



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Внутригодовое распределение
стока нижнего течения реки Лена

Исполнитель _____ Пономарева Анастасия Борисовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Викторова Н.В.
(фамилия, имя, отчество)

Консультант _____
(ученая степень, ученое звание)

_____ Дрегваль М.С.
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Хаустов В.А.
(фамилия, имя, отчество)

«13» 06 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление	2
Введение	3
1. Краткая физико-географическая характеристика региона	5
1.1 Сведения о местоположении	5
1.2 Геологическое строение и рельеф	6
1.3 Почвенный покров	7
1.4 Растительность	9
1.5 Гидрография	10
2. Климат	12
2.1 Климатическая характеристика бассейна реки Лена	12
2.2 Анализ состояния климата	14
2.3 Температура воздуха	14
2.4 Осадки	18
3. Гидрологическая изученность и исходные данные. Проверка рядов на однородность и стационарность	21
3.1 Общая характеристика гидрологической изученности	21
3.2 Исходные данные	22
3.3 Оценка временных трендов и проверка рядов на однородность	23
3.4 Построение разностно-интегральных кривых	27
4. Методы расчетов внутригодового распределения стока	30
4.1 Расчет внутригодового распределения стока реки Лена	31
5. Внутригодовое распределение стока методом компоновки	33
5.1 Расчетная часть методом компоновки по р. Лена – с. Кюсюр	34
5.2 Расчет внутригодового распределения стока методом компоновки 90%, 50% и 5%-ой обеспеченности для р. Лена – с. Кюсюр	36
5.3 Расчетная часть методом компоновки по р. Лена – с. Табага	38
5.4 Расчет внутригодового распределения стока методом компоновки 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Табага	39
6. Внутригодовое распределение стока методом реального года	41
6.1 Расчетная часть методом реального года по р. Лена – с. Кюсюр	42
6.2 Расчет внутригодового распределения стока методом реального года 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Кюсюр	44
6.3 Расчетная часть методом реального года по р. Лена – с. Табага	47
6.4 Расчет внутригодового распределения стока методом реального года 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Табага	49
Заключение	52
Список используемой литературы	53
Приложение	

Введение

В современном мире водные ресурсы становятся не менее актуальными, чем энергетические, тем более что вода является источником гидроэнергии. В связи с этим актуальность мониторинга гидрологического режима рек и проведение соответствующих вычислений является актуальной, знаковой и ответственной задачей.

Внутригодовой режим речного стока имеет большое значение при гидротехническом проектировании и строительстве.

Изменения речного гидрологического режима имеют в своей основе факторы, которые можно распределить по двум группам:

- климатические изменения
- результат хозяйственной деятельности человека

Настоящее исследование имеет своей целью рассчитать речной сток для р. Лена.

Исток реки расположен в небольшом озере Байкальского хребта, а ее устье приходится на море Лаптевых, состоящее в бассейне Северного Ледовитого океана. Протяженность р. Лена достигает отметки в 4400 км, ее бассейн занимает площадь в 490 тыс. км². Лена является самой крупной рекой в России и протекает по территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия).

Мониторинг показателей и систематизация сведений о состоянии любого среднего или крупного водного объекта, тем более такого как река Лена, совершенно необходим в целях организации удовлетворения жителей России в воде. Особенно важными являются здесь показатели внутригодового распределения речного стока.

Для решения задач, связанных с расчетом речного стока, настоящая работа опирается на данные систематических наблюдений над расходом воды р. Лена, полученные с постов с. Кюсюр (с 1935 по 2019 гг.) и с. Табага (с 1936 по 2019 гг.).

1. Краткая физико-географическая характеристика региона

1.1 Сведения о местоположении

Река Лена относится к Лено-Индигирскому региону, который располагается в северо-восточной части Азиатского материка между 52000' и 77030' с. ш. и 92030' и 160000' в. д. на территории площадью более 4,2 млн км².

Максимальная протяженность территории отнесения по направлению с севера на юг насчитывает около 2740 км, а по направлению с запада на восток – более 2300 км. Омываясь на севере морями Лаптевых и Восточно-Сибирским, она имеет западную границу по линии северная точка мыса Челюскин – водораздел притоков оз. Таймыр и Хатангского залива и бассейнов рек Хатанги и Енисея – бассейнов рек Лены и Енисея. Южная граница проходит по водоразделу бассейнов рек Лены и Амура. Восточная – по водоразделу бассейнов рек Индигирки и Колымы до ее устья. Схема движения реки Лены с расчетными створами Кюсюр и Табага обозначена на рис.1.1.

В низовьях на севере, вдоль побережья реки располагаются обширные приморские низменности. В низменных районах среднего течения – лежат эрозионно-денудационные равнины.

Территория в целом имеет своей особенностью суровый континентальный климат. Лена полностью протекает в районах вечной мерзлоты.

Северные территории населены незначительно, в отличие от Центральных районов с большим населением и более развитым сельским хозяйством [1].

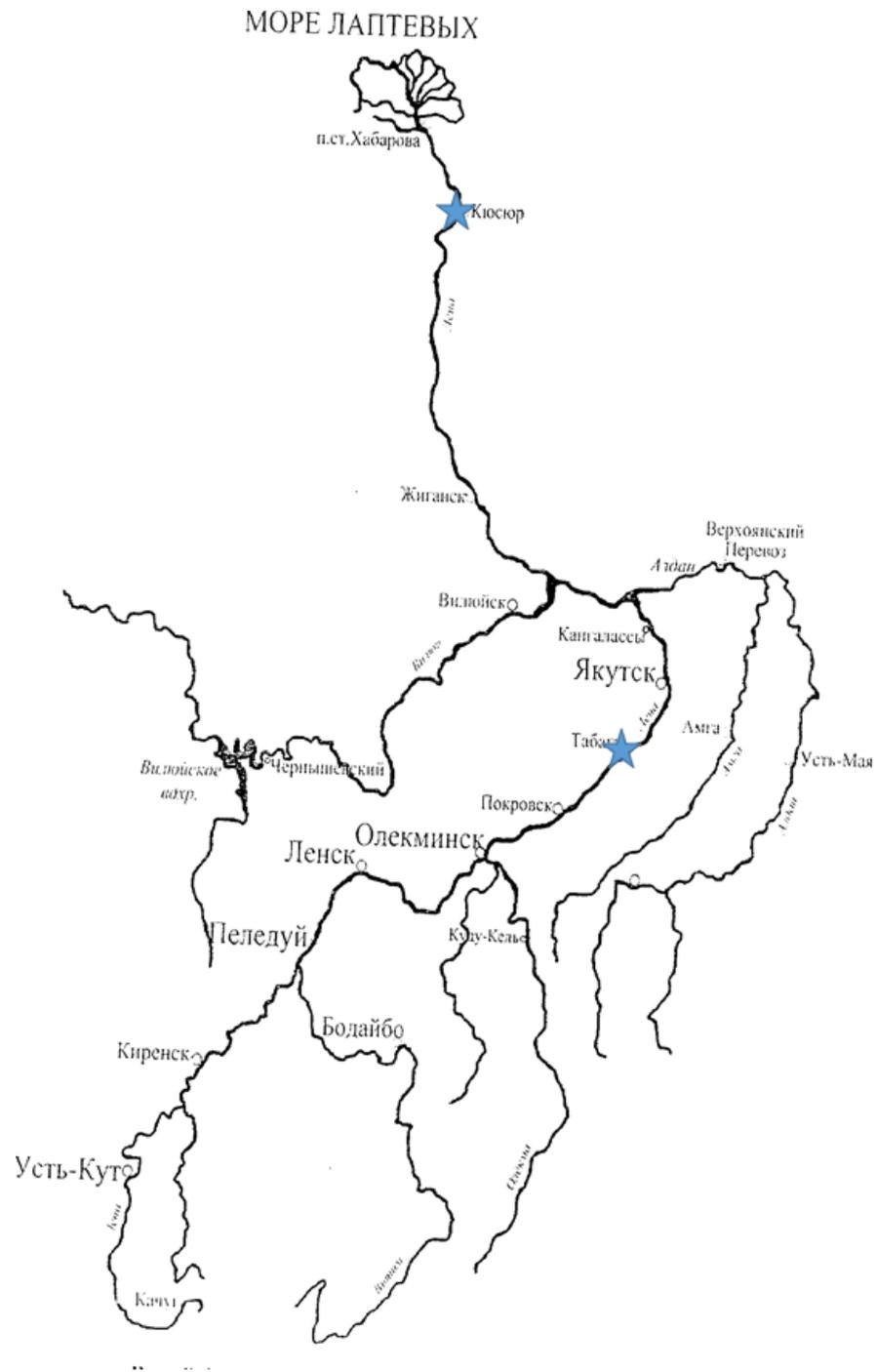


Рис.1.1 Схема реки Лена

опускание осадков и их накопление в периоды мезозойского и, в центральной ее части, кайнозойское время. Она складывалась по мере участия терригенных, в частности, угленосных отложений юрского, мелового и в некоторых впадинах неогенового возрастов. Такие четвертичные отложения как озерно-ледниковые и аллювий развиты здесь достаточно широко, а суглинистые и супесчаные отложения высоких террас и водоразделов содержат лед [1].

1.3 Почвенный покров



Рис.1.3. Схематическая карта почвенного покрова.

1 - горнотундровые, торфянисто-болотные и перегнойно-торфянистые; 2 - горнотаежные мерзлотные оподзоленные; 3 - горнотаежные прегнойно-карбонатные; 4 - арктические; 5 - тундровые арктические; 6 - тундровые глеевые и торфянисто-болотные; 7 - глеевые мерзлотнотаежные; 8 - таежные полевые мерзлотные; 9 - дерново-таежные мерзлотные; 10 - дерново-таежные, сильно осолоделые; 11 - подзолисто-болотные; 12 - торфяно-болотные и перегнойно-торфянисто-болотные; 13 - дерново-карбонатные и перегнойно-карбонатные; 14 - аллювиальные.

Почвы рассматриваемой территории крайне своеобразны (рис.1.3). Их образование происходит в условиях сложного рельефа, резко континентального климата и наличия многолетней мерзлоты, залегающей на небольшой глубине.

Рассматриваемая территория низовьев Лены принадлежит тундровой природной зоне, которая выражена особыми формами - арктическими пустынями. Почвы тундры характеризуются малой мощностью, значительной влажностью, тиксотрофностью, заторфованностью и бедностью гумуса. Материнские породы однообразны и представлены четвертичными песками и суглинками. В нижнем течении Лены распространены поверхностно-кислые ненасыщенные тиксотропные суглинистые почвы, развитые на древнеаллювиальных отложениях, элювии мезозойских пород и морене. Преобладающими почвами тундры являются торфянисто-болотные и глеевые торфянисто-болотные.

Территория среднего течения реки Лены находится в зоне тайги. Почвы тайги характеризуются разной степенью оподзоливания, малой тиксотропностью и влажностью, и сравнительно высоким плодородием. Для почв среднего течения характерны мерзлотная деструкция и тиксотропность, проявляющиеся по-разному в зависимости от механического состава и влажности почв. Наиболее распространенными почвами для среднего течения являются дерново-таежные, сильно осолоделые и таежные солоды [1].

1.4 Растительность

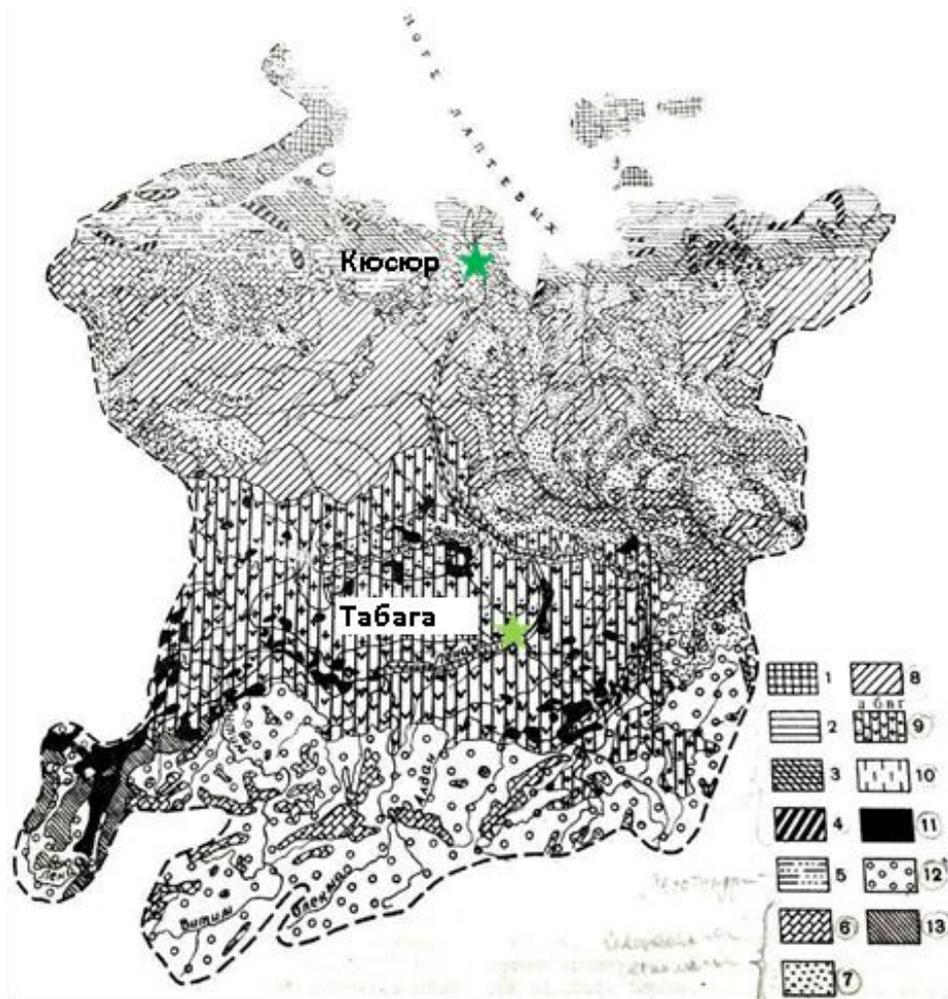


Рис.1.4. Схематическая карта растительного покрова.

1 - арктические пустыни; 2 - арктические тундры; 3 - мохово-лишайниковые тундры; 4 - осоко-пушицевые тундры; 5 - кустарничковые тундры и лесотундры; 6 - горнотундровая и разреженная растительность гольцов; 7 - горнолиственничное редколесье; 8 - лиственничные северо-таежные редкосточные леса; 9 - лиственничные среднетаежные леса; 10 - растительность пойм; 11 - лиственнично-сосновые таежные леса; 12 - горные лиственничные и лиственнично-кедровые леса; 13 - горнотаежные и темнохвойные леса.

Характерной чертой растительного покрова рассматриваемой территории (рис. 1.4.) является почти повсеместное преобладание в лесной зоне лиственничных лесов и их даурской лиственницы, широкое распространение хвойно-широколиственных лесов на юге, присутствие в таежной зоне среди лесных массивов небольших лесостепных участков, отдельные пятна степных формаций и участков с солончаковой растительностью.

Территория нижней части бассейна реки Лены относится к арктическим тундрам. Они характеризуются безлесьем и преобладанием безконевого мхов и лишайников, наличием стелющихся видов (карликовая ива и береза) и подушкообразных растений (камнеломка). Растительный покров арктической тундры разреженный и представлен в основном мхами и лишайниками.

Значительную площадь занимают болота и озера. По берегам неглубоких озер встречаются заросли арктофилов, осок и хвоща. По побережью материка распространены приморские луга, которые формируются на засоленных почвах и систематически орошаются водами во время морских приливов и нагонов.

Территория средней части бассейна Лены находится в зоне тайги, которая в свою очередь делится на две подзоны: северотаежное редколесье и среднетаежная зона. Последовательность смены указанных зон в широтном направлении хорошо прослеживается на территории среднего течения.

Подзона северотаежного редколесья характеризуется сильно разреженным лиственничным лесом, широким распространением ерниковых зарослей и слабым травостоем. Среднетаежная подзона характеризуется присутствием темнохвойных пород. Леса этой зоны отличаются сомкнутостью крон, большой высотой, различным подлеском и богатством травянистого яруса. Здесь встречаются участки степей, луга, ерники, лиственничные леса [1].

1.5 Гидрография

Рассматриваемая территория располагает большим количеством поверхностных водных объектов. Основные черты гидрографии и режима водных объектов в данных условиях определяются сложными сочетаниями климатических особенностей, рельефа, геологического строения и многолетней мерзлоты. Речная сеть территории принадлежит к бассейну моря Лаптевых. Река Лена принадлежит к числу величайших водных артерий мира, а среди рек СССР по длине и площади водосбора она занимает соответственно второе и третье место. Густота речной сети относительно большая, в среднем около 0,5 км/км² (рис.1.5.).

Строение речного бассейна реки Лены довольно асимметричное. Водораздельные линии большей частью хорошо выражены. Характерной чертой речной сети территории является ее глубокий врез. На равнинах и особенно низменностях речные долины широкие, с пологими склонами и поймами. Река Лена образует обширные дельты. Реки относительно равнинной территории имеют преобладающее снеговое питание.

Особенности водного режима рек в общем соответствуют характеру их питания. Годовой гидрограф рек в основном снегового питания отличается высоким половодьем, а гидрограф рек, в основном дождевого питания - большими летне-осенними паводками.

Доля подземных вод в питании рек, находящихся в условиях сплошной многолетней мерзлоты, обычно не превышает нескольких процентов.

Годовые амплитуды колебаний уровня воды рек в среднем составляют: около 0,5 м при площади водосбора 100 км², 6-7 м при площади порядка 100 000 км² и 10-12 м при еще больших площадях. Максимальные годовые амплитуды колебаний уровня воды на больших реках, связанные с заторами льда, достигают 15-20 м, на р. Лене даже 28 м [1].

Река Лена является главной водной магистралью Восточной Сибири. Основные ее характеристики представлены в табл.1.1. [2]

Таблица 1.1 Характеристика р. Лена

Площадь бассейна ¹ , тыс. км ²	Площадь дельты, тыс. км ²	Объем речного стока за год ¹ , км ³	Среднегодовой расход, м ³ /с	Слой годового стока ¹ , мм	Коэффициент годового стока	Длина, км	Озерность, %	Заболоченность, %
2426	27,7	527	16 730	208	0,45	4400	6	30

¹По данным [2]

По характеру течения р. Лену обычно делят на три крупных участка: верхний - от истока до устья. Витима (1690 км), средний - от устья р. Витима до впадения р. Алдана (1400 км) и нижний - от устья р. Алдана до о. Столб (1310 км).

На среднем участке р. Лена становится полноводнее. Здесь на значительном протяжении река протекает по дну узкой долины, склоны которой в отдельных местах отвесно обрываются к урезу воды. Несколько выше устья р. Ботомы Лена постепенно выходит из области плато и вступает в Центральнаякутскую низменность. Ниже г. Якутска долина реки расширяется до 5-10 км и более, на ее склонах прослеживаются террасы.

В среднем течении за счет притоков река имеет преимущественно дождевое питание, летне-осенний сток увеличивается, но в отдельные годы он может быть меньше весеннего. Доля стока за зимний период равна 11%.

Нижней участок реки Лены имеет ширину до 25-30 км и течет преимущественно в разветвленном русле. На протяжении от о. Жолдонга до дельты долина реки стеснена Хараулахскими горами, а русло ее сужается с 5 км у с. Жиганска до 2,0 - 2,5 км. Наиболее узкий участок находится в районе с. Кюсюр.

Дельта р. Лены занимает площадь 27,7 тыс. км². Здесь река разделяется на многочисленные рукава, образуя 1614 островов.

На нижнем течении основным является снеговое питание. Сток за май-июнь составляет 50-70%, сток же за зимние время снижается до 6-7% его годового объема.[1]

2. Климат

2.1 Климатическая характеристика бассейна реки Лена

Лено-Индибирский регион характеризуется резко континентальным климатом, который имеет зимнюю температуру воздуха, достигающую до -50° и даже -65°C и летнюю температуру, достигающую до отметок в $+2^{\circ}$ и в $+35^{\circ}\text{C}$.

Нижняя часть бассейна р. Лены располагается в более мягком климате. Свое влияние здесь оказывают моря, которые немного обогревают берега реки осенью и зимой, но охлаждают в летом. В средней части преобладает континентальный климат.

Лена надежно защищена от воздействия Атлантического и Тихого океана, своеобразие климата, являются ее удаленность и отгороженность горными системами открытость со стороны Северо-Ледовитого океана.

Рассмотрим климат нижней и средней частей реки Лена более подробно. Величина радиационного баланса для нижней части составляет около 14 ккал/см², для средней - 29 ккал/см². В холодное время года радиационный баланс изменяется до отрицательных значений. Продолжительность периода с отрицательным балансом составляет 8 месяцев, а для среднего течения она может становится меньше. Переход от отрицательному к положительному значению происходит в апреле.

Температура воздуха для низовьев р. Лены характеризуется большой амплитудой. Она равно приблизительно 41⁰С. Годовая температура воздуха равна (-14⁰С). С октября по апрель наблюдаются отрицательные температуры. Минимальная температура воздуха достигается в январе, и она равна (-33,3⁰С). Максимальная температура равна (+7,5⁰С) в августе.

Для средней части территории Лены амплитуда температур воздуха возрастает до (+32⁰С). Годовая температура воздуха равна (-10⁰С). Как и в нижнем течении, в среднем течении отрицательные температуры наблюдаются с октября по апрель. Наиболее низкие значение температуры, равные около (-50⁰С), достигаются в январе. Температура почвы зимой повышается с глубиной. Положительная температура почвы наблюдается на глубине 40 см с мая по октябрь.

Относительная влажность воздуха в нижней части в течение года не сильно изменяется и равна 80-90% во все месяцы. В среднем течении она меняется более значительно: зимой от 60 до 80%, летом - 35-45%.

Годовое количество осадков в нижней и средней частях изменяется от 200-300 мм. Осадки выпадают в основном в теплый период года. Сумма осадков за холодный период составляет 35-45 мм. В средней части течения осадки в некоторые месяцы могут полностью отсутствовать. На территории среднего течения снежный покров залегает в течение 220-250 дней, на территории нижнего течения снежный покров

держится до 260-280 дней. Максимальный запас в снеге отмечается в первой декаде апреля, и он составляет 110-170 мм в низовьях и 35-80 мм – в среднем течении.

Суммарное испарение с низовьев р. Лены составляет 150 мм, с территории среднего течения – 200 мм. [1]

2.2 Анализ состояния климата

Для того, что оценить изменения климатических характеристик необходимо взять исходные данные. Были взяты исходные данные по среднемесячным температурам воздуха и количества осадков по метеостанциям Кюсюр, Жиганск, Якутск. Данные были взяты с сайта meteo.ru [9].

2.3 Температура воздуха

Для наглядного отражения климатической ситуации ниже были построены гистограммы среднемесячной температуры воздуха за многолетний период, которые показаны на рисунке 2.1.

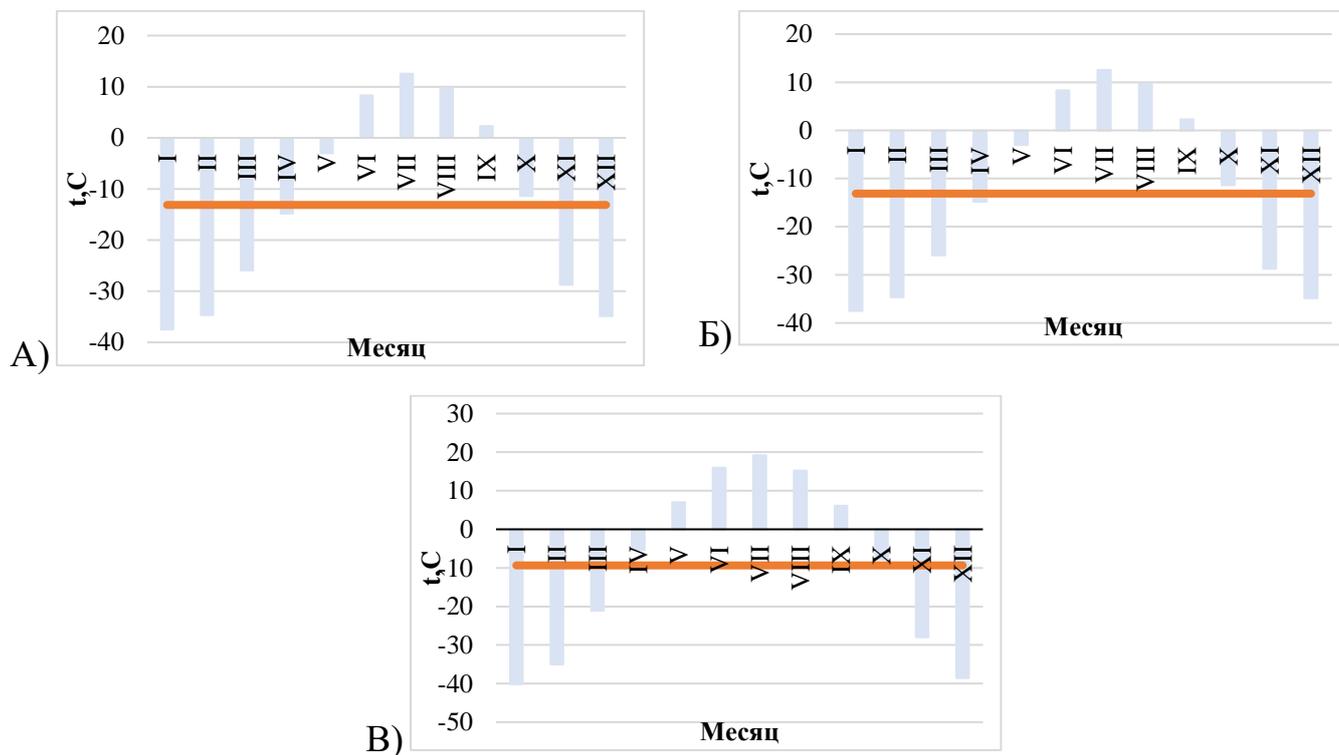


Рисунок 2.1 – Гистограмма среднемесячной температуры воздуха за многолетний период А) с. Кюсюр; Б) д. Жиганск; В) г. Якутск

Проанализировав рисунок 2.1, можно отследить, что на более северных метеопостах Кюсюр и Жиганск положительные температуры наблюдаются с июня по

сентябрь, а на метеопосту Якутск положительные температуры наблюдаются с мая по сентябрь это связано с тем, что пост расположен южнее.

Для выявления возможных изменений климатических характеристик в районе исследования были построены хронологические графики хода среднегодовых температур.

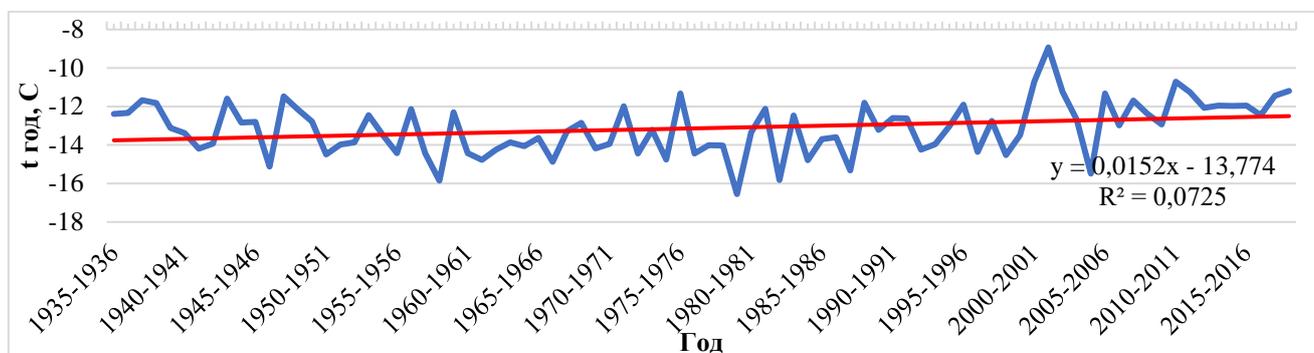


Рисунок 2.2 – Хронологический график хода среднегодовых температур воздуха по метеопосту Кюсюр

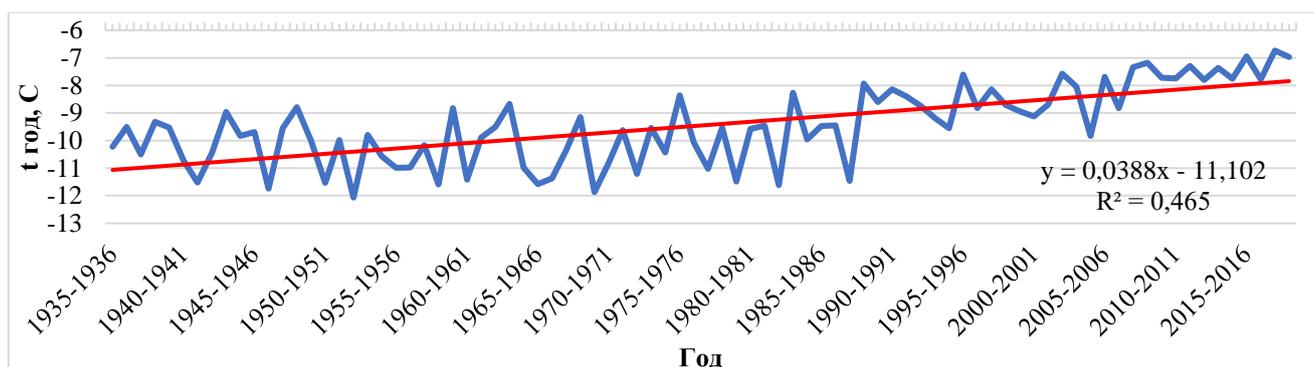


Рисунок 2.3 – Хронологический график хода среднегодовых температур воздуха по метеопосту Якутск

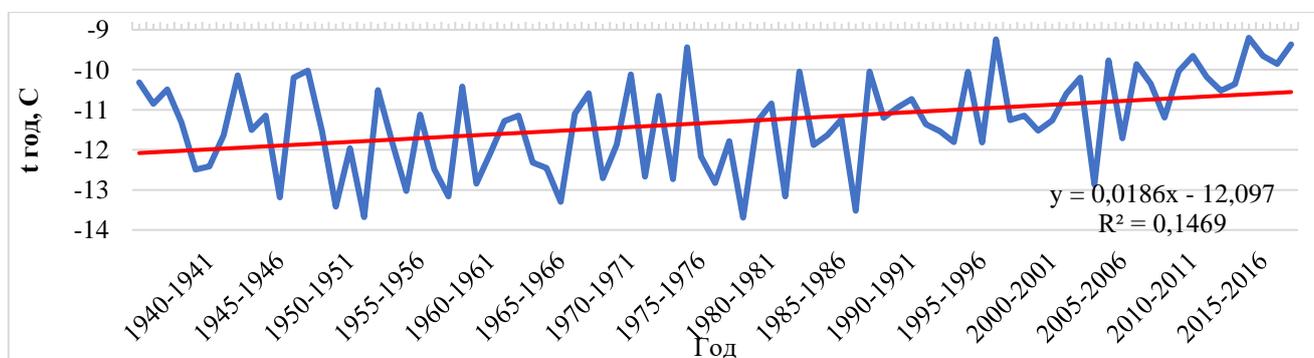


Рисунок 2.4 – Хронологический график хода среднегодовых температур воздуха по метеопосту Жиганск

После построения графиков можно увидеть, что все тренды идут на повышение. Хронологические графики по другим постам и периодам приведены в приложении А.1 – А.2

Для того, чтобы оценить значим этот тренд или нет была проведена оценка значимости линейных трендов критерием Стьюдента по каждому посту за каждый интересующий нас период наблюдения. Так же были проанализированы климатические изменения по разным периодам водности реки, которые коррелируются с гидрологическими данными.

Таблица 2.1 – Оценка значимости линейных трендов температур воздуха по данным метеорологических постов

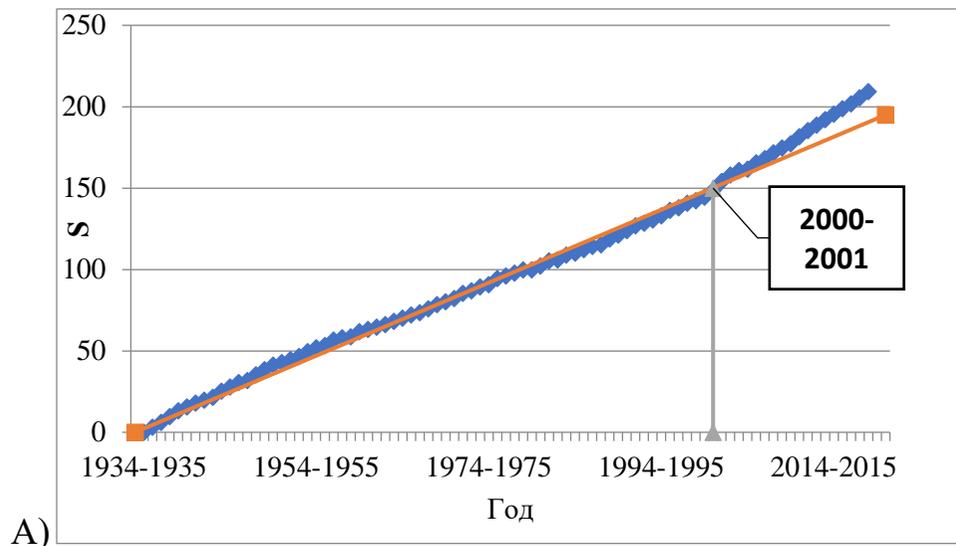
		n	R2	oR	t2 α	R	R/oR	R/oR>t2 α	St	F
Кюсюр	t год	84	0,073	0,11	1,99	0,27	2,53	тренд значим	-	-
	t нлп	84	0,067	0,11	1,99	0,26	2,43	тренд значим	-	-
	t лп	84	0,048	0,11	1,99	0,22	2,03	тренд значим	-	+
	t лс	84	0,049	0,11	1,99	0,22	2,06	тренд значим	-	+
Якутск	t год	84	0,465	0,08	1,99	0,68	8,44	тренд значим	-	-
	t нлп	84	0,231	0,10	1,99	0,48	4,97	тренд значим	-	+
	t лп	84	0,447	0,08	1,99	0,67	8,15	тренд значим	-	-
	t лс	84	0,515	0,08	1,99	0,72	9,34	тренд значим	-	-
Жиганск	t год	84	0,147	0,10	1,99	0,38	3,73	тренд значим	-	+
	t нлп	84	0,095	0,11	1,99	0,31	2,92	тренд значим	-	-
	t лп	84	0,112	0,10	1,99	0,33	3,19	тренд значим	-	+
	t лс	84	0,168	0,10	1,99	0,41	4,05	тренд значим	-	+

По проведенному анализу температурные тренды значимы по всем постам за все периоды наблюдения.

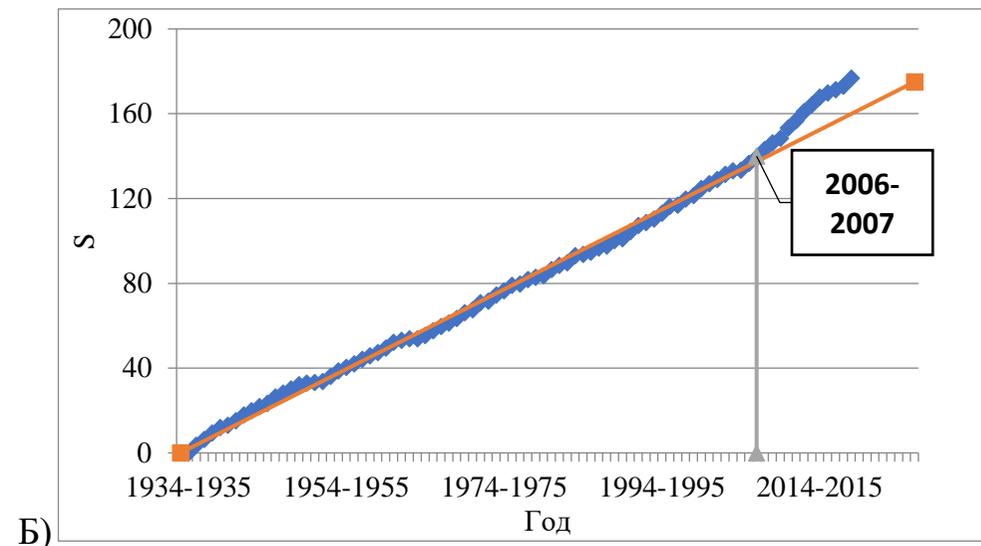
Построение интегральных кривых.

Интегральные кривые необходимы для того, чтобы найти точку изменения климатических характеристик. В качестве примера приведен метеопост Кюсюр за различные периоды водности.

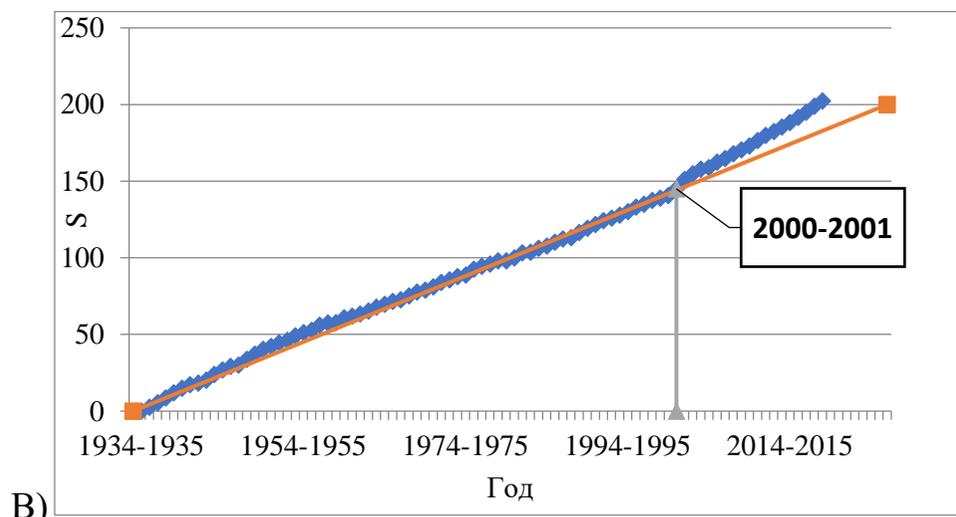
Ниже были построены интегральные кривые, показанные на рисунке 2.5.



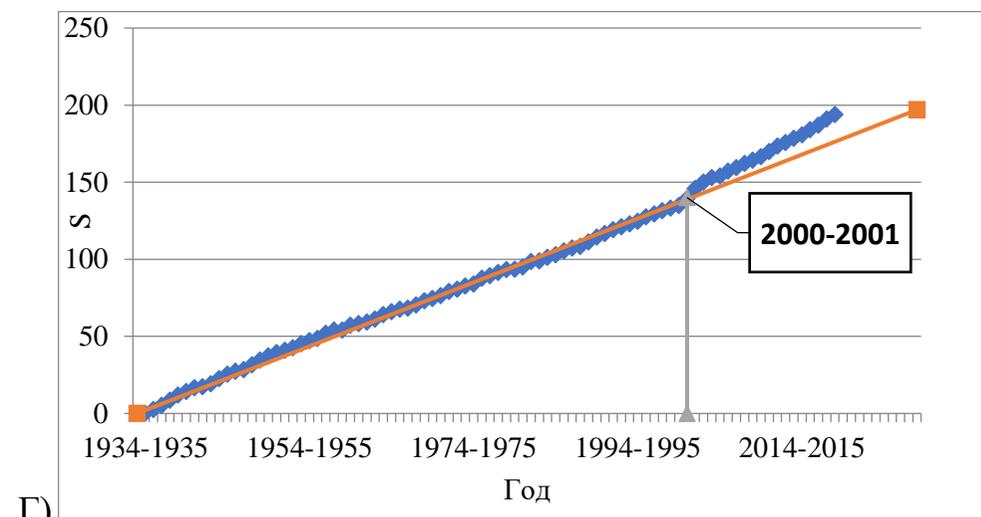
А)



Б)



В)



Г)

Рисунок 2.5 – Интегральные кривые температур воздуха за А) год; Б) нелимитирующий период; В) лимитирующий период; Г) лимитирующий сезон по метеопосту Кюсюр

Проанализировав рисунок 2.5, можно отметить, что изменения были в один и тот же период в 2000-х годах, за исключением нелимитирующего периода. Графики по другим постам приведены в приложении Б.1 – Б.2. Изменения по метеопосту Якутск происходили с конца 80-х по начало 90-х, а изменения по метеопосту Жиганск происходили с середины 90-х по начало 2000-х. Можно сказать, что расположение метеопостов влияет на точку изменения климатических характеристик.

2.4 Осадки

Для наглядного отражения климатической ситуации ниже были построены гистограммы суммы годовых осадков за многолетний период, которые показаны на рисунке 2.6.

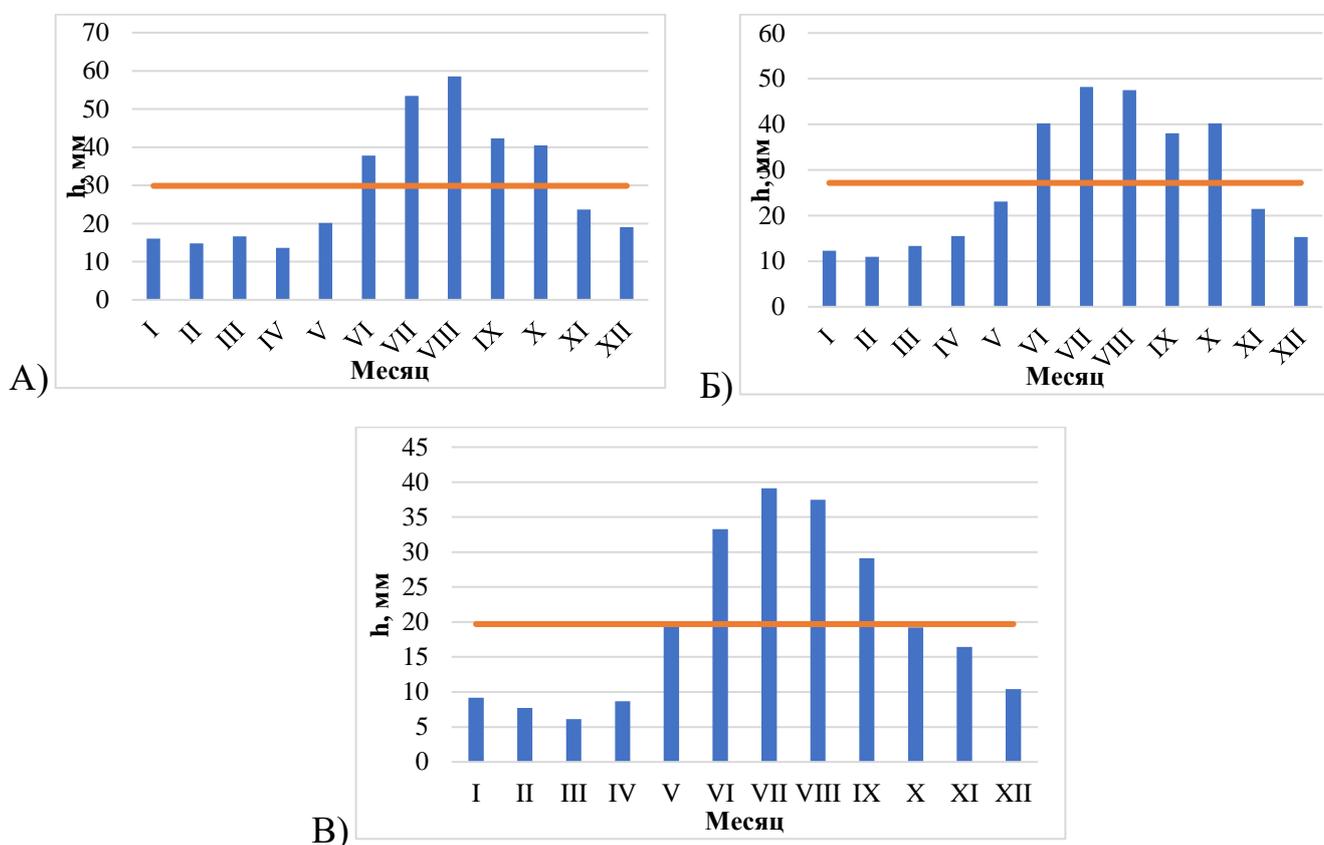


Рисунок 2.6 – Гистограмма суммы годовых осадков за многолетний период
А) с. Кюсюр; Б) д. Жиганск; В) г. Якутск

Проанализировав рисунок 2.6, можно отследить, что на северных метеопостах Кюсюр и Жиганск период наиболее интенсивных осадков наблюдаются с июня по октябрь, тем временем как в Якутске, который находится южнее, этот период длится с июня по сентябрь.

Для выявления возможных изменений климатических характеристик в районе исследования были построены хронологические графики хода суммы годовых осадков за многолетний период.

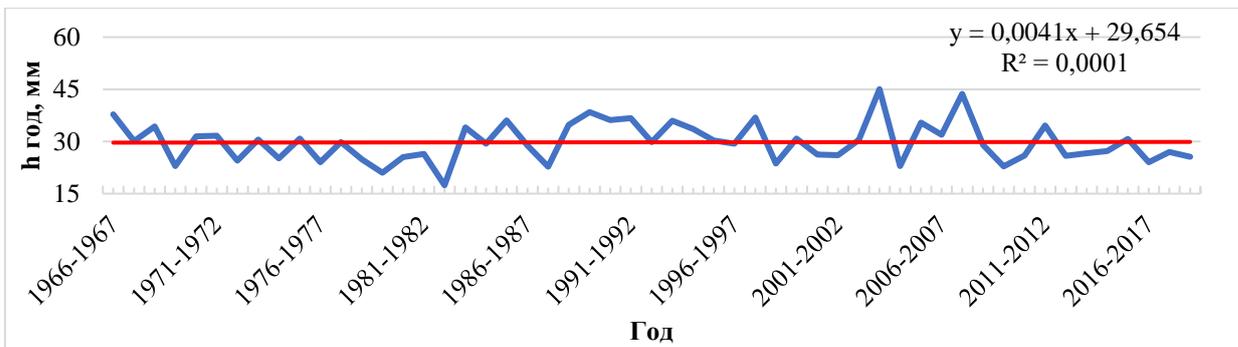


Рисунок 2.7 – Хронологический график хода среднегодовых осадков по метеопосту Кюсюр

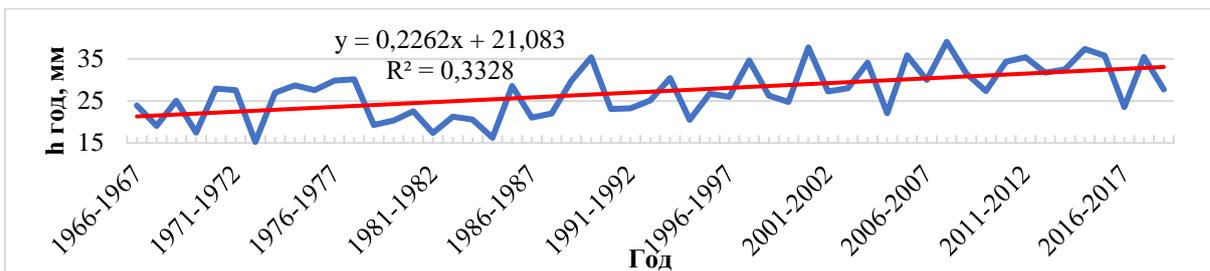


Рисунок 2.8 – Хронологический график хода среднегодовых осадков по метеопосту Жиганск

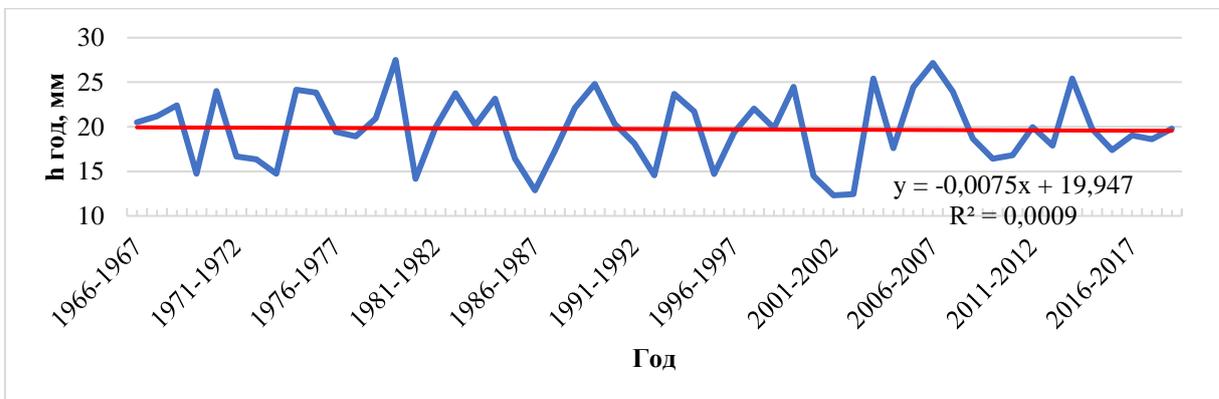


Рисунок 2.9 – Хронологический график хода среднегодовых осадков по метеопосту Якутск

После построения графиков можно увидеть, что тренд идет на повышение только на метеопосте Жиганск. Хронологические графики по другим постам и периодам приведены в приложении В.1 – В.3.

Таблица 2.2 – Оценка значимости линейных трендов среднемесячных осадков по данным метеорологических постов

		n	R ²	oR	t _{2α}	R	R/oR	R/oR>t _{2α}
Кюсюр	h год	53	0,0001	0,14	2,01	0,01	0,07	тренд не значим
	h нлп	53	0,045	0,14	2,01	0,21	1,55	тренд не значим
	h лп	53	0,066	0,14	2,01	0,26	1,90	тренд не значим
	h лс	53	0,041	0,14	2,01	0,20	1,47	тренд не значим
Якутск	h год	53	0,001	0,14	2,01	0,03	0,21	тренд не значим
	h нлп	53	0,001	0,14	2,01	0,03	0,19	тренд не значим
	h лп	53	0,001	0,14	2,01	0,03	0,25	тренд не значим
	h лс	53	0,002	0,14	2,01	0,05	0,34	тренд не значим
Жиганск (Табага)	h год	53	0,328	0,11	2,01	0,57	4,99	тренд значим
	h нлп	53	0,074	0,13	2,01	0,27	2,02	тренд значим
	h лп	53	0,392	0,11	2,01	0,63	5,73	тренд значим
	h лс	53	0,379	0,11	2,01	0,62	5,58	тренд значим

По проведенному анализу температурные тренды не значимы по всем постам за все периоды наблюдения, кроме метеопоста Жиганск.

Исходя из построенных графиков можно увидеть, что по Кюсюру и Якутску изменений практически не наблюдается, в отличии от Жиганска.

3. Гидрологическая изученность и исходные данные. Проверка рядов на однородность и стационарность

3.1 Общая характеристика гидрологической изученности

Гидрологические условия в низовьях Лены и на речной границе ее дельты характеризуются данными наблюдений на замыкающем створе – гп Кюсюр ($F=2430$ тыс. км²). Пост расположен на 70041' с.ш и 127024' в.д. перед вхождением реки в Ленскую трубу, на 145 км выше вершины дельты и в 361 км от моря, или на расстоянии 2220 км от Вилюйской ГЭС-1,2. Пост функционирует с 1934 г., осуществляя весь комплекс гидрологических измерений. За 1935–2019 гг. средний многолетний Q нижней Лены у с. Кюсюр составил 16 950 м³/с. Ниже по течению реки расположился гп Табага ($F= 897$ тыс. км²). Пост расположен на 61083' с.ш. и 129060' в.д., расстояние от истока 2767 км, а от устья 1527 км. Пост функционирует с 1936 г., осуществляя весь комплекс гидрологических измерений. За 1936–2019 гг. средний многолетний Q нижней Лены у с. Табага составил 7 523 м³/с. [10]

Описание гидрологических постов.

Река Лена – с. Кюсюр

Станция расположена в селе Кюсюр. Пойма правого берега покрыта болотами и кустарником, затопляется при уровне 2995 см. Русло реки на участке прямолинейно устойчивое. Правый берег низкий, переходит в заболоченную лесотундру; левый берег – крутой, высотой 200 м. Весенний ледоход проходит бурно, сопровождается большими навалами льда на берегах, наблюдаются заторы льда. Основной водопост находится на правом берегу, состоит из свай и 3-х реперов. Отметка нуля графика – 0,05 м абс. [3]

Река Лена – с. Табага

Пост расположен в 3 км выше села Табага. Долина реки ящикообразная, шириной до 12 км. Склоны долины крутые, высотой до 120

м, сложены песчаником и суглинком. Пойма двусторонняя: правобережная, шириной до 6 км, затопляется при уровне 750-850 см; левобережная затопляется при уровне 908 см. Русло реки на участке поста изогнутое, песчаное. Высота нуля графика 85,08 м БС. [3]

3.2 Исходные данные

При расчете внутригодового распределения стока использовались данные двух гидропостов Кюсюр и Табага. На рисунке 3.1 представлена карта расположения метеопостов и гидропостов.

Таблица 3.1 – Данные гидропостов Кюсюр и Табага¹

№	Пост	Период наблюдений	n, лет
1	Кюсюр	1935-2019	84
2	Табага	1936-2019	83

¹По данным [4];[11]

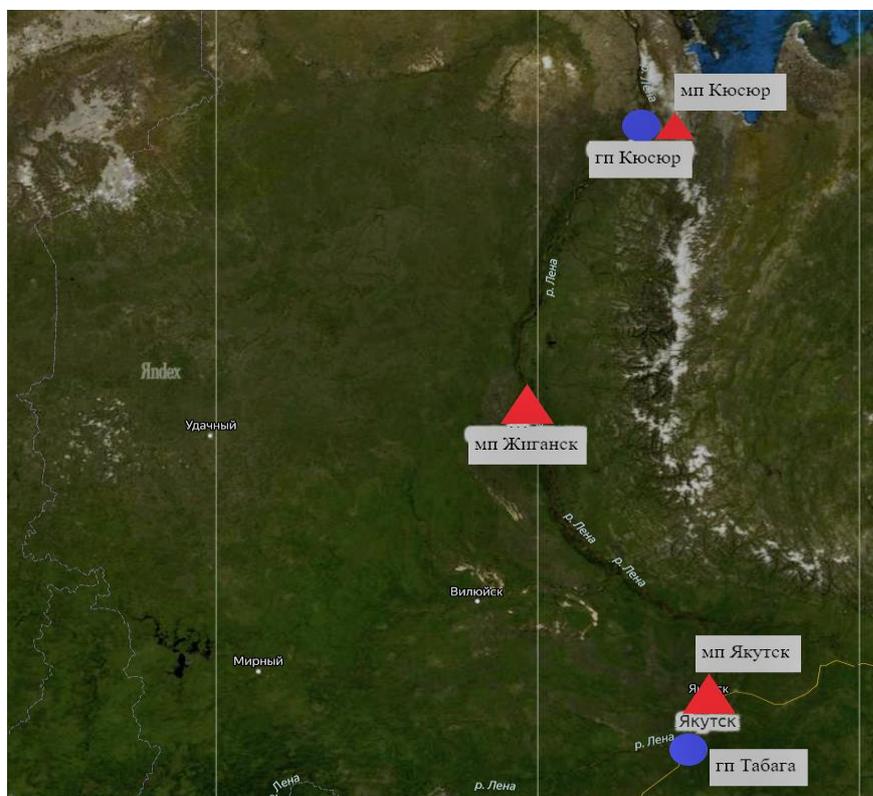


Рисунок 3.1 – Схема расположения метеопостов и гидропостов на р. Лена

3.3 Оценка временных трендов и проверка рядов на однородность.

В данной работе для проверки однородности используются два параметрических критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера. Критерий Стьюдента позволяет провести проверку ряда на однородность по среднему значению, а критерий Фишера – по дисперсии.

Рассчитывается эмпирическое значение критерия Фишера по формуле:

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

где D_1 и D_2 – дисперсии по одной и другой частям ряда.

Эмпирическое значение статистики Фишера сравнивается с теоретическим F_t при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Рассчитывается эмпирическое значение критерия Стьюдента по формуле:

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

где n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда; \bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 – средние значения по первой и второй частям ряда; σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда.

Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим t_t при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. [8].

Для выявления возможных изменений гидрологических характеристик в районе исследования были построены хронологические графики среднегодовых расходов воды за разные периоды.

На рисунках 3.2 – 3.2 представлены хронологические графики среднегодовых расходов воды за лимитирующий сезон, нелимитирующий сезон, нелимитирующий период, лимитирующий период и за год по 2 постам.

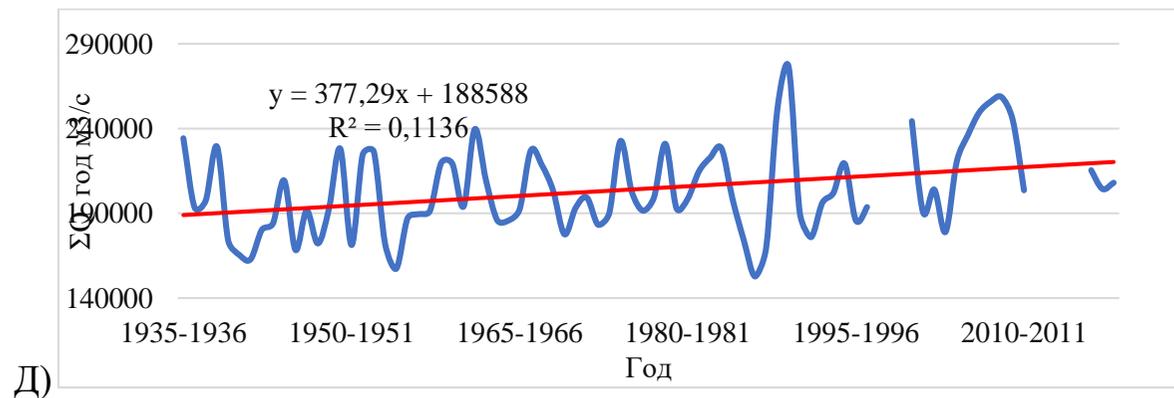
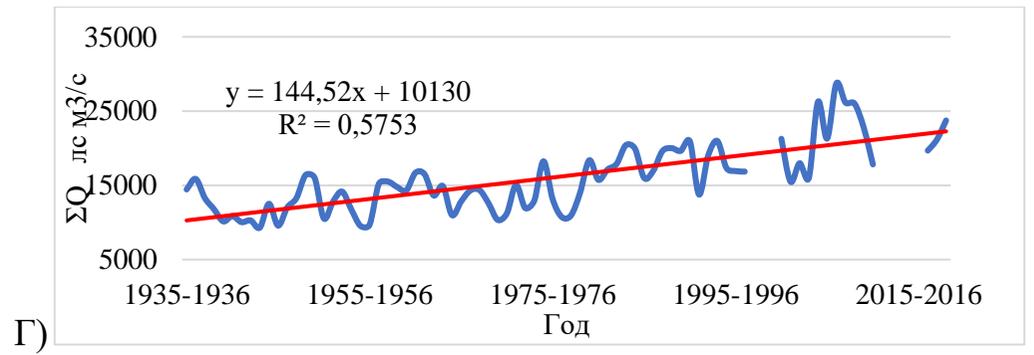
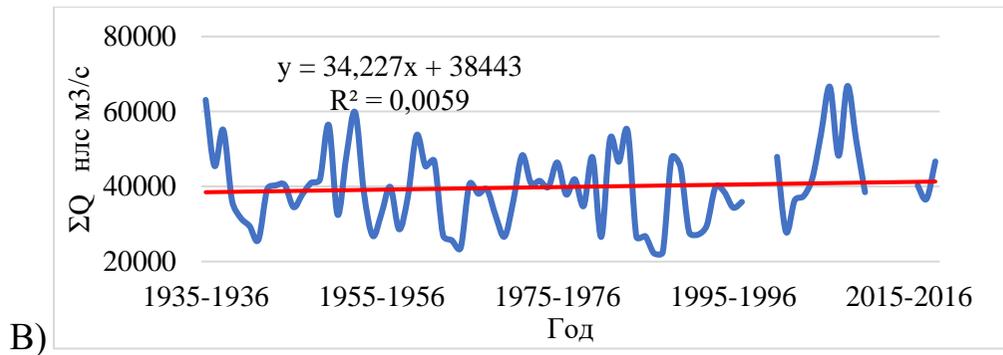
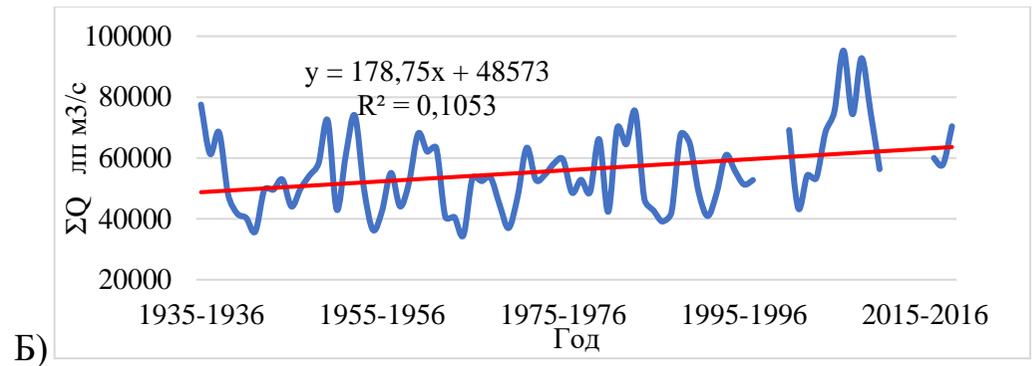
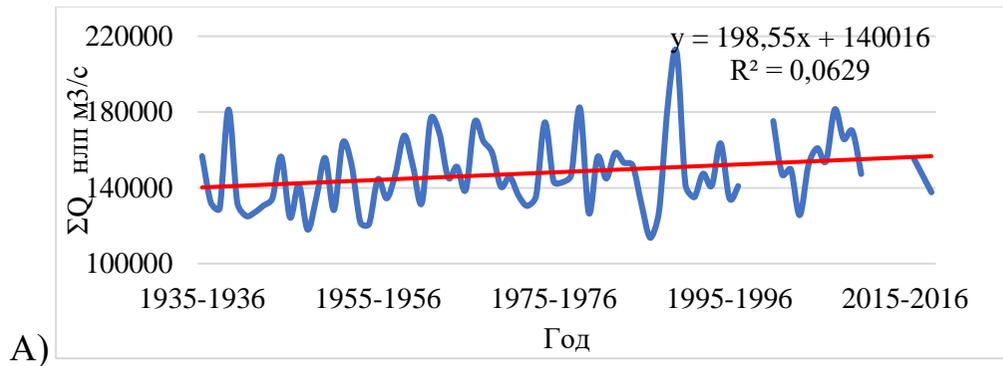


Рисунок 3.2 – Линейный тренд стока р. Лена – с. Кюсюр за а) нелимитирующий период; б) лимитирующий период; в) нелимитирующий сезон; г) лимитирующий сезон; д) год

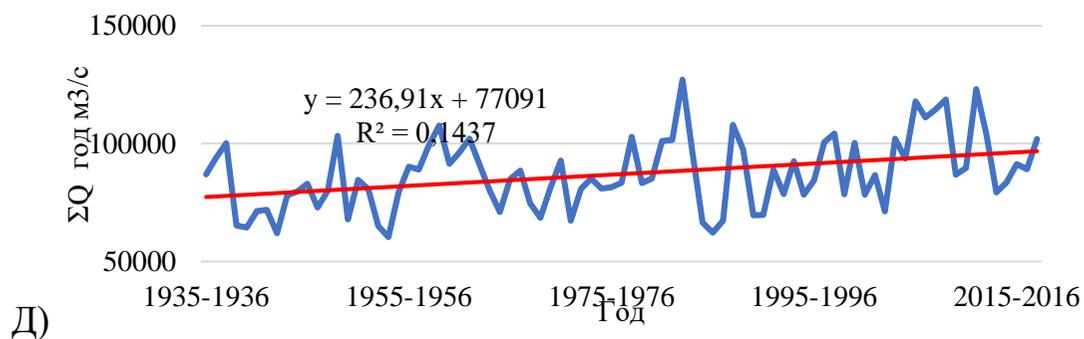
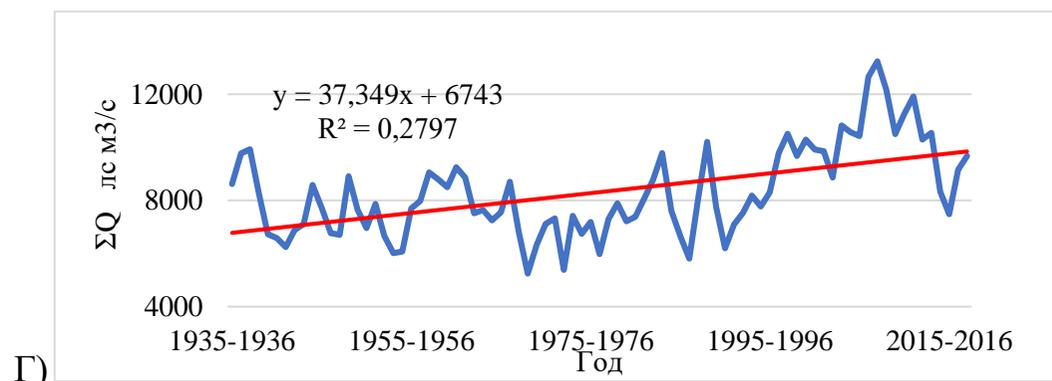
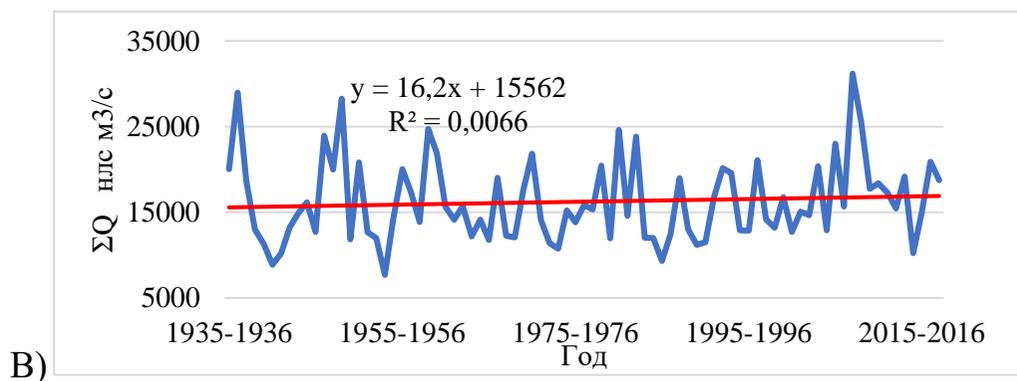
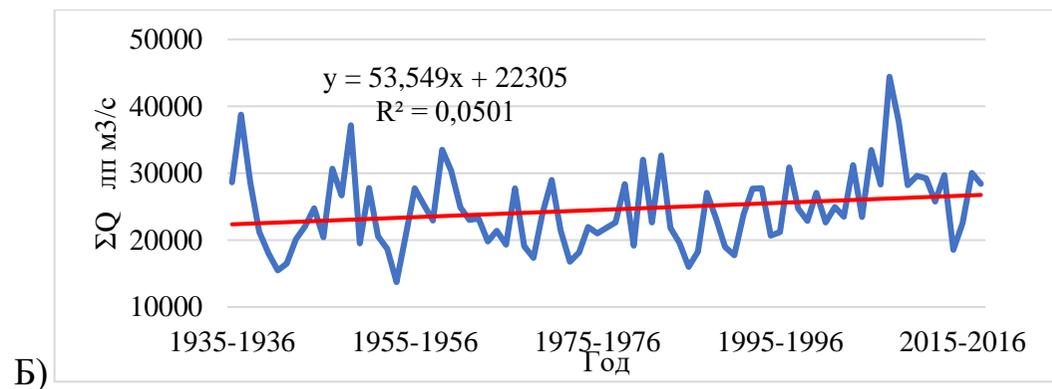
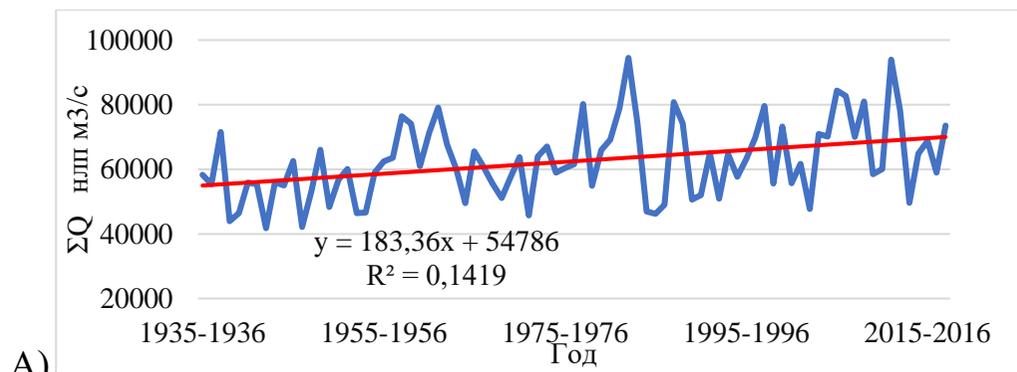


Рисунок 3.3 – Линейный тренд стока р. Лена – с. Табага за а) нелимитирующий период; б) лимитирующий период; в) нелимитирующий сезон; г) лимитирующий сезон; д) год

Показанные на рисунках 3.2 – 3.3 линейные тренды, оценивались соотношения коэффициента корреляции R и его среднеквадратической погрешности σR .

После построения графиков можно увидеть, что значимые тренды рядов оказались за год, нелIMITирующий период, лимитирующий период, лимитирующий сезон по обоим гидрологическим постам. За нелIMITирующий сезон значимых трендов не оказалось.

Таблица 3.2 – Оценка значимости линейных трендов и проверка ряда на однородность по критериям Фишера и Стьюдента по 2-м постам

		n	R ²	oR	t _{2α}	R	R/oR	R/oR>t _{2α}	Std	F
Кюсюр	ΣQ год м3/с	84	0,114	0,10	1,99	0,34	3,24	тренд значим	-	-
	ΣQ нлп м3/с	84	0,063	0,11	1,99	0,25	2,35	тренд значим	+	+
	ΣQ лп м3/с	84	0,105	0,10	1,99	0,32	3,11	тренд значим	-	+
	ΣQ нлс м3/с	84	0,006	0,11	1,99	0,08	0,70	тренд не значим	+	+
	ΣQ лс м3/с	84	0,575	0,07	1,99	0,76	10,54	тренд значим	-	-
Табага	ΣQ год м3/с	83	0,144	0,10	1,99	0,38	3,69	тренд значим	-	+
	ΣQ нлп м3/с	83	0,142	0,10	1,99	0,38	3,66	тренд значим	-	-
	ΣQ лп м3/с	83	0,050	0,11	1,99	0,22	2,07	тренд значим	-	+
	ΣQ нлс м3/с	83	0,007	0,11	1,99	0,08	0,73	тренд не значим	+	-
	ΣQ лс м3/с	83	0,280	0,09	1,99	0,53	5,61	тренд значим	-	-

Гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента не опровергается только за нелIMITирующий период по обоим постам и за нелIMITирующий сезон по посту Табага. В остальных случаях гипотеза опровергается.

Гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера не опровергается за лимитирующий период по обоим постам, так же за нелIMITирующий период и нелIMITирующий сезон за один гп Кюсюр и за год по посту Табага. В остальных случаях гипотеза опровергается.

3.5 Построение разностно-интегральных кривых

Разностно-интегральная кривая, представляет из себя нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года. Способ разностно-интегральной кривой существует для оценки циклических колебаний многих явлений природы. Способ вычисления заключается в том, что для данного ряда наблюдений производится вычисление модульных коэффициентов.

Ниже были построены разностно-интегральные кривые показанные на рисунках 3.4 – 3.5 за год, нелимитирующий период, лимитирующий период и за лимитирующий сезон.

На рисунке 3.4 в приложениях А и Б видно, что с 1937 года до 50-х годов был период пониженной водности, с 50-х годов до конца 80-х был период средней водности и с 90-х годов период повышенной водности. В приложении В и Д видно деление на 2 периода: маловодного и многоводного.

На рисунке 3.5 в приложениях А,Б и В видно, что с 1937 года до 50-х годов был период пониженной водности, с 50-х годов до 2000-х был период средней водности и с 2000-х годов период повышенной водности. В приложении Д видно деление на 2 периода: маловодного и многоводного.

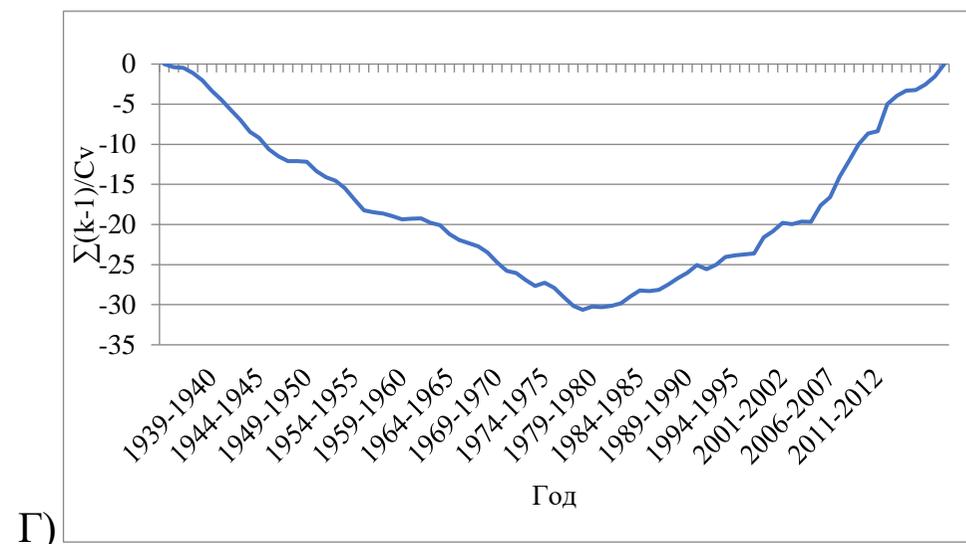
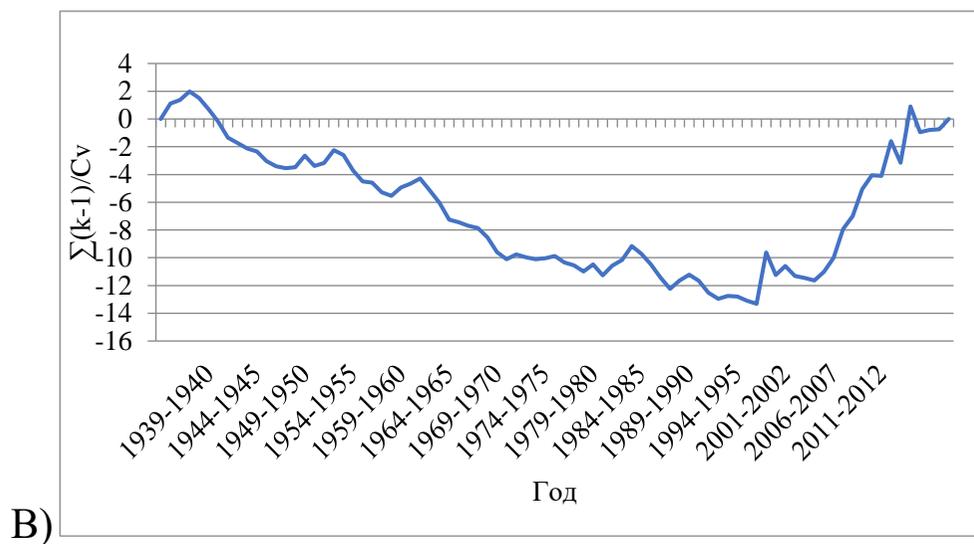
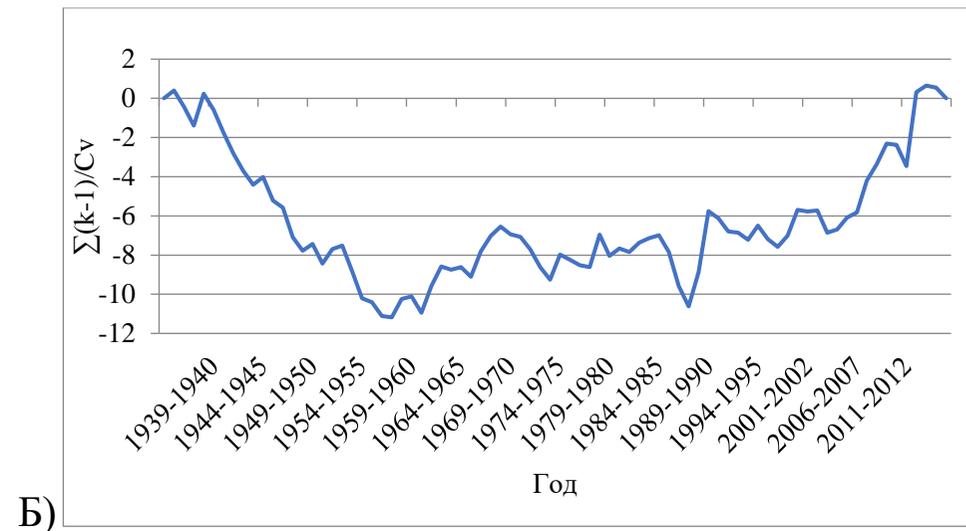
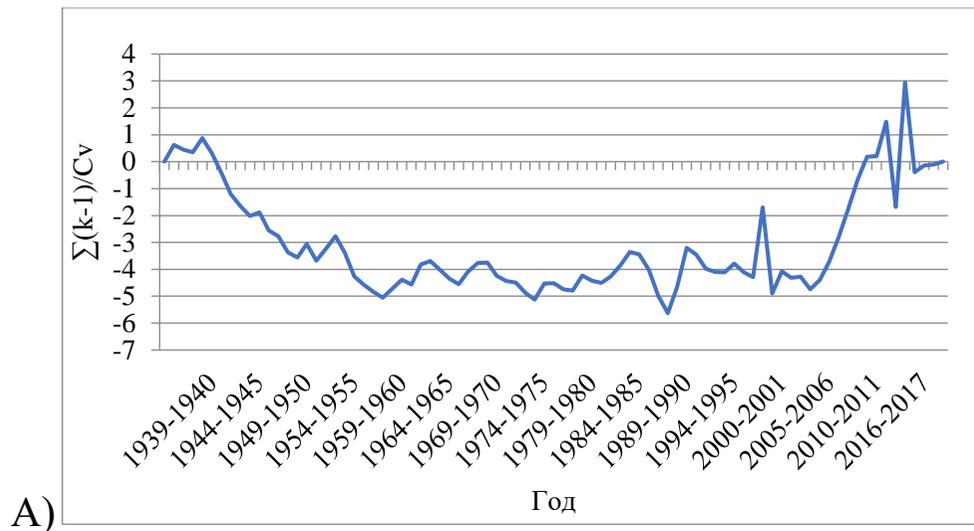


Рисунок 3.4 – Разностно-интегральные кривые река Лена – с. Кюсюр за а) год; б) нелимитирующий период; в) лимитирующий период; г) лимитирующий сезон

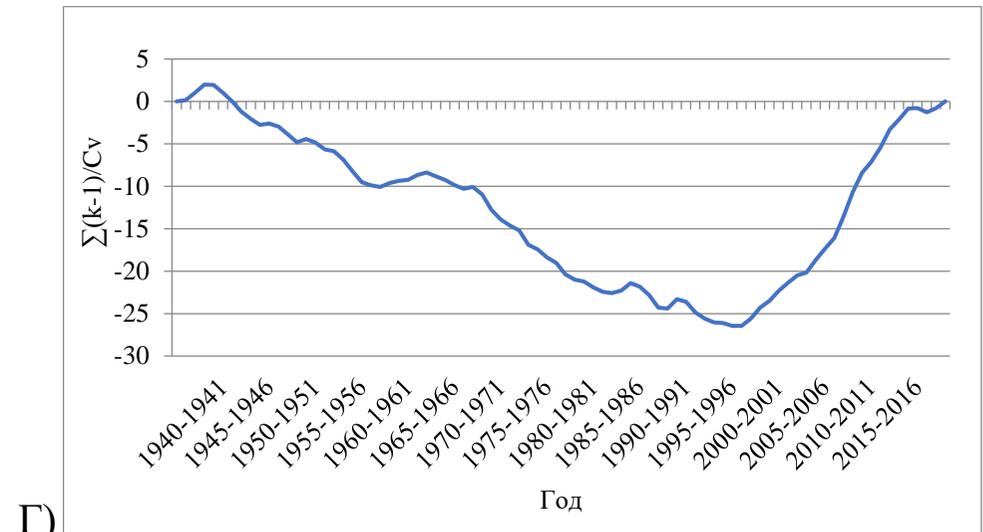
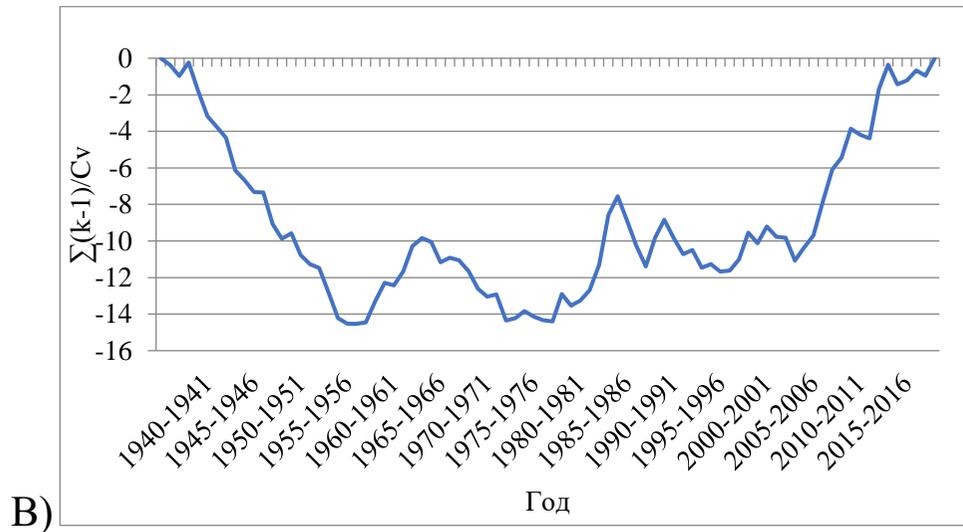
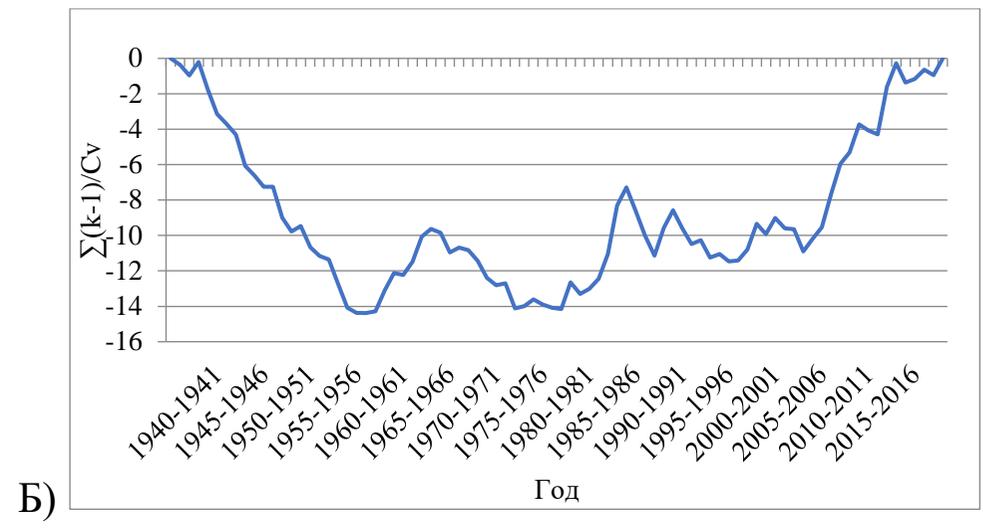
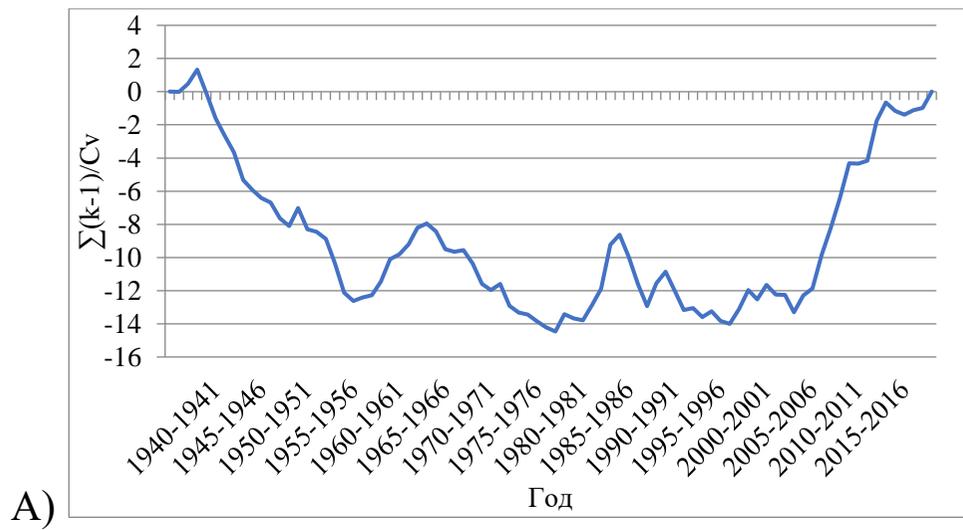


Рисунок 3.5 – Разностно-интегральные кривые река Лена – с. Табага за а) год; б) нелимитирующий период; в) лимитирующий период; г) лимитирующий сезон

4. Методы расчетов внутригодового распределения стока

С научной и практической точки зрения расчет внутригодового стока – это важнейшая гидрологическая задача как научного, так и практического прикладного порядка. Ее решение позволяет определить параметры водного хозяйства на конкретных гидротехнических сооружениях. Расчет внутригодового распределения стока регламентируется сводом соответствующих правил. В нем содержатся для этой цели три метода:

- 1) метод компоновки;
- 2) метод реального года;
- 3) метод среднего распределения стока в течение лет характерной градации водности.

Эти расчеты проводятся на основании рядов результатов наблюдений водохозяйственного года n в течение 15 и более лет. Единицей измерения месячного стока является Q , м³/с, а также слой стока воды.

Водохозяйственный год принято делить на два по типу водного режима и по характеру использования стока. Отличия по длительности в разных условиях периода делят его в свою очередь на лимитирующий и нелимитирующий. Лимитирующий период делится на два сезона, их границы выставляются одинаковыми для всех учитываемых лет и округляются в пределах одного месяца.

Значение расчетной вероятности превышения принимается одинаковой для всех расчетных временных интервалов. Установление величины зависит от функциональных задач использования воды в народном хозяйстве или с другими гидрологическими и экологическими решениями.

Для большей надежности расчета внутригодового распределения стока длительность многолетнего периода (n) устанавливается в соответствии с параметрами, указанными в регламентирующих документах. В соответствии

с допустимым параметром точности при длительности наблюдений (n) можно выделить несколько групп водности по характеристикам вероятности превышения стока реки за определенный водохозяйственный год.

В периоде n от 15 до 30 лет можно выделить три группы водности:

- многоводные годы, $P < 33,3 \%$,
- средние по водности годы, $33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$,
- маловодные годы, $P > 66,7 \%$.

В периоде n более 30 лет можно выделить уже пять групп водности:

- очень многоводные годы, $P < 16,7\%$,
- многоводные годы, $16,7\% \leq P < 33,3\%$,
- средние по водности годы, $33,3\% \leq P < 66,7\%$,
- маловодные годы, $66,7\% \leq P < 83,3\%$,
- очень маловодные годы, $P \geq 83,3\%$.

Установочный принцип определения групп по водности имеет в своей основе одинаковое количество лет для каждой основной группы [6].

4.1 Расчет внутригодового распределения стока реки Лена

Расчет внутригодового распределения стока реки Лена проводился по данным, полученным с двух постов – с Табага с 1936–2019 и с Кюсюр с 1935–2019 гг. Расчеты ВГРС выполнялись соответствии со «Сводом правил по проектированию и строительства СП 33-101-2003» [7] и методическими указаниями [5], [6].

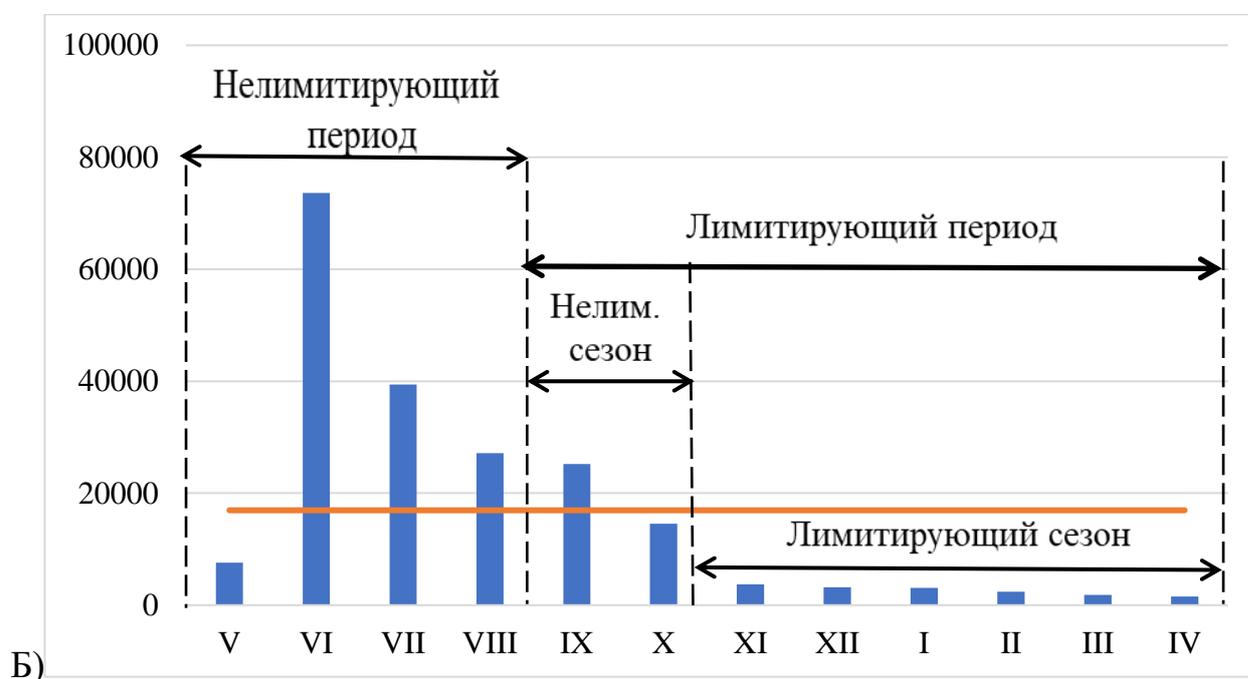
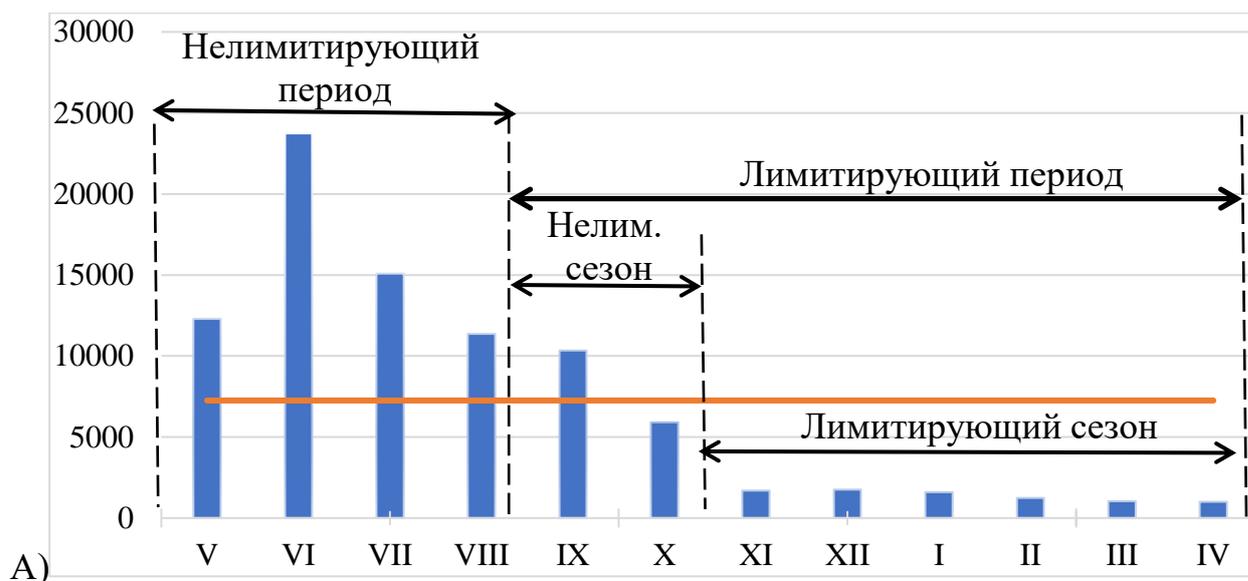


Рисунок 4.1 – Схема разбивки водохозяйственного года на сезоны и периоды при расчете внутригодового распределения стока для гидростов:
 А) Табага; Б) Кюсюр

Началом водохозяйственного года на обоих постах был признан Май, поскольку в мае начинается половодье. Исходя из расчетных данных на посту Кюсюр водохозяйственный год должен был начаться с июня, но исходя из данных ресурсов поверхностных вод [1] и таблицы сроков и продолжительности основных гидрологических сезонов [5] для этого региона, как правило, началом нелимитирующего периода обозначается май.

За лимитирующий период был взят Сентябрь – Март, а за лимитирующий сезон была принята зима, а именно Ноябрь – Апрель. На многолетней дистанции наиболее высокие среднемесячные значения за период естественного стока оказались в июне, а наименьшие – в апреле. Поэтому, можно сказать, границы водохозяйственных лет и периодов гидропостов Кюсюр и Табага совпадают.

5. Внутригодовое распределение стока методом компоновки

Одним из часто используемых методов оценки является метод компоновки.

При использовании метода компоновки распределение стока по периодам и сезонам года определяют следующим образом. Расчетные значения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц определяют по соответствующим аналитическим кривым распределения стока с использованием принципа равенства расчетных вероятностей превышения стока $R_{расч}$ за водохозяйственный год $R_{вг}$, лимитирующий период $R_{лп}$, лимитирующий сезон $R_{лс}$ и лимитирующий месяц $R_{лм}$. Сток за нелимитирующий период определяют по разности расчетных значений объемов стока за водохозяйственный год и лимитирующий период, сток за нелимитирующий сезон - по разности расчетных объемов стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон, а суммарный объем стока всех не лимитирующих месяцев внутри не лимитирующего сезона - по разности расчетных объемов стока за лимитирующий сезон и лимитирующий месяц.

Расчетные значения месячного стока внутри лимитирующего сезона и не лимитирующего сезона определяют с таким расчетом, чтобы получить для

этих сезонов наиболее неравномерные распределения стока. С этой целью внутри каждого из этих сезонов, входящих в соответствующую группу водности, месячные объемы стока располагают в убывающем порядке с указанием календарных месяцев, к которым они относятся.

Каждому ранжированному месячному значению каждого из m лет, входящих в рассматриваемую группу водности, присваивается свой порядковый номер. Для всех m лет данной группы водности производится суммирование месячных значений стока, имеющих одинаковые порядковые номера в полученных ранжированных их внутрисезонных рядах. Путем сложения этих сумм для всех k месяцев, входящих в рассматриваемый сезон, находится их сумма за сезон. Делением сумм стока месяцев, имеющих одинаковые порядковые номера, на их общую сумму за сезон определяется относительное внутрисезонное распределение стока (по месяцам внутри сезона в долях или % от суммарного стока). Полученным средним за m лет месячным долям (или %) теперь вместо присвоенных ранее порядковых номеров присваиваются названия того календарного месяца, который встречался наиболее часто при сложении указанных m значений месячного стока одинакового номера. Для составного периода (например, для лимитирующего периода), включающего в себя два сезона (лимитирующий сезон и нелимитирующий сезон), месячные значения стока располагаются в порядке убывания отдельно для каждого из составляющих их сезонов (лимитирующий сезон и нелимитирующий сезон). [6]

5.1 Расчетная часть методом компоновки р. Лена – с. Кюсюр

Расчет внутригодового распределения стока ведется за период: с 1936 по 2019 (с. Кюсюр).

Расчет месячных сумм расходов и ранжированные суммы месячных расходов за водохозяйственный год, нелимитирующий период,

лимитирующий период, нелимитирующий сезон и лимитирующий сезон р. Лена – с. Кюсюр представлены в приложении Г.1 – Г. 2.

Ординаты аналитической кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля и расчет координат за год; лимитирующий период; лимитирующий сезон для различных обеспеченностей: 5%, 50% и 90% р. Лена – с. Кюсюр представлены в приложении Д.1 – Д.2.

Расчет внутригодового распределения стока по месяцам многоводной, маловодной и средней по водности группы для 5%, 50% и 90% - ой обеспеченности за различные периоды для р. Лена – с. Табага представлены в приложении Д.5 – Д. 14.

5.2 Расчет внутригодового распределения стока методом компоновки 90%, 50% и 5%-ой обеспеченности для р. Лена – с. Кюсюр

Расчеты представлены в таблицах 5.1 – 5.3. Далее были построены графики распределения внутригодового стока за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% (рисунок 5.1).

Таблица 5.1 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Кюсюр 5%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	4,1	32,7	18,3	13,0	14,7	8,0	2,1	1,6	1,9	1,4	1,1	1,0	68	23	9	100
Q, м3/с	9824	77905	43619	31026	35082	19027	4915	3879	4413	3355	2665	2264	162374	54109	21491	237974

Таблица 5.2 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Кюсюр 50%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	3,6	36,9	19,6	13,0	12,0	7,2	1,9	1,5	1,5	1,2	0,9	0,7	73	19	8	100
Q, м3/с	7238	74896	39812	26309	24332	14698	3830	3126	2950	2354	1800	1442	148255	39030	15502	202787

Таблица 5.3 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Кюсюр 90%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	2,4	39,4	20,2	14,3	10,6	6,4	1,7	1,4	1,3	1,0	0,7	0,6	76	17	7	100
Q, м3/с	4196	70265	36062	25553	18887	11390	3068	2572	2307	1722	1300	1058	136076	30277	12026	178379

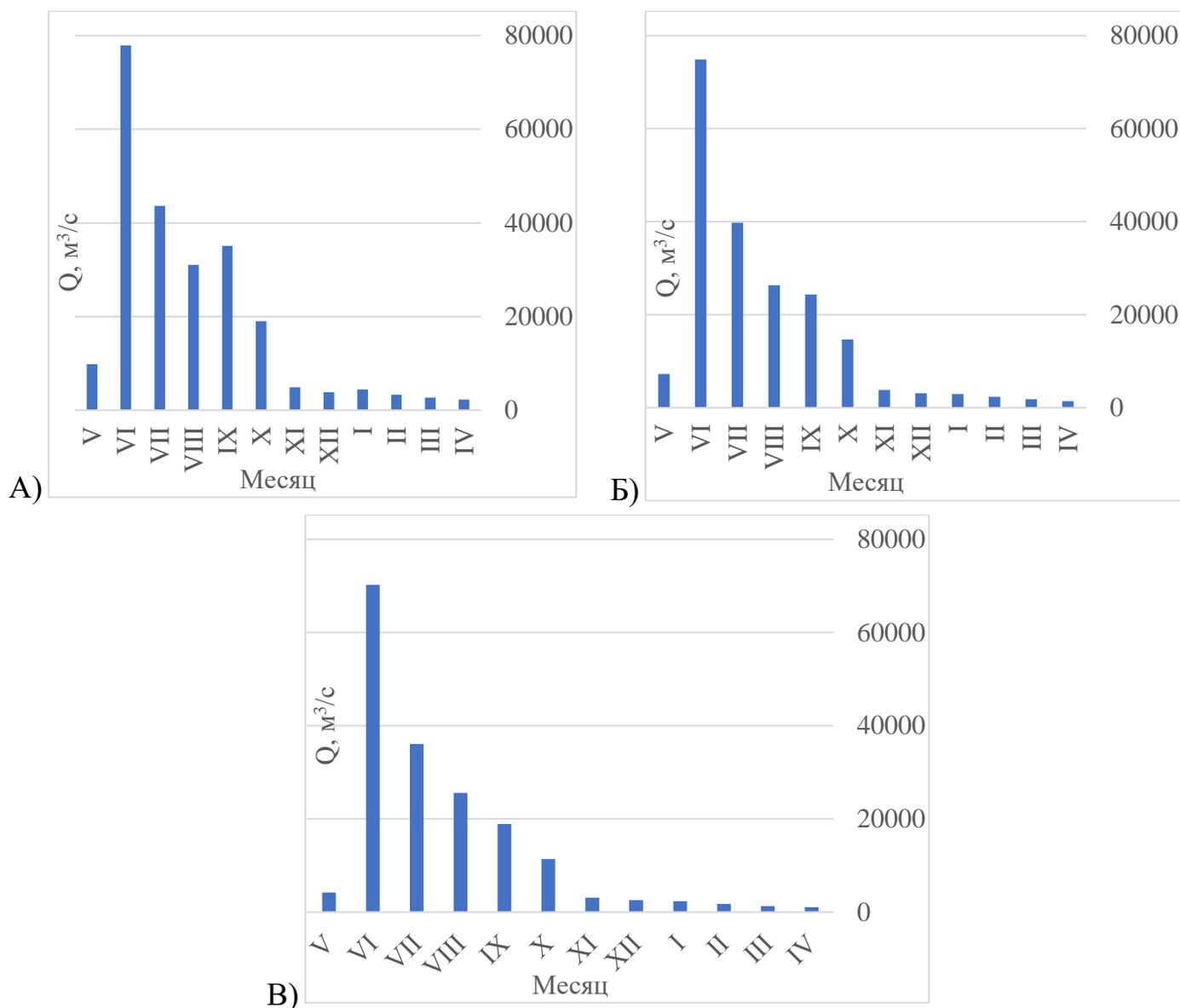


Рисунок 5.1 - Расчетный гидрограф стока р. Лена – с. Кюсюр за различные обеспеченности: А)5%; Б)50%; В)90%

При анализе графиков распределения внутригодового стока методом компоновки на реке Лена – с. Кюсюр было выявлено, что при 50% и 90% - ой обеспеченности происходит увеличение стока в весенне-летний период и одинаковое перераспределения стока в осенний и зимний сезон.

Но следует отметить, что при 5% - ой обеспеченности так же наблюдается увеличение стока в весенне-летний период, но вот в осенний сезон перераспределение стока идет неравномерно, с небольшим подъемом в сентябре.

5.3 Расчетная часть методом компоновки по р. Лена – с. Табага

Расчет внутригодового распределения стока ведется за период: с 1935 года по 2019 год (с. Табага).

Расчет месячных сумм расходов и ранжированные суммы месячных расходов за водохозяйственный год, нелимитирующий период, лимитирующий период, нелимитирующий сезон и лимитирующий сезон р. Лена – с. Табага представлены в приложении Г.3 – Г.4.

Ординаты аналитической кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля и расчет координат за год; лимитирующий период; лимитирующий сезон для различных обеспеченностей: 5%, 50% и 90% р. Лена – с. Табага представлены в приложении Д.15 – Д.17.

Расчет внутригодового распределения стока по месяцам многоводной, маловодной и средней по водности группы для 5%, 50% и 90% - ой обеспеченности за различные периоды для р. Лена – с. Табага представлены в приложении Д.19 – Д.27.

5.4 Расчет внутригодового распределения стока методом компоновки 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Табага

Расчеты представлены в таблицах 5.4 – 5.6. Далее были построены графики распределения внутригодового стока за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% (рисунок 5.2).

Таблица 5.4 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Табага 5%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	14,5	26,9	19,0	11,1	12,4	6,6	2,2	1,7	2,0	1,4	1,2	1,1	71	19	10	100
Q, м3/с	16916	31327	22104	12895	14440	7650	2554	2007	2283	1684	1454	1322	83242	22090	11304	116635

Таблица 5.5 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Табага 50%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	10,8	27,5	18,6	15,0	11,6	6,9	2,2	1,9	1,7	1,4	1,2	1,1	72	19	10	100
Q, м3/с	9250	23630	15992	12863	9989	5945	1907	1639	1435	1203	1024	946	61735	15934	8154	85823

Таблица 5.6 - Внутригодовое распределение стока р. Лена - с. Табага 90%-ой обеспеченности

Единицы измерения	Месячный сток												Сезонный			Годовой сток
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	Весна-лето	Осень	Зима	
%	11,0	27,8	18,6	14,2	11,6	7,2	1,9	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	72	19	10	100
Q, м3/с	7202	18262	12185	9295	7644	4717	1274	1498	1098	916	794	745	46943	12360	6325	65629

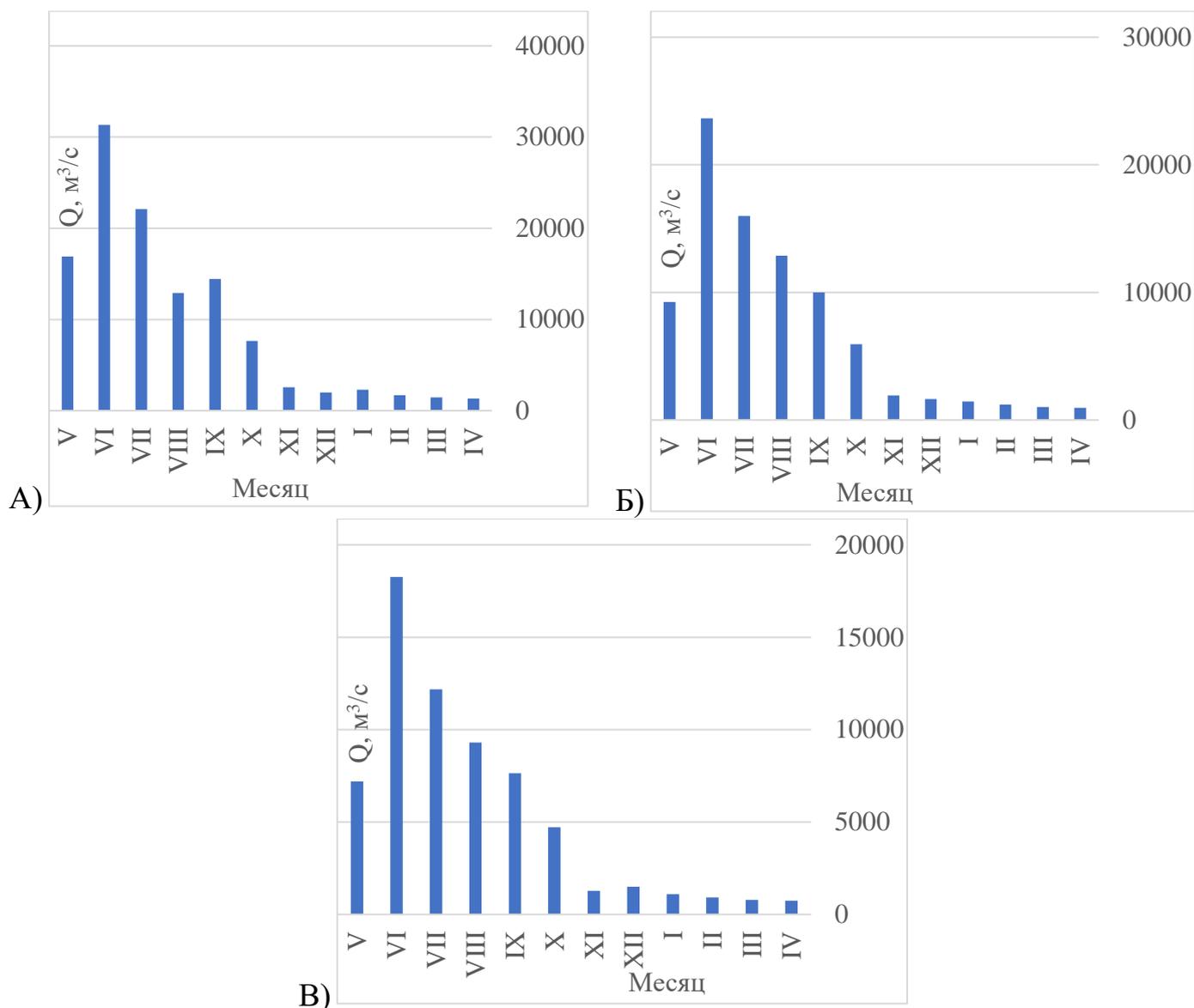


Рисунок 5.2 - Расчетный гидрограф стока р. Лена – с. Табага за различные обеспеченности: А)5%; Б)50%; В)90%

При анализе графиков распределения внутригодового стока методом компоновки на реке Лена – с. Табага было выявлено, что при 50% и 90% - ой обеспеченности происходит увеличение стока в весенне-летний период и одинаковое перераспределения стока в осенний и зимний сезон.

Но следует отметить, что при 5% - ой обеспеченности так же наблюдается увеличение стока в весенне-летний период, но вот в осенний сезон перераспределение стока идет неравномерно, с небольшим подъемом в сентябре.

6. Внутригодовое распределение стока методом реального года

Определение внутригодового распределения стока методом реального года основано на выборе расчетного водохозяйственного года из числа фактических с использованием принципа наибольшей близости вероятностей превышения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц к расчетной вероятности превышения. Этот выбор производят из числа лет расчетной группы водности с использованием следующей формулы:

$$\Delta P = (P_{\text{вг}} - P_{\text{расч}})^2 + (P_{\text{лп}} - P_{\text{расч}})^2 + (P_{\text{лс}} - P_{\text{расч}})^2 \quad (3)$$

Где ΔP – суммарное отклонение, которое определяют для каждого из исследуемых водохозяйственных лет, вошедших в расчетную группу лет заданной градации водности;

$P_{\text{расч}}$ – расчетная вероятность превышения, принимаемая одинаковой для всех расчетных интервалов времени:

$P_{\text{вг}}, P_{\text{лп}}, P_{\text{лс}}$ – значения вероятностей превышения стока за выбранный водохозяйственный год и его лимитирующий период, лимитирующий сезон в расчетном створе реки, определяемые по кривой вероятностей превышения соответствующего стокового ряда согласно нормативным документам.

В качестве расчетного года принимают тот водохозяйственный год, для которого по формуле (3) получено наименьшее значение ΔP . Этот водохозяйственный год принимают в качестве модели относительного внутригодового распределения стока [5],[6].

6.1 Расчётная часть методом реального года по р. Лена – с. Кюсюр

Расчет внутригодового распределения стока ведется за период: с 1936 по 2019 (с. Кюсюр). Расчеты представлены в таблицах 6.1 – 6.8. Далее были построены графики распределения внутригодового стока за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% (рисунок 6.1).

Расчет месячных сумм расходов и ранжированные суммы месячных расходов за водохозяйственный год, нелимитирующий период, лимитирующий период, нелимитирующий сезон и лимитирующий сезон р. Лена – с. Кюсюр представлены в приложении Г.1 – Г. 2.

Таблица 6.1 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% р. Лена – с. Кюсюр

Qcp	Cv	CS	Cs/Cv		K90%	(Σ Q)90%	K50%	(Σ Q)50%	K5%	(Σ Q)5%
			эмп	расч						
203397	0,12	0,49	3,8	4	0,877	178379	0,997	202787	1,17	237974

Таблица 6.2 – Расчет координат аналитической кривой обеспеченностей сумм месячных расходов воды р. Лена – с. Кюсюр

(Qcp=203397; Cv=0,12; Cs/Cv=4)

P, %	0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
kp	1,5	1,38	1,25	1,17	1,13	1,08	1,05	0,997	0,945	0,915	0,877	0,846	0,79	0,742
Qp	305095	280688	254246	237974	229839	219669	213567	202787	192210	186108	178379	172074	160684	150921

(Приложение Е.5) – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей сумм месячных расходов воды р. Лена – с. Кюсюр

Таблица 6.3 – Расчет критерия ΔP для многоводной группы лет р. Лена – с. Кюсюр

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
1989-1990	5	1,3	23,4	20,8	600
2008-2009	5	2,6	2,6	5,2	12
2007-2008	5	3,9	9,1	3,9	19
1988-1989	5	5,2	20,8	16,9	390
2006-2007	5	6,5	1,3	1,3	30
2009-2010	5	7,8	7,8	7,8	23
2000-2001	5	9,1	15,6	10,4	158
2005-2006	5	11,7	5,2	9,1	62
1983-1984	5	18,2	6,5	15,6	288
1982-1983	5	24,7	24,7	28,6	1330
2004-2005	5	26,0	18,2	2,6	619

Таблица 6.4 – Расчет критерия ΔP для средней по водности группы лет р. Лена – с. Табага

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
1996-1997	50	55,8	55,8	36,4	254
1948-1949	50	59,7	36,4	40,3	376

Таблица 6.5 – Расчет критерия ΔP для маловодной группы лет р. Лена – с. Табага

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
1955-1956	90	72,7	83,1	94,8	369
1964-1965	90	76,6	98,7	83,1	302
1969-1970	90	83,1	94,8	89,6	71
1939-1940	90	87,0	87,0	92,2	23
1950-1951	90	90,9	80,5	88,3	94
1945-1946	90	93,5	77,9	96,1	195
1940-1941	90	94,8	92,2	85,7	46
1941-1942	90	96,1	97,4	93,5	104
1954-1955	90	97,4	96,1	97,4	147

Расчет критерия ΔP показал, что минимальные значения для многоводной группы лет принимаются за 2008 – 2009 водохозяйственный год, для средней по водности группы лет принимаются за 1996-1997 водохозяйственный год и для маловодной группы принимаются за 1939 – 1940 водохозяйственный год.

6.2 Расчет внутригодового распределения стока методом реального года 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Кюсюр

Таблица 6.6 - Внутригодовое распределение стока р. Лена – с. Кюсюр 5%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период								ΣQ год	
				Нелимитирующий сезон				Лимитирующий сезон					
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III		IV
Год модели 2008-2009	17100	78500	35100	35100	45400	21400	6560	4790	5980	3980	2500	2190	258600
Rp, %	6,6	30,4	13,6	13,6	17,6	8,3	2,5	1,9	2,3	1,5	1,0	0,8	100
Расчет годовой обеспеченности P = 5%	15736	72239	32300	32300	41779	19693	6037	4408	5503	3663	2301	2015	237974

Таблица 6.7 - Внутригодовое распределение стока р. Лена – с. Кюсюр 50%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период								ΣQ год	
				Нелимитирующий сезон				Лимитирующий сезон					
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III		IV
Год модели 1996-1997	5710	76200	42400	16600	19500	16400	3250	3660	3730	2410	2110	1690	193660
Rp, %	2,9	39,3	21,9	8,6	10,1	8,5	1,7	1,9	1,9	1,2	1,1	0,9	100
Расчет годовой обеспеченности P = 50%	5979	79791	44398	17382	20419	17173	3403	3832	3906	2524	2209	1770	202787

Таблица 6.8 - Внутригодовое распределение стока р. Лена – с. Кюсюр 90%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период								ΣQ год	
				Нелимитирующий сезон				Лимитирующий сезон					
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III		IV
Год модели 1954-1955	5210	70500	28800	27700	20800	10800	2250	2720	2430	1410	903	429	173952
Rp, %	3,0	40,5	16,6	15,9	12,0	6,2	1,3	1,6	1,4	0,8	0,5	0,2	100
Расчет годовой обеспеченности P = 90%	5343	72294	29533	28405	21329	11075	2307	2789	2492	1446	926	440	178379

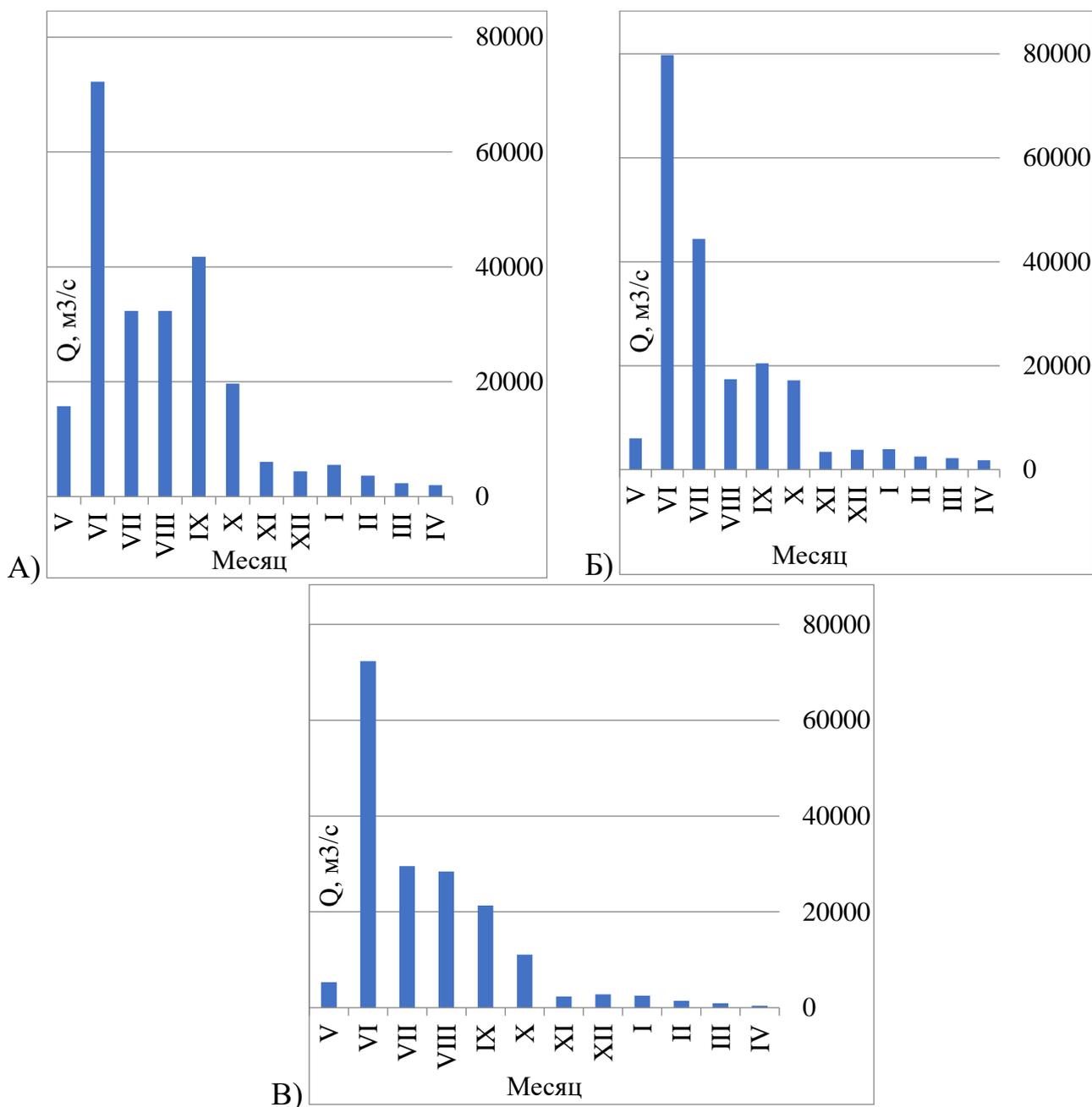


Рисунок 6.1 - Расчетный гидрограф стока р. Лена – с. Кюсюр за различные обеспеченности: А)5%; Б)50%; В)90%

При анализе графиков распределения внутригодового стока методом реального года на реке Лена – с. Кюсюр было выявлено, что в весенне-летний период наблюдается подъем, а потом уменьшение значений, но следует отметить, что при 5% и 50%-ой обеспеченности в осенний сезон перераспределение стока идет неравномерно, в отличие от 90%-ой обеспеченности, где сток распределяется однородно

6.3 Расчетная часть методом реального года по р. Лена – с. Табага

Расчет внутригодового распределения стока ведется за период: с 1935 года по 2019 год (с. Табага). Расчеты представлены в таблицах 6.9 – 6.16. Далее были построены графики распределения внутригодового стока за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% (рисунок 6.2)

Расчет месячных сумм расходов и ранжированные суммы месячных расходов за водохозяйственный год, нелимитирующий период, лимитирующий период, нелимитирующий сезон и лимитирующий сезон р. Лена – с. Кюсюр представлены в приложении Г.3 – Г.4.

Таблица 6.9 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей Крицкого-Менкеля за различные обеспеченности: 5%, 50% и 90% р. Лена – с. Табага

Q _{ср}	C _v	C _S	C _s /C _v		K _{90%}	(Σ Q) _{90%}	K _{50%}	(Σ Q) _{50%}	K _{5%}	(Σ Q) _{5%}
			эмп	расч						
87041	0,17	0,42	2,4	2	0,754	65629	0,986	85822	1,34	116635

Таблица 6.10 – Расчет координат аналитической кривой обеспеченностей сумм месячных расходов воды р. Лена – с. Табага

(Q_{ср}=87041; C_v=0,17; C_s/C_v=2)

P, %	0,01	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
k _p	1,92	1,73	1,52	1,34	1,26	1,16	1,09	0,986	0,886	0,83	0,754	0,696	0,594	0,492
Q _p	167119	150581	132303	116635	109672	100968	94875	85823	77119	72244	65629	60581	51703	42824

(Приложение Е.6) – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей сумм месячных расходов воды р. Лена – с. Табага

Таблица 6.11 – Расчет критерия ΔP для многоводной группы лет р. Лена – с. Табага

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
2012-2013	5	2,4	19,0	4,8	204
2009-2010	5	3,6	3,6	3,6	6
2006-2007	5	4,8	7,1	13,1	70
2008-2009	5	6,0	1,2	1,2	30
2007-2008	5	7,1	26,2	2,4	460
1949-1950	5	13,1	4,8	31,0	739
2004-2005	5	16,7	10,7	7,1	173
2018-2019	5	17,9	23,8	26,2	968
1997-1998	5	21,4	11,9	22,6	628
1938-1939	5	23,8	22,6	17,9	830
1937-1938	5	29,8	2,4	23,8	974

Таблица 6.12 – Расчет критерия ΔP для средней по водности группы лет р. Лена – с. Табага

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
2016-2017	50	35,7	59,5	64,2	498
1963-1964	50	36,9	50	63,0	343
1957-1958	50	42,8	39,2	48,8	167

Таблица 6.13 – Расчет критерия ΔP для маловодной группы лет р. Лена – с. Табага

В/х год	Расчетная	В/х года	ЛП	ЛС	ΔP
1955-1956	90	69,0	73,8	92,9	709,3
1968-1969	90	77,4	83,3	79,8	308,5
1942-1943	90	79,8	95,2	90,5	132,5
1941-1942	90	81,0	97,6	88,1	143,5
1965-1966	90	83,3	66,7	70,2	979,4
1991-1992	90	84,5	91,7	91,7	35,5
1969-1970	90	86,9	92,9	98,8	95,4
1987-1988	90	89,3	88,1	96,4	45,5
1953-1954	90	94,0	85,7	85,7	53,1
1940-1941	90	95,2	90,5	83,3	72,1
1986-1987	90	96,4	96,4	86,9	92,2
1943-1944	90	97,6	76,2	78,6	379,4
1954-1955	90	98,8	98,8	94,0	171,6

Расчет критерия ΔP показал, что минимальные значения для многоводной группы лет принимаются за 2009 – 2010 водохозяйственный год, для средней по водности группы лет принимаются за 1957-1958 водохозяйственный год и для маловодной группы принимаются за 1991 – 1992 водохозяйственный год.

6.4 Расчет внутригодичного распределения стока методом реального года 90%, 50% и 5%-ной обеспеченности для р. Лена – с. Табага

Таблица 6.14 – Внутригодичное распределение стока р. Лена – с. Табага 5%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период								ΣQ год	
				Нелимитирующий сезон				Лимитирующий сезон					
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III		IV
Год модели 2009-2010	17600	32700	17000	13700	15800	9740	2700	2310	2320	1780	1470	1590	118710
Rp, %	14,8	27,5	14,3	11,5	13,3	8,2	2,3	1,9	2,0	1,5	1,2	1,3	100
Расчет годовой обеспеченности P = 5%	17292	32129	16703	13461	15524	9570	2653	2270	2279	1749	1444	1562	116635

Таблица 6.15 – Внутригодичное распределение стока р. Лена – с. Табага 50%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период								ΣQ год	
				Нелимитирующий сезон				Лимитирующий сезон					
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III		IV
Год модели 1957-1958	12800	21800	18100	10900	9540	7810	1620	1790	1650	1200	893	820	88923
Rp, %	14,4	24,5	20,4	12,3	10,7	8,8	1,8	2,0	1,9	1,3	1,0	0,9	100
Расчет годовой обеспеченности P = 50%	12354	21040	17469	10520	9207	7538	1564	1728	1592	1158	862	791	85823

Таблица 6.16 – Внутригодовое распределение стока р. Лена – с. Табага 90%-ой обеспеченности

Характеристика в/х года	Нелимитирующий период			Лимитирующий период									ΣQ год
				Нелимитирующий сезон					Лимитирующий сезон				
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	
Год модели 1991-1992	11000	18600	13600	8830	6910	4610	1350	1470	970	798	766	845	69749
Rp, %	15,8	26,7	19,5	12,7	9,9	6,6	1,9	2,1	1,4	1,1	1,1	1,2	100
Расчет годовой обеспеченности P = 90%	10350	17501	12797	8308	6502	4338	1270	1383	913	751	721	795	65629

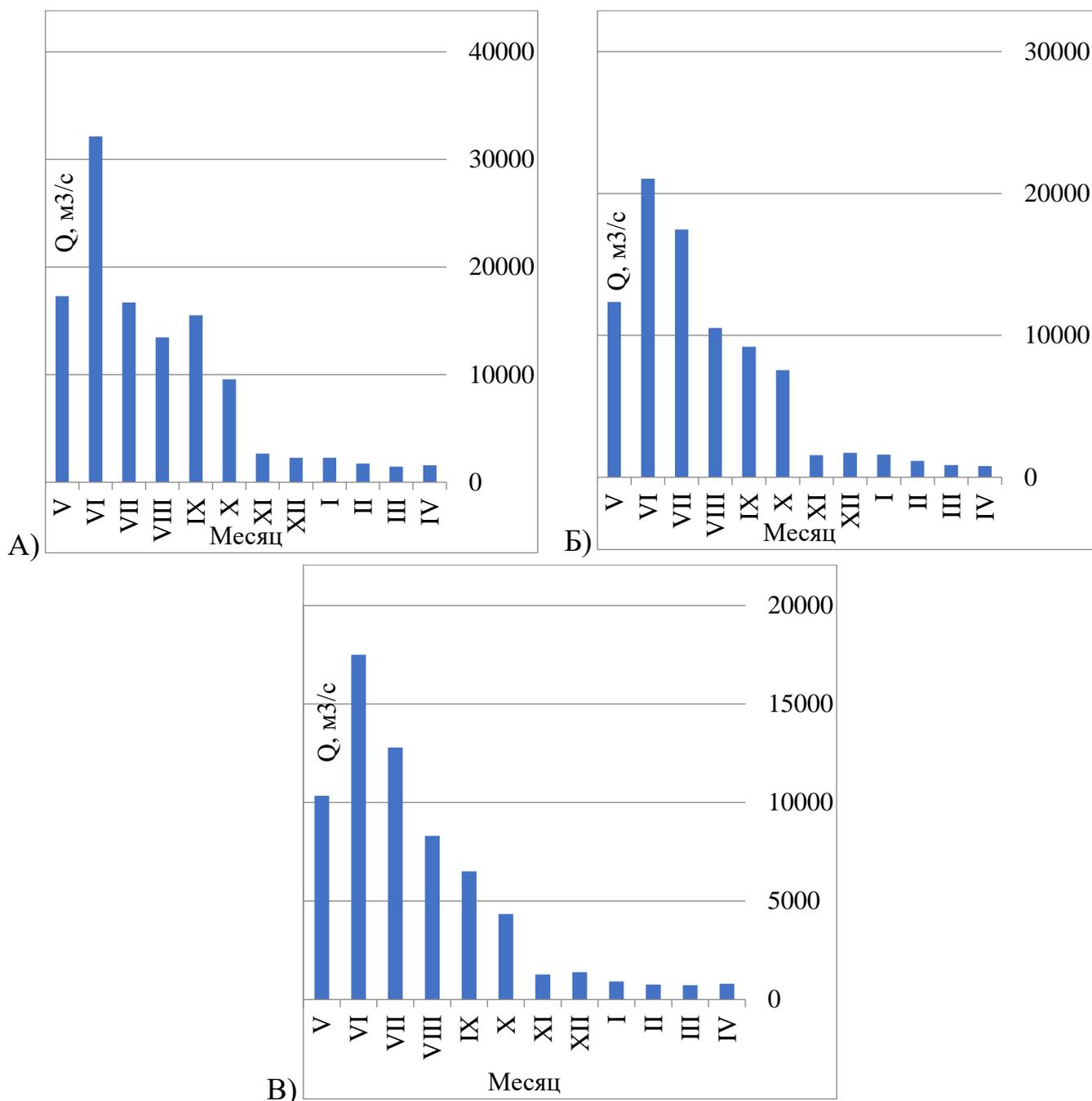


Рисунок 6.2 - Расчетный гидрограф стока р. Лена – с. Табага за различные обеспеченности: А)5%; Б)50%; В)90%

При анализе графиков распределения внутригодового стока методом реального года на реке Лена – с. Табага было выявлено, что при 50% и 90% - ой обеспеченности происходит увеличение стока в весенне-летний период и одинаковое перераспределения стока в осенний и зимний сезон. Но следует отметить, что при 5% - ой обеспеченности так же наблюдается увеличение стока в весенне-летний период, но вот в осенний сезон перераспределение стока идет неравномерно, с небольшим подъемом в сентябре.

Заключение

В настоящей работе выполнен анализ внутригодового распределения стока реки Лена. Привлекались данные по постам Кюсюр (с 1935 по 2019 гг.) и Табага (с 1936 по 2019 гг.).

Расчет внутригодового распределения стока проводился методом компоновки и реального года. На основе проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что для 5%-ой обеспеченности сток в нелимитирующий период распределяется неравномерно, так как сентябрь выходит за рамки среднего значения, однако после анализа данных по осадкам становится ясно, что сток в сентябре формируется в большей части случаев за счет осадков.

Стоит отметить, что для 50% и 90% - ой обеспеченности в весенне-летний период значения так же увеличиваются, но далее происходит перераспределение стока осенью и зимой.

Список используемой литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т.16. Гидрометеиздат, 1972
2. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 200 с.
3. Гидрологический ежегодник, Т.8, вып. 7. Лено-Индигирский район Гидрометеиздат, 1970.
4. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Северо-Запад. – Гидрометеиздат.
5. Сикан А.В. Методические указания по дисциплине «Гидрологические расчеты», часть I. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 52 с.
6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений /под ред. Рождественский А. В. – Тр. ГГИ, 2005. – 138с
7. СП 33 – 101 – 2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72с.
8. Сикан А.В., Малышева Н.Г., Винокуров И.О Практикум по дисциплине «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации». – СПб.: изд. РГГМУ, 2014. – 75 с.
9. Метеорологические данные – Текст: электронный // meteo.ru: [сайт].
10. Сведения о гидрологических постах – Текст: электронный // msu.ru: [сайт].
11. Данные гидропостов – Текст: электронный // gmvo.skniivh.ru: [сайт].