описывают эмпирические данные и могут быть использованы для проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подсчёт максимального стока большинства рек в целом можно считать выполненным достаточно надёжно. Вместе с тем по ряду пунктов максимальные расходы воды имеют невысокую точность вследствие:

1. Недостаточного количества измерений расходов воды при высоких уровнях редкой повторяемости и в связи с этим значительной экстраполяции кривых расходов воды – до 40 - 60% амплитуды уровня;
2. Отсутствия для ряда рек измерений расходов на пойме и в протоках, в результате чего величины наибольших расходов посчитаны с той или иной степенью приближения, а в отдельных случаях даны без учёта расхода воды на пойме.

Анализ условий формирования максимального стока показал, что максимальные расходы воды на горных реках наблюдаются преимущественно в период летних паводков. Однако на реках более равнинной части территории максимумы приходятся на период весеннего половодья.

В низовье реки Яна наибольшие в году расходы воды имеют почти исключительное снеговое происхождение. Тогда, как расходы воды основной части рассматриваемого бассейна имеют смешанное происхождение – снеговое и дождевое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индибирский район. / Под. ред.: Протасьева М.С. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 649 с.
2. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Том 17. / Под. ред.: Шестакова А.В. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 443 с.
3. Владимиров А.М., Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 364 с.
4. Владимиров А.М., Дружинин В.С., Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам. – СПб.: Гидрометиздат, 1992. – 208 с.
5. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты / Под. ред.: А.И. Чеботарева – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 459 с.
6. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.
7. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 445 с.
8. СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик [текст]: нормативно – технический материал. – Москва: ГОССТРОЙ РОССИИ, 2004.
9. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: изд. ГУ «ГГИ». 2005. – 103 с.
10. Соколов А.А. Гидрография СССР, Л.: Гидрометеиздат, 1952. — 287 с.
11. Чеботарев А.И. Общая гидрология. Учебное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 530 с.

12. Кортаев В.Н., Чалов Р.С. "Вода России" - Яна [Электронный ресурс]
// Научно-популярная энциклопедия «Вода России». URL: http://water-ru.ru/Водные_объекты/771/Яна (Дата обращения: 30.05.2017 г.)
13. Евстигнеев В.М., Речной сток и гидрологические расчеты. Учебник. — М.: МГУ, 1990. — 304 с.