



## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Характеристика бассейна реки Вилюй.....	5
1.1 Физико-географическое описание бассейна.....	5
1.1.1 Административное положение .....	5
1.1.2 Геологическое строение и рельеф .....	6
1.1.3 Мерзлая зона.....	8
1.1.4 Почвы.....	9
1.1.5 Растительность .....	10
1.1.6 Климат .....	10
1.2 Гидрография и гидрологическая изученность .....	13
1.3 Основные сведения о водохранилищах и гидротехнических сооружениях .....	19
2 Водный режим реки Вилюй.....	22
2.1 Особенности водного режима р. Вилюй.....	22
2.2 Годовой сток и его внутригодовое распределение .....	22
2.3 Максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков .....	23
2.4 Минимальный сток.....	25
3 Расчет сезонных дефицитов стока реки Вилюй в створе Вилюйской ГЭС. 28	
3.1 Задачи и методика расчета дефицита стока.....	28
3.1.1 Расчет в реальных границах меженного периода .....	29
3.1.2 Расчет в постоянных границах меженного периода.....	32
3.2 Характеристика исходных данных .....	34

3.3	Расчет значений дефицита в фактических границах дефицитного периода.....	38
3.4	Расчет значений дефицита в жестких границах дефицитного периода .	47
4	Анализ результатов оценки сезонных дефицитов стока .....	51
4.1	Изменение величины сезонных дефицитов стока от расчетных параметров.....	51
4.2	Оценка погрешности расчета сезонного дефицита стока обобщенным методом.....	53
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Выпускная бакалаврская работа посвящена оценке естественного стока рек в маловодной период года. Жизнь человека неразрывно связана с использованием водных ресурсов, однако для этого не везде существуют благоприятные условия, так как малые величины стока в меженный период лимитируют водопотребление.

Недостаток фактического естественного стока реки в маловодный период по отношению к некоторому требуемому (пороговому) значению стока называется дефицитом стока.

Оценка величины дефицита стока используется в практике водохозяйственного проектирования для определения полезного объема водохранилища, обеспечивающего сезонное регулирование стока и повышение стока рек в маловодный период до величины, требуемой для организации устойчивого водопользования.

Существует несколько способов расчета дефицитов стока. Основным является метод оценки дефицитов по данным о стоке реки за многолетний период, где границы меженного периода определяются для каждого года индивидуально. Есть и упрощенные способы, наиболее распространенный – метод, предложенный Крицким и Менкелем, где границы маловодного периода устанавливаются одинаковыми для всех лет.

В задачи выпускной работы входит оценка возможных погрешностей расчета дефицитного стока по обобщенной методике Крицкого – Менкеля по сравнению с величинами, рассчитанными основным методом. Оценка производится на примере стока реки Вилюй в створе плотины Вилюйского водохранилища (пос. Чернышевский).

В первой главе приведены характеристики бассейна реки Вилюй, которые включают физико-географическое описание водосбора, гидрографию и гидрологическую изученность территории, а также сведения о Вилюйском водохранилище.

Вторая глава посвящена водному режиму реки Вилюй. Здесь рассматриваются его особенности и такие характеристики, как годовой сток и его распределение, максимальный и минимальный сток.

В третьей главе производится основной расчет дефицитов двумя предложенными способами.

В четвертой главе анализируются результаты расчетов и решается задача дипломной работы – оценка значений сезонных дефицитов стока, рассчитанных обобщенным методом. В итоге можно сделать вывод о том, подходит ли эта методика для данных условий формирования стока и характеристик водного режима.

# 1 Характеристика бассейна реки Вилюй

## 1.1 Физико-географическое описание бассейна

### 1.1.1 Административное положение

Исследуемая территория – бассейн р. Вилюй в створе Вилюйских ГЭС-1,2 (пос. Чернышевский). Он охватывает верхнее течение Вилюя и располагается в западной части республики Саха (Якутия), а также на восточной границе Красноярского края и северо-восточной Иркутской области. Вилюй – левый приток Лены, находится к западу от нее и относится к бассейну моря Лаптевых, водосбор обозначен на рисунке 1.1.

Координаты р. Вилюй: исток  $65^{\circ}58'41''$  с.ш.  $103^{\circ}30'49''$  в.д., устья  $64^{\circ}22'38''$  с. ш.  $126^{\circ}24'54''$  в. д.



Рисунок 1.1 – Административное положение бассейна реки Вилюй

### 1.1.2 Геологическое строение и рельеф

Бассейн реки Вилюй относится к территории Среднесибирского плоскогорья, которое расположено в западной части Сибирской платформы – одного из древнейших блоков континентальной коры Земли. Плоскогорье неоднородно в морфоструктурном отношении и представляется как сложно расчлененными горными массивами (например, плато Путорана), так и равнинными областями (Приленское плато). Его территорию по высотному положению можно разделить на три части: наиболее возвышенную – северо-западную, пониженную – центральную, приподнятую – юго-восточную, которая наиболее интересна в данной работе, так как рассматриваемая область приурочена именно к возвышенной равнине. К югу от водохранилища расположено Приленское плато, а к северу Вилюйское, откуда р. Вилюй берет свое начало, водосбор обозначен на рисунке 1.2. [1]

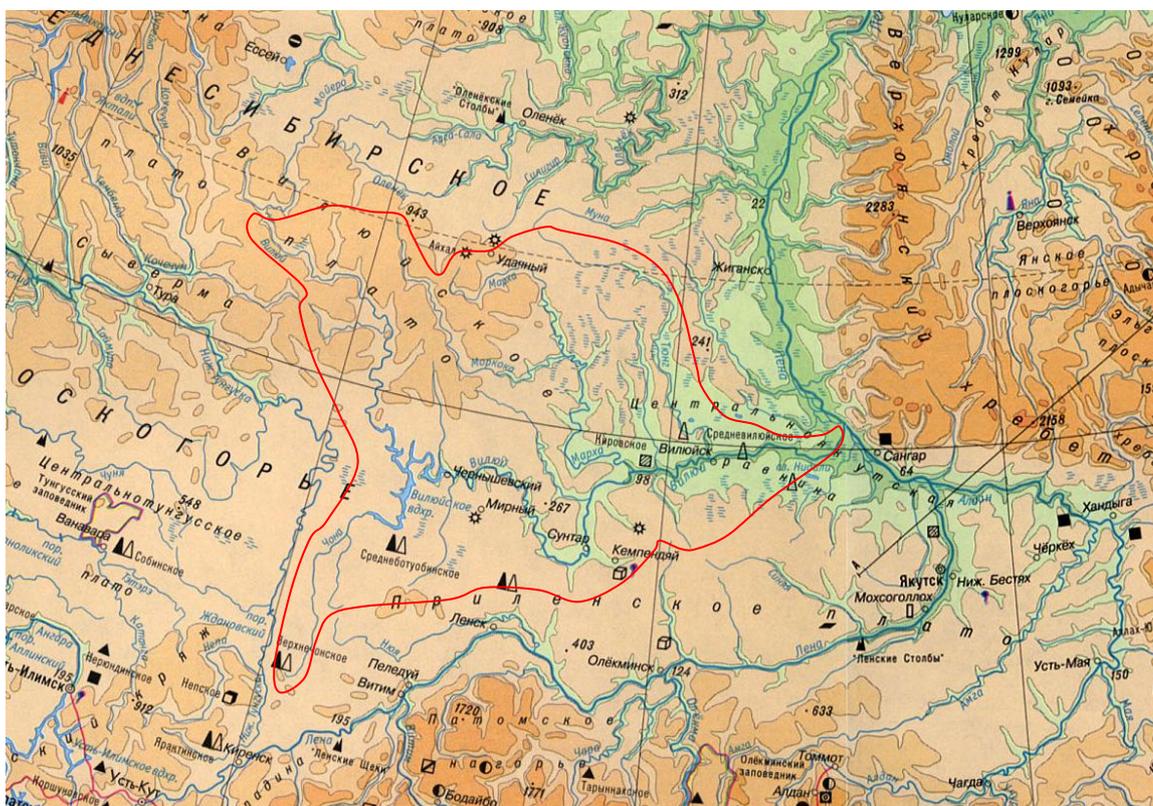


Рисунок 1.2 – Рельеф бассейна р. Вилюй

На Оленёкско-Виллюйском водоразделе (также называемом Виллюйским плато) средние отметки поверхности составляют 500-1000 м, постепенно понижаясь к востоку до 300 м, наивысшая точка – гора Люча-Онгоктон (1044 м). Рельеф характеризуется ступенчатым профилем речных долин, наличием многочисленных порожистых участков и водопадов и обусловлен слоистым чередованием терригенных пород с пластовыми интрузиями и многочисленных даек. Основание плато сложено вулканогенно-осадочным комплексом пород преимущественно триасового возраста. [2]

В южной части бассейна простирается Приленское плато, его абсолютные отметки постепенно поднимаются с 300 м на севере до 700-800 м на юге. Плато сложено преимущественно карбонатными, местами галогенными и гипсоносными палеозойскими породами. На востоке они полого падают в северном направлении, и их моноклиальное залегание в сочетании с эрозионными процессами определяют куэстовый облик рельефа поверхности плато, то есть в виде вытянутых гряд с несимметричными склонами: один пологий и длинный, другой крутой и короткий. [2],[3]

Вниз по течению р. Виллюй от Виллюйского водохранилища до впадения в р. Лену Среднесибирское плоскогорье постепенно переходит в Центральную якутскую низменность. Она представляет собой область устойчивого опускания и осадконакопления в мезозойское и кайнозойское время. В сложении ее участвуют преимущественно терригенные, в том числе угленосные отложения юрского, мелового и неогенового возраста. Широко развиты четвертичные отложения – озерно-ледниковые и аллювий Виллюя и притоков и покровные суглинки и супеси.

На территории бассейна Лены широко распространен карст, однако его распределение неравномерно. Бассейн р. Виллюй относится к областям с некарстующими и потенциально карстующими (в бассейнах рек Мархи и Тюнг) породами. [2]

### 1.1.3 Мерзлая зона

Одним из важнейших природных факторов формирования стока на территории района является мерзлота.

Многолетняя мерзлота (вечная мерзлота) – это слой или область распространения пород, имеющих отрицательную температуру и содержащих подземный лед. [3]

Северо-западная часть бассейна (верховья Вилюя, включая водохранилище, а также исток р. Моркоки) находится в сплошной мерзлой зоне, мощностью до 500 м с температурой горных пород не ниже минус 5,0°C. Северо-восток (от водохранилища и ниже по течению) распространяется также сплошная мерзлая зона, но мощностью 500–1500 м и температурой горных пород от минус 5,0 до минус 2,0 °С.

Сплошной называется мерзлая зона, отмечаемая на всех элементах рельефа данного региона и прерываемая только узкими полосами или окнами сквозных таликов (немёрзлых горных пород), формирующихся в днищах речных долин, под крупными глубокими озёрами и в местах постоянно действующих источников глубинных вод. Обычно на долю таликов в этом случае приходится до 5 % территории.

К югу от водохранилища, на юго-востоке бассейна и в среднем и нижнем течении р. Чоны, распространяется прерывистая мерзлая зона мощностью до 100 м с температурой не ниже минус 2,5°C.

Прерывистой называется мерзлая зона, в пределах которой формируются значительные по площади талики, располагающиеся обычно на склонах южной экспозиции и на участках, сложенных хорошо фильтрующими породами. Суммарная площадь таликов составляет здесь 10–80 %, в среднем 50 % всей территории.

Юго-запад бассейна, в районе верховьев Чоны, находится в островной мерзлой зоне мощностью до 50 м с температурой горных пород не ниже минус 1,5°C.

Островная мерзлая зона представлена только отдельными «островами» многолетнемерзлых горных пород, приуроченных, как правило, к заболоченным днищам речных долин, торфяным буграм, а также к нижней части склонов северной экспозиции. [2]

#### 1.1.4 Почвы

Почвы рассматриваемой территории крайне своеобразны. Их образование происходит в условиях сложного рельефа, резко континентального климата и наличия многолетней мерзлоты, залегающей на небольшой глубине.

На большей части водосбора, в которую входит среднее и частично верхнее течение Вилюя, в том числе и водохранилище, среднее и верхнее течение рек Мархи и Тюкян, среднее течение р. Тюнг, распространены таежные палевые мерзлотные, слабо осолоделые почвы на лёссовидном карбонатном суглинке и суглинистом элювии.

На Центральноякутской низменности, в среднем и нижнем течении Вилюя, включая низовья притоков (Марха, Тюкян, Тюнг и др.), развиты дерново-таёжные мерзлотные почвы, а пойменные террасы низовьев р. Вилюй покрывают аллювиальные почвы.

На расчлененных и хорошо дренированных участках Вилюйского плато, на северо-востоке бассейна, в междуречье Тюнга и Мархи на древних террасах рек и на пологих склонах южной экспозиции развиты глеевые мерзлотно-таёжные почвы.

В северо-западной части бассейна, верховья Вилюя, в горах в поясе тундр и лесов покров представлен горнотаежными мерзлотными оподзоленными почвами, горнотундровыми, торфянисто-болотными и перегнойно-торфянистыми, местами встречаются области подзолисто-болотных почв.

На юго-западе бассейна в верхнем течении Чоны образовались дерново-таежные мерзлотные почвы. [2]

### 1.1.5 Растительность

Практически всю территорию бассейна охватывает тайга, которую можно разделить на 2 подзоны: а) северо-таежное редколесье, которое занимает Вилюйское плато; б) среднетаежную подзону, занимающую Центральную якутскую низменность и Приленское плато.

В северной части бассейна распространяются лиственничные северо-таежные редкостойные леса, а на северо-западе еще и горнолиственничное редколесье.

Центральную и южную часть занимают лиственничные среднетаежные леса: центральносибирские мхово-лишайниково-кустарничковые, кустарничко-травяные и ёрниковые в сочетании с зарослями ёрника и сухими лугами, а на пойменных террасах дальневосточные багульниковые в сочетании с лиственничными марями. Также встречаются небольшие области лиственнично-сосновых таёжных лесов. [2]

### 1.1.6 Климат

Климат бассейна реки Вилюй относится к резко-континентальному типу, что определяется не только географическим положением, но и рельефом. Метеорологические характеристики неравномерны по площади территории и зависят от высотного положения, то есть существуют местные климатические различия на холмах и в глубоко врезанных речных долинах.

Количество солнечных часов значительно изменяется в течении года и в среднем составляет 2030–2090 часов (по данным метеостанций в Вилюйске и Сунтаре), максимальное значение достигается в июле (210–420 часов), минимальное – в декабре (0–30), годовое распределение показано на рисунке 1.3. Одной из причин такого различия является разница в продолжительности солнечного дня зимой и летом, так в Вилюйске самый длинный день продолжается 20,5 часов, а самый короткий – 4,5 ч.

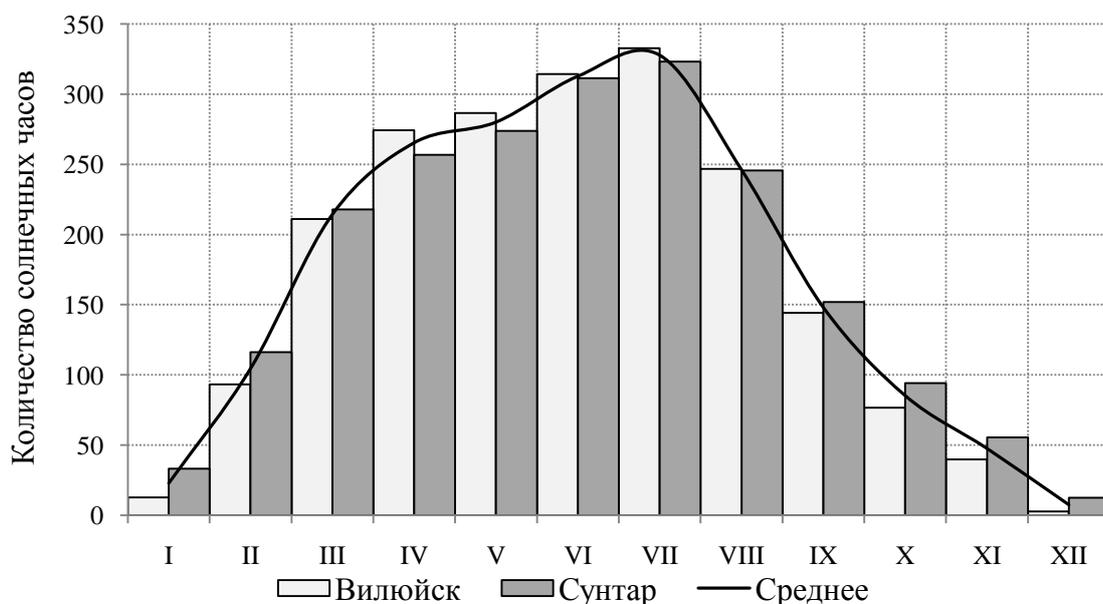


Рисунок 1.3 – Суммарное месячное среднегодовое количество солнечных часов за 1957–2015 годы

С октября по март на территории водосбора развивается устойчивый антициклон из-за сильного понижения температуры воздуха. Преобладают холодные умеренные и континентальные арктические воздушные массы, устанавливается безветренная холодная погода с низкой влажностью и высоким давлением. Речные долины застилаются переохлажденным тяжелым воздухом. Осадки изредка заносятся западными циклонами. Наиболее суровые бывают зимы в районе Вилуйского плато, здесь температура воздуха может достигать минус 60°C.

Летом усиливается западный перенос, редко устремляются воздушные массы с севера, но они достаточно быстро прогреваются, развиваются циклоны. Циклоническая деятельность увеличивает количество осадков, давление также повышается. Из-за вторжения арктического воздуха возможны похолодания.

Осень и весна проходят быстро. Весной количество осадков невелико, как и влажность, иногда даже случаются засухи. Ветры непостоянные, часто меняют направление, скорость может достигать (и превышать) 15 м/с. Снег сходит быстро, однако почва долго не оттаивает из-за ночных заморозков. Это способствует увеличению поверхностного стока, так как воды не проникают

внутри грунтов. Осенью происходит переход от циклонов к антициклонам. Увеличивается облачность, понижается температура, первые заморозки могут наступить уже в августе.

Для климата данной местности характерна большая амплитуда хода температур и отрицательный тепловой баланс (по данным метеостанций Мирный, Вилуйск и Сунтар среднегодовая температура колеблется от минус 11 до минус 5 °С). Средняя температура июля плюс 18,5°С, января – минус 36,2°С. Годовой ход температур представлен на рисунке 1.4.

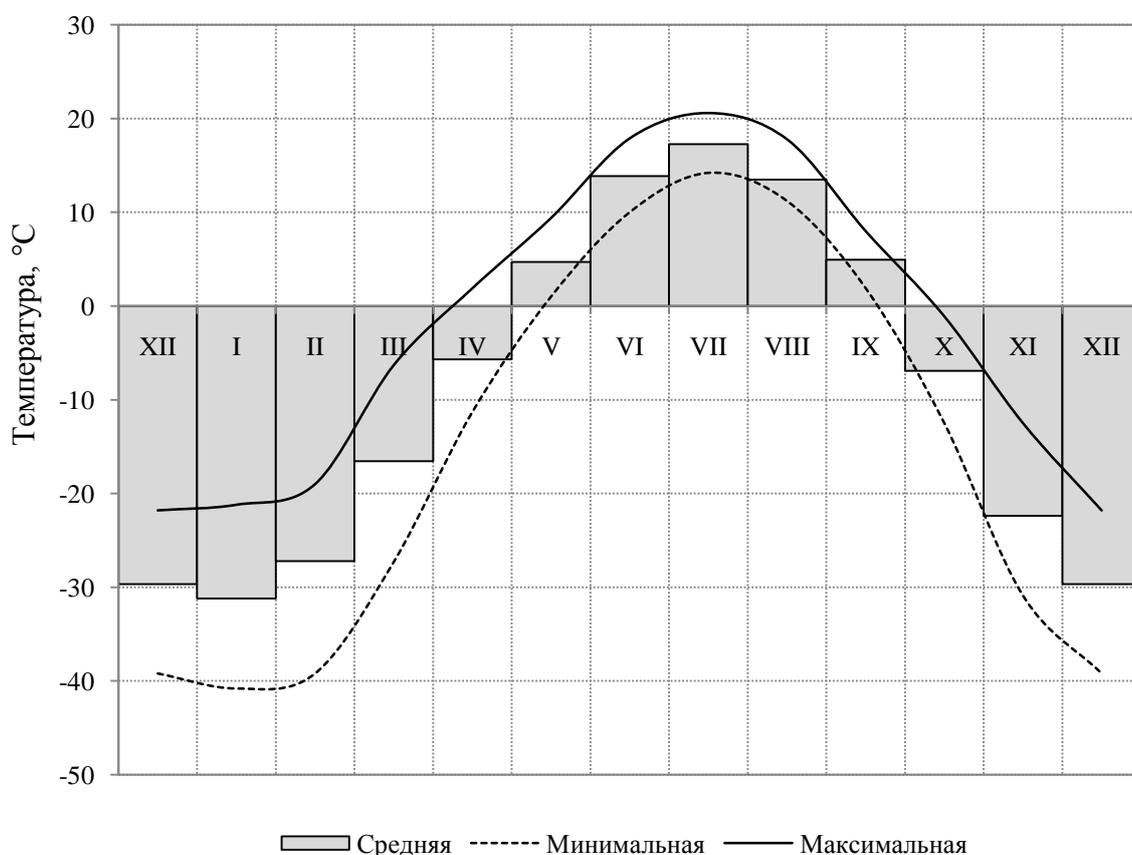


Рисунок 4 – Годовой ход среднемесячных температур воздуха по данным метеостанции Мирный за 1959-2015 гг.

Осадки выпадают преимущественно летом, среднегодовое количество осадков варьируется в пределах 200-400 мм (по данным метеостанции Мирный). Причем, за теплое время года выпадает примерно 60 % суммарных за

год осадков. Суммарное количество осадков (жидких и твердых) представлено на рисунке 1.5. [1],[4]

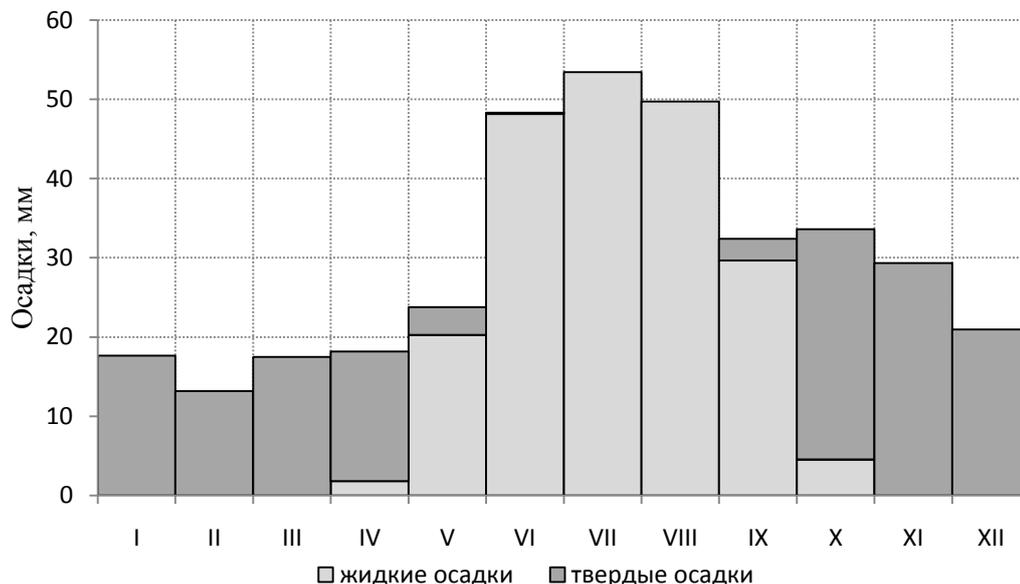


Рисунок 1.5 – Суммарное количество осадков за месяц по данным метеостанции Мирный за 1981-2010 годы

Создание Вилюйского водохранилища повлияло на климат региона. В пределах 600-800 км от водохранилища повысилась влажность, снизилась амплитуда годовых колебаний температур. Над поверхностью зеркала воды развиваются ветровые явления, нехарактерные для таежной зоны Якутии. Годовое количество осадков увеличилось на 40 мм.[5]

## 1.2 Гидрография и гидрологическая изученность

Вилюй – левый приток р. Лена, является самым длинным ее притоком. Вытекает из озера Бэс-Кюёлэ, расположенного к западу от возвышенности Бур. Впадает в Лену в 1102 км от ее устья. Полная длина водотока – 2650 км, площадь водосбора – 454 000 км<sup>2</sup>. [6]

Бассейн Вилюя имеет довольно развитую гидрографическую сеть (рисунок 1.6). На территории водосбора насчитывается свыше 1580 рек и ручьев, из них 790 выше створа ГЭС. Основные притоки справа – Чона,

Чиркуо (Чуркуо), Улахан-Ботуобуя, Оччугуй-Ботуобуя, слева – Ахтаранда, Ыгыатта, Тюкян, Тюнг и Марха, последняя является крупнейшим притоком.



Рисунок 1.6 – Бассейн реки Вилюй

С учетом создания водохранилища Вилюй можно условно разделить на 4 участка:

- 1) от истока до устья р.Чиркуо – верхний участок: здесь Вилюй протекает сначала по хорошо увлажненным равнинным территориям с большим количеством озер и болот, русло извилистое, а уклон водной поверхности невелик, затем течение проходит по горной местности. На этом участке русло имеет порожистый характер, с глубинами 0,4 м на перекатах и до 5 м на плёсах.

- 2) между местом впадения Чиркуо и плотинной ГЭС – участок водохранилища: здесь река представляет собой серию озеровидных расширений, соединенных основным водотоком, в местах впадения рек и ручьев часто встречаются заливы, залив Чона – крупнейший;
- 3) ниже плотины до устья р. Мархи – средний участок: до с. Сунтар речная долина имеет горный характер, имеются пороги, ниже с. Сунтар долина расширяется, скорости течения снижаются;
- 4) от места впадения Мархи до устья – нижний: спокойный характер течения продолжается до устья, долина широкая, русло разветвленное и неустойчивое. [2]

Питание реки преимущественно снеговое, характерны хорошо выраженные половодья с высокими подъемами уровней воды. Дождевое и грунтовое питание менее значительно, в сумме их доля не превышает 20 %. Ниже плотины ГЭС гидрограф сглаженный, вследствие влияния регулирования стока. Однако это не единственный регулятор, на водосборе существует естественная регуляция при помощи мерзлых грунтов. [7]

Процессы летнего оттаивания и зимнего промерзания почв оказывают непосредственное влияние на формирование поверхностных вод. С одной стороны, мерзлый грунт меняет свойства подстилающей поверхности, а с ними и коэффициент стока; с другой стороны, деятельный слой обуславливает перераспределение воды в течение года, так как поступившая вода к осени замерзает и достигает русла только следующим летом. Такой тип регулирования можно определить как сезонно-мерзлотное регулирование стока. [2]

Ледостав на реке наблюдается в среднем с последней декады октября по третью декаду мая. При вскрытии, в период весеннего половодья, в нижнем течении иногда происходят заторы. Остальные 5 месяцев в году русло открыто, в многоводные годы ниже пос. Сунтар может осуществляться судоходство. [7]

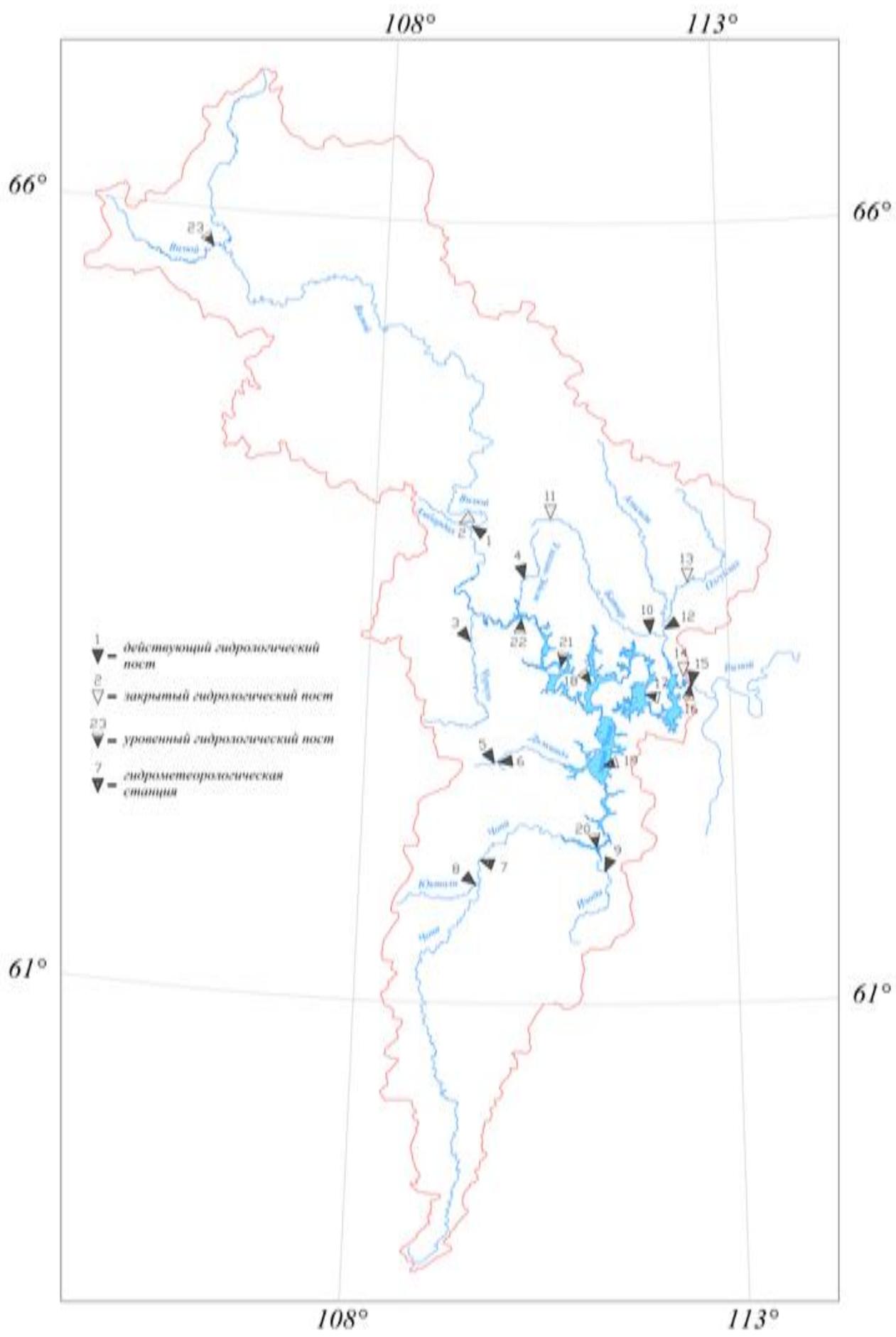


Рисунок 1.7 – Гидрологическая изученность

Схема гидрологических постов на территории бассейна Вилюйского водохранилища представлена на рисунке 1.7, список постов – таблица 1.1[8]. Полный список постов приведен в приложении А. Схема построена с помощью программы AutoCAD на основе карт масштаба 1:200000 (Р-49-1,2; Р-49-3,4; Q-49-1,2; Q-49-3,4; Q-48-1,2; Q-48-3,4; O-49-1).

Таблица 1.1 – Список постов в бассейне Вилюйского водохранилища

Номер	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия	
					число, месяц, год	
					открыт	закрит
1	р.Вилюй – г.п.Усть-Амбардах	03310	1816	57300	12.05.1965	Действ.
2	р.Амбардах – устье	03331	12,0	759	01.01.1973	31.12.75
3	р.Чуркуо – г.п.Лавинда	03579	27	4130	01.05.1971 (10.02.1976)	Действ.
4	р.Улахан-Эдьэк – г.п.Дальний	03560	24	854	01.05.1977	Действ.
5	р.Дьэкиндэ – г.п.Улар	03597	65	1940	01.05.1978	Действ.
6	руч.Тойонноох-Тумус – г.п.Тайахтаах	03598	0,5	5,74	01.05.1979	Действ.
7	р.Чона – гм.ст.Чона	03334	296	21000	01.05.1974	Действ.
8	р.Юктали – г.п.Юргаэтэ	03337	4	1080	04.05.1974	Действ.
9	р.Ичода – г.п.Майский	03625	22	2820	19.05.1972 (01.05.1979)	Действ.
10	р.Батыр – г.п.Ясный	03344	12,0	3380	16.10.1969	Действ.
11	руч.Голубичный – устье	03345	1,00	5,06	10.05.1973	31.12.79
12	р.Ахтаранда – г.п.Сюрях-Хая	03341	65,0	11600	30.11.1976	Действ.
13	р.Олгуйдаах – г.п.Монтерский	03343	45,0	4360	16.05.1974	01.04.88
14	руч.Хордогойдох – устье	03347	0,20	14,8	10.05.1967	01.03.83
15	р.Вилюй – р.п.Чернышевский(ГЭС)	03313	1315	136000	23.02.1959 (1967)	Действ.

Продолжение таблицы 1.1

Номер	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия	
					число, месяц, год	
					открыт	закрит
16	вдхр.Вилуйское – р.п.Чернышевский	03909	1316	136000	05.1973	Действ.
17	вдхр.Вилуйское – ОГП Кусаган	03910	1389	-	28.06.1974	Действ.
18	вдхр.Вилуйское – Чохчуола	03907	1483	-	27.04.1976	Действ.
19	вдхр.Вилуйское – гм.ст. Туой-Хая	03908	1551	-	01.08.1968	Действ.
20	вдхр.Вилуйское – ОГП Усть-Ичода	03942	1623	-	01.05.1977	Действ.
21	вдхр.Вилуйское – ОГП Юлэгиир	03941	1568	-	01.05.1976	Действ.
22	вдхр.Вилуйское – ОГП Оржок	03940	1640	134000	27.04.1978	Действ.
23	р.Вилуй – факт.Эконда	03309	2423	5110	28.08.1959	Действ.

Гидрологическая наблюдательная сеть охватывает всю протяженность Вилуя, а также русла основных притоков, таких как Марха, Тюнг, Чона. Посты сосредоточены преимущественно вблизи русла р. Вилуя, большое скопление наблюдается и в районе Вилуйского водохранилища.

Первые гидрологические работы на водосборе начаты в 1926 году Якутской экспедицией АН СССР и управлением водных путей Ленского бассейна. Тогда же Гидрометслужбой были открыты гидрометеорологическая станция в поселке Сунтар и водомерный пост в городе Вилуйск, на которых наблюдения проводятся до настоящего времени.

Гидрологические наблюдения в поселке Чернышевском начались в 1959 году (1348 км от устья). Обеспечение гидрологическими и метеорологическими данными требовалось для проектирования и строительства первоочередной Вилуйской ГЭС. С 1972 года учет стока на гидроузле ведется службой

эксплуатации, а наблюдения на водохранилище проводятся озерной станцией Якутскгидромета. С мая 1975 года, силами экспедиции №13 института «Ленгидропроект», организованы и продолжаются по настоящее время гидрометеорологические работы на участке строительства Вилюйской ГЭС-3.

### 1.3 Основные сведения о водохранилищах и гидротехнических сооружениях



Рисунок 1.8 – Вилюйская ГЭС

Вилюйский гидроузел в поселке Чернышевский состоит из двух ГЭС, находящихся на одной плотине, на правом берегу ГЭС первой очереди (или Вилюйская ГЭС-I), а на левом – второй очереди (соответственно, Вилюйская ГЭС-II), которые изображены на рисунке 1.8. Существует еще Вилюйская ГЭС-III, или Светлинская ГЭС, находящаяся ниже по течению в районе поселка

городского типа Светлый. Вместе они образуют каскад Вилюйских ГЭС. Возведение каскада связывалось с развитием промышленности и освоением значительного природного потенциала Якутии.

ГЭС была спроектирована институтом «Ленгидропроект», входит в состав ОАО «Якутскэнерго». Её строительство дало возможность начать широкомасштабную разработку алмазных месторождений Якутии. Основным потребителем электроэнергии является ЗАО «АЛРОСА». Также ГЭС является системообразующим энергоисточником в районе.

Строительство началось в 1960 году, гидроагрегаты начали запускать в 1967 году, последний запущен в 1976 г. Состав сооружений: каменно-земляная плотина длиной 600 м и наибольшей высотой 75 м; подводящие каналы; водоприемники; напорные водоводы ГЭС-1; напорные трубопроводы ГЭС-2; здания ГЭС-1 длиной 77 м и ГЭС-2 длиной 79,3 м; отводящие каналы; водосброс шириной 40 м; водосбросной канал, 2 здания ЗРУ 220 кВ.

В здании ГЭС-I установлено 4 поворотно-лопастных гидроагрегата мощностью по 85 МВт. В здании ГЭС-II установлено 4 радиально-осевых гидроагрегата мощностью по 85 МВт. Установленная мощность при расчетном напоре 55 м – 680 МВт, Среднегодовая выработка – 2 710 млн кВт\*ч. От станции проложены 4 линии электропередачи 220 кВ на Ленск через Мирный, и на Айхал с Удачным. [9]

Водохранилище используется для сезонного и многолетнего регулирования стока Вилюя, а также в целях водоснабжения, судоходства и рыболовства. Водохранилище сезонного регулирования стока предназначено для перераспределения стока из многоводных сезонов года в маловодные. Такое регулирование обусловлено внутригодовой неравномерностью стока и несовпадением объемов стока и водопотребления во времени. Это наиболее распространенный вид регулирования. Основные параметры водохранилища описаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики Вилюйского водохранилища

Основные параметры		Значение	Единица измерения
Ширина	максимальная	18	км
	средняя	5,76	км
Глубина	максимальная	70	м
	средняя	17,3	м
Площадь зеркала	при НПУ	2360	км <sup>2</sup>
	при УМО	1430	км <sup>2</sup>
Объем	при НПУ (полный)	40,41	км <sup>3</sup>
	при УМО	18,05	км <sup>3</sup>
	полезный	22,36	км <sup>3</sup>

В Вилюйском водохранилище водятся промысловые виды рыб – щука и окунь, реже – ценные реофильные (речные) виды (осётр, таймень, ленок, хариус), которые обитают главным образом в зоне выклинивания подпора (в верхней части водохранилища). С вводом в эксплуатацию Вилюйского рыбного завода в поселке Чернышевском в 1971 году начинается современный этап развития разведения рыб и товарного производства в Якутии.

Условия для судоходства в нижнем течении реки Вилюй обеспечиваются попусками из водохранилища через водосброс гидроэлектростанции. [7]

## 2 Водный режим реки Вилюй

### 2.1 Особенности водного режима р. Вилюй

Особенности водного режима р. Вилюй в большей степени обусловлены многолетнемерзлыми породами подстилающей поверхности и климатическими условиями.

Продолжительная зимняя межень (5–6 месяцев) сменяется резким, дружным половодьем с расходами в 100 раз выше. Это объясняется малым питанием водотоков в холодное время года из-за промерзания почв, а из-за короткой и интенсивной весны происходит быстрое стаивание накопленного снега, стекающего по промерзшей поверхности, которое сопровождается выпадением жидких осадков. [2]

### 2.2 Годовой сток и его внутригодовое распределение

По величине речного стока р. Вилюй на всём своём протяжении проходит несколько зон: от зоны повышенного стока ( $4\text{--}10 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ ) в верховьях до зоны незначительного стока (модуль менее  $1 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ ) в низовьях. Среднегодовой модуль стока в створе пос. Чернышевского составляет  $4,86 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ .

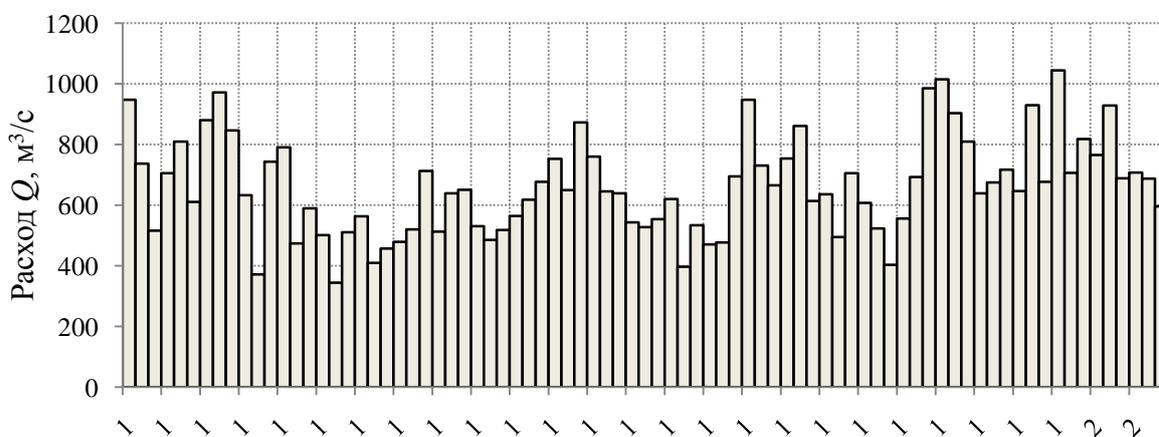


Рисунок 2.1 – Многолетний ход среднегодовых расходов

Среднегодовые расходы воды в расчётном створе колеблются в диапазоне от 345 до 1044 м<sup>3</sup>/с, норма стока составляет 661 м<sup>3</sup>/с (рисунок 2.1).

Для территории характерна большая неравномерность в распределении речного стока внутри года, что показано на рисунке 2.2. Наиболее многоводным является весенне-летний период с долей стока 85–95 % от годовой величины, осенне-зимний сток соответственно составляет 5–15 %.

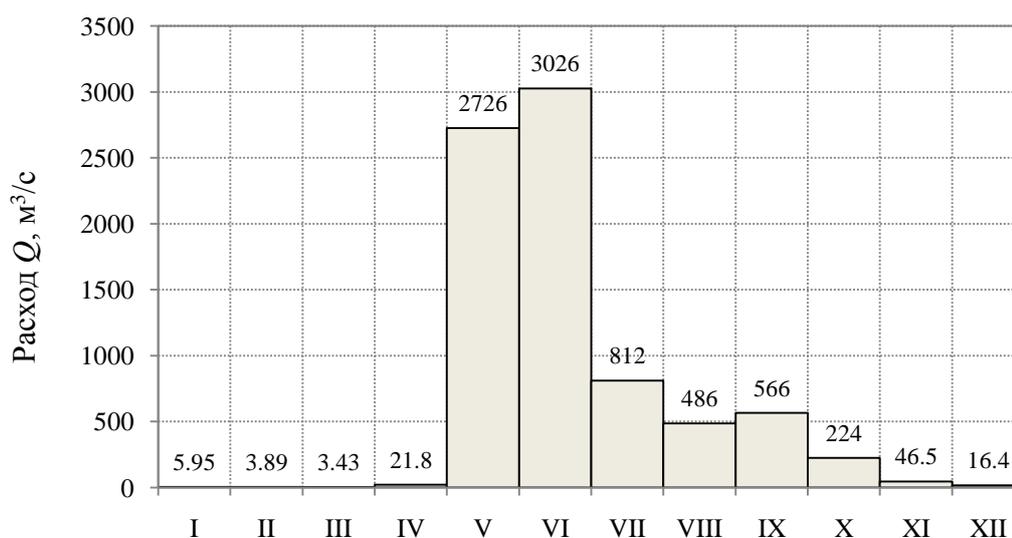


Рисунок 2.2 – Годовое распределение стока

Соотношение весеннего и летнего стока также неодинаково. На весенние месяцы приходится 70–75 % годового стока, а на летние – 15–20 %.

Величина зимнего стока зависит от целого ряда местных факторов, определяющих условия формирования подземных вод, питающих реку в зимнее время, в среднем доля зимнего стока составляет 1–2 %.

Границы сезонов: весна (май-июнь), лето-осень (июль-октябрь), зима (ноябрь-апрель). Лимитирующий период – лето-осень-зима, лимитирующий сезон – зима.[2]

### 2.3 Максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков

Весеннее половодье в условиях Лено-Индибирского района является важной, а во многих его частях главной фазой режима рек. На реках

относительно равнинной северо-западной части территории в весенний период проходит обычно больше 50 %, а на реках Центральнойкутской низменности даже около 70–85 % суммарного годового стока. В рассматриваемом створе доля весеннего половодья составляет в среднем 72,5 %.

Некоторые особенности в формировании весеннего стока обусловлены многолетней мерзлотой и климатическими факторами. Осенью с началом заморозков происходит задержание значительной части жидких осадков на поверхности водосборов рек, тем самым пополняется запас воды, который формирует следом идущее половодье. В то же время высокие уровни половодья объясняются и изменением свойства подстилающей поверхности вследствие промерзания почв. С наступлением заморозков почвенный покров быстро затвердевает, снежный покров образуется уже на мёрзлых породах. Весна, как уже отмечалось, характеризуется быстрым повышением температуры воздуха, происходит интенсивное таяние снега. Талые воды текут по промерзшей земле, как по водоупору, в короткие сроки достигая речной сети и образуя высокое половодье.

В среднем половодье наступает в первой декаде мая, но в отдельные годы может начаться только в июне. Гидрограф достигает своего пика к началу июня. Заканчивается половодье обычно во второй половине июня. Средняя продолжительность 35–45 дней.

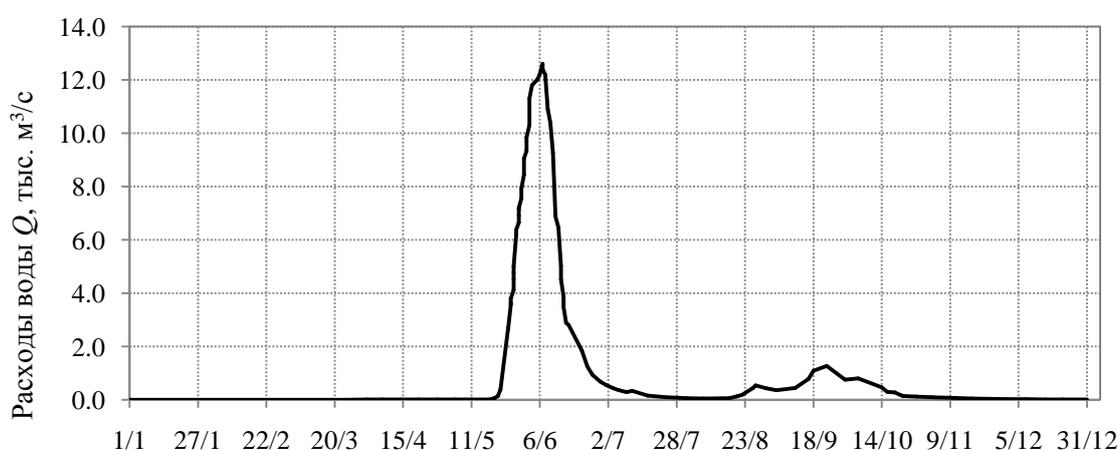


Рисунок 2.3 – Гидрограф за 1959 год

Величина расходов может достигать  $12000 \text{ м}^3/\text{с}$  (как видно на рисунке 2.3 [10]), однако в среднем колеблется около  $3500 \text{ м}^3/\text{с}$ . График хода максимальных среднемесячных расходов представлен на рисунке 2.4.[2]

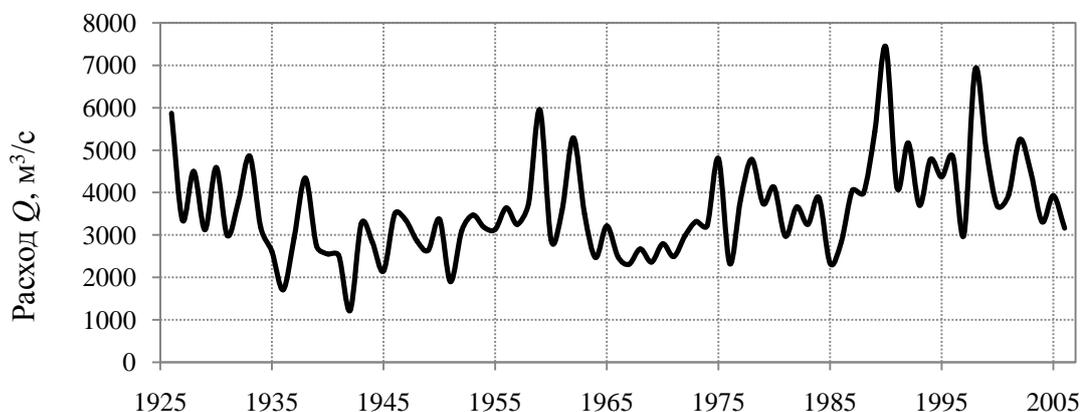


Рисунок 2.4 – Максимальные среднемесячные расходы воды

#### 2.4 Минимальный сток

Межень характеризуется двумя периодами минимального стока: летне-осенним и зимним. Летне-осенняя межень, устанавливающаяся после весеннего половодья и продолжающаяся до появления устойчивых ледяных образований, обычно бывает разобщенной на отдельных кратковременные периоды между паводками. Зимняя межень низкая и продолжительная выделяется в период от появления устойчивых ледяных образований до начала весеннего половодья.

Верховья р. Вилюй располагаются в области распространения преимущественно карбонатных (а следовательно, карстующихся) пород, однако карстовые пустоты вследствие суровых мерзлотных условий здесь заполнены льдом и поэтому активного влияния на формирование стока не оказывают. Взаимодействие подземных вод с поверхностными весьма ограниченное и возможно лишь на участках сквозных таликов, приуроченных к крупным водоемам и тектоническим разломам. Подземные воды из таликов разгружаются в подрусловые аллювиальные отложения, а через них – в реки.

Значительная часть зимнего стока аккумулируется в наледях. Все это приводит к промерзанию некрупных рек, Вилюй выше устья р. Сунтар также в отдельные годы промерзает до дна. Однако в горных районах в местах концентрированного выхода подземных вод, а в предгорьях на участках накопления крупного аллювия сток рек может сохраняться всю зиму.

Озёра и межгорные котловины, заполненные рыхлыми отложениями, часто являются аккумуляторами поверхностного стока и обуславливают накопление значительных запасов подземных вод и их последующую сработку в меженный период. Истощение запасов этих вод зависит от структуры и плотности рыхлых отложений, рельефа подстилающих пород и их трещиноватости, уклона речных долин.

Полное отсутствие стока в период открытого русла на территории бассейна – явление исключительное. Оно может наблюдаться лишь на малых водотоках, протекающих в большей мере в засушливых районах Центральной Якутии и маловодных впадинах. В основном пересыхание связано с характером и мощностью аллювиальных отложений в русле, условиями подземного питания, а в засушливой ее части так же и с искусственным задержанием незначительного меженного стока.

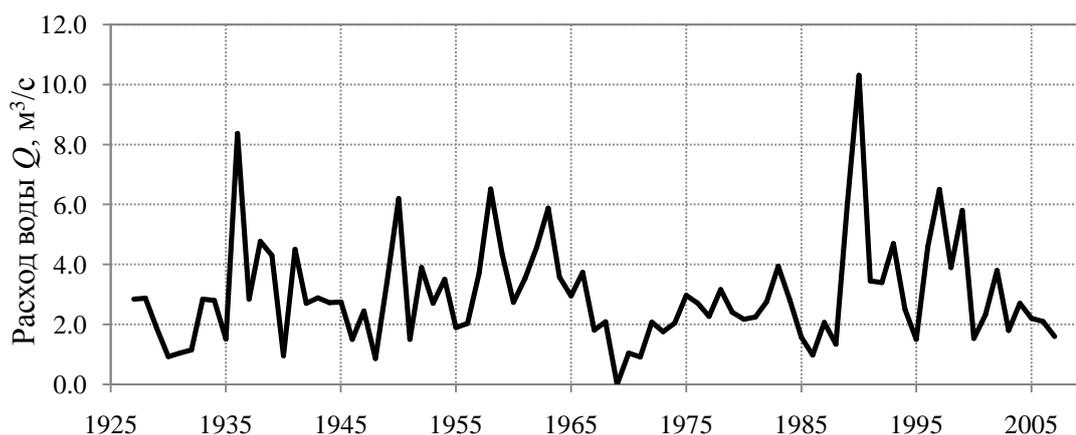


Рисунок 2.5 – Минимальные среднемесячные расходы воды

Зимняя межень начинается в последней декаде ноября, но наименьшие расходы наблюдаются в феврале-марте. Минимальные 30-суточные расходы в

среднем составляют  $3 \text{ м}^3/\text{с}$ , а за всю межень расходы максимально достигают  $50 \text{ м}^3/\text{с}$ , были случаи отсутствия стока. На рисунке 2.5 – минимальные среднемесячные расходы воды, которые представлены именно зимним стоком.

Летняя межень выражена менее ярко, чем зимняя. В основном она приходится на август. Расходы тут более высокие, чем зимой, и составляют  $400\text{-}500 \text{ м}^3/\text{с}$ . [2]

### 3 Расчет сезонных дефицитов стока реки Вилюй в створе Вилюйской ГЭС

#### 3.1 Задачи и методика расчета дефицита стока

Дефицитом стока называется недостаток фактического естественного стока реки в маловодный период по отношению к некоторому пороговому значению стока. Дефицит стока оценивается как разница между величиной объема воды, соответствующему назначенному пороговому расходу воды, и объемом естественного стока реки за маловодный период, когда фактические расходы меньше величины порогового расхода.

В водном хозяйстве пороговое значение расхода воды, которое в результате работы водохозяйственной установки должно обеспечиваться с определенной вероятностью называется гарантированным расходом, а соответствующий этому расходу объем воды за какой-либо период (например, за год) называется гарантированным объемом стока.

Если величина полезного объема водохранилища принята равной дефициту стока определенной обеспеченности  $P$  %, то такое водохранилище позволяет увеличить естественный сток реки в меженный период до величины необходимого гарантированного расхода с вероятностью равной обеспеченности  $P$  %.

Графически величина дефицита стока за меженный период какого-либо года отображается через площадь фигуры, ограниченной кривой линией гидрографа стока и прямой гарантированного расхода на отрезке времени, когда сток реки меньше порогового расхода. На рисунке 3.1 эта фигура обозначена светло-серым цветом с буквой  $D$ .

В данной работе дефициты будут рассчитываться по двум методикам, принятым в практике водохозяйственного проектирования: по детальной методике, которая учитывает изменение границ меженного периода в водохозяйственном году, и по упрощенной (обобщенной) методике,

предложенной Крицким и Менкелем, в которой границы дефицитного меженного периода принимаются постоянными для всех лет.

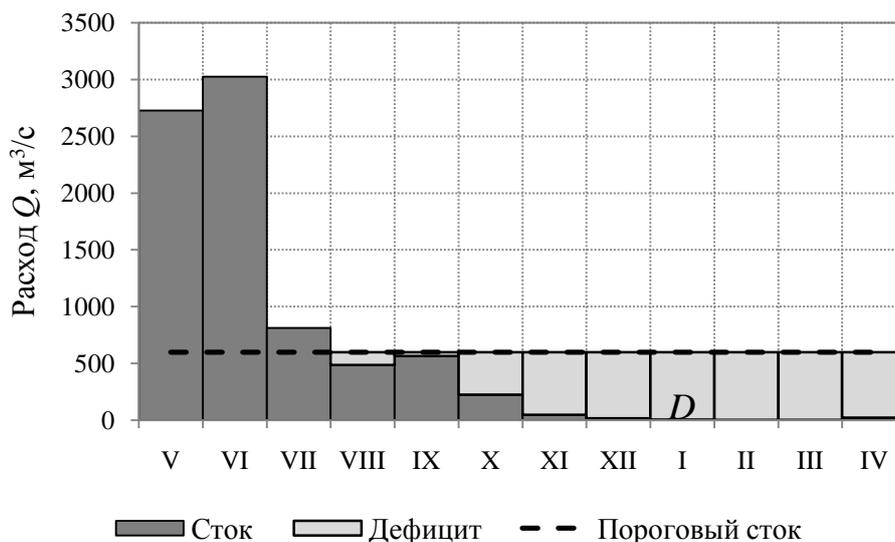


Рисунок 3.1 – Графическое отображение дефицита стока

В задачи дипломного проекта входит оценка возможных погрешностей расчета дефицитного стока по обобщенной методике по сравнению с величинами, рассчитанными основным методом. Оценка производится на примере стока реки Вилюй в створе плотины Вилюйского водохранилища (пос. Чернышевский).

### 3.1.1 Расчет в реальных границах меженного периода

Основной методикой расчета дефицитов стока является детальный расчет дефицита стока каждого водохозяйственного года с учетом фактической продолжительности межени в этом году. Расчет производится по месячным интервалам времени, при этом за меженный период в конкретном водохозяйственном году принимается интервал от первого до последнего месяца со стоком меньше порогового значения. В результате продолжительность меженного периода, за который рассчитывается дефицит может меняться от одного водохозяйственного года к другому.

Для имеющихся среднемесячных расходов за длинный период рассчитываются средний расход за водохозяйственный год, а также внутригодовое распределение по месяцам.

$$Q_{\text{год}} = \frac{\sum_{j=1}^{12} Q_j}{12} \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{год}}$  – средний расход за водохозяйственный год, м<sup>3</sup>/с;

$Q_j$  – средний расход за месяц, м<sup>3</sup>/с.

$$\bar{Q}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{j,i}}{n} \quad (3.2)$$

где  $\bar{Q}_j$  – среднемесячный расход за многолетний период,  $j = 1 \div 12$ , м<sup>3</sup>/с;

$Q_{j,i}$  – средний расход за месяц в  $i$ -том году, м<sup>3</sup>/с;

$n$  – длина многолетнего периода.

Определяется гарантированный расход  $Q_{\text{гар}}$  и в каждом году находятся месяцы, в которые среднемесячный расход был меньше гарантированного. Дефицит стока вычисляется по формуле:

$$D_i = \overline{\max} \sum_{j=1}^n (Q_{\text{гар}} - Q_{j,i}) \cdot \Delta t \quad (3.3)$$

где  $D_i$  – дефицит стока в  $i$ -том году, м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{гар}}$  – гарантированный расход отдачи, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{j,i}$  – среднемесячный расход для каждого месяца межени, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta t$  – продолжительность месяца в секундах.

Символ  $\overline{\max}$  обозначает, что дефицит суммируется «ходом назад». Это важно в случае, если межень прерывается и  $Q_{\text{гар}} < Q_{j,i}$ . Рассмотрим такой случай на примере: есть 2 года с прерывающейся в сентябре меженью, дефициты стока в расходах представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Дефицит стока в расходах, м<sup>3</sup>/с

Год	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
1	-2015	-1875	-21	317	<u>-465</u>	215	488	565	583	585	587	587
2	-2075	-1995	-455	343	<u>-107</u>	456	572	589	594	595	595	595

При расчете дефицита для первого года за период с октября по апрель получаем следующее значение:

$$D_1 = \sum_{j=10}^4 (Q_{\text{гarp}} - Q_{j,1}) = 3609 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.4)$$

За период с сентября по апрель дефицит равен:

$$D_1 = \sum_{j=9}^4 (Q_{\text{гarp}} - Q_{j,1}) \cdot \Delta t = 3144 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.5)$$

За период с августа по апрель:

$$D_1 = \sum_{j=8}^4 (Q_{\text{гarp}} - Q_{j,1}) \cdot \Delta t = 3462 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.6)$$

Как видно из уравнений (5) – (7), дефицит стока в первом случае наибольший, поэтому именно это значение принимается за расчетный дефицит.

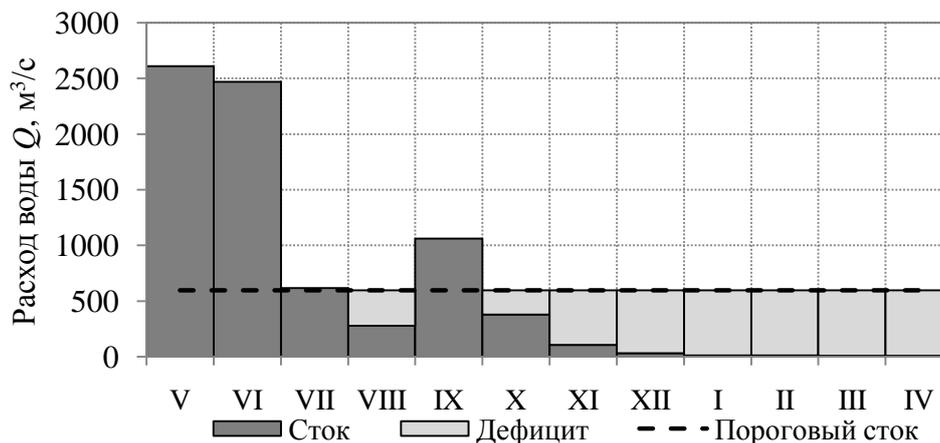


Рисунок 3.2 – Распределение стока для первого года

Рассчитаем аналогично дефициты для второго года. Получим для периода с октября по апрель  $D_2 = 3997 \text{ м}^3/\text{с}$ , с сентября по апрель  $D_2 = 3891 \text{ м}^3/\text{с}$ , с августа по апрель  $D_2 = 4234 \text{ м}^3/\text{с}$ . В этом случае наибольший дефицит соответствует периоду с августа по апрель, он же принимается за расчетный.

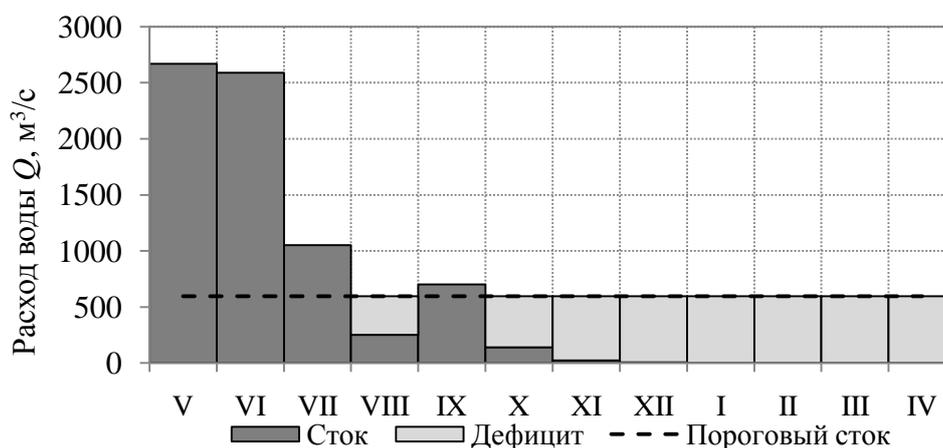


Рисунок 3.3 – Распределение стока для второго года

На рисунках 3.2 и 3.3 наглядно показано соотношение недостатка стока в августе и избытка в сентябре, в простых случаях достаточно зрительно оценить их разницу, не просчитывая дефицит для каждого возможного диапазона.

Таким образом формируется длинный ряд дефицитов стока. Так как мы имеем дело не с реальными расходами, а недостатком стока, то кривая обеспеченности выглядит иначе. Чем меньше фактический расход (при одинаковом гарантированном стоке), тем больше дефицит. При этом у малого расхода будет высокая обеспеченность, а у большого дефицита – низкая. Поэтому ряд дефицитов ранжируется по увеличению и аппроксимируется сглаживающей кривой, либо аналитической (задается уравнение кривой).

### 3.1.2 Расчет в постоянных границах межлетнего периода

Упрощенная методика расчета дефицитов стока в каждом водохозяйственном году предполагает закрепление на все годы границ начала и конца межлетнего периода, за который рассчитывается дефицит. Расчет по этой методике также называют расчетом дефицитов стока в постоянных или жестких границах межени. Данный способ предложен С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем и в некоторой литературе называется обобщенным методом.

Для расчёта дефицитов стока в жестких границах так же, как и для гибких границ, рассчитываются значения средних расходов за водохозяйственный год

по формуле (3.1), а также среднемноголетние значения за год и за каждый месяц водохозяйственного года.

За лимитирующее значение для меженного стока берется среднемноголетний годовой расход воды. Полученное значение сравнивается со среднемноголетними месячными расходами. Меженный интервал выделяется по условию  $\bar{Q}_j < \bar{Q}_{\text{год}}$ , то есть за меженный период принимаются месяцы, когда среднемноголетний месячный расход меньше среднемноголетнего годового. Границы установленного меженного интервала закрепляются и являются постоянными для всех водохозяйственных лет.

Далее рассчитываются средние расходы воды за межень  $Q_{\text{меж}}$  для каждого водохозяйственного года. Формируется ряд среднемеженных расходов воды, вычисляются его статистические характеристики ( $C_V, C_S/C_V$ ), подбирается аналитическая кривая обеспеченности и делается расчет среднемеженных расходов воды необходимой обеспеченности  $Q_{\text{меж}, P\%}$ . В случае плохого соответствия эмпирической и аналитической кривых, среднемеженные расходы необходимой расчетной обеспеченности определяются по сглаженной кривой в диапазоне обеспеченностей от 75 до 99 %.

Дефициты стока (в объемах) за межень необходимой расчетной обеспеченности определяются по формуле [11]:

$$D_{P\%} = (Q_{\text{гар}} - Q_{\text{меж}, P\%}) \cdot n_{\text{меж}} \cdot \Delta t = W_{\text{гар}} - W_{\text{меж}, P\%} \quad (3.7)$$

- где  $D$  – дефицит стока за межень, м<sup>3</sup>;  
 $Q_{\text{гар}}$  – гарантированный расход отдачи, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{\text{меж}, P\%}$  – среднемеженный расход обеспеченностью  $P$  %, м<sup>3</sup>/с;  
 $n_{\text{меж}}$  – число меженных месяцев;  
 $\Delta t$  – средняя продолжительность месяца в секундах ( $2,63 \cdot 10^6$  с);  
 $W_{\text{гар}}$  – объем гарантированного стока за межень, м<sup>3</sup>;  
 $W_{\text{меж}, P\%}$  – объем меженного стока обеспеченностью  $P$  %, м<sup>3</sup>.

### 3.2 Характеристика исходных данных

Исходными данными для определения дефицитов стока являются данные о естественных среднемесячных расходах воды в расчетном створе, полная таблица представлена в приложении Б. Данные представлены не в виде календарной разрезки, а в виде водохозяйственной (май – апрель).

В створе р. Вилюй – пос. Чернышевский, данные по стоку в котором использованы в представляемой работе, имеется продолжительный ряд среднемесячных расходов воды с 1926 по 2007 год. Однако наблюдения на посту начались только в 1959 году, а с 1967 года сток изменился под регулирующим влиянием созданного Вилюйского водохранилища. Таким образом, в использованном ряду период с 1959 по 1967 годы представлен фактическими данными о стоке. С 1926 года по 1959 данные о стоке восстанавливались по створу Сунтар, который находится ниже по течению. А после строительства плотины с 1967 по 2007 год естественные расходы восстанавливались по воднобалансовому уравнению по данным об отдаче и наполнении водохранилища.

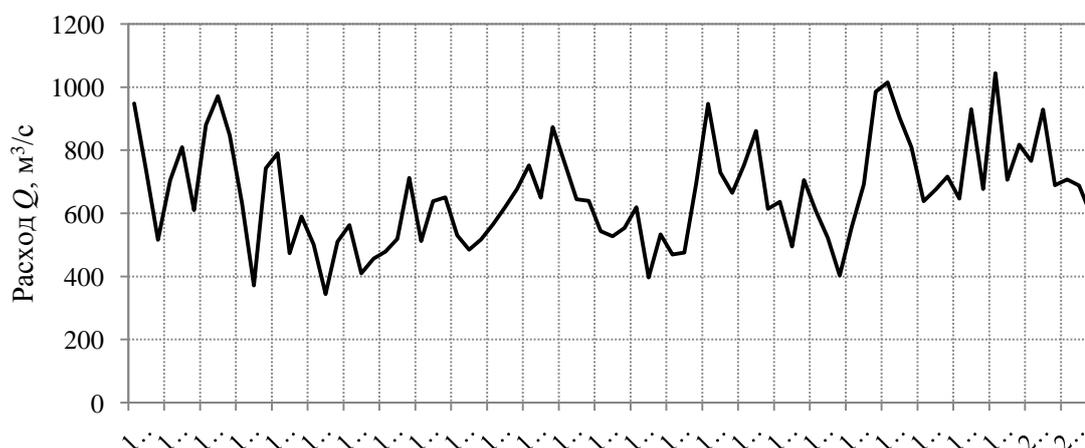


Рисунок 3.4 – Среднегодовые расходы

Хронологический график изменения среднегодовых расходов за весь период с 1926 по 2007 год показан на рисунке 3.4.

На предварительном этапе исследования была проведена проверка ряда среднегодовых расходов на однородность по среднему и по дисперсиям с использованием параметрических критериев Фишера и Стьюдента [12]. При проверке ряд делился на две равные части и рассчитывались для них среднее значение, среднеквадратическое отклонение и дисперсию (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Параметры, необходимые для проверки на однородность по критериям Стьюдента и Фишера

Выборка	Длина выборки	Среднее значение	СКО	Дисперсия
I часть ряда	41	627	153	23271
II часть ряда	40	697	163	26623
Весь ряд	81	661	161	25847

а) критерий Стьюдента (по среднему значению):

$$\text{Нулевая гипотеза} \quad \bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$$

$$\text{Критерий} \quad t^* < t$$

Эмпирическое значение статистики рассчитывается по формуле

$$t^* = \left[ (\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} = -0,098 \quad (3.8)$$

Теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha = 10\%$  определяется по приложению 5 учебника [13]:  $t = 1,66$ . Следовательно, гипотеза об однородности гидрологического ряда по среднему значению не опровергается.

б) критерий Фишера (по дисперсии):

$$\text{Нулевая гипотеза} \quad D_1 = D_2$$

$$\text{Критерий} \quad F^* < F$$

Эмпирическое значение критерия Фишера:

$$F^* = \frac{D_2}{D_1} = 1,14 \quad (3.9)$$

Теоретическое значение статистики Фишера при уровне значимости  $2\alpha = 10\%$  определяется по приложению 5 учебника [13]:  $F = 1,70$ . Следовательно, гипотеза об однородности гидрологического ряда по дисперсии не опровергается.

Проверка однородности гидрологического ряда с использованием непараметрических критериев Диксона и Смирнова – Граббса. Эта проверка позволяет оценить принадлежность максимальных и минимальных значений к однородному ряду.

Для расчета критериев необходимо ранжировать ряд по возрастанию, так что  $Q_1$  – минимальный расход, а  $Q_n$  – максимальный (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Параметры, необходимые для проверки ряда на однородность по критериям Диксона

$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{n-1}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_n, \text{м}^3/\text{с}$	$\bar{Q}, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma$
345	372	1014	1044	661	161

Коэффициент автокорреляции  $r(1) = 0,49$ .

Коэффициент асимметрии  $C_S = 0,5$ .

в) критерий Диксона:

Нулевая гипотеза  $Q_{\max}, Q_{\min} \in Q$

Критерий  $D^* < D$

Статистики критерия Диксона для максимального и минимального членов выборки имеют вид:

$$D_{\max}^* = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_n - Q_1} = 0,042 \quad (3.10)$$

$$D_{\min}^* = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 - Q_n} = 0,039 \quad (3.11)$$

Теоретическое значение статистики Диксона определяется по приложению 10 учебника [13] для уровня значимости  $2\alpha = 10\%$  и коэффициента автокорреляции, коэффициента асимметрии и длины выборки, соответствующих ряду:  $D_{\max} = 0,25$ ,  $D_{\min} = 0,11$ . Гипотеза об однородности ряда по критерию Диксона не опровергается.

Таким образом, по результатам проверки (таблица 3.4) ряд является однородным по всем трем критериям. Это свидетельствует о надежности восстановленных данных о стоке и о возможности их дальнейшего использования в расчетах.

Таблица 3.4 – Результаты проверки ряда на однородность

Критерий	Значение		Гипотеза об однородности
	эмпирическое	теоретическое при $\alpha = 5\%$	
Стьюдента	-0.098	1,660	не опровергается
Фишера	1,14	1,70	не опровергается
Диксона для $Q_{\max}$	0,042	0,25	не опровергается
Диксона для $Q_{\min}$	0,039	0,11	не опровергается

### 3.3 Расчет значений дефицита в фактических границах дефицитного периода

Для получения дефицитов стока расчетной обеспеченности по основной методике были оставлены ряды дефицитов стока для различных пороговых значений стока и построены эмпирические кривые обеспеченности по каждому из полученных рядов.

Дефициты рассчитывались по методике, описанной в п. 3.1.1, для девяти значений порогового (гарантированного) расхода ( $Q_{\text{гар}}$ ), задаваемых в долях от среднеемноголетнего годового расхода воды ( $\bar{Q}_{\text{год}}$ ):

$$Q_{\text{гар}} = \alpha \cdot \bar{Q}_{\text{год}}, \quad (3.8)$$

где  $\alpha = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ .

В практике водохозяйственных расчетов  $\alpha$  называют коэффициентом регулирования стока, представляющим из себя отношение гарантированного расхода к среднеемноголетнему годовому.

Всего было получено 9 рядов, их значения представлены в таблице В.1. Дефициты стока, рассчитанные по формуле (3.3), для каждого ряда ранжировались по возрастанию. Обеспеченность вычислялась по общепринятой формуле, рекомендованной СП 33-101-2003:

$$P = \frac{m}{N+1} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

где  $m$  – порядковый номер величины в ранжированном ряду;

$N$  – длина ряда.

Ранжированные ряды представлены в таблице В.2.

По полученным координатам строились эмпирические кривые, ниже на рисунке 3.5 представлены кривые для относительной величины гарантированного расхода ( $\alpha$ ) равной 0,3 и 0,8. Распределения для остальных значений  $\alpha$  представлены на рисунке В.1.

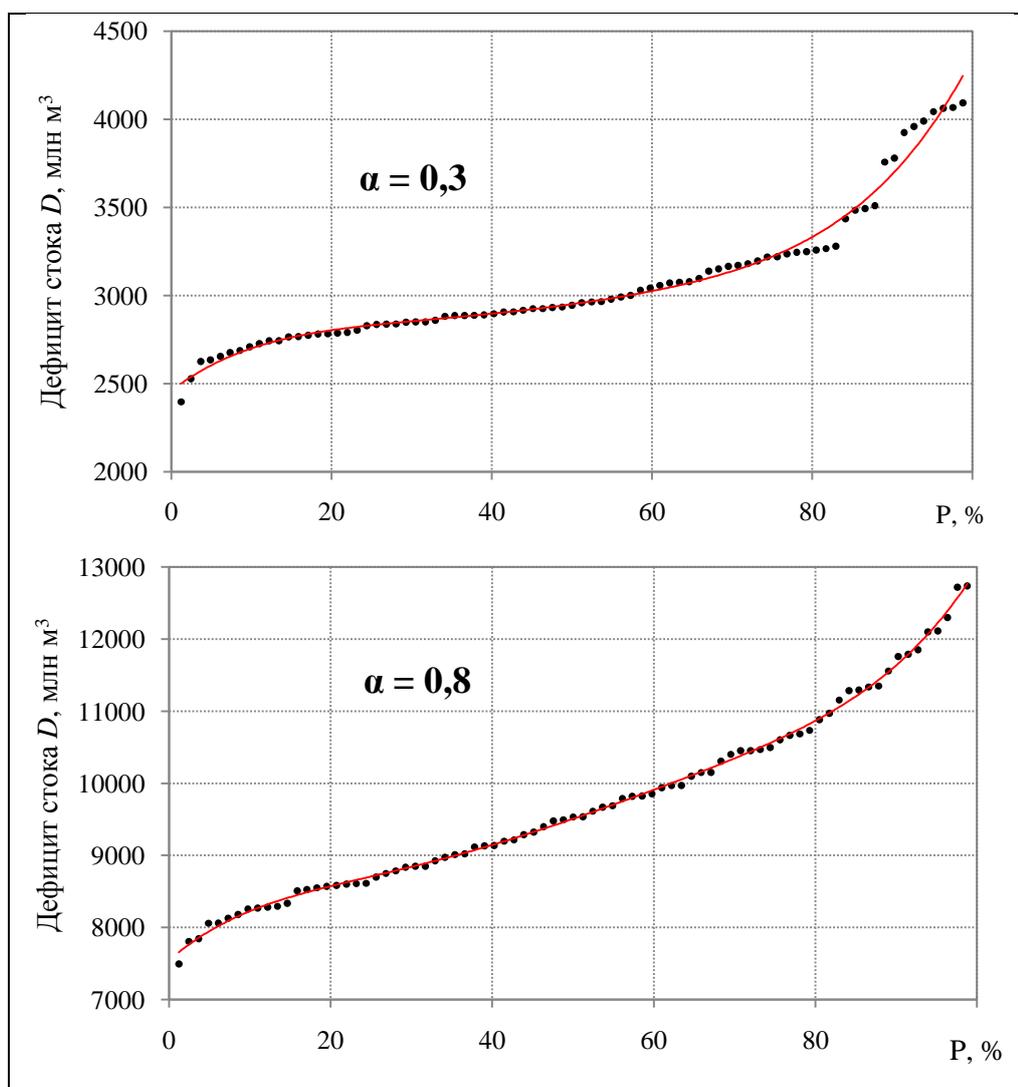


Рисунок 3.5 – Эмпирическая и сглаживающая кривые для  $\alpha$  равной 0,3 и 0,8

Для получения расчетных обеспеченных значений дефицитов производилось сглаживание эмпирических кривых в принятом расчетном диапазоне от 75 до 99 %. Эмпирические кривые аппроксимировались полиномами второй степени с использованием математического аппарата электронных таблиц MS Excel. Ниже представлено вычисление дефицитов стока расчетных обеспеченностей для различных значений гарантированного расхода. Рисунки 3.6–3.14 – эмпирические и сглаживающие кривые, формулы (3.10)–(3.18) – уравнения сглаживающих кривых, таблицы 3.5–3.13 – расчетные значения обеспеченных дефицитов стока.

а) при  $Q_{\text{гар}} = 0,1 \cdot Q_{\text{год}}$

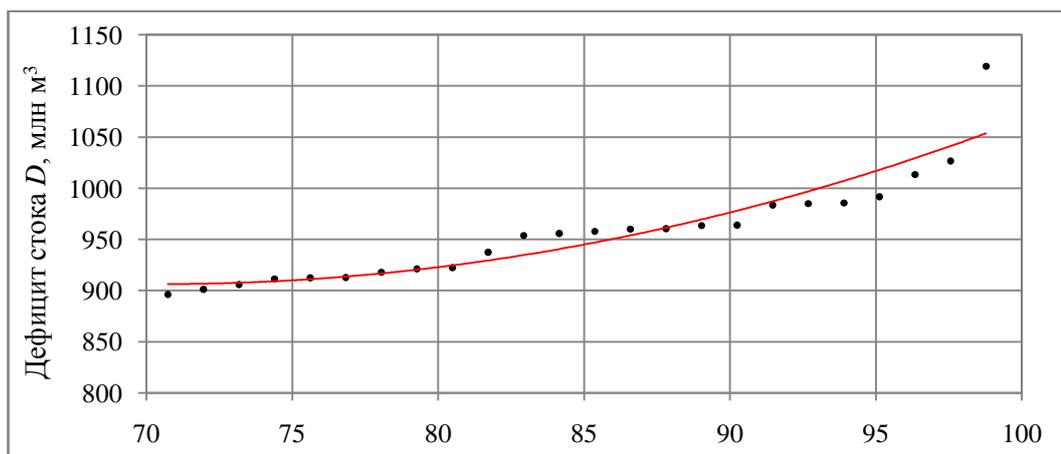


Рисунок 3.6 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,1$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 0,18 \cdot P^2 - 26,08 \cdot P + 1826 \quad (3.10)$$

Таблица 3.5 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	910	923	976	1017	1036	1056

б) при  $Q_{\text{гар}} = 0,2 \cdot Q_{\text{год}}$

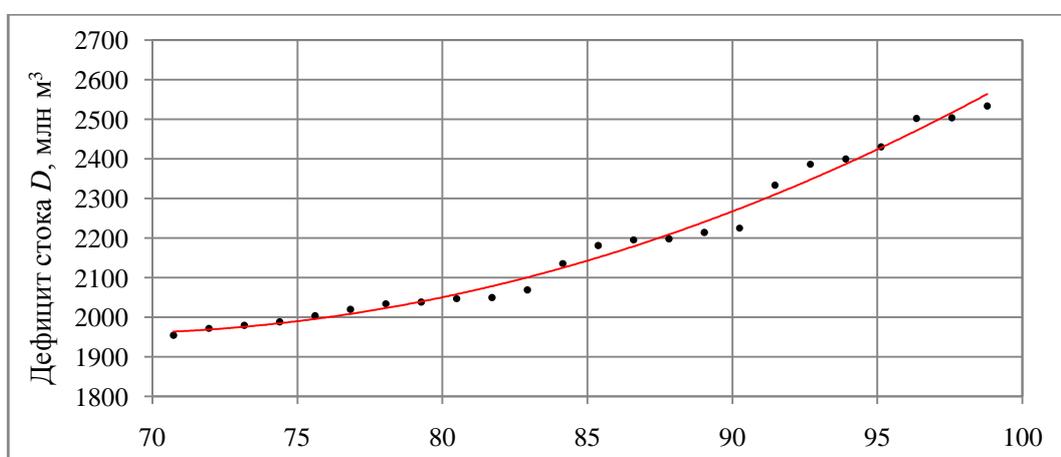


Рисунок 3.7 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,2$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 0,64 \cdot P^2 - 87,28 \cdot P + 4930 \quad (3.11)$$

Таблица 3.6 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока D <sub>P%</sub> , млн м <sup>3</sup>	1990	2050	2267	2424	2495	2572

в) при  $Q_{\text{гар}} = 0,3 \cdot Q_{\text{год}}$

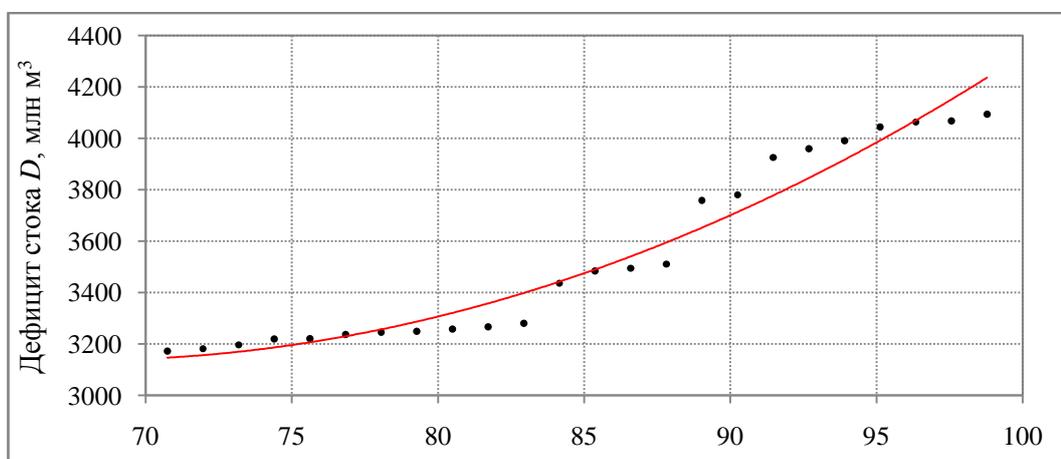


Рисунок 3.8 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,3$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,15 \cdot P^2 - 155,8 \cdot P + 8425 \quad (3.12)$$

Таблица 3.7 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока D <sub>P%</sub> , млн м <sup>3</sup>	3196	3307	3701	3984	4113	4252

г) при  $Q_{\text{гар}} = 0,4 \cdot Q_{\text{год}}$

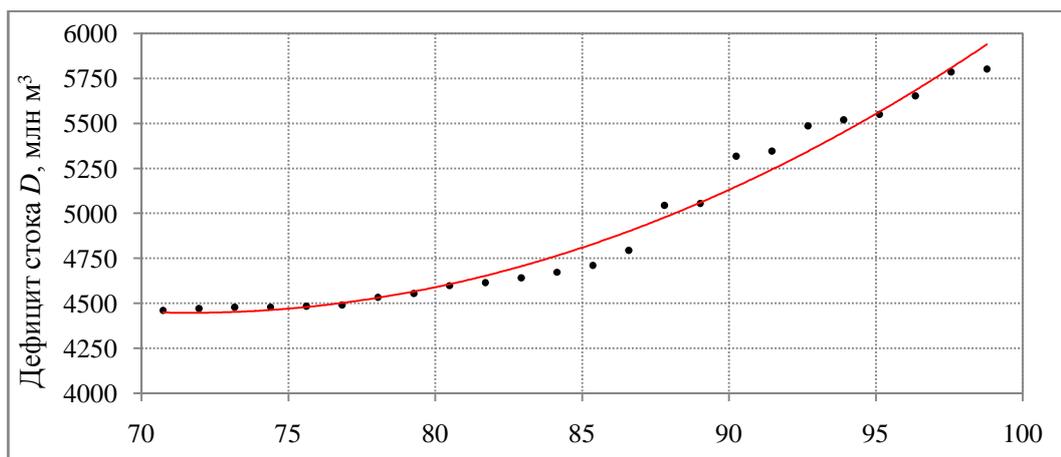


Рисунок 3.9 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,4$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 2,02P^2 - 289,7 \cdot P + 14819 \quad (3.13)$$

Таблица 3.8 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	4470	4589	5130	5552	5749	5963

д) при  $Q_{\text{гар}} = 0,5 \cdot Q_{\text{год}}$

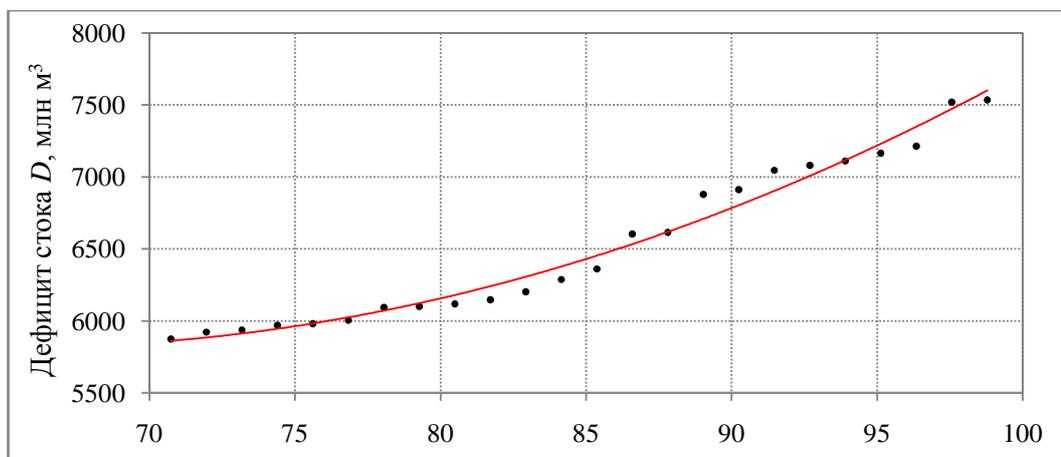


Рисунок 3.10 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,5$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,61 \cdot P^2 - 210,8 \cdot P + 12717 \quad (3.14)$$

Таблица 3.9 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	5962	6155	6783	7218	7414	7624

е) при  $Q_{\text{гар}} = 0,6 \cdot Q_{\text{год}}$

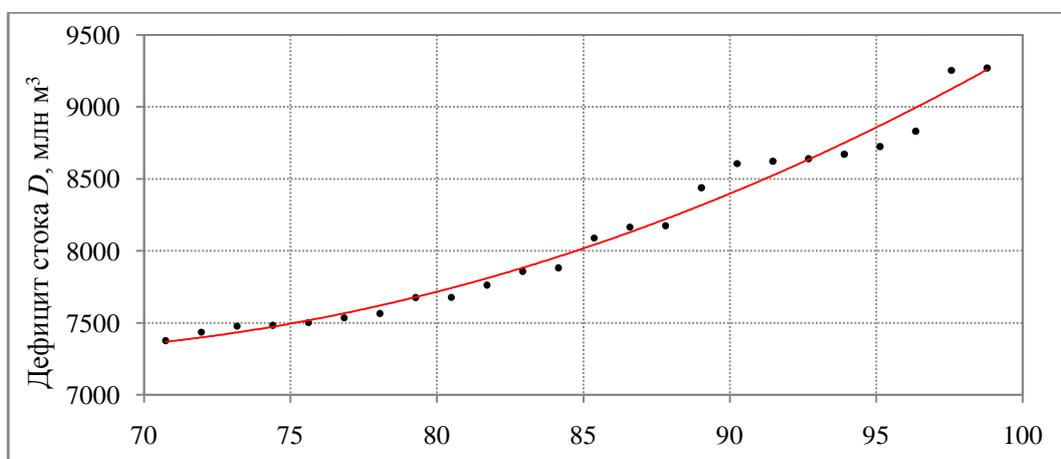


Рисунок 3.11 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,6$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,59 \cdot P^2 - 202,2 \cdot P + 13713 \quad (3.15)$$

Таблица 3.10 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	7494	7716	8397	8857	9063	9282
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	7494	7716	8397	8857	9063	9282

ж) при  $Q_{\text{гар}} = 0,7 \cdot Q_{\text{год}}$

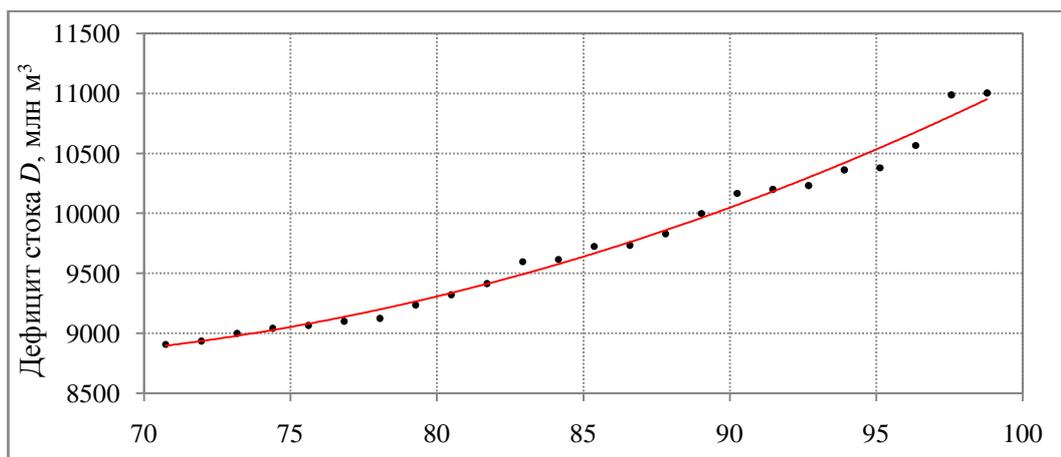


Рисунок 3.12 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,7$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,54 \cdot P^2 - 187,8 \cdot P + 14478 \quad (3.16)$$

Таблица 3.11 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	9054	9308	10048	10534	10749	10977

з) при  $Q_{\text{гар}} = 0,8 \cdot Q_{\text{год}}$

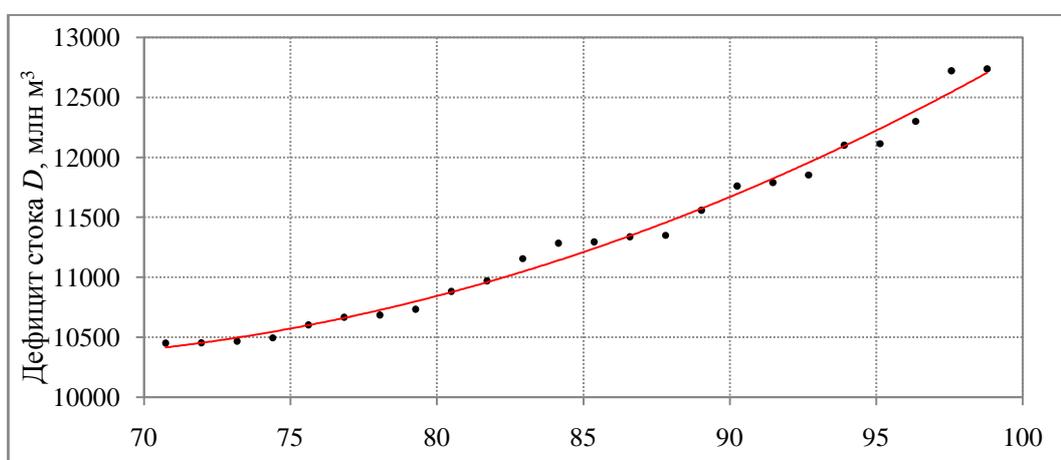


Рисунок 3.13 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,8$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,88 \cdot P^2 - 237,1 \cdot P + 17780 \quad (3.17)$$

Таблица 3.12 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	10573	10845	11670	12224	12472	12734

и) при  $Q_{\text{гар}} = 0,9 \cdot Q_{\text{год}}$

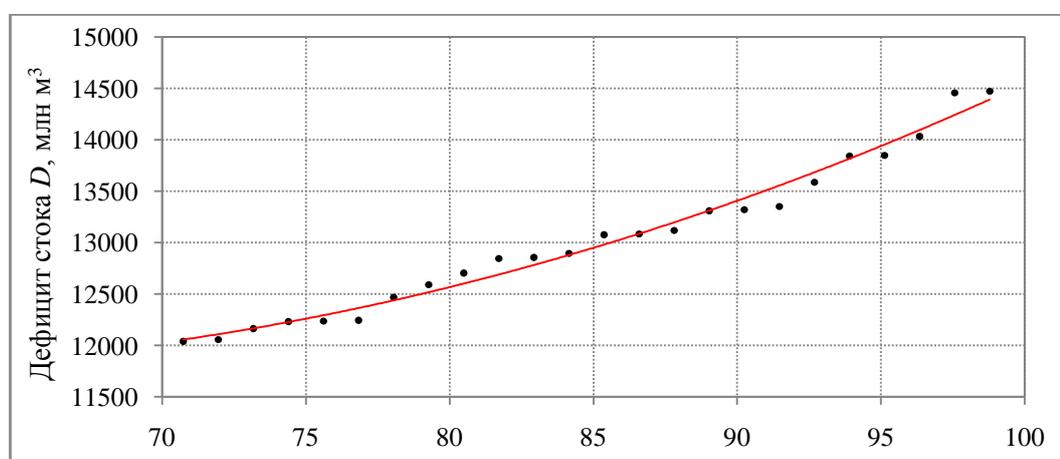


Рисунок 3.14 – Эмпирическая и сглаживающая кривые при  $\alpha = 0,9$

Уравнение сглаживающей полиномиальной кривой:

$$D = 1,50 \cdot P^2 - 171,0 \cdot P + 16644 \quad (3.18)$$

Таблица 3.13 – Расчетные значения дефицита стока

Расчетная обеспеченность P, %	75	80	90	95	97	99
Дефицит стока $D_{P\%}$ , млн м <sup>3</sup>	12259	12566	13406	13939	14173	14419

По результатам расчетов формируется массив данных о сезонных дефицитах стока для расчетных обеспеченностей межennых расходов и различных требованиях к отдаче (таблица 3.14)

Таблица 3.14 – Сводная таблица дефицитов стока, рассчитанных детальным методом, млн м<sup>3</sup>

$\alpha$	P, %					
	75	80	90	95	97	99
0,1	910	923	976	1017	1036	1056
0,2	1990	2050	2267	2424	2495	2572
0,3	3196	3307	3701	3984	4113	4252
0,4	4470	4589	5130	5552	5749	5963
0,5	5962	6155	6783	7218	7414	7624
0,6	7494	7716	8397	8857	9063	9282
0,7	9054	9308	10048	10534	10749	10977
0,8	10573	10845	11670	12224	12472	12734
0,9	12259	12566	13406	13939	14173	14419

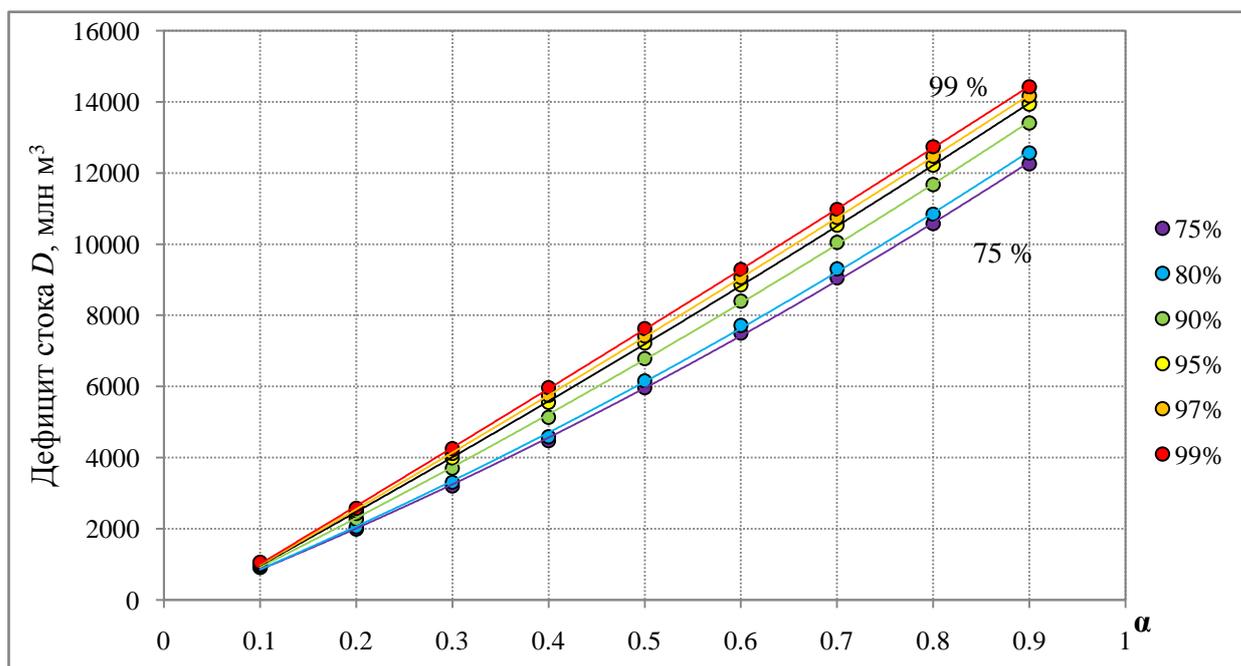


Рисунок 3.14 – Дефициты стока, рассчитанные в фактических границах

Как видно из графиков на рисунке 3.14, зависимость обеспеченности дефицитов стока от относительной величины гарантированного расхода ( $\alpha$ )

имеет нелинейный характер. В большей степени нелинейность проявляется при меньших значениях обеспеченности.

### 3.4 Расчет значений дефицита в жестких границах дефицитного периода

По имеющимся данным рассчитаны средние расходы за каждый водохозяйственный год  $Q_{\text{год}}$ , среднемноголетний расход за водохозяйственные года  $\bar{Q}_{\text{год}}$  (таблица Г.1), распределение среднемесячных расходов за многолетний период  $\bar{Q}_j$  (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Распределение среднемесячных расходов, м<sup>3</sup>/с

V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	$\bar{Q}_{\text{год}}$
2726	3026	812	486	566	224	46,5	16,4	5,95	3,89	3,43	21,8	661

Как видно из распределения, границы меженного периода – август-апрель (VIII – IV). Рассчитываются среднемеженные расходы для каждого года  $Q_{\text{меж}}$  (таблица Г.1), ход среднемеженных расходов представлен на рисунке 3.15.

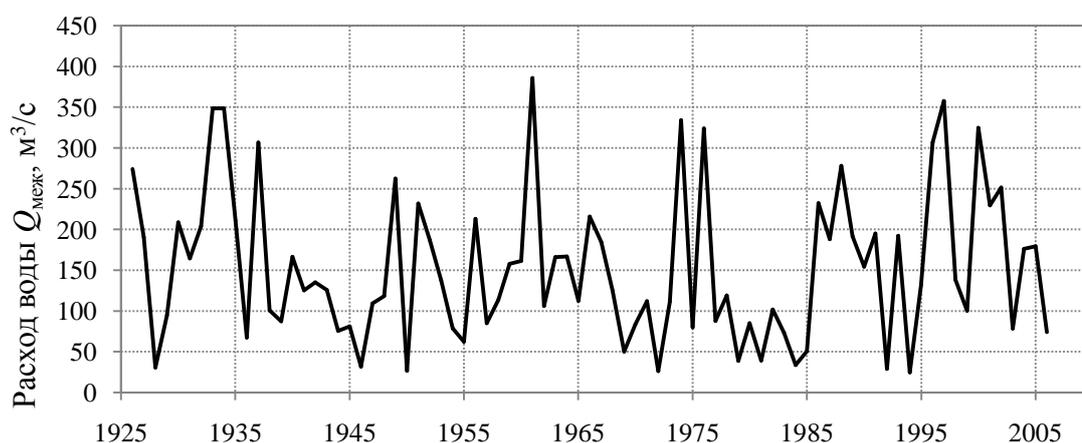


Рисунок 3.15 – Ряд среднемеженных расходов

Коэффициент вариации полученного длинного ряда определен методом наибольшего правдоподобия по СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик», отношение  $C_S/C_V$  выбрано как характерное

для района (таблица 3.16), подобрана аналитическая кривая Крицкого-Менкеля. Кривая построена в программе HydroStatCalc (рисунок 3.16).

Таблица 3.16 – Статистические параметры ряда меженных расходов и их относительные погрешности

$\bar{Q}_{\text{меж}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_V$	$C_S/C_V$	$\varepsilon_{\bar{Q}_{\text{меж}}}, \%$	$\varepsilon_{C_V}, \%$	$\varepsilon_{C_S}, \%$
153	0,61	1,75	6,8	7,4	50,9

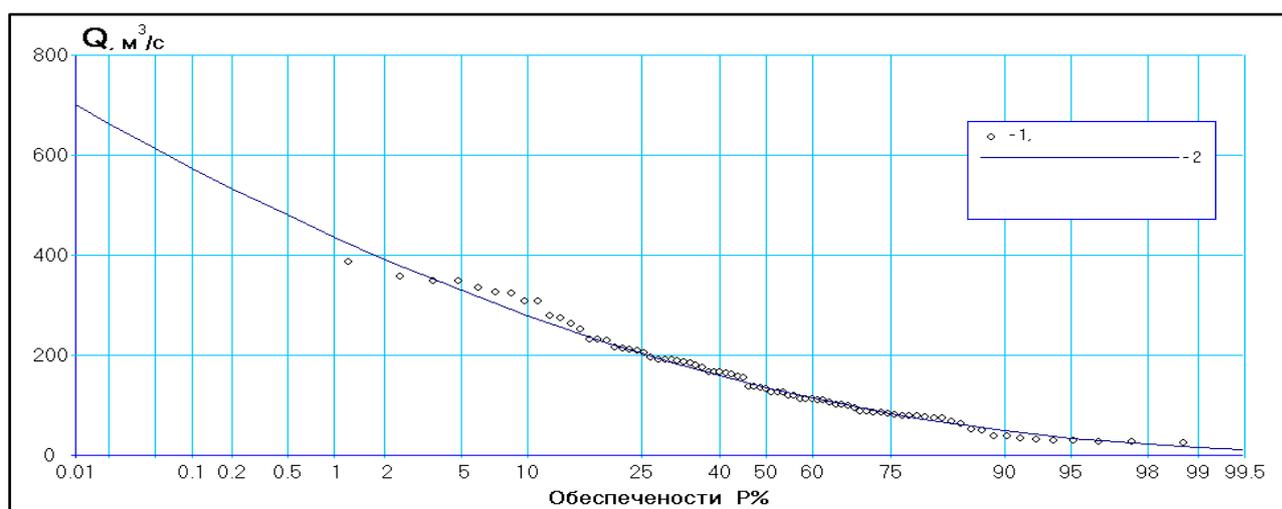


Рисунок 3.16 – Эмпирическая кривая и аналитическая Крицкого–Менкеля для меженных расходов

Для расчета дефицитов стока было выбрано девять значений гарантированного расхода отдачи  $Q_{\text{гар}}$ , аналогичных с основным методом, а также расходы межени  $Q_{\text{меж}, P\%}$  обеспеченностью  $P = 75, 80, 90, 95, 97, 99 \%$ .

Расчет проводился по методике в п. 3.1.2, полученные значения представлены в таблице 3.17. Объемы стока вычислялись следующим образом:

$$W_{\text{гар}} = Q_{\text{гар}} \cdot n_{\text{меж}} \cdot \Delta t = \alpha \cdot \bar{Q}_{\text{год}} \cdot n_{\text{меж}} \cdot \Delta t \quad (3.19)$$

$$W_{\text{меж}, P\%} = k_{P\%} \cdot \bar{Q}_{\text{меж}} \cdot n_{\text{меж}} \cdot \Delta t \quad (3.20)$$

где  $\bar{Q}_{\text{год}}$  – норма годового стока,  $661 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$n_{\text{меж}}$  – продолжительность межени в месяцах;

$\Delta t$  – продолжительность месяца в секундах,  $2,63 \cdot 10^6 \text{ с}$ ;

$\bar{Q}_{\text{меж}}$  – норма меженного стока, 153 м<sup>3</sup>/с;  
 $k_{P\%}$  – ординаты кривой обеспеченности Крицкого–Менкеля в модульных коэффициентах.

Таблица 3.17 – Дефициты стока при различных обеспеченных расходах меженного стока и различных требованиях к гарантированной отдаче, млн м<sup>3</sup>

		$W_{\text{меж}}$ , при $P =$					
		75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	99 %
$\alpha$	$W_{\text{гар}}$	1954	1713	1160	807	621	377
0,1	1559	-395	-154	399	752	938	1182
0,2	3118	1164	1405	1958	2311	2497	2741
0,3	4677	2723	2964	3517	3870	4056	4301
0,4	6236	4283	4523	5076	5429	5616	5860
0,5	7796	5842	6082	6635	6988	7175	7419
0,6	9355	7401	7641	8194	8547	8734	8978
0,7	10914	8960	9200	9753	10106	10293	10537
0,8	12473	10519	10759	11313	11666	11852	12096
0,9	14032	12078	12319	12872	13225	13411	13655

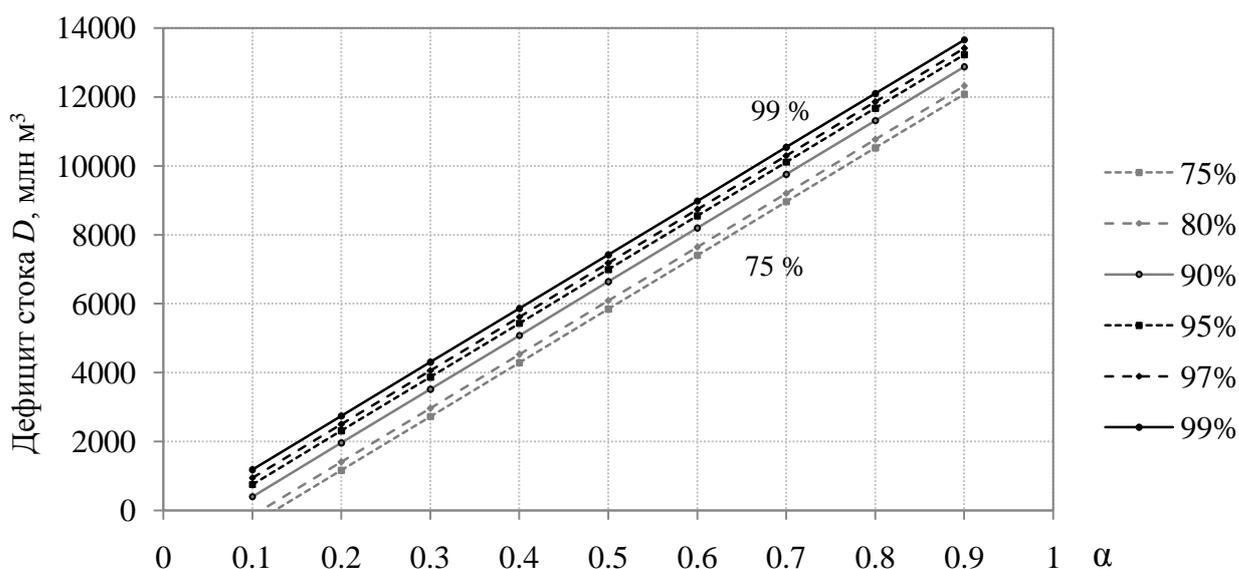


Рисунок 3.17 – Дефициты стока при различных обеспеченных расходах межени

Для наглядности на рисунке 3.17 представлены дефициты стока для различных обеспеченностей меженного стока, зависимости имеют линейный характер. Как видно, при малых расходах гарантированного стока ( $\alpha = 0,1$ ) и при низких обеспеченностях ( $P = 75-80\%$ ) значения дефицитов стока уходят в область отрицательных значений. Поэтому эти значения в дальнейших расчетах обнуляются, так как дефицит отсутствует.

## 4 Анализ результатов оценки сезонных дефицитов стока

### 4.1 Изменение величины сезонных дефицитов стока от расчетных параметров

По данным таблиц 3.14 (фактические дефициты) и 3.16 (рассчитанные по формуле дефициты) составляются совместные графики (рисунок 4.1).

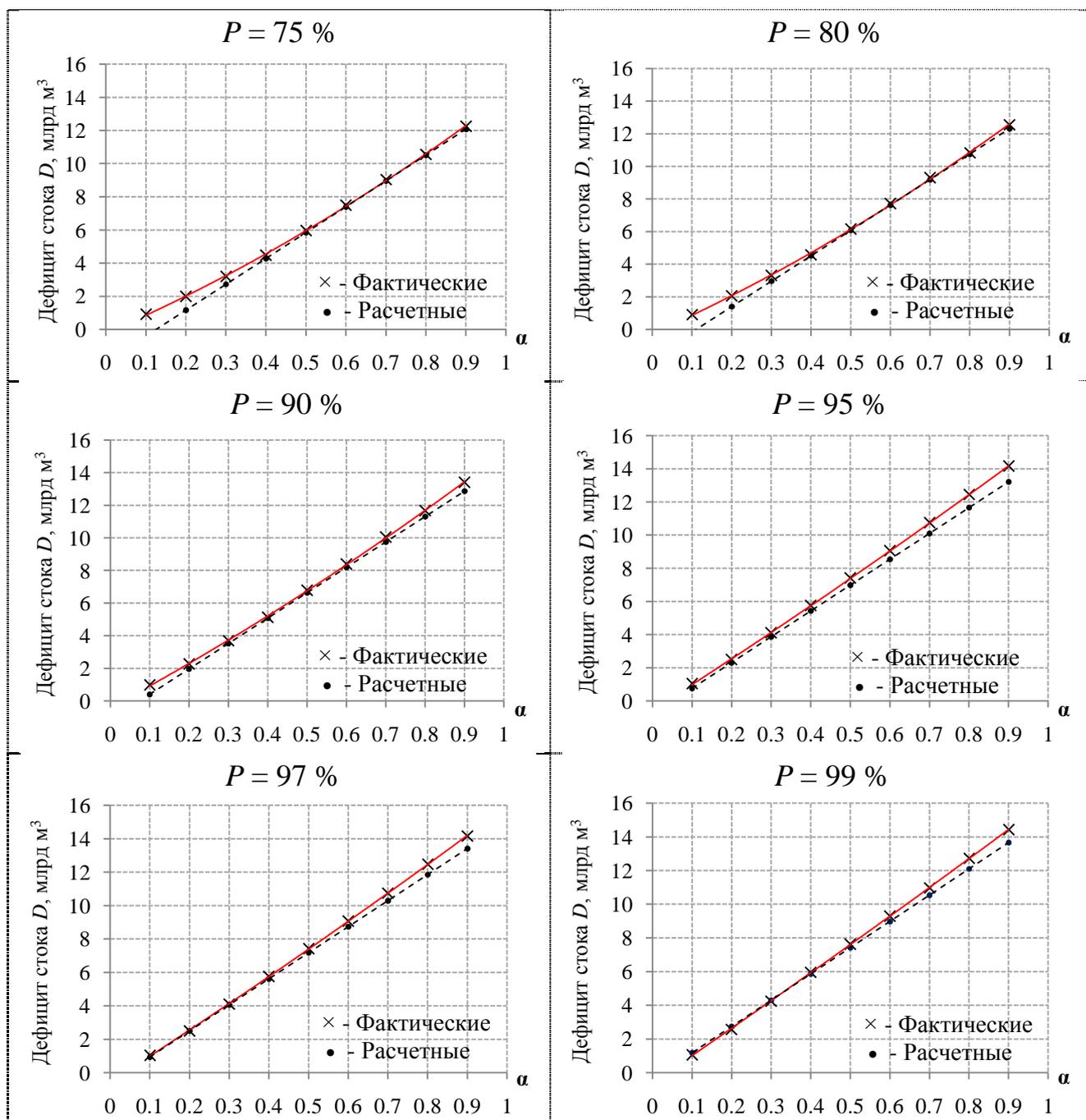


Рисунок 4.1 – Дефициты стока, рассчитанные разными способами

Как видно по графикам, при обеспеченности меньше 90 % наибольшие отклонения наблюдаются при малых величинах гарантированного расхода, а при обеспеченности больше 90 % – при  $\alpha$  больше 0,6. Для дальнейшего анализа составлена таблица абсолютных погрешностей (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Разница в оценках дефицитов стока по основной и обобщенной методикам, млн м<sup>3</sup>

$\alpha$	P, %					
	75	80	90	95	97	99
0,1	-910	-923	-577	-265	-97	126
0,2	-826	-645	-309	-113	2	170
0,3	-473	-343	-184	-114	-57	49
0,4	-187	-66	-54	-123	-134	-103
0,5	-121	-73	-148	-230	-240	-205
0,6	-93	-74	-203	-310	-330	-304
0,7	-94	-108	-295	-427	-456	-440
0,8	-54	-85	-357	-558	-620	-638
0,9	-180	-248	-534	-714	-761	-763

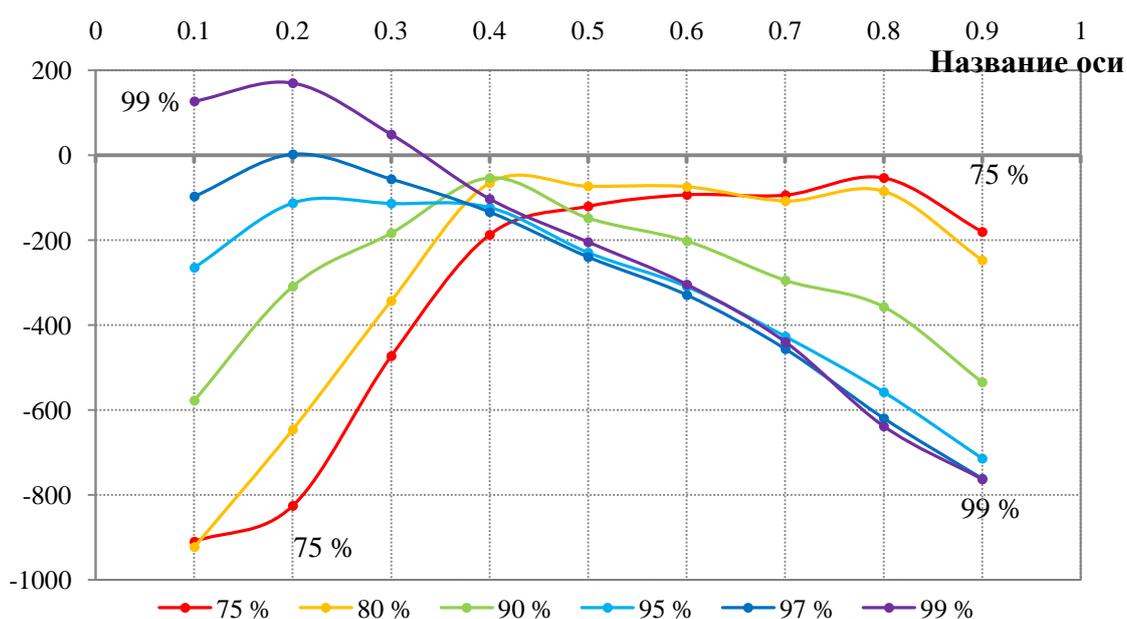


Рисунок 4.2 – Совместный график абсолютных погрешностей

График абсолютных погрешностей (рисунок 4.2), составленный по таблице 4.1, подтверждает вывод сделанный, к рисунку 4.1, а также явно показывает область наименьших погрешностей, не зависящих от расчетных обеспеченностей, на интервале гарантированных расходов, составляющих 0,4 – 0,5 от годового.

#### 4.2 Оценка погрешности расчета сезонного дефицита стока обобщенным методом

Оценка производится в виде расчета относительных ошибок (в процентах) по формуле:

$$\varepsilon_D = \frac{D_\phi - D_p}{D_p} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где  $D_\phi$  – дефицит, вычисленный по формуле, млн м<sup>3</sup>;

$D_p$  – дефицит, вычисленный по ряду фактических значений, млн м<sup>3</sup>.

Таблица 4.2 – Относительные ошибки, %

$\alpha$	P, %					
	75	80	90	95	97	99
0,1	-100	-100	-59	-26	-9	12
0,2	-41	-31	-14	-5	0	7
0,3	-15	-10	-5	-3	-1	1
0,4	-4	-1	-1	-2	-2	-2
0,5	-2	-1	-2	-3	-3	-3
0,6	-1	-1	-2	-4	-4	-3
0,7	-1	-1	-3	-4	-4	-4
0,8	-1	-1	-3	-5	-5	-5
0,9	-1	-2	-4	-5	-5	-5

Значения, вычисленные по формуле (4.1), занесены в таблицу 4.2. Для наглядности по данным таблицы составлен график:

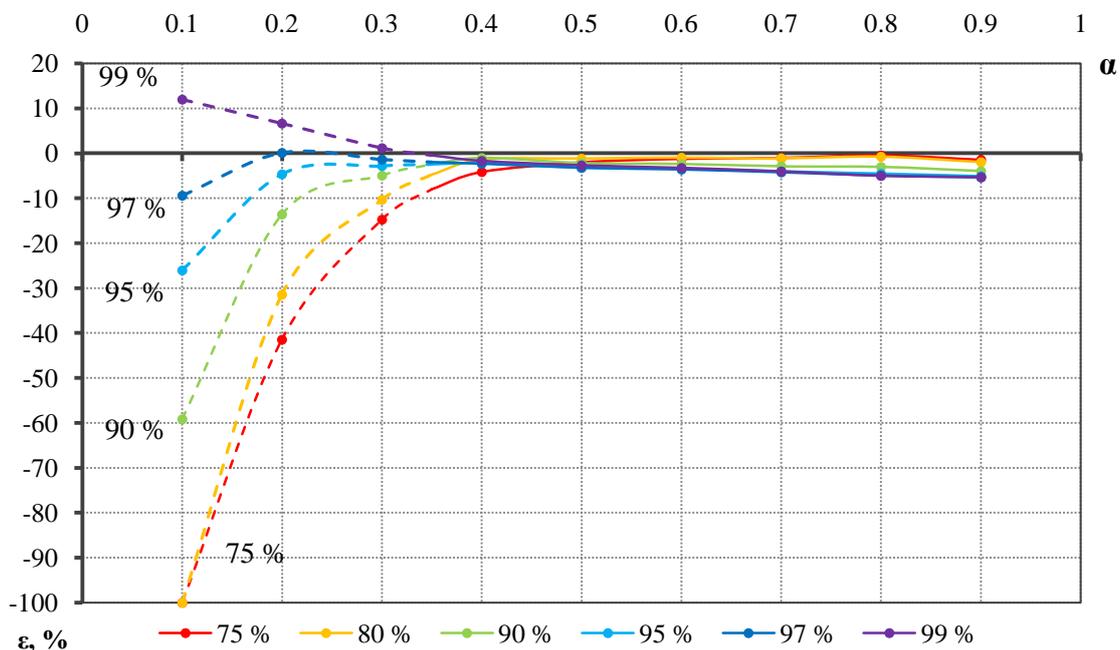


Рисунок 4.3– Совместный график относительных ошибок для различных расчетных обеспеченностей

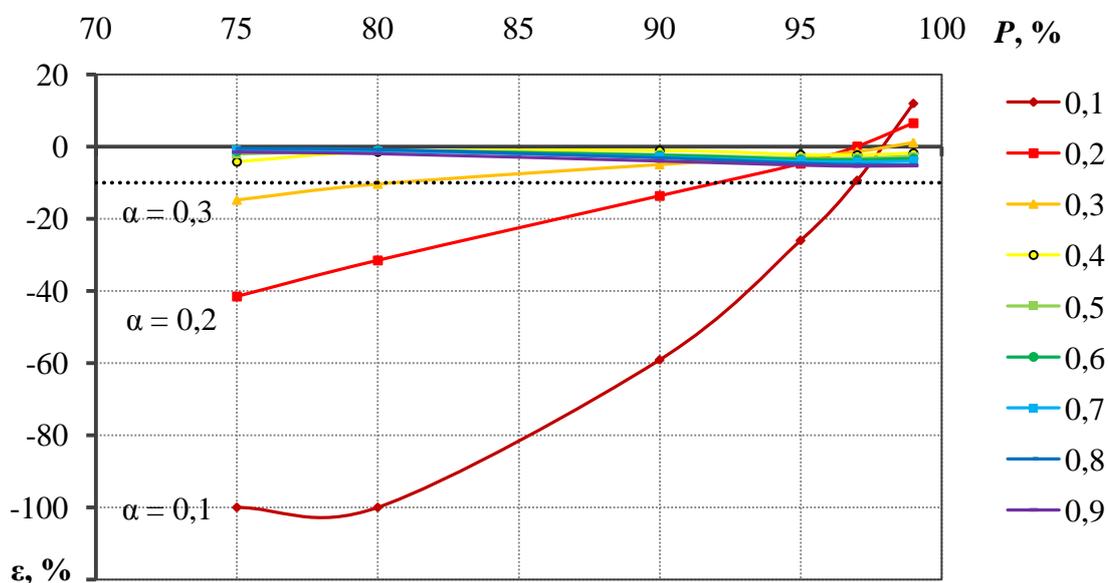


Рисунок 4.4– Совместный график относительных ошибок для различных значений гарантированных расходов

Как видно из графиков на рисунках 4.3 и 4.4, упрощенный метод дает заниженные значения дефицитов стока по сравнению с детальным способом. При значениях  $\alpha > 0,35$  занижение незначительно и находится в пределах 5 %. Значительно бóльшие погрешности упрощенного метода, достигающие до 20 и даже до 100 %, наблюдаются при значениях гарантированного стока меньше 0,35 от среднеегодового годового. Это значит, что обобщенный метод оценки дефицита стока, а следовательно необходимого полезного объема, нельзя использовать при проектировании водохранилищ неглубокого сезонного регулирования (при  $\alpha < 0,35$ ). В целом, наименьшие погрешности обобщенного метода наблюдаются в диапазоне  $0,4 < \alpha < 0,5$ . При значениях  $\alpha > 0,5$  погрешность находится в пределах 5 % для расчетной обеспеченности  $P=99$  % и уменьшается с понижением обеспеченности.

Следовательно, расчет сезонных дефицитов стока по обобщенной методике для данного характера внутригодового распределения возможен только при высокой степени зарегулированности ( $\alpha > 0,35$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования сделан анализ особенностей внутригодового распределения стока реки Вилюй в створе плотины Вилюйского водохранилища (поселок Чернышевский). Главная особенность состоит в выраженном весеннем половодье, продолжающемся 2 – 3 месяца (с мая по июль) и устойчивой межени, которая наиболее ярко выражена в зимний период с ноября по апрель. Сток весеннего половодья составляет 75 – 80 % от годового, сток меженного периода в целом составляет 5 – 15 %, а сток только зимней межени – всего 1 – 1,5 %.

Задача работы состояла в сравнении методов оценки сезонных дефицитов стока, применяемых для определения полезного объема водохранилищ. Расчеты производились на примере реки Вилюй в створе пос. Чернышевский. По данным о среднемесячных естественных расходах воды за многолетний период с 1926 по 2007 гг. продолжительностью 81 год.

Обеспеченные значения дефицитов стока были рассчитаны двумя способами: детальным и упрощенным.

Детальный способ рассматривался как основной и более точный, относительно которого оценивалась погрешность упрощенного метода. Однако его отличает гораздо большая трудоемкость.

Упрощенный способ, который называется обобщенным, не учитывает реальную длину маловодного периода, а устанавливает постоянные жесткие границы для всех лет. Этот метод не требует анализа большого количества данных, что сокращает время расчета, но сделанные допущения приводят к погрешностям вычислений.

Вычисления производились для девяти различных значений гарантированного расхода в диапазоне от  $0,1 \cdot \bar{Q}_{\text{год}}$  до  $0,9 \cdot \bar{Q}_{\text{год}}$  и шести значений расчетной обеспеченности ( $P = 75; 80; 90; 95; 97; 99 \%$ ).

В результате проведенных вычислений установлено:

- 1) обобщенный метод в целом занижает расчетные объемы дефицитов стока;
- 2) погрешности зависят от величины гарантированного расхода и значения расчетной обеспеченности;
- 3) при значениях  $\alpha > 0,4$  относительные ошибки составляют 2 – 5 %, что говорит о возможности использования упрощенного метода;
- 4) в диапазоне  $0,4 < \alpha < 0,9$  погрешности уменьшаются с понижением расчетной обеспеченности;
- 5) выявлена область наименьших погрешностей, не зависящих от расчетных обеспеченностей, при значениях  $\alpha$  равных 0,4 – 0,5;
- 6) погрешности упрощенного метода достигают наибольших значений (20 – 100 %) при малых гарантированных расходах ( $\alpha < 0,3$ ), особенно при коэффициенте  $\alpha = 0,2$  и обеспеченности 75 – 90 % и при  $\alpha = 0,1$  для всех значений расчетной обеспеченности.

Таким образом, можно сделать вывод, что для условий хорошо выраженного внутригодового распределения стока, аналогичному распределению стока реки Виллой, обобщенная методика при низких величинах гарантированного расхода дает недопустимо большие погрешности. Это не позволяет рекомендовать ее к использованию для значений  $\alpha < 0,3$ . При больших значениях гарантированного расхода упрощенная методика может применяться для расчетов сезонных дефицитов стока и, соответственно, для оценки величины полезного объема водохранилища сезонного регулирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздецкий, Н. А., Михайлов, Н. И. Физическая география СССР. Азиатская часть. [текст] / Н. А. Гвоздецкий, Н. И. Михайлов – М.: «Мысль», 1978. – 512 с.
2. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 17, Лено-Индигирский район. Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 649 с.
3. Большая советская энциклопедия. Издание 3-е, том 14. – М.: Сов. энциклопедия, 1973.
4. База метеорологических данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [сайт] URL: <http://aisori.meteo.ru> (дата обращения: 12.02.2017)
5. Интернет-источник «Плотине.Нет» [сайт] URL: <http://www.plotina.net/experts/vilyujskij-gidrouzel-socialno-ekologicheskie-posledstviya/> (дата обращения: 15.02.2017)
6. Государственный водный реестр [сайт] URL: <http://www.textual.ru/gvr/> (дата обращения: 17.02.2017)
7. Научно-популярная энциклопедия «Вода России» [сайт] URL: [http://water-ru.ru/Водные\\_объекты/311/Вилюй](http://water-ru.ru/Водные_объекты/311/Вилюй) (дата обращения: 20.02.2017)
8. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1, Вып. 16, Бассейны Лены (среднее и нижнее течение), Хатанги, Анабара, Оленека, Яны, Индигирки. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 595 с.
9. Каталог объектов ОАО «РусГидро» [сайт] URL: <http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmap/5681.html> (дата обращения: 24.02.2017)
10. Гидрологический ежегодник за 1959 год. Том 8 Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Выпуск 0-7 Бассейны морей Лаптевых и Восточно-Сибирского до р. Колыма. Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 228 с.

11. Арсеньев, Г. С., Иваненко А. Г. Водное хозяйство и водохозяйственный расчеты [текст] / Г. С. Арсеньев, А. Г. Иваненко. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 272 с.
12. Свод правил по проектированию и строительству СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»
13. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст] / А. В. Сикан. – СПб: РГГМУ, 2007. – 279 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Список постов на водосборе Вилюйского водохранилища

Номер	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Код водного объекта	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия число, месяц, год		Отметка нуля поста	
						открыт	закрыт	высота, м	система высот
1	р.Вилуй – г.п.Усть-Амбардах	03310	117400366	1816	57300	12.05.1965	Действ.	251,53	БС
2	р.Амбардах – устье	03331	117400776	12,0	759	01.01.1973	31.12.1975	7,50	БС
3	р.Чуркуо – г.п.Лавинда	03579	117400800	27	4130	01.05.1971 (10.02.1976)	Действ.	243,82	БС
4	р.Улахан-Эдьэк – г.п.Дальний	03560	117400852	24	854	01.05.1977	Действ.	245,30	(БС)
5	р.Дьэкиндэ – г.п.Улар	03597	117401106	65	1940	01.05.1978	Действ.	44,38	усл.
6	руч.Тойонноох-Тумус – г.п.Тайахтаах	03598	117402822	0,5	5,74	01.05.1979	Действ.	47,50	усл.
7	р.Чона – гм.ст.Чона	03334	117400887	296	21000	01.05.1974	Действ.	244,00	БС
8	р.Юктали – г.п.Юргаэтэ	03337	117401021	4	1080	04.05.1974	Действ.	245,00	БС
9	р.Ичода – г.п.Майский	03625	117401068	22	2820	19.05.1972 (01.05.1979)	Действ.	243,00	усл.

Продолжение таблицы А.1

Номер	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Код водного объекта	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия		Отметка нуля поста	
						число, месяц, год		открыт	закрыт
11	руч.Голубичный – устье	03345	117402815	1,00	5,06	10.05.1973	31.12.1979	253,88	БС
12	р.Ахтаранда – г.п.Сюрях-Хая	03341	117401159	65,0	11600	30.11.1976	Действ.	243,58	БС
13	р.Олгуйдаах – г.п.Монтерский	03343	117401186	45,0	4360	16.05.1974	01.04.1988	285,00	БС
14	руч.Хордогойдох – устье	03347	117402816	0,20	14,8	10.05.1967	01.03.1983	224,29	БС
15	р.Виллой – р.п.Чернышевский(ГЭС)	03313	117400366	1315	136000	23.02.1959 (1967)	Действ.	175,00	БС
16	вдхр.Виллойское – р.п.Чернышевский	03909	217400233	1316	136000	05.1973	Действ.	233,00	(БС)
17	вдхр.Виллойское – ОГП Кусаган	03910	217400233	1389	-	28.06.1974	Действ.	233,00	(БС)
18	вдхр.Виллойское – Чохчуола	03907	217400233	1483	-	27.04.1976	Действ.	233,00	(БС)
19	вдхр.Виллойское – гм.ст. Туой-Хая	03908	217400233	1551	-	01.08.1968	Действ.	233,00	(БС)

## Окончание таблицы А.1

Номер	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Код водного объекта	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия		Отметка нуля поста	
						число, месяц, год		открыт	закрит
20	вдхр.Вилуйское – ОГП Усть-Ичода	03942	217400233	1623	-	01.05.1977	Действ.	233,00	(БС)
21	вдхр.Вилуйское – ОГП Юлэгиир	03941	217400233	1568	-	01.05.1976	Действ.	233,00	(БС)
22	вдхр.Вилуйское – ОГП Оржок	03940	217400233	1640	134000	27.04.1978	Действ.	233,00	(БС)
23	р.Вилуй – факт.Эконда	03309	117400366	2423	5110	28.08.1959	Действ.	384,51	БС

## Приложение В

Таблица В.1 – Дефициты стока, рассчитанные основным методом, млн м<sup>3</sup>

Год	α								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1926/27	891	1925	2960	4079	5290	6502	7713	8925	10136
1927/28	750	1764	2804	3844	4899	6117	7334	8551	9769
1928/29	992	2400	3960	5520	7080	8640	10201	11761	13321
1929/30	1013	2225	3437	4712	6095	7478	8861	9494	11783
1930/31	690	1592	2627	3661	4695	5730	6850	8061	9273
1931/32	780	1820	2860	3900	4940	6138	7355	8613	10179
1932/33	651	1499	2529	3563	4598	5747	6958	8295	9678
1933/34	740	1733	2768	3802	4836	5871	6905	7843	9055
1934/35	747	1655	2689	3724	4758	5846	7057	8269	9480
1935/36	681	1615	2655	3695	4736	5821	7038	8255	9473
1936/37	769	1842	3220	4642	6202	7762	9323	10883	12591
1937/38	723	1676	2710	3745	4891	6102	7314	8526	9737
1938/39	727	1694	2728	3860	5420	6980	8540	10100	11660
1939/40	922	1979	3197	4414	5799	7321	8887	10453	12019
1940/41	815	1928	3139	4351	5562	6774	7986	9197	10409
1941/42	911	1946	2980	4015	5209	6454	8120	9854	11588
1942/43	814	1849	2883	4023	5235	6447	7729	9289	10850
1943/44	737	1704	2744	3821	5069	6457	7972	9538	11154
1944/45	776	1811	3002	4445	6005	7565	9126	10686	12246
1945/46	918	2047	3258	4472	5875	7435	9001	10735	12469
1946/47	1027	2386	3926	5486	7046	8606	10166	11853	13587
1947/48	884	1924	2964	4004	5278	7018	8758	9939	12237
1948/49	791	1831	3043	4254	5466	6678	8130	9690	11250
1949/50	818	1853	2887	3922	4956	5990	7025	8059	9153
1950/51	1119	2502	4044	4673	7165	8725	10380	12114	13848
1951/52	769	1809	2849	3889	4929	6073	7290	8508	9725

Продолжение таблицы В.1

Год	$\alpha$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1952/53	761	1795	2830	3864	5064	6276	7487	8699	9910
1953/54	771	1805	2840	3874	4934	6683	8417	10151	11885
1954/55	888	1922	3097	4479	5923	7483	9043	10603	12163
1955/56	901	2020	3237	4795	6361	8090	9829	9323	13309
1956/57	829	1863	2898	3990	5201	6413	7624	8836	10074
1957/58	791	1874	3172	4555	5938	7502	9236	10970	12705
1958/59	783	1817	2851	3920	5131	6670	8230	9790	11467
1959/60	807	1847	2887	3928	4968	6135	7875	9615	11355
1960/61	877	1911	3075	4287	5499	6710	7922	9133	10439
1961/62	731	1748	2782	3816	4851	5914	7126	8337	9549
1962/63	884	1954	3166	4377	5589	6848	8408	9968	11528
1963/64	758	1798	2838	3878	4918	5958	7159	8603	10169
1964/65	839	1874	2908	4072	5284	6496	7707	9012	10395
1965/66	849	1883	2917	3952	5144	6705	8265	9825	11385
1966/67	706	1740	2775	3809	4844	5878	7073	8285	9496
1967/68	794	1834	2888	4106	5323	6540	7757	8975	10192
1968/69	954	1988	3182	4393	5605	6816	8028	9534	11094
1969/70	984	2195	3495	5055	6615	8175	9735	11295	12856
1970/71	956	2069	3280	4492	5816	7376	8936	10497	12057
1971/72	846	1886	2926	4049	5266	6745	8310	9971	11711
1972/73	986	2503	4064	5786	7520	9254	10988	12722	14456
1973/74	921	2034	3246	4599	5982	6880	8748	9820	11514
1974/75	858	1892	2926	4005	5217	6428	7640	8851	10063
1975/76	913	1953	2993	4378	6118	7858	9598	11338	13078
1976/77	937	1972	3080	4291	5503	6714	7926	9138	10349
1977/78	896	2038	3250	4461	5722	6996	8842	10402	11962
1978/79	864	1898	2933	3967	5162	6373	8109	9670	11230
1979/80	964	2214	3780	5346	6912	8622	10362	12102	13842

Окончание таблицы В.1

Год	α								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1980/81	727	1724	2935	4228	5788	7348	8908	10468	12028
1981/82	906	2198	3758	5318	6879	8439	9999	11559	13119
1982/83	892	1927	3059	4270	5482	6957	8573	10307	12041
1983/84	885	2004	3221	4534	6100	7676	9416	11156	12896
1984/85	960	2334	4068	5802	7536	9270	11004	12738	14472
1985/86	958	2136	3484	5044	6605	8165	9725	11285	12845
1986/87	877	1911	2946	3980	5015	6185	7397	8608	9820
1987/88	964	2181	3511	4616	6289	7677	9066	10455	11843
1988/89	726	1732	2766	3801	4835	5869	6917	8129	9340
1989/90	608	1642	2677	3739	4951	6163	7374	8586	9797
1990/91	761	1749	2783	3818	4852	6012	7746	9480	11214
1991/92	886	1926	3031	4249	5466	6683	7900	9118	10478
1992/93	961	2430	3991	5551	7111	8671	10231	11791	13351
1993/94	835	1869	2966	4178	5390	6601	7813	9024	10236
1994/95	985	2533	4093	5654	7214	8831	10566	12300	14034
1995/96	715	1704	2744	3784	4824	6268	7834	9399	10965
1996/97	671	1534	2397	3334	4374	5414	6454	7495	8535
1997/98	727	1601	2635	3670	4704	5739	6773	7807	8698
1998/99	708	1737	2791	4003	5215	6426	7638	9215	10776
1999/00	913	2050	3267	4484	5702	7019	8585	10151	11717
2000/01	839	1873	2907	3942	4976	6147	7358	8570	9782
2001/02	761	1753	2788	3822	4856	5891	6971	8182	9394
2002/03	785	1802	2836	3904	5116	6328	7539	8751	9962
2003/04	889	1935	3152	4480	5970	7536	9102	10667	12233
2004/05	782	1816	2851	4005	5216	6428	7639	8851	10062
2005/06	822	1857	2891	3940	5152	6363	7575	8786	9998
2006/07	831	1866	3073	4284	6148	7882	9616	11350	13084

Таблица В.2 – Ранжированные дефициты стока, млн м<sup>3</sup>

P, %	α								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,22	608	1499	2397	3334	4374	5414	6454	7495	8535
2,44	651	1534	2529	3563	4598	5730	6773	7807	8698
3,66	671	1592	2627	3661	4695	5739	6850	7843	9055
4,88	681	1601	2635	3670	4704	5747	6905	8059	9153
6,10	690	1615	2655	3695	4736	5821	6917	8061	9273
7,32	706	1642	2677	3724	4758	5846	6958	8129	9340
8,54	708	1655	2689	3739	4824	5869	6971	8182	9394
9,76	715	1676	2710	3745	4835	5871	7025	8255	9473
10,98	723	1694	2728	3784	4836	5878	7038	8269	9480
12,20	726	1704	2744	3801	4844	5891	7057	8285	9496
13,41	727	1704	2744	3802	4851	5914	7073	8295	9549
14,63	727	1724	2766	3809	4852	5958	7126	8337	9678
15,85	727	1732	2768	3816	4856	5990	7159	8508	9725
17,07	731	1733	2775	3818	4891	6012	7290	8526	9737
18,29	737	1737	2782	3821	4899	6073	7314	8551	9769
19,51	740	1740	2783	3822	4918	6102	7334	8570	9782
20,73	747	1748	2788	3844	4929	6117	7355	8586	9797
21,95	750	1749	2791	3860	4934	6135	7358	8603	9820
23,17	758	1753	2804	3864	4940	6138	7374	8608	9910
24,39	761	1764	2830	3874	4951	6147	7397	8613	9962
25,61	761	1795	2836	3878	4956	6163	7487	8699	9998
26,83	761	1798	2838	3889	4968	6185	7539	8751	10062
28,05	769	1802	2840	3900	4976	6268	7575	8786	10063
29,27	769	1805	2849	3904	5015	6276	7624	8836	10074
30,49	771	1809	2851	3920	5064	6328	7638	8851	10136
31,71	776	1811	2851	3922	5069	6363	7639	8851	10169
32,93	780	1816	2860	3928	5116	6373	7640	8925	10179
34,15	782	1817	2883	3940	5131	6413	7707	8975	10192

Продолжение таблицы В.2

P, %	$\alpha$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
35,37	783	1820	2887	3942	5144	6426	7713	9012	10236
36,59	785	1831	2887	3952	5152	6428	7729	9024	10349
37,80	791	1834	2888	3967	5162	6428	7746	9118	10395
39,02	791	1842	2891	3980	5201	6447	7757	9133	10409
40,24	794	1847	2898	3990	5209	6454	7813	9138	10439
41,46	807	1849	2907	4003	5215	6457	7834	9197	10478
42,68	814	1853	2908	4004	5216	6496	7875	9215	10776
43,90	815	1857	2917	4005	5217	6502	7900	9289	10850
45,12	818	1863	2926	4005	5235	6540	7922	9323	10965
46,34	822	1866	2926	4015	5266	6601	7926	9399	11094
47,56	829	1869	2933	4023	5278	6670	7972	9480	11154
48,78	831	1873	2935	4049	5284	6678	7986	9494	11214
50,00	835	1874	2946	4072	5290	6683	8028	9534	11230
51,22	839	1874	2960	4079	5323	6683	8109	9538	11250
52,44	839	1883	2964	4106	5390	6705	8120	9615	11355
53,66	846	1886	2966	4178	5420	6710	8130	9670	11385
54,88	849	1892	2980	4228	5466	6714	8230	9690	11467
56,10	858	1898	2993	4249	5466	6745	8265	9790	11514
57,32	864	1911	3002	4254	5482	6774	8310	9820	11528
56,10	877	1911	3031	4270	5499	6816	8408	9825	11588
59,76	877	1922	3043	4284	5503	6848	8417	9854	11660
60,98	884	1924	3059	4287	5562	6880	8540	9939	11711
62,20	884	1925	3073	4291	5589	6957	8573	9968	11717
63,41	885	1926	3075	4351	5605	6980	8585	9971	11783
64,63	886	1927	3080	4377	5702	6996	8748	10100	11843
65,85	888	1928	3097	4378	5722	7018	8758	10151	11885
67,07	889	1935	3139	4393	5788	7019	8842	10151	11962
68,29	891	1946	3152	4414	5799	7321	8861	10307	12019

Окончание таблицы В.2

P, %	$\alpha$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
69,51	892	1953	3166	4445	5816	7348	8887	10402	12028
70,73	896	1954	3172	4461	5875	7376	8908	10453	12041
71,95	901	1972	3182	4472	5923	7435	8936	10455	12057
73,17	906	1979	3197	4479	5938	7478	9001	10468	12163
74,39	911	1988	3220	4480	5970	7483	9043	10497	12233
75,61	913	2004	3221	4484	5982	7502	9066	10603	12237
76,83	913	2020	3237	4492	6005	7536	9102	10667	12246
78,05	918	2034	3246	4534	6095	7565	9126	10686	12469
79,27	921	2038	3250	4555	6100	7676	9236	10735	12591
80,49	922	2047	3258	4599	6118	7677	9323	10883	12705
81,71	937	2050	3267	4616	6148	7762	9416	10970	12845
82,93	954	2069	3280	4642	6202	7858	9598	11156	12856
84,15	956	2136	3437	4673	6289	7882	9616	11285	12896
85,37	958	2181	3484	4712	6361	8090	9725	11295	13078
86,59	960	2195	3495	4795	6605	8165	9735	11338	13084
87,80	961	2198	3511	5044	6615	8175	9829	11350	13119
89,02	964	2214	3758	5055	6879	8439	9999	11559	13309
90,24	964	2225	3780	5318	6912	8606	10166	11761	13321
91,46	984	2334	3926	5346	7046	8622	10201	11791	13351
92,68	985	2386	3960	5486	7080	8640	10231	11853	13587
93,90	986	2400	3991	5520	7111	8671	10362	12102	13842
95,12	992	2430	4044	5551	7165	8725	10380	12114	13848
96,34	1013	2502	4064	5654	7214	8831	10566	12300	14034
97,56	1027	2503	4068	5786	7520	9254	10988	12722	14456
98,78	1119	2533	4093	5802	7536	9270	11004	12738	14472

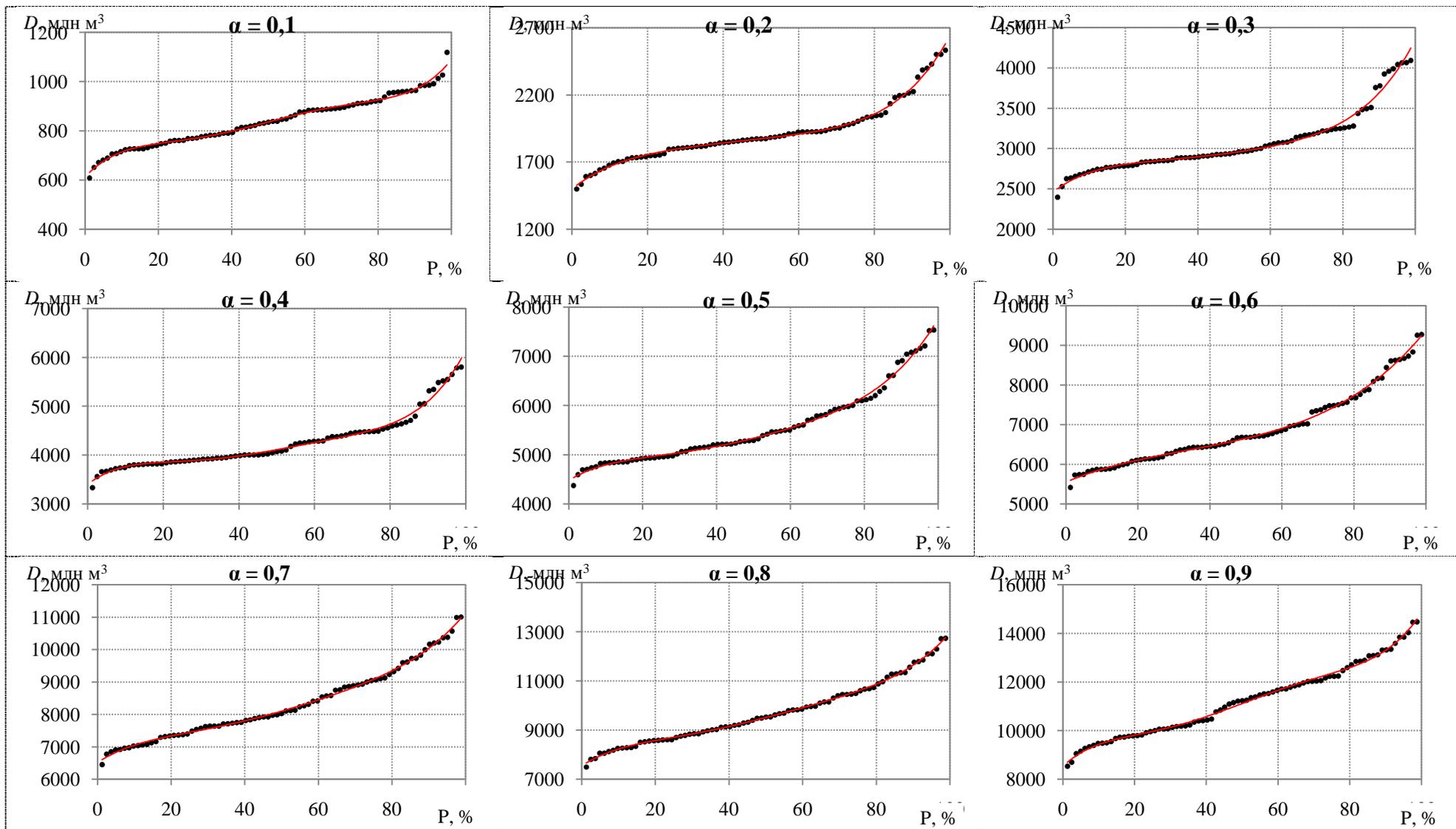


Рисунок В.1 – Распределение дефицитов стока для разных относительных гарантированных расходов

Приложение Г

Таблица Г.1 – Среднегодовые и среднемеженные расходы, м<sup>3</sup>/с

Год	$Q_{\text{год}}$	$Q_{\text{меж}}$	Год	$Q_{\text{год}}$	$Q_{\text{меж}}$	Год	$Q_{\text{год}}$	$Q_{\text{меж}}$
1926/27	947	274	1953/54	531	138	1980/81	636	85
1927/28	737	190	1954/55	485	79	1981/82	495	39
1928/29	516	30	1955/56	518	62	1982/83	706	102
1929/30	705	95	1956/57	565	213	1983/84	608	73
1930/31	809	209	1957/58	618	85	1984/85	523	34
1931/32	610	165	1958/59	677	113	1985/86	403	51
1932/33	880	204	1959/60	752	158	1986/87	556	232
1933/34	971	348	1960/61	650	161	1987/88	693	188
1934/35	847	348	1961/62	873	386	1988/89	985	278
1935/36	633	211	1962/63	760	106	1989/90	1014	191
1936/37	372	67	1963/64	645	166	1990/91	903	154
1937/38	743	307	1964/65	639	167	1991/92	809	195
1938/39	790	101	1965/66	543	112	1992/93	639	29
1939/40	474	87	1966/67	528	216	1993/94	675	192
1940/41	590	166	1967/68	554	184	1994/95	716	25
1941/42	501	125	1968/69	619	125	1995/96	647	132
1942/43	345	135	1969/70	397	50	1996/97	930	307
1943/44	510	126	1970/71	534	84	1997/98	677	358
1944/45	563	75	1971/72	470	112	1998/99	1044	138
1945/46	410	81	1972/73	476	26	1999/00	707	100
1946/47	457	32	1973/74	695	111	2000/01	818	325
1947/48	479	109	1974/75	947	334	2001/02	766	230
1948/49	520	118	1975/76	730	80	2002/03	928	251
1949/50	713	263	1976/77	665	324	2003/04	689	78
1950/51	512	27	1977/78	754	88	2004/05	707	176
1951/52	639	232	1978/79	861	119	2005/06	688	179
1952/53	651	187	1979/80	614	39	2006/07	595	74
Среднее:							661	153

