



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(выпускная квалификационная работа)

На тему **Оценка теплового стока
бассейна реки Лены**

Исполнитель Шадрина Арина Филипповна
(фамилия, имя, отчество)

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

Викторова Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

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

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«12» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Физико-географическое описание бассейна реки Лены.....	5
1.1 Географическое положение.....	5
1.2 Геологическое строение и рельеф	7
1.3 Почва и растительность	9
1.4 Климатическая характеристика	10
1.5 Гидрологический режим.....	11
1.6 Общая характеристика термического режима	12
1.7 Гидрологическая изученность.....	13
2 Тепловой сток в моря Арктики и его изменения	18
3 Изменение климата и его влияние на гидрологический режим.....	20
4 Анализ изменений теплового стока и стока воды	22
4.1 Исходные данные (схема постов, сведения о постах)	22
4.2 Приведение рядов к многолетнему периоду	25
4.3 Расчет объема теплового стока	30
4.4 Оценка однородности.....	34
4.4.1 Визуальная оценка интегральной кривой	43
4.5 Оценка трендов	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой сток является одним из индикаторов, показывающих прямое влияние температурного режима на реки. В последние годы влияние климатические факторов на гидрологический режим водотоков стало заметно проявляться. Повышение средней температуры воздуха оказывает непосредственное влияние на повышение температуры воды рек. В результате теплового воздействия может измениться как водный режим рек, так и состояние их экосистем.

Значения теплового стока рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, могут оказывать большое влияние на ледники в этом регионе. Вода, поступающая в океан из рек, может влиять на ледники как прямо, так и косвенно.

Прямое влияние заключается в том, что реки могут подогреть ледники, что может приводить к их таянию. Когда вода из рек попадает на поверхность ледника, она может проникать в трещины и щели, где она может расширяться и вызывать дополнительное разрушение льда.

Косвенное влияние заключается в изменении морской циркуляции. Реки в Северном Ледовитом океане могут влиять на соленость и температуру морской воды, что в свою очередь может изменять скорость и направление морских течений. Эти изменения могут повлиять на распределение льда в океане, а также на общий климатический баланс в регионе. Таким образом, значения теплового стока рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, имеют важное значение для понимания климатических и экологических изменений в этом регионе.

Целью выпускной квалификационной работы является оценка теплового стока реки Лена, а также его временной изменчивости.

Объектом исследования является река Лена, ее тепловой и речной сток в пунктах наблюдений, расположенных в среднем и нижнем течении.

Для достижения цели предполагается решение следующих задач:

- оценка физико-географических условий бассейна реки Лена;
- сбор и анализ исходной гидрометеорологической информации (среднемесячных расходах воды, температуры воды, температуре воздуха);
- оценка стационарности и однородности рядов наблюдений;
- оценка теплового стока;
- оценка трендов в рядах наблюдений за речным и тепловым стоком.

В работе использованы статистические методы обработки гидрометеорологической информации, рекомендуемые нормативной литературой.

1 Физико-географическое описание бассейна реки Лены

1.1 Географическое положение

Река Лена принадлежит Лено-Индигирскому речному бассейну, расположенной на территории Восточной Сибири, протекает через субъекты Российской Федерации – Иркутская область и Республика Саха (Якутия). Длина реки составляет 4400 км, а площадь водосбора составляет 2.49 млн км². Географически река Лена находится между 110° – 137° в.д. и 56° – 75°с. ш.

Река Лена течет с юга на северо-восток, а после города Якутск на север. Берет начало с небольшого болота, расположенного на склонах Байкальского хребта, и течет на северо-восток до Северного Ледовитого океана по территории России, впадая в море Лаптевых. При впадении в море река образует самую большую в России дельту (площадь более 30 тыс. км²), расчленённую множеством рукавов и протоков (самая крупная – Быковская, с протяженностью 106 км).

Верховье реки расположено в горной местности, где преобладают смешанные леса, а по мере продвижения на север лесной покров становится все более разреженным, переходя в тундру. В среднем и нижнем течении реки преобладают равнинные ландшафты с мерзлыми грунтами.

Климат в регионе реки Лена континентальный и характеризуется сильными колебаниями температур в течение года. Летом температура может достигать плюс 30 °С, а зимой опускаться до минус 50 °С и ниже. Это влияет на гидрографический режим реки, так как в зимний период происходит образование льда, а весной – массовое половодье и ледоход.

Бассейн реки Лена включает множество притоков, таких как Витим, Олёкма, Алдан и Вилуй, которые собирают воды с огромной территории. Река Лена и ее притоки являются важными экосистемами, обеспечивающими среду

обитания для множества видов флоры и фауны. На рисунке 1.1 представлены бассейн р. Лены, а на рисунке 1.2 – снимок дельты реки.

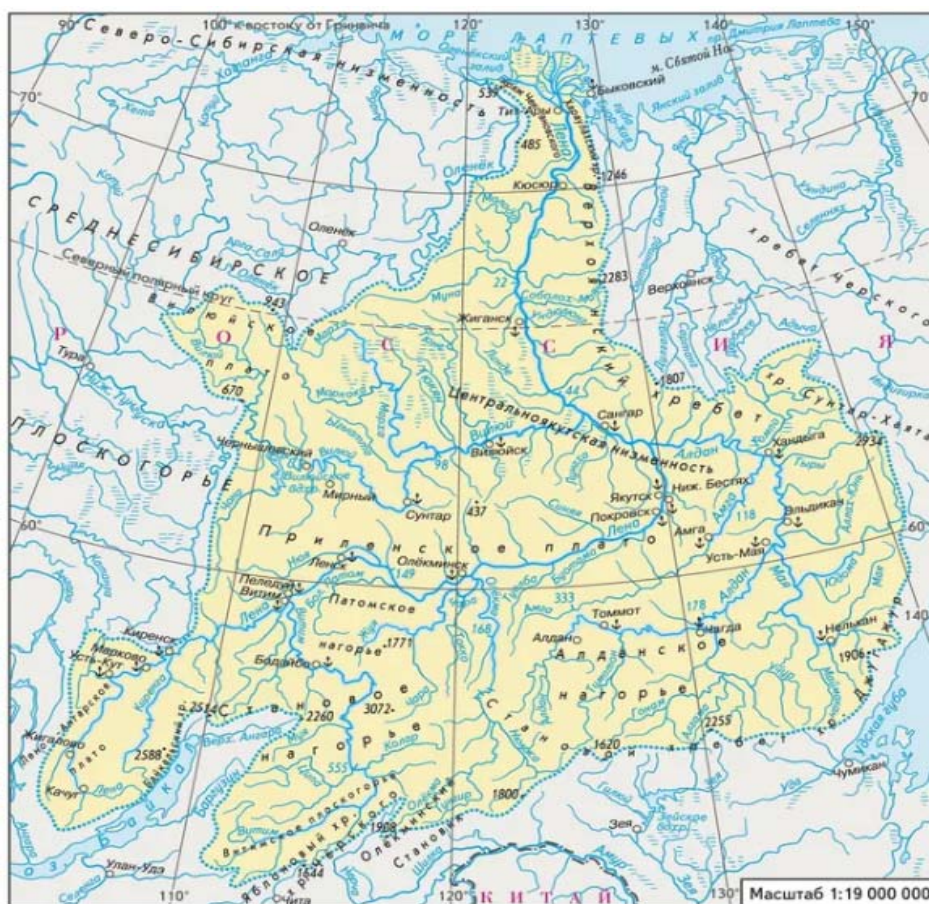


Рисунок 1.1 – Бассейн реки Лена



Рисунок 1.2 – Дельта реки Лена (река выделена красным цветом)

В верхнем течении реки, в Иркутской области, рельеф является горным. Река Лена берет свое начало на восточных склонах Байкальского хребта, где преобладают горные массивы и возвышенности. В этом районе река текучая и быстрая, она протекает в глубоких ущельях и среди горных порогов. По мере продвижения на север, рельеф становится менее гористым и переходит в холмистую местность.

В среднем течении реки, на территории Республики Саха (Якутия), рельеф представляет собой плато, холмы и низкогорья. Здесь река Лена становится шире и медленнее, образуя излучины и водные пространства.

В нижнем течении реки, где она впадает в Лаптевых море, рельеф переходит в равнинную местность с широкими поймами и болотистыми участками. Здесь река разветвляется на множество рукавов и каналов, образуя огромную дельту площадью около 45 тыс. км². Дельта реки Лена является самой крупной дельтой в стране.

Наиболее пониженный участок реки лежит в среднем (Центрально-Якутская низменность) и нижнем течении Лены. Низменность является областью устойчивого опускания и осадконакопления в мезозойское, а в центральной части и в кайнозойское время. В сложении ее участвуют преимущественно терригенные, в том числе угленосные отложения юрского, мелового и в отдельных впадинах неогенового возраста. Широко развиты четвертичные отложения – озерно-ледниковые и аллювий.

Рельеф дельты Лены состоит из низменных, в основном плоских участков с множеством островов, болот и пойм. Здесь происходит активное, образующих новые земли и изменяющих географию региона. Внутри дельты также можно встретить песчаные отмели и меловые бары, которые влияют на течение воды и формируют многочисленные каналы и рукава [4].

1.3 Почва и растительность

В бассейне реки Лены можно выделить несколько типов почв, которые различаются по химическому и физическому составу, структуре и другим параметрам. Почвы горных областей значительно отличаются от почв равнин, так как большие высоты и сильная расчлененность гор обуславливают большую их щебнистость, и хорошо высотную поясность.

Горные почвы: представлены в горных областях южной части бассейна Лены и характеризуются высокой кислотностью, низким содержанием питательных веществ и ограниченной плодородностью. В этих почвах растительный слой обычно очень тонкий и состоит преимущественно из трав и лишайников.

Тундровые почвы: распространены в северных равнинных областях бассейна Лены и характеризуются низким содержанием питательных веществ, малой плодородностью и ограниченной возможностью поддерживать разнообразную растительность. Растительность в тундровых почвах обычно представлена мхами, лишайниками, некоторыми травами и кустарниками;

Таежные почвы: представлены в северных равнинных областях бассейна Лены, где преобладает хвойный лес. Характеризуются разной степенью оподзоливания, малой тексотропностью и влажностью, повышенной засоленностью и сравнительно высоким плодородием. Растительность представлена из лиственных и хвойных деревьев, кустарников, мхов и трав.

Пойменные (аллювиальные) почвы: распространены в зонах пойм реки и характеризуются высоким содержанием питательных веществ и хорошей плодородностью. Эти почвы обычно состоят из гумуса, песка, глины и минеральных солей. Растительный покров в пойменных почвах обильно представлен травами, кустарниками, деревьями и другой растительностью.

Аллювиальные почвы покрывают пойменные террасы таких рек, как Лена, Алдана, Вилюя, Витима.

Образование в понижениях рельефа солонцов, солончаков и засоленных

почв связано с континентальным климатом (малое количество осадков, высокие летние температуры), наличием многолетней мерзлоты, препятствующей значительному выщелачиванию почв и удалению из них солей, а также с богатством материнских пород карбонатами и отчасти другими солями. Наибольшую площадь засоленные почвы занимают в засушливой части Центральной Якутии [4].

1.4 Климатическая характеристика

Климат рассматриваемой территории характеризуется, как резкий континентальный, которая проявляется очень низкими зимними до минус 50 – 62 °С и высокими летними до плюс 25 – 35 °С температурами воздуха. Для нижней части бассейна Лены свойственен более мягкий климат, так как моря несколько обогревает берега осенью и зимой и, наоборот, охлаждают в теплое время года. Для средней части бассейна реки климат – континентальный.

Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются ее удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океана, 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. Во время зимы радиационный баланс изменяется до отрицательных значений. Продолжительность периода с отрицательным значением составляет 8 месяцев, а для среднего течения может продолжаться меньше. Переход от отрицательному к положительному значению происходит в апреле. Температура воздуха для низовьев р. Лены характеризуется большой амплитудой. Годовая температура воздуха равна минус 14 °С. С октября по апрель наблюдаются отрицательные температуры. Минимальная температура воздуха достигается в январе, и она равна минус 33.3 °С. Максимальная температура равна плюс 7.5 °С в августе.

Для средней части территории Лены амплитуда температур воздуха возрастает до плюс 62 °С. Годовая температура воздуха равна минус 10 °С. Как и в нижнем течении, в среднем течении отрицательные температуры наблюдаются с октября по апрель. Наиболее низкие значения температуры, равные около минус 50 °С, достигаются в январе.

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 около 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. Суммарное испарение с низовьев р. Лены составляет 150 мм, с территории среднего течения – 200 мм [4].

1.5 Гидрологический режим

Для реки Лены характерен Восточно-Сибирский тип гидрологического режима. Здесь выражено весеннее половодье, которое начинается одновременно с ледоходом, значительные и резкие подъёмы уровней вод в летне-осенний период и сравнительно низкая и устойчивая межень в холодную часть года.

По характеру течения русло реки условно делят на 3 участка: первый участок – от истока до устья реки Витим; второй участок – от устья реки Витим до места впадения реки Алдан; третий участок (низовье) – от впадения реки Алдан до устья.

На среднем и нижнем течении реки преобладает снеговое питание, в верхней – дождевое. Повсеместное распространение многолетней мерзлоты в пределах водосбора мешает питанию рек грунтовыми водами.

Процесс льдообразования, начавшийся в октябре на Лене происходит с низовий, распространяясь вверх по течению. Средняя продолжительность ледостава от 175 до 240 сут, толщина льда 60 – 100 см. Замерзание некоторых участков сопровождается зажорами, вызывающими кратковременные подъёмы уровня воды (максимальный – 3.5 м, отмечен в 1954 году у с. Кюсюр).

За зимний период на реке образуется около 10 – 20 км³ льда. Летом его поступление вместе с большими объёмами паводковой воды в мелкую южную часть моря Лаптевых приводит, как и в случае с другими крупными сибирскими реками – к явлению инверсии, то есть к локальному опреснению моря и к более позднему освобождению от льда его близлежащей акватории. Процесс вскрытия длится от 30 до 50 дней. Вскрытие происходит в порядке от устья до верховья реки. Продолжительность весеннего ледохода составляет в среднем 4 – 6 суток [9].

1.6 Общая характеристика термического режима

Термический режим водотока данной территории определяется главным образом климатическими условиями, характером подстилающей поверхности (почво-грунтами, степенью их скованности многолетней мерзлотой и др.), а также условиями подземного питания. Весьма существенное влияние на термический режим рек здесь оказывает многолетняя мерзлота, имеющая повсеместное распространение, и связанные с ней речные и грунтовые наледи, сохраняющиеся иногда до середины или даже до конца лета.

Температура воды больших рек, особенно текущих с юга на север, как правило, заметно отличается от температуры воды малых и средних рек: их водные массы, прогретые в более южных частях территории, переносят большие количества тепла далеко на север. Они медленнее прогреваются и медленнее отдают свое тепло. Поэтому в первую половину теплового периода реки малых и средних рек охлаждаются быстрее.

Наиболее высокие средние годовые температуры воды наблюдается на больших реках – Лена, Вилуй, Алдан, Витим и Олёкма (притоки реки Лена).

Ход температуры воды в период открытого русла в общих чертах повторяет ход температуры воздуха. Однако колебания температуры воды происходят более плавно и несколько отстают по времени. Весной, когда температура воздуха начинает быстро повышаться, нарастание температуры воды происходит более медленно; осенью при интенсивном понижении температуры воздуха охлаждение воды также происходит постепенно. В первой половине лета температура воздуха, как правило, превышает температуру воды, а начиная с середины июля и до начала ледостава последняя имеет более высокие значения, чем средние суточные температуры воздуха. В июне при повсеместном значительном повышении температуры воздуха, происходит интенсивное нагревание воды, и средняя месячная температура воды возрастает на севере до 6 – 8 °С, на юге до 10 – 14 °С.

Наиболее высокая средняя за месяц температура воды бывает в июле. Средняя месячная температура воды июля изменяется по территории от 10 °С до 20 °С.

По длине ряда рек температура воды не имеет однообразного хода, а повышается и понижается независимо от направления их течения. Это наблюдается на верхнем и среднем участках р. Лены и на р. Витиме.

В августе начинается охлаждение воды. Средняя температура этого месяца на реке в северной части составляет 9 – 13 °С, а в центральной и южной районах 13 – 16 °С. В сентябре понижение температуры происходит более интенсивно, и она опускается до 3 – 9 °С, а на севере местами до 1 °С. Дальнейшее охлаждение речных вод примерно до 0 °С наблюдается главным образом в течение октября месяца [4].

1.7 Гидрологическая изученность

На территории бассейна реки Лена имеются 36 гидрологических постов,

в том числе и уровненных. Пятнадцать гидропостов, расположенных в верховье Лены относятся к Иркутскому УГМС, остальные, а именно среднее и нижнее течения к Якутскому УГМС [1].

В данной работе используются значения среднемесячных расходов воды с гидрологических постов, с территории среднего и нижнего течений Лены, где река становится многоводной, за счет впадения притоков. Наименования гидропостов, на которых имеются измерения по расходам воды, и справочная информация представлена в таблице 1.1. На рисунке 1.4 представлена схема расположения постов.

Таблица 1.1 – Сведения о гидрологических постах [2]

№	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблю- дений	Расстояние (км) от		Пло- щадь водо- сбора км ²	Период действия число, месяц, год		Отметка нуля поста		Принадлежность поста
			ис- тока	устья		открыт	закрыт	вы- сота, м.	си- стема высот	
1	р.Лена - д.Чанчур	03001	216	4078	4690	06.08.1937	Действ.	43.00	усл.	ФГБУ «Иркутское УГМС»
2	р.Лена - р.п.Качуг	03003	326	3968	17400	25.05.1911	Действ.	43.00	БС	
3	р.Лена - р.п.Жигалово	03004	491	3803	30400	26.05.1911	Действ.	408.82	БС	
4	р.Лена - г.Усть-Кут (Заку- тье)	03008	826	3468	58900	20. 8.1973	Действ.	282.47	БС	
5	р.Лена - с.Таюра	03014	909	3385	74500	14. 3.1975	Действ.	266.67	БС	
6	р.Лена - с.Макарово	03017	1057	3237	90200	07.10.1969	Действ.	252.05	БС	
7	р.Лена - д.Змеиново	03021	1155	3139	140000	31. 5.1913	Действ.	245.25	БС	
8	р.Лена - г.п.Крестовский	03029	1639	2655	440000	01.09.1932	Действ.	166.20	БС	ФГБУ «Якутское УГМС»
9	р.Лена - с.Солянка	03036	2216	2078	770000	12.03.1933	Действ.	119.42	БС	
10	р.Лена - с.Табага	03042	2767	1527	897000	16.05.1937	Действ.	85.08	БС	
11	р.Лена - с.Кюсюр	03821	4083	211	2430000	22.10.1934	Действ.	-1.41	БС	

Продолжение таблицы 1.1

№	Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблю- дений	Расстояние (км) от		Пло- щадь водо- сбора км ²	Период действия число, месяц, год		Отметка нуля поста		Принадлежность поста
			ис- тока	устья		открыт	закрыт	вы- сота, м.	си- стема высот	
12	р.Лена - 4.7 км выше о.Столб	03824	210	4.70	2460000	01.09.1950		-0.16	БС	
13	р.Лена,дельта,протока Бы- ковская - о. Столб	03825	217	103	2460000	01.09.1951	Действ.	-0.17	БС	



Рисунок 1.4 – Схема расположения гидрологических постов

2 Тепловой сток в моря Арктики и его изменения

Тепловой сток является одним из индикаторов, показывающее прямое влияние температурного режима на реки. Так, за последние года, в гидрологии усилилась динамика оценки наблюдений климатических параметров и антропогенного воздействий на гидрологические характеристики водных объектов суши [8].

Изменение климата оказывает серьезное влияние на таяние ледников Арктики. В настоящее время наблюдается ускоренное таяние льда и снега на ледниках, что приводит к уменьшению их объема и массы. Это в свою очередь может привести к значительным последствиям для региона и всего мира. Одним из главных факторов, влияющих на таяние ледников Арктики, является глобальное потепление. Из-за увеличения температур на поверхности Земли, ледники и льды в Арктике тают быстрее, чем успевают накапливаться. В результате этого увеличивается объем воды в океанах и поднимается уровень морей.

Кроме того, повышение средней температуры воздуха может оказывать влияние на повышение температуры воды рек. Когда средняя температура воздуха повышается, поверхностный слой воды также нагревается. В результате теплового воздействия может измениться водный режим рек и их экосистем, что может повлиять на их температурный режим.

Значения теплового стока рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, могут оказывать большое влияние на ледники в этом регионе. Вода, поступающая в океан из рек, может влиять на ледники как прямо, так и косвенно.

Прямое влияние заключается в том, что реки могут подогреть ледники, что может приводить к их таянию. Когда вода из рек попадает на поверхность ледника, она может проникать в трещины и щели, где она может расширяться и вызывать дополнительное разрушение льда. Косвенное влияние заключается в изменении морской циркуляции.

Реки в Северном Ледовитом океане могут влиять на соленость и температуру морской воды, что в свою очередь может изменять скорость и направление морских течений. Эти изменения могут повлиять на распределение льда в океане, а также на общий климатический баланс в регионе. Таким образом, значения теплового стока рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, имеют важное значение для понимания климатических и экологических изменений в этом регионе.

3 Изменение климата и его влияние на гидрологический режим

Изменение климата оказывает значительное влияние на гидрологический режим реки Лена, так как глобальное потепление приводит к повышению среднегодовых температур, увеличению осадков и таянию ледников. Эти факторы, в свою очередь, влияют на уровень воды, течение и температурный режим реки:

- Увеличение осадков: в результате, изменения климата в некоторых регионах наблюдается увеличение количества осадков, что может привести к более обильным половодьям и увеличению уровня воды в реке. Более сильные половодья могут вызывать наводнения и эрозию почвы вдоль берегов реки.
- Таяние ледников и грунтов: Глобальное потепление ускоряет таяние горных ледников и мерзлотных грунтов, что приводит к увеличению притока воды в реку. В результате уровень воды может возрасти, особенно в летний период, и измениться течение реки.
- Изменение сезонности: может привести к смещению сезонов, что повлияет на гидрологический режим реки. Например, весеннее половодье может начинаться раньше обычного, а зимний ледостав может сократиться или стать менее стабильным.
- Повышение температуры воды: в связи с глобальным потеплением температура воды в реке Лена также может повышаться. Это может привести к изменению термических условий в реке и, как следствие, к изменению условий обитания для множества видов растений и животных, что окажет влияние на экосистемы региона.
- Влияние на дельту реки: Изменение климата может привести к поднятию уровня моря, что, в свою очередь, окажет влияние на

дельту реки Лена. В результате могут возникнуть наводнения, изменение границ дельты и утрата природных и антропогенных территорий.

Увеличение температуры воздуха влияет на испарение воды, что может приводить к увеличению или уменьшению количества доступной воды для различных целей, таких как сельское хозяйство и промышленность. Изменения в количестве и распределении осадков, вызванные изменением климата, также могут приводить к возникновению периодов засухи или повышенной влажности, что повышает риск наводнений и прочих природных бедствий. Влияние изменчивости климата отражается на качестве воды, что может повлиять на расселение животных и растений, а также на здоровье людей. Например, повышение температуры воды может приводить к ухудшению качества воды, что в свою очередь может привести к увеличению заболеваний, передаваемых через воду.

Таким образом, изменение климата влияет на гидрологический режим и имеет серьезные последствия для экологии и жизни людей.

4 Анализ изменений теплового стока и стока воды

4.1 Исходные данные (схема постов, сведения о постах)

Сведения о расходах и температуре воды

Гидрологические данные, взятые по данным наблюдений на гидрологических постах, представляют собой ряды среднемесячных расходов воды, и температуры воды за период открытого русла, по которым были построены ряды среднемесячного теплового стока. Сведения об используемых постах, представлены в таблице 4.1.

В работе рассматривались данные о температуре воды за период 1976 – 2020 гг. (продолжительность периода составляет 45 лет) для каждого поста. До 1976 года значения температуры воды в справочниках представлены среднегодовыми величинами, что некорректно скажется на результате оценки теплового стока.

Выбор постов, а также дальнейший расчет по этим значениям объясняется следующими факторами:

- 1) ограниченностью в свободном доступе необходимой информации;
- 2) рассматриваемые посты, принадлежат среднему и нижнему течений реки Лены.

Вся исходная информация по гидрологическим постам была взята из гидрологических ежегодников, находящихся в распоряжении библиотеки РГГМУ, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», а также с сайта АИС ГМВО (2008 – 2020 гг.) [1]. На рисунке 4.1 представлено расположение пунктов наблюдений, информация по которым анализировалась.

Таблица 4.1 – Сведения о гидрологических постах

№ поста	Река - пост	Период действия число, месяц, год		Отметка нуля поста	
		открыт	закрыт	высота, м	система высот
1	р.Лена – с.Крестовский	01.09.1932	Действ.	166.20	БС
2	р.Лена - с.Солянка	12.03.1933	Действ.	119.42	БС
3	р.Лена - с.Табага	16.05.1937	Действ.	85.08	БС
4	р.Лена - с.Кюсюр	22.10.1934	Действ.	-1.41	БС
5	р.Лена, дельта, протока Быковская - о. Столб	01.09.1950	Действ.	-0.15	БС

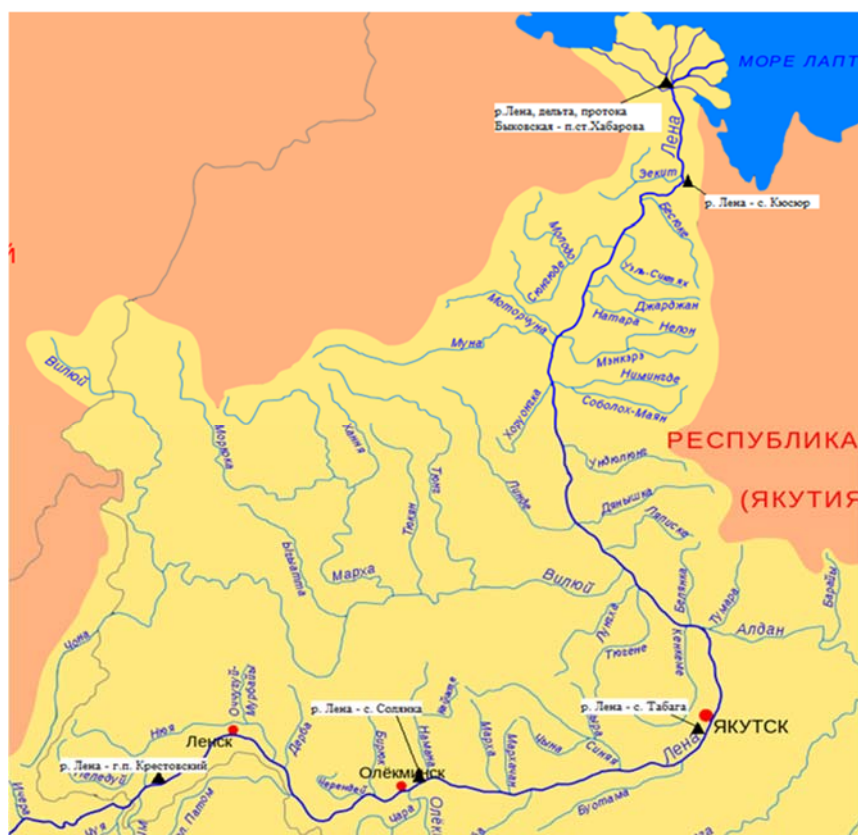


Рисунок 4.1 – Местоположение гидрологических постов, данные которых использованы в работе

Сведения о температуре воздуха

Данные по температуре воздуха представлены среднемесячными величинами, использованных с метеостанций, обозначенных в таблице 4.2 с соотнесенными им гидрологическим постам и продолжительность периода наблюдений.

Таблица 4.2 – Метеорологические станции

Гидрологический пост	Метеорологическая станция		Период, года	Продолжи- тельность, лет
	Наимено- вание	Индекс		
р.Лена - г.п.Крестов- ский	Ленск	24923	1940-2020	81
р.Лена - с.Солянка	Олек- минск	24944	1933-2020	88
р.Лена - с.Табага	Якутск	24959	1927-2020	94
р.Лена - с.Кюсюр	Кюсюр	21921	1927-2020	94
р.Лена,дельта,про- тока Быковская - о. Столб	Тикси	21824	1933-2020	88

Информация по метеостанциям была полностью получена из архивов ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации (Мировой центр данных), которые находятся в свободном доступе на сайте организации (meteo.ru)) [2].

4.2 Приведение рядов к многолетнему периоду

Для проведения дальнейших расчетных работ необходимо привести ряды расходов воды к многолетнему периоду.

С помощью программы БД «Гидрорасчеты» удалось восстановить данные рядов расходов до 1933 и 1927 гг. В этой части работы, подготовленные файлы в формате Excel, содержащий среднемесячные расходы воды за все 12 месяцев по каждому гидрологическому посту, экспортируется в формат CSV (разделители – запятые), которые будут загружены в программный комплекс.

В этой программе создается новая база данных. Для этого необходимо дать название базе данных и имя папки, в которой она будет сформирована.

Сформированная таким образом БД является пустой и в нее последовательно следует импортировать файлы в формате CSV. Для этой цели надо вначале войти в созданную БД, выбрать пункт меню «Файл/импорт данных/Пользовательские форматы обмена данными», и затем выбрать импортируемую в БД характеристику из списка – в данном случае «Среднемесячные расходы воды» для загрузки данных из файла.

При успешном завершении импорта данных, их можно увидеть на экране программы, выполнив последовательное нажатие следующих клавиш: «Данные наблюдений», «Выбор данных», «Среднемесячные расходы воды» (пример экспортированной таблицы приведена на рисунке 4.2).

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1934											2260	1700
1935	3130	2480	1400	1310	4720	71100	48400	32500	40500	22600	3690	2980
1936	2910	2130	1520	1210	7310	63700	37900	23200	27300	18200	3940	3400
1937	3320	2420	1620	1160	4530	64300	33500	27300	36000	19100	2770	2770
1938	2960	2020	1340	914	4640	84400	52700	39600	22900	13300	2670	2670
1939	2470	1460	1030	1120	5210	70500	28800	27700	20800	10800	2720	2720
1940	2430	1410	903	429	563	64700	33100	26900	19600	9830	2040	2040
1941	2390	1770	1360	1100	2380	77900	30800	16000	15900	9880	2320	2320
1942	1980	1370	1100	1010	2790	62500	38800	26600	28000	11300	2570	2570
1943	2290	1020	970	829	32000	44400	35200	22900	20900	19400	1960	1960
1944	2020	1120	692	877	4200	95900	41400	34000	26600	13800	2760	2760
1945	2540	1800	1080	798	3060	66400	30800	29100	24400	10100	2080	2080
1946	1530	1390	1160	1000	1120	62200	47900	30400	24300	13600	2770	2250
1947	2530	1870	1400	1200	7360	72700	29300	13600	21000	20000	4950	2430
1948	2110	1490	1210	1080	3090	80400	32200	27100	25600	16300	4020	2940
1949	3310	2470	2040	1600	4240	91300	39600	25500	34700	21700	5180	3150
1950	2870	2140	1450	1190	2680	74000	30900	25400	21700	10800	2330	2450
1951	2210	1560	1090	865	2210	83000	44000	34600	29800	18200	2830	2270
1952	2600	2220	1610	1270	5220	78200	42500	26400	26700	13100	3520	3350
1953	2900	1960	1290	1130	10200	66100	26400	19200	22600	15800	2720	2560
1954	2500	1760	1260	955	1180	61900	39600	18300	17600	9250	2300	2200
1955	1950	1360	948	776	1900	87600	29400	25600	21700	11100	2350	2050
1956	1890	1470	1040	887	951	66400	45300	21800	27300	12600	3700	3490
1957	2980	2250	1570	1180	2940	80500	32900	31000	15700	12900	4740	2920
1958	2570	2250	1670	1350	2580	79400	49300	36300	21000	16300	3550	3140
1959	2950	2160	1650	1330	4350	80700	33600	32600	35300	18400	3490	3070
1960	3060	2160	1400	1120	2970	65100	36000	27600	30000	15400	3620	3410
1961	3260	2680	2050	1660	2040	80400	56100	37800	29200	17600	3540	3400
1962	3460	2690	1900	1510	4770	84600	52200	27300	16000	11000	3910	2500
1963	2390	1840	1580	1410	1410	72900	52700	18400	15600	10100	4130	2800
1964	2700	2240	1680	1350	2220	82000	42300	24600	14600	9020	2590	2510

Рисунок 4.2 – Импортированная таблица наблюдений с г/п Кюсюр

Далее, работаем с программой «Аналог» ПК «Гидрорасчеты», которая приведет ряд данных к многолетнему периоду. Выбирается ряд значений по каждому месяцу, с января по декабрь, по всем рассматриваемым гидрологическим постам (рисунок 4.3).

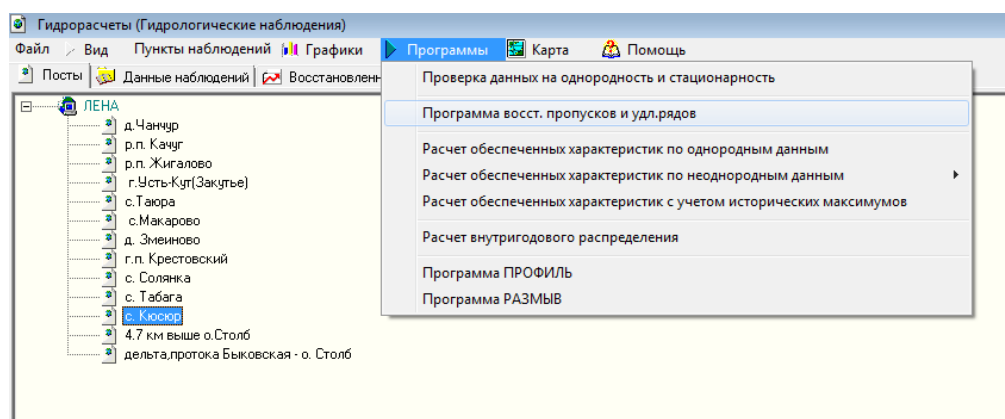


Рисунок 4.3 – Открытие программы восстановления

При включении «Аналога» появляется таблица, в которой надо выбрать за какой месяц будет происходить восстановление, например за январь (I) месяц (рисунок 4.4).

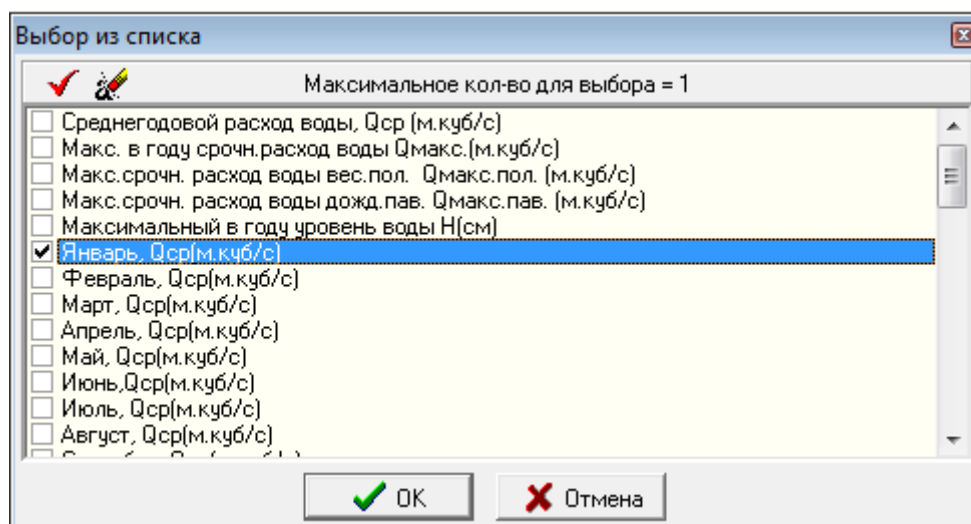


Рисунок 4.4 – Выбор рассматриваемого периода восстановления

Для корректной работы программы необходимо просмотреть матрицу парной корреляции, кнопка расчета и просмотра имеется в меню (рисунок 4.5). Просмотр матрицы представляет оценку связанности рядов, чтобы задать минимальное пороговое значение коэффициента корреляции (R) и рассмотреть действенные аналоги (рисунок 4.6). Определение коэффициента осуществляется за совместный период, не менее 6 лет.

ГИДРОРАСЧЕТЫ : Программа восстановления пропусков в данных

Файл Таблица Расчет Справка

Исходный ряд Восстановленный ряд Восстановленные значения

Таблица данных: Среднемесячные расходы воды. Характеристика: I

Кол-во = 13

Отм	Код	Наименование	Кол-во	Период	Код водн.об.	Широта	Долгота
	3001	д.Чанчур	76	1927 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3003	р.п. Качуг	68	1936 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3004	р.п. Жигалово	9	1969 - 1977	100000001	0.00	0.00
	3008	г.Усть-Кут(Закутье)	28	1974 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3014	с.Таюра	25	1977 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3017	с.Макарово	31	1971 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3021	д. Змеиново	68	1936 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3029	г.п. Крестовский	88	1933 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3036	с. Солянка	88	1933 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3042	с. Табага	94	1927 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3821	с. Кюсюр	83	1935 - 2020	100000001	0.00	0.00
	3824	4.7 км выше о.Столб	57	1951 - 2007	100000001	0.00	0.00
	3825	дельта,протока Быковская - о. Столб	56	1951 - 2007	100000001	0.00	0.00

Рисунок 4.5 – Главное меню программы «Аналог»

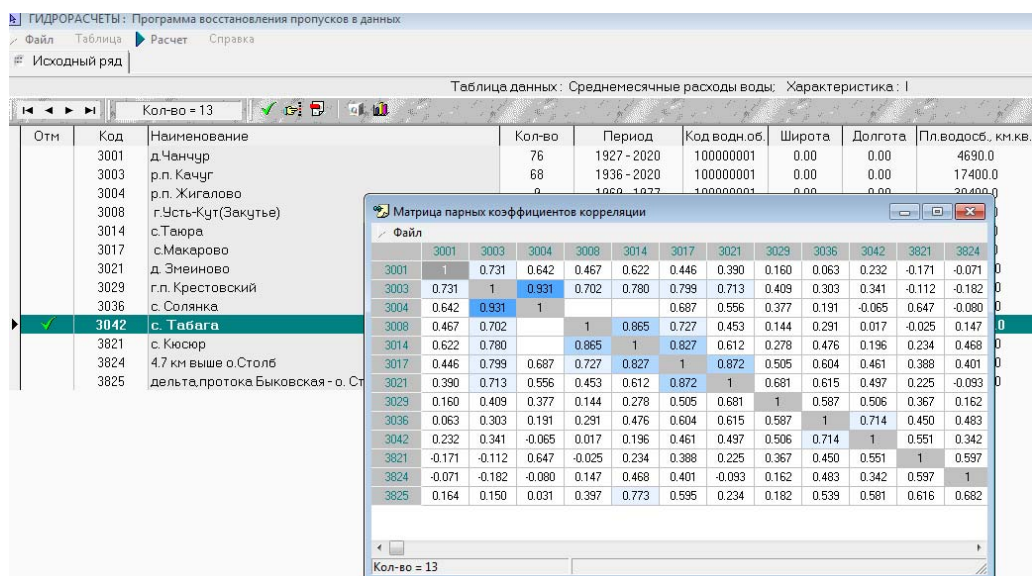


Рисунок 4.6 – Открытие матрицы парной корреляции

Следующим шагом является задание параметров программе для восстановления пропусков наблюдений и приведение их к многолетнему периоду:

- Совместный период наблюдений должен быть не менее 6 лет;
- Максимальное количество аналогов в уравнении (от 1 до 3-х);
- Минимально допустимое значение коэффициента корреляции R ;
- Среднее отношение коэффициента уравнения регрессии к его средне-квадратической ошибке R/σ_R (обычно задается $\geq 2,0$);
- Исключение отрицательных значений.

После введения параметров, программа запускается и выполняется приведение к многолетнему периоду ряда наблюдений. Для просмотра конечных результатов, то есть имеющихся и восстановленных рядов, следует в меню программы перейти во вкладку «Восстановленные значения» после чего появится таблица, включающая 3 поля: год, значение, погрешность, представлены на рисунке 4.7.

Год	I	Погрешность, абс.
1927	3756	679.5
1928	3688	679.5
1929	3780	679.5
1930	3180	679.5
1931	3323	679.5
1932	3475	679.5

Рисунок 4.7 – Вкладка «Восстановленные значения», показывающий результат программы

Полученную таблицу следует записать в файл, для этого выбирается формат выходного файла, в нашем случае Excel. Помимо настройки формата при формировании данной таблицы необходимо настроить и поля, содержащие цифры после запятой. Затем выбирается маршрут и имя файла, в который будет записана таблица.

В результате программный комплекс восстановила данные рядов во временном периоде на г/п:

1. с. Крестовский – восстановление не требуется,
2. с. Солянка – несколько месяцев (с января по март 1933 г.),
3. с. Табага – около 10-летний период (начиная от 1937 до 1927 гг.),
4. с. Кюсюр – около 11-летний период (начиная от 1934 до 1927 гг.),
5. г/п дельта, протока Быковская – около 17-летний период (начиная от 1950 до 1933 гг.).

Следовательно, продолжительность наблюдений на этих постах составила 88 и 94 лет, соответственно.

В таблице 4.4 представлены периоды и продолжительность наблюдений рядов расходов.

Таблица 4.4 – Гидрологические посты и периоды их наблюдений

№ поста	Река - пост	Период, года	Продолжительность, лет
1	р. Лена – с. Крестовский	1933 – 2020	88
2	р. Лена - с. Солянка	1933 – 2020	88
3	р. Лена - с. Табага	1927 – 2020	94
4	р. Лена - с. Кюсюр	1927 – 2020	94
5	р. Лена, дельта, протока Быковская - о. Столб	1933 – 2020	94

4.3 Расчет объема теплового стока

Объем теплового стока рассчитывается по следующей формуле (1) [3]:

$$W_T = c_p \cdot \rho \cdot t \cdot W, \quad (4.1)$$

где c_p – удельная теплоемкость воды (4,2 кДж/(кг·°C)),

ρ – плотность пресной воды (1000 кг/м³),

t – среднемесячная температура воды (°C),

W – среднемесячный объем стока (м³).

В работе рассчитывались значения объема теплового стока по месяцам за период открытого русла р. Лена:

- для среднего течения – с мая по октябрь,
- для нижнего течения – с июня по октябрь (г/п Кюсюр и г/п дельта, протока Быковская - о. Столб).

Расчеты проводились по формуле 4.1.

Результат вычислений продемонстрирован в таблице 4.5. В таблице представлены осредненные данные за каждый месяц периода открытого русла в двух временных периодах: 1976 – 1999 и 2000 – 2020 гг.

Таблица 4.5 – Объем теплового стока ($W_T, \text{кДж} \cdot 10^{13}$) за период открытого русла за два временных периода

Створ	V	VI	VII	VIII	IX	X	Сумма
<i>1976-1999</i>							
с. Крестовский	43,9	194	164	114	52,4	4,7	574
с. Солянка	75,7	337	286	202	91,1	7,7	999
с. Табага	64,3	384	310	200	85,7	7,8	1052
с. Кюсюр	0	526	654	400	165	17,4	1762
дельта, протока Быковская	0	155	176	101	46,1	4,3	483
<i>2000-2020</i>							
с. Крестовский	73,6	229	158	104	43,1	6,0	614
с. Солянка	140	370	290	187	77,5	9,4	1075
с. Табага	147	416	320	199	79,9	10,3	1173
с. Кюсюр	0	781	673	508	248	26,9	2237
дельта, протока Быковская	0	251	222	118	60,1	6,27	658

Исходя из таблицы 4.5, можно сделать вывод о том, что значения теплового стока больше во втором временном периоде, чем в первом. В связи с повышением средней температуры воздуха. Самый пик объема теплового стока наблюдается в июне, что напрямую связано с расходами воды.

Для визуальной оценки построены графики объем теплового стока за период открытого русла по двум временным периодам, представлены на рисунках 4.8 – 4.12.

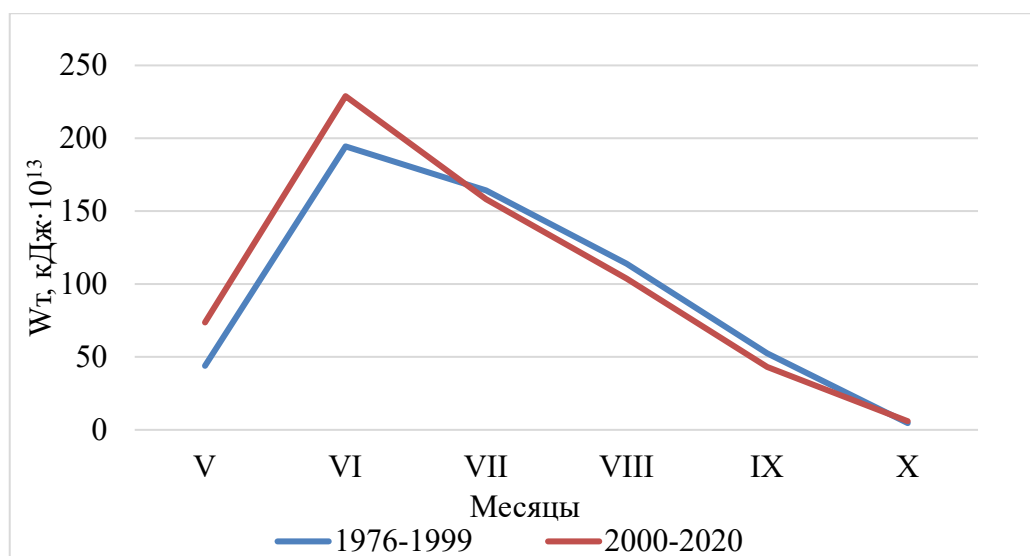


Рисунок 4.8 – Объем теплового стока за период открытого русла за два временных периода – р. Лена – с. Крестовский

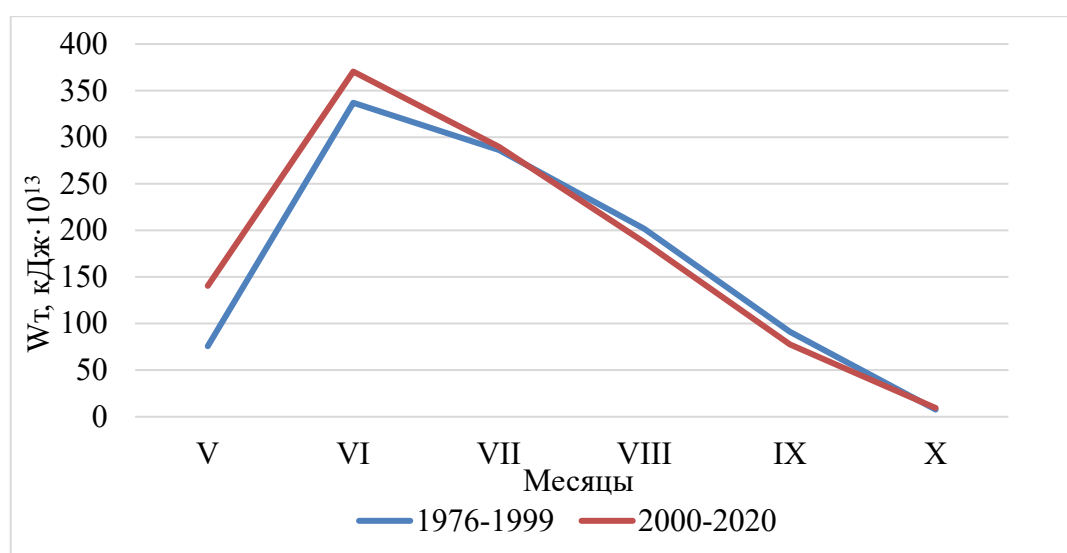


Рисунок 4.9 – Объем теплового стока за период открытого русла за два временных периода – р. Лена – с. Солянка

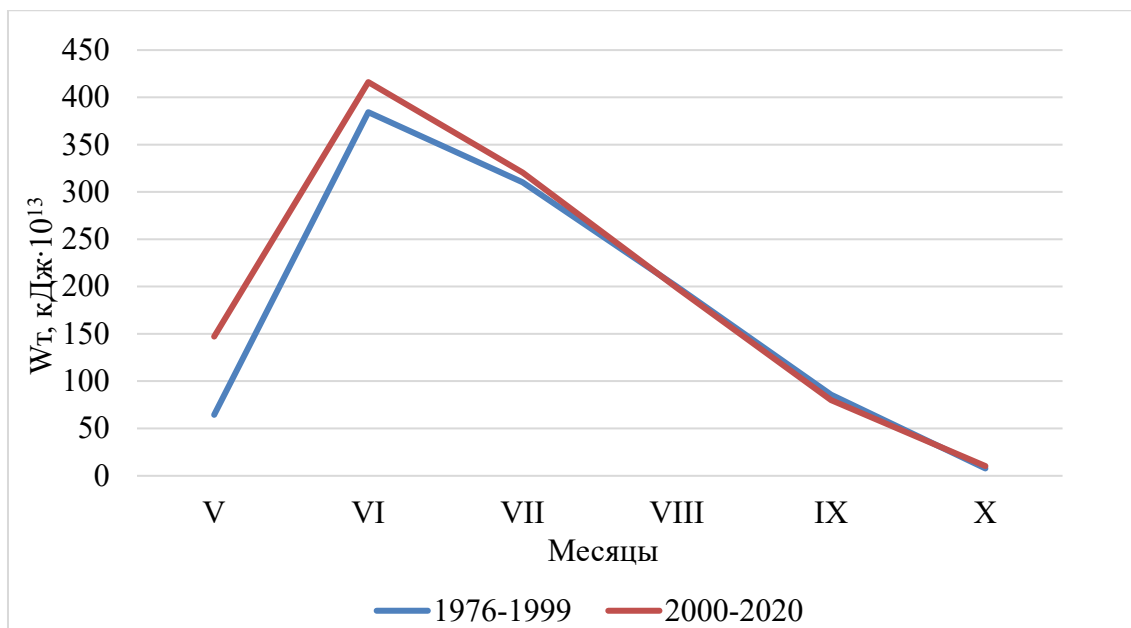


Рисунок 4.10 – Объем теплового стока за период открытого русла за два временных периода – р. Лена – с. Табага

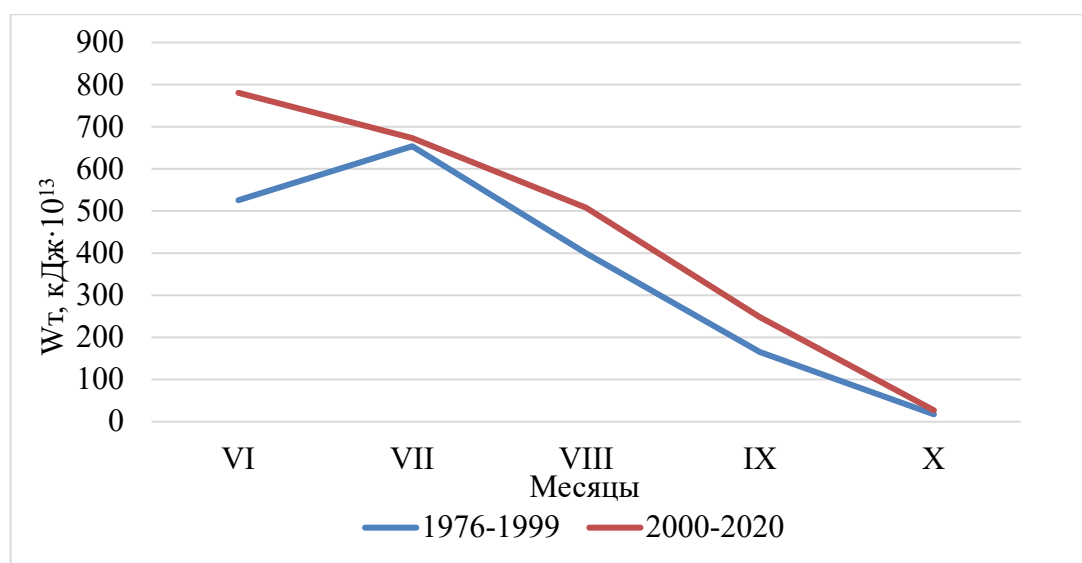


Рисунок 4.11 – Объем теплового стока за период открытого русла за два временных периода – р. Лена – с. Кюсюр

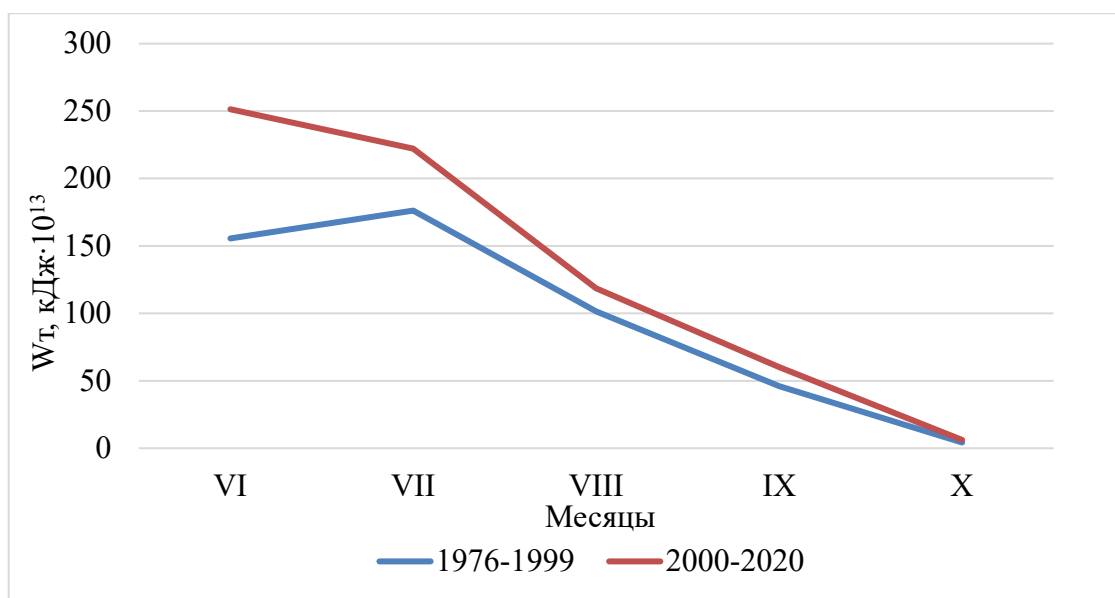


Рисунок 4.12 – Объем теплового стока за период открытого русла за два временных периода – р. Лена – дельта, протока Быковская

Кривые за два периода практически полностью друг друга повторяют: пик в июне, минимум в октябре, кроме створов, расположенных в низовье реки. За первый период пик наблюдается в июле месяце, а за второй уже с июня.

Основная часть объемов теплового стока формируется с мая по август, а для гидрологических постов, расположенных в устье с июня по август, что связано с оптимальным сочетанием расходов воды (весеннее половодье) и температуры воды (самый теплый период период).

4.4 Оценка однородности

Для оценки однородности рядов, т.е. принадлежность к одной генеральной совокупности, в данной работе используется критерии Стьюдента (оценка по математическому ожиданию) и Фишера (оценка по дисперсии).

Критерий Стьюдента

Критерий Стьюдента оценивает гипотезу однородности по математическому ожиданию, которая утверждает равенство среднего значения для двух периодов.

Величина критерия Стьюдента рассчитывается по формуле (4.2):

$$t^* = \frac{m_{x1} - m_{x2}}{\sigma^*} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (4.2)$$

где m_{x1} и m_{x2} – средние значения по первой и второй частям ряда;

σ^* – среднеквадратические отклонения;

n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда.

Далее это значение сопоставляется с критическим, которое определяется по таблицам ординат, и если $t^* \leq t_{крит}$, то гипотеза не опровергается и ряд считается однородным.

Критерий Фишера

Критерий Фишера оценивает однородности ряда по дисперсии, которая утверждает равенство дисперсий для двух периодов.

Величина статистики Фишера рассчитывается по формуле (4.3):

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}, \quad (4.3)$$

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

Далее это значение сопоставляется с критическим, которое определяется по таблицам ординат, и если $F^* < F_{крит}$, то гипотеза не опровергается и ряд считается однородным [5, 6].

Проверка рядов на однородность проводилась по данным расходам воды с помощью двух временных периодов: до и после 1976 года (период слабого похолодания и наиболее заметного потепления соответственно по данным температуры воздуха). Также проведена проверка гипотезы на однородность

значений температуры воздуха, только для тех месяцев, где наблюдалась неоднородность по двум критериям у расходов воды, и по полученным данным объема теплового стока (в периоде открытого русла) в периодах 1976 – 1999 и 2000 – 2020 гг.

Однородным считается тот ряд, для которого по обоим критериям нулевые гипотезы не опровергаются.

Проверка по расходам воды и объему теплового стока проводилась в программе «HydroStatCalc». Обязательным является только расширение имени файла «txt», стандартное для текстовых файлов. Наиболее простой и удобный способ подготовки исходных данных заключается в их записи с помощью Excel, с последующим сохранением в форме текстового файла с разделителем – знаком табуляции.

Для температуры воздуха в программе Excel через инструмент «Пакет анализа».

Уровень значимости принимается, как $2\alpha = 5\%$.

Результат оценки однородности:

- расхода воды представлен в таблицах 4.6;
- объема теплового стока в таблицах 4.7;
- температуры воздуха в таблицах 4.8.

Расходы воды

Таблица 4.6 – Оценка однородности рядов расходов воды

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
г/п с.Крестовский		
Январь	неоднород	однород
Февраль	неоднород	неоднород
Март	неоднород	неоднород
Апрель	неоднород	неоднород

Продолжение таблицы 4.6

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Май	неоднород	неоднород
Июнь	однород	однород
Июль	однород	неоднород
Август	однород	неоднород
Сентябрь	однород	неоднород
Октябрь	однород	однород
Ноябрь	однород	неоднород
Декабрь	неоднород	однород
г/п с.Солянка		
Январь	неоднород	неоднород
Февраль	неоднород	неоднород
Март	неоднород	неоднород
Апрель	неоднород	однород
Май	неоднород	неоднород
Июнь	однород	однород
Июль	однород	неоднород
Август	неоднород	неоднород
Сентябрь	однород	однород
Октябрь	неоднород	однород
Ноябрь	неоднород	неоднород
Декабрь	неоднород	однород
г/п с.Табага		
Январь	неоднород	неоднород
Февраль	неоднород	неоднород
Март	неоднород	неоднород

Продолжение таблицы 4.6

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Апрель	неоднород	неоднород
Май	неоднород	однород
Июнь	однород	однород
Июль	однород	однород
Август	однород	неоднород
Сентябрь	однород	однород
Октябрь	однород	однород
Ноябрь	неоднород	неоднород
Декабрь	неоднород	однород
г/п с.Кюсюр		
Январь	неоднород	неоднород
Февраль	неоднород	неоднород
Март	неоднород	неоднород
Апрель	неоднород	неоднород
Май	неоднород	неоднород
Июнь	однород	однород
Июль	однород	неоднород
Август	однород	неоднород
Сентябрь	однород	однород
Октябрь	однород	однород
г/п дельта, протока Быковская		
Январь	неоднород	однород
Февраль	неоднород	неоднород
Март	неоднород	неоднород
Апрель	неоднород	неоднород

Продолжение таблицы 4.6

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Май	неоднород	неоднород
Июнь	неоднород	неоднород
Июль	неоднород	неоднород
Август	однород	однород
Сентябрь	однород	неоднород
Октябрь	однород	неоднород
Ноябрь	неоднород	неоднород
Декабрь	неоднород	однород

Результат проверки на однородность расхода воды показал, что неоднородность по двум критериям наблюдается:

- г/п с. Крестовский – с февраля по май,
- г/п. с. Солянка – с января по март, май, август и ноябрь,
- г/п с. Табага – с января по апрель, и ноябрь,
- г/п. с. Кюсюр – с января по июль, и декабрь,
- г/п дельта, протока Быковская – с января по июль, и ноябрь.

Только для тех месяцев, где наблюдалась неоднородность по двум критериям у расходов воды проводится проверка на однородность рядов температур воздуха. Линейные графики температуры воздуха с выводением тренда изображены в Приложении В.

В Приложении Г опубликованы линейные графики по стоку воды, где наблюдалась неоднородность по результатам проверки.

Февраль и март – единственные месяцы, где наблюдается неоднородность по двум критериям на каждом створе.

Объем теплового стока

Таблица 4.7 – Оценка однородности рядов объема теплового стока за период открытого русла

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
г/п с.Крестовский		
Май	неоднород	однород
Июнь	однород	неоднород
Июль	однород	однород
Август	однород	однород
Сентябрь	неоднород	неоднород
Октябрь	однород	однород
г/п с.Солянка		
Май	неоднород	однород
Июнь	однород	неоднород
Июль	однород	однород
Август	однород	однород
Сентябрь	однород	неоднород
Октябрь	однород	однород
г/п с.Табага		
Май	неоднород	однород
Июнь	однород	неоднород
Июль	однород	однород
Август	однород	однород
Сентябрь	однород	однород
Октябрь	однород	однород
г/п с.Кюсюр		
Июнь	неоднород	однород

Продолжение таблицы 4.7

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Июль	однород	однород
Август	неоднород	однород
Сентябрь	однород	однород
Октябрь	однород	однород
г/п дельта, протока Быковская		
Июнь	неоднород	однород
Июль	неоднород	неоднород
Август	неоднород	однород
Сентябрь	неоднород	неоднород
Октябрь	однородн	однородн

Результат проверки на однородность рядов теплового стока показал, что неоднородность по двум критериям наблюдается на г/п с. Крестовский в августе, и на г/п дельта, протока Быковская в июле и сентябре. Ряд данных за май по критерию Стьюденту – неоднороден, на 3 гидрологических постах, где имеются наблюдения за этот месяц.

Температура воздуха

Таблица 4.8 – Оценка однородности рядов температуры воздуха

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
м/с Ленск		
Февраль	неоднород	однород
Март	неоднород	однород
Апрель	неоднород	однород

Продолжение таблицы 4.8

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Май	неоднород	однород
м/с Олекминск		
Январь	однород	однород
Февраль	неоднород	однород
Март	неоднород	однород
Май	неоднород	однород
Август	однород	однород
Ноябрь	однород	однород
м/с Якутск		
Январь	неоднород	однород
Февраль	неоднород	однород
Март	неоднород	однород
Апрель	неоднород	однород
ноябрь	неоднород	однород
м/с Кюсюр		
Январь	однород	однород
Февраль	однород	однород
Март	однород	однород
Апрель	неоднород	неоднород
Май	однород	однород
Декабрь	однород	однород
м/с Тикси		
Январь	однород	неоднород
Февраль	однород	неоднород
Март	однород	однород

Продолжение таблицы 4.8

Месяц	Оценка	
	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера
Апрель	однород	однород
Май	однород	неоднород
Июнь	однород	однород
Июль	однород	однород
Ноябрь	однород	однород

Результат проверки на однородность рядов температуры воздуха показал, что неоднородность по двум критериям наблюдается только в апреле на м/с Кюсюр. По критерию Фишера полностью однородны ряды, расположенные на м/с Ленск, м/с Олекминск, м/с Якутск. По критерию Стьюдента полностью однороден ряд значений, находящихся на м/с Тикси.

Визуальная оценка интегральной кривой

На рисунках 4.13 – 4.16 представлены основные интегральные кривые ряда расходов воды за февраль и июнь у «входного» (с. Крестовский) и «выходного» (с. Кюсюр) створов. Февраль был выбран по итогам проверки на однородность, где на каждом створе в этом месяце наблюдалась неоднородность ряда по среднему значению и дисперсии. Июнь выбран по причине того, что в этом месяце наблюдаются самые высокие значения стока воды.

На рисунках 4.17 и 4.18 продемонстрированы интегральные кривые значений объема теплового стока за июнь у «входного» (с. Крестовский) и «выходного» (с. Кюсюр) створов.

Построение кривых осуществлялось в программе «HydroStatCalc».

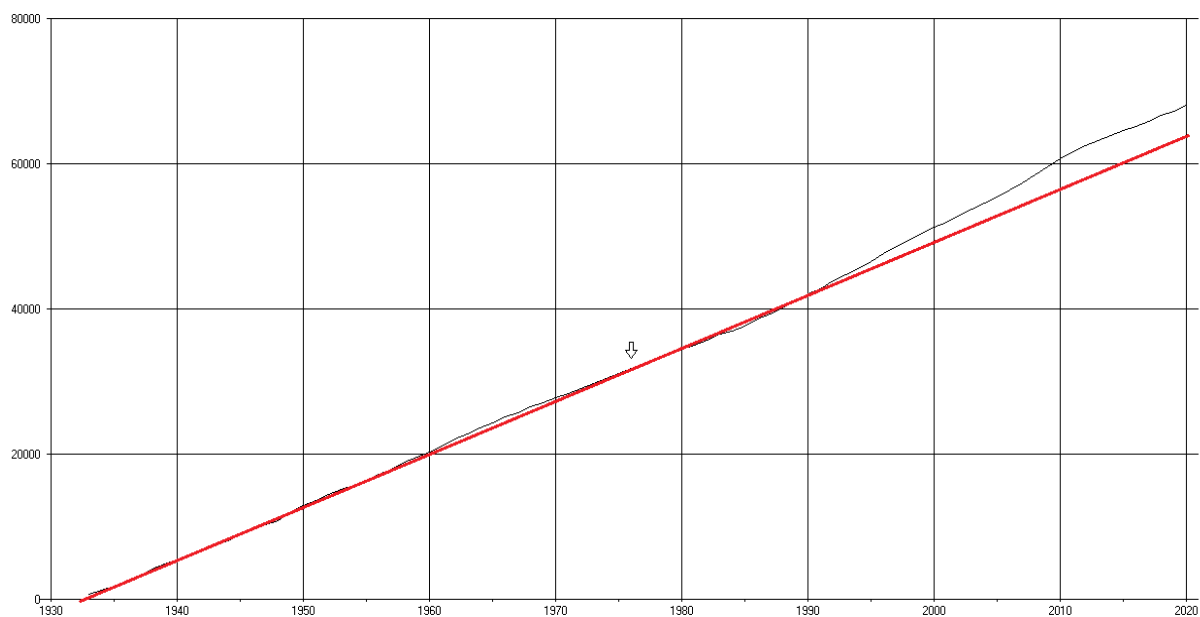


Рисунок 4.13 – Интегральная кривая стока воды за февраль на г/п с. Крестов-
ский

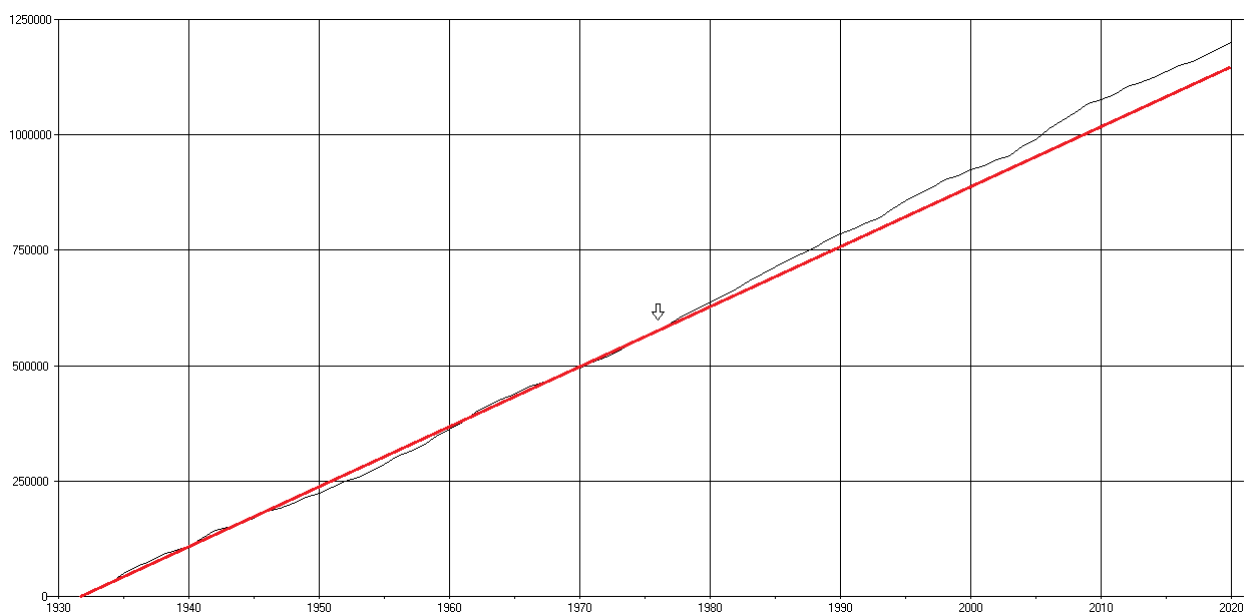


Рисунок 4.14 – Интегральная кривая стока воды за июнь на г/п с. Крестов-
ский

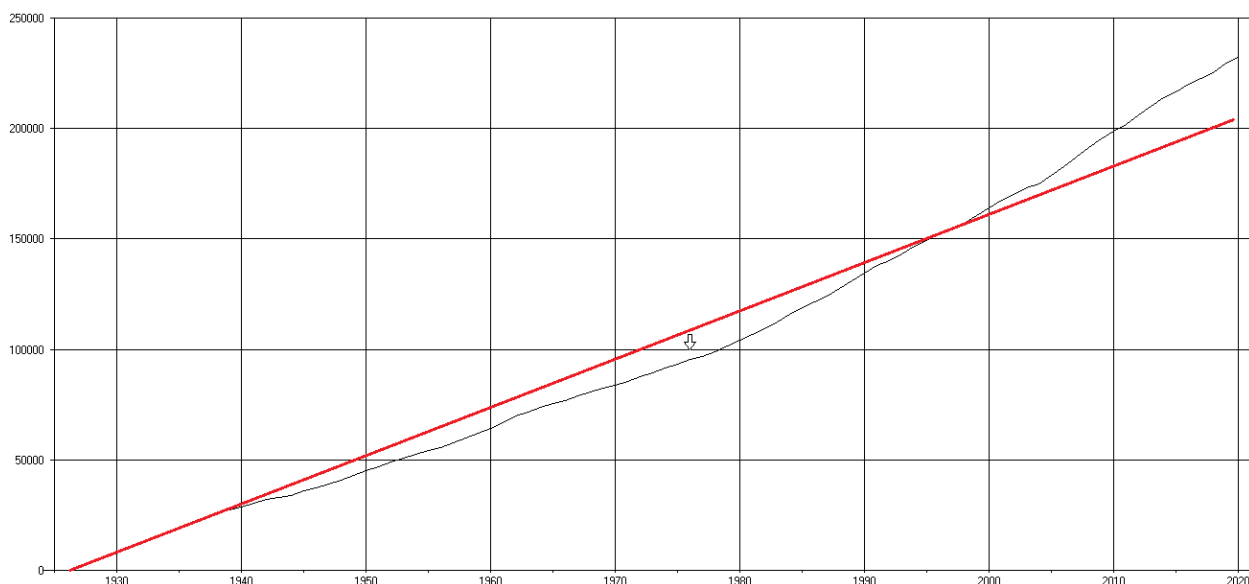


Рисунок 4.15 – Интегральная кривая стока воды за февраль на г/п с. Крестовский

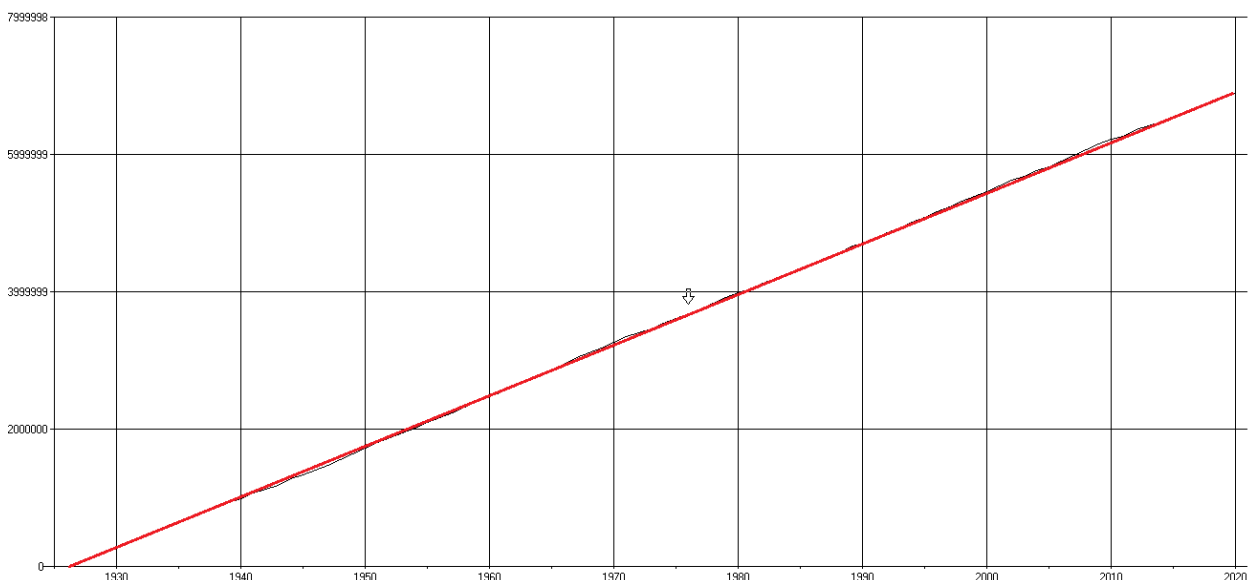


Рисунок 4.16 – Интегральная кривая стока воды за июнь на г/п с. Крестовский

Примечание: на кривых расходов воды стрелкой отмечен 1976 год.

Интегральная кривая стока воды за февраль указывает на неоднородность, «провал» происходит с 1945-х годов до 1995 гг. Уже после 1995 г. Происходит увеличение значений стока.

В интегральных кривых стока воды за июнь нет заметных искривлений, показывающих резкие изменения характеристики.

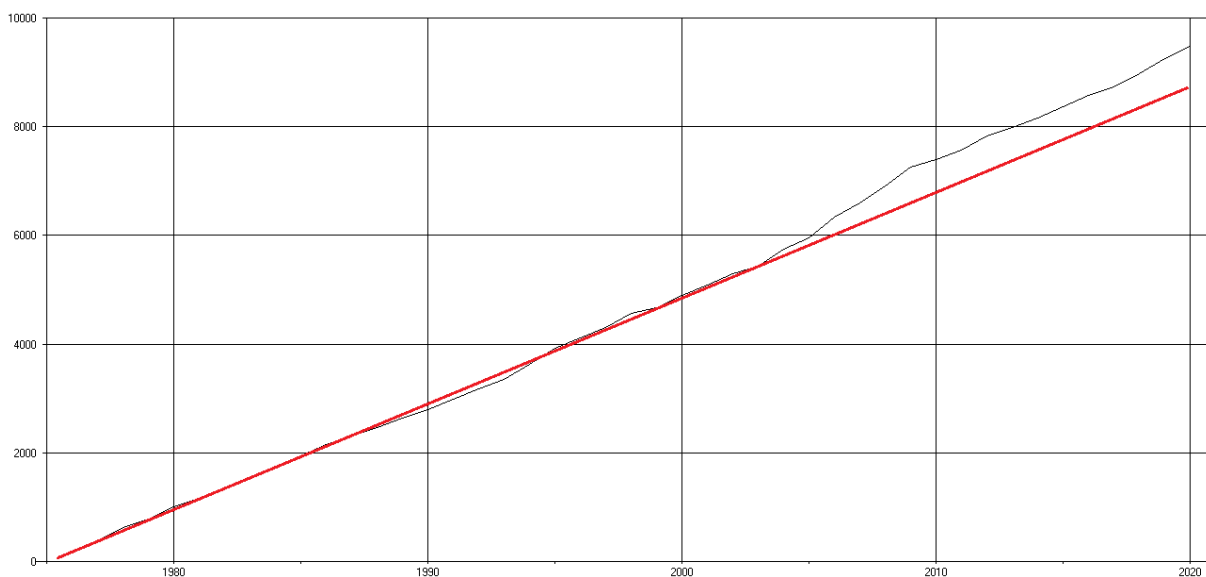


Рисунок 4.17 – Интегральная кривая объема теплового стока за июнь на г/п
с.Крестовский



Рисунок 4.18 – Интегральная кривая объема теплового стока за июнь на г/п
с.Кюсюр

Судя по интегральным кривым объема теплового стока, можно сказать, что с 1990-х годов и по настоящее десятилетие происходит заметное увеличение стока воды.

4.5 Оценка трендов

Оценка значимости линейного тренда проводится с использованием критерия значимости выборочного коэффициента корреляции (R). Тренд считается статистически незначимым, если выполняется условие:

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha},$$

где $t_{2\alpha}$ – Статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$; σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции.

Оценка значимости линейного тренда проводилась по рядам стока воды, объема теплового стока и температур воздуха.

Оценка значимости линейного тренда:

- по стоку воды представлен в таблицах 4.9;
- по тепловому стоку в таблицах 4.10;
- по температурам воздуха в таблицах 4.11.

Сток воды

Таблица 4.9 – Оценка значимости линейного тренда расхода воды

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
г/п с. Крестовский							
Январь	88	0.0816	0.10	1.99	0.29	2.76	значим
Февраль	88	0.1042	0.10	1.99	0.32	3.16	значим
Март	88	0.1963	0.10	1.99	0.44	4.58	значим
Апрель	88	0.1033	0.10	1.99	0.32	3.15	значим
Май	88	0.0668	0.10	1.99	0.26	2.48	значим
Июнь	88	0.0078	0.11	1.99	0.09	0.82	не значим
Июль	88	0.0003	0.11	1.99	0.02	0.16	не значим
Август	88	0.0029	0.11	1.99	0.05	0.50	не значим
Сентябрь	88	0.0114	0.11	1.99	0.11	1.00	не значим

Продолжение таблицы 4.9

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
Октябрь	88	0.0028	0.11	1.99	0.05	0.49	не значим
Ноябрь	88	0.0490	0.11	1.99	0.22	2.11	значим
Декабрь	88	0.0829	0.10	1.99	0.29	2.79	значим
г/п с. Солянка							
Январь	88	0.1267	0.10	1.99	0.36	3.53	значим
Февраль	88	0.1272	0.10	1.99	0.36	3.54	значим
Март	88	0.1048	0.10	1.99	0.32	3.17	значим
Апрель	88	0.1177	0.10	1.99	0.34	3.39	значим
Май	88	0.1141	0.10	1.99	0.34	3.33	значим
Июнь	88	0.0161	0.11	1.99	0.13	1.19	не значим
Июль	88	0.01	0.11	1.99	0.10	0.93	не значим
Август	88	0.0363	0.11	1.99	0.19	1.80	не значим
Сентябрь	88	0.0009	0.11	1.99	0.03	0.28	не значим
Октябрь	88	0.0532	0.10	1.99	0.23	2.20	значим
Ноябрь	88	0.1442	0.10	1.99	0.38	3.81	значим
Декабрь	88	0.1051	0.10	1.99	0.32	3.18	значим
г/п с. Табага							
Январь	94	0.0524	0.10	1.99	0.23	2.26	значим
Февраль	94	0.1459	0.10	1.99	0.38	3.96	значим
Март	94	0.2476	0.09	1.99	0.50	5.50	значим
Апрель	94	0.2506	0.09	1.99	0.50	5.55	значим
Май	94	0.1779	0.09	1.99	0.42	4.46	значим
Июнь	94	0.0046	0.10	1.99	0.07	0.65	не значим
Июль	94	0.0019	0.10	1.99	0.04	0.42	не значим
Август	94	0.0117	0.10	1.99	0.11	1.04	не значим
Сентябрь	94	0.0011	0.10	1.99	0.03	0.32	не значим
Октябрь	94	0.0024	0.10	1.99	0.05	0.47	не значим

Продолжение таблицы 4.9

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
Ноябрь	94	0.2165	0.09	1.99	0.47	5.04	значим
Декабрь	94	0.0568	0.10	1.99	0.24	2.35	значим
г/п с. Кюсюр							
Январь	94	0.3588	0.08	1.99	0.60	7.18	значим
Февраль	94	0.5001	0.07	1.99	0.71	9.59	значим
Март	94	0.5638	0.07	1.99	0.75	10.90	значим
Апрель	94	0.5742	0.07	1.99	0.76	11.14	значим
Май	94	0.181	0.09	1.99	0.43	4.51	значим
Июнь	94	0.0001	0.10	1.99	0.01	0.10	не значим
Июль	94	0.00005	0.10	1.99	0.01	0.07	не значим
Август	94	0.0143	0.10	1.99	0.12	1.16	не значим
Сентябрь	94	0.002	0.10	1.99	0.04	0.43	не значим
Октябрь	94	0.0001	0.10	1.99	0.01	0.10	не значим
Ноябрь	94	0.2312	0.09	1.99	0.48	5.26	значим
Декабрь	94	0.4834	0.07	1.99	0.70	9.28	значим
г/п дельта, протока Быковская							
Январь	88	0.0701	0.10	1.99	0.26	2.55	значим
Февраль	88	0.3183	0.09	1.99	0.56	6.34	значим
Март	88	0.5805	0.07	1.99	0.76	10.91	значим
Апрель	88	0.5427	0.07	1.99	0.74	10.10	значим
Май	88	0.1842	0.10	1.99	0.43	4.41	значим
Июнь	88	0.1494	0.10	1.99	0.39	3.89	значим
Июль	88	0.157	0.10	1.99	0.40	4.00	значим
Август	88	0.014	0.11	1.99	0.12	1.11	не значим
Сентябрь	88	0.0057	0.11	1.99	0.08	0.70	не значим
Октябрь	88	0.0003	0.11	1.99	0.02	0.16	не значим

Продолжение таблицы 4.9

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
Ноябрь	88	0.1975	0.10	1.99	0.44	4.60	значим
Декабрь	88	0.0406	0.11	1.99	0.20	1.91	не значим

Объем теплового стока

Таблица 4.10 – Оценка значимости линейного тренда объема теплового стока

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
г/п с. Крестовский							
Май	45	0,3164	0,13	2,02	0,56	4,46	значим
Июнь	45	0,0611	0,15	2,02	0,25	1,67	не значим
Июль	45	0,0005	0,15	2,02	0,02	0,15	не значим
Август	45	0,0568	0,15	2,02	0,24	1,61	не значим
Сентябрь	45	0,1639	0,14	2,02	0,40	2,90	значим
Октябрь	45	0,0911	0,15	2,02	0,30	2,08	значим
г/п с. Солянка							
Май	45	0.4336	0.11	2.02	0.66	5.74	значим
Июнь	45	0.0320	0.15	2.02	0.18	1.19	не значим
Июль	45	0.0027	0.15	2.02	0.05	0.34	не значим
Август	45	0.0288	0.15	2.02	0.17	1.13	не значим
Сентябрь	45	0.1262	0.14	2.02	0.36	2.49	значим
Октябрь	45	0.1017	0.14	2.02	0.32	2.21	значим
г/п с. Табага							
Май	45	0.5636	0.10	2.02	0.75	7.45	значим
Июнь	45	0.0181	0.15	2.02	0.13	0.89	не значим
Июль	45	0.0064	0.15	2.02	0.08	0.53	не значим
Август	45	0.0013	0.15	2.02	0.04	0.24	не значим
Сентябрь	45	0.0357	0.15	2.02	0.19	1.26	не значим
Октябрь	45	0.1804	0.14	2.02	0.42	3.08	значим

Продолжение таблицы 4.10

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
г/п с. Кюсюр							
Июнь	45	0.4846	0.11	2.02	0.70	6.36	значим
Июль	45	0.0165	0.15	2.02	0.13	0.85	не значим
Август	45	0.1641	0.14	2.02	0.41	2.91	значим
Сентябрь	45	0.2259	0.13	2.02	0.48	3.54	значим
Октябрь	45	0.1524	0.14	2.02	0.39	2.78	значим
г/п дельта, протока Быковская							
Июнь	45	0.5857	0.10	2.02	0.77	7.80	значим
Июль	45	0.1741	0.14	2.02	0.42	3.01	значим
Август	45	0.0964	0.14	2.02	0.31	2.14	значим
Сентябрь	45	0.0556	0.15	2.02	0.24	1.59	не значим
Октябрь	45	0.1362	0.14	2.02	0.37	2.60	значим

Температура воздуха

Таблица 4.11 – Оценка значимости линейного тренда температуры воздуха

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
м/с Ленск							
Январь	81	0.0303	0.11	1.99	0.17	1.57	не значим
Февраль	81	0.1100	0.11	1.99	0.33	3.12	значим
Март	81	0.1897	0.10	1.99	0.44	4.30	значим
Апрель	81	0.0952	0.11	1.99	0.31	2.88	значим
Май	81	0.1241	0.11	1.99	0.35	3.35	значим
Июнь	81	0.1453	0.10	1.99	0.38	3.66	значим
Июль	81	0.0002	0.11	1.99	0.01	0.13	не значим
Август	81	0.0357	0.11	1.99	0.19	1.71	не значим
Сентябрь	81	0.0040	0.11	1.99	0.06	0.56	не значим
Октябрь	81	0.0024	0.11	1.99	0.05	0.44	не значим

Продолжение таблицы 4.11

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
Ноябрь	81	0.0400	0.11	1.99	0.20	1.81	не значим
Декабрь	81	0.0276	0.11	1.99	0.17	1.50	не значим
м/с Олекминск							
Январь	88	0.0297	0.11	1.99	0.17	1.62	не значим
Февраль	88	0.0511	0.11	1.99	0.23	2.15	значим
Март	88	0.1854	0.10	1.99	0.43	4.42	значим
Апрель	88	0.1302	0.10	1.99	0.36	3.59	значим
Май	88	0.099	0.10	1.99	0.31	3.07	значим
Июнь	88	0.099	0.10	1.99	0.31	3.07	значим
Июль	88	0.0077	0.11	1.99	0.09	0.82	не значим
Август	88	0.0072	0.11	1.99	0.08	0.79	не значим
Сентябрь	88	0.0114	0.11	1.99	0.11	1.00	не значим
Октябрь	88	0.003	0.11	1.99	0.05	0.51	не значим
Ноябрь	88	0.0341	0.11	1.99	0.18	1.74	не значим
Декабрь	88	0.0098	0.11	1.99	0.10	0.92	не значим
м/с Якутск							
Январь	88	0.2615	0.09	1.99	0.51	5.52	значим
Февраль	88	0.2053	0.10	1.99	0.45	4.71	значим
Март	88	0.2097	0.10	1.99	0.46	4.78	значим
Апрель	88	0.3213	0.09	1.99	0.57	6.38	значим
Май	88	0.1963	0.10	1.99	0.44	4.58	значим
Июнь	88	0.0955	0.10	1.99	0.31	3.01	значим
Июль	88	0.0405	0.11	1.99	0.20	1.91	не значим
Август	88	0.0114	0.11	1.99	0.11	1.00	не значим
Сентябрь	88	0.0003	0.11	1.99	0.02	0.16	не значим
Октябрь	88	0.0085	0.11	1.99	0.09	0.86	не значим
Ноябрь	88	0.0676	0.10	1.99	0.26	2.50	значим

Продолжение таблицы 4.11

Месяц	n	R^2	σ_R	$t_{2\alpha}$	R	R/σ_R	Значимость
Декабрь	88	0.1165	0.10	1.99	0.34	3.37	значим
м/с Кюсюр							
Январь	88	0.0186	0.11	1.99	0.14	1.28	не значим
Февраль	88	0.03	0.11	1.99	0.17	1.63	не значим
Март	88	0.0254	0.11	1.99	0.16	1.50	не значим
Апрель	88	0.1341	0.10	1.99	0.37	3.65	значим
Май	88	0.0476	0.11	1.99	0.22	2.07	значим
Июнь	88	0.1053	0.10	1.99	0.32	3.18	значим
Июль	88	0.0173	0.11	1.99	0.13	1.23	не значим
Август	88	0.0433	0.11	1.99	0.21	1.97	не значим
Сентябрь	88	0.0497	0.11	1.99	0.22	2.12	значим
Октябрь	88	0.0224	0.11	1.99	0.15	1.40	не значим
Ноябрь	88	0.016	0.11	1.99	0.13	1.18	не значим
Декабрь	88	0.0086	0.11	1.99	0.09	0.86	не значим
м/с Тикси							
Январь	88	0.0242	0.11	1.99	0.16	1.46	не значим
Февраль	88	0.0002	0.11	1.99	0.01	0.13	не значим
Март	88	0.0048	0.11	1.99	0.07	0.64	не значим
Апрель	88	0.0083	0.11	1.99	0.09	0.85	не значим
Май	88	0.0013	0.11	1.99	0.04	0.33	не значим
Июнь	88	0.0602	0.10	1.99	0.25	2.35	значим
Июль	88	0.055	0.10	1.99	0.23	2.24	значим
Август	88	0.0149	0.11	1.99	0.12	1.14	не значим
Сентябрь	88	0.0233	0.11	1.99	0.15	1.43	не значим
Октябрь	88	0.0277	0.11	1.99	0.17	1.57	не значим
Ноябрь	88	0.0507	0.11	1.99	0.23	2.14	значим
Декабрь	88	0.0092	0.11	1.99	0.10	0.89	не значим

При результатах на значимость тренда можно сделать следующие выводы:

- Оценка стока воды показала, что тренд статистически значим, в основном, в зимние и весенние месяцы. Но есть исключение, на г/п дельта, протока Быковская – продолжительность значимости тренда переходит и на летние месяцы.
- При объеме теплового стока результат показал, что на среднем течении реки Лена по данным гидропостам, расположенных в этом участке, тренд статистически не значим в летние месяцы (июнь – август). На створах, расположенных в низовье реки, тренд статистически не значим в июле и в сентябре, соответственно.
- При обработке температуры воздуха, взятых с метеостанций, расположенных вблизи рабочих гидрологических постов, можно заметить, что тренд на территории средней Лены, в основном, статистически значим первые 6 месяцев. На территории устьевой части реки тренд статистически не значим в зимние и осенние месяцы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе произведен расчет объема теплового стока на примере участках среднего и нижнего течений бассейна реки Лена. Анализ термического показателя рек – объема теплового стока, выявил изменчивость характеристики во времени, связанную с повсеместным повышением средней приповерхностной температуры воздуха. Результаты показали увеличение величины объема теплового стока в начале 21 века, по сравнению с 1976 по 1999 г, что вполне естественно при повышении среднемесячной температуры воды.

Проведены работы по оценке на однородность рядов стока, объема теплового стока и температуре воды, также на статистическую значимость трендов, и приведение рядов к многолетнему периоду.

Связь между температурами воды и воздуха имеет огромное влияние на друг друга. Повышение средней температуры воздуха может оказывать влияние на повышение температуры воды рек. Когда средняя температура воздуха повышается, поверхностный слой воды также нагревается, и это может вызвать изменения водного режима рек, что может повлиять на их температурный режим.

Например, повышение температуры воздуха может ускорить таяние снега и льда, что приведет к увеличению потока рек и, следовательно, к изменению температуры воды.

Оценка воздействия изменения климата и антропогенных факторов на тепловой сток рек является важной задачей, которая позволяет понять, как изменения климата и деятельность человека влияют на экологические процессы в реках и их водосборных бассейнах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Среднемесячные расходы воды / [Электронный ресурс] // АИС ГМВО: [сайт]. — URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2022).
2. Температура воздуха / [Электронный ресурс] // ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации): [сайт]. — URL: <http://meteo.ru> (дата обращения: 20.12.2022).
3. Магрицкий Д. В. Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения / Д. В. Магрицкий // Вестник Московского университета. Серия 5. География. — 2009. — №. 5. — С. 69–77.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Инди́гирский район. — Гидрометеиздат. Л.: — 1972 год. — 651 с.
5. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А. В. Сикан. — СПб: изд. РГГМУ, 2007. — 279 с.
6. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 365 с.
7. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / ред. В. М. Катцов — Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО», 2017. 106 с.
8. Магрицкий Д. В. Изменения стока арктических рек России и информационное обеспечение исследований / Д. В. Магрицкий // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. — 2019. — С. 452-459.
9. Зайцев А.А., Кирик О. М., Михайлов В. С.. Взаимодействие речного льда с руслом на р. Лене и её притока /А. А. Зайцев, О. М. Кирик, В. С. Михайлов — Москва:МГУ — С. 244.

Приложение А. Исходные гидрометеорологические данные

Таблица А.1 – Осредненные среднемесячные температуры воздуха

Метео- стан- ция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ленск	-29.0	-25.6	-15.4	-3.6	6.0	14.6	17.7	14.0	5.9	-4.6	-19.8	-28.3
Олек- минск	-31.4	-27.1	-16.3	-3.5	6.8	15.1	18.3	14.7	6.3	-4.9	-21.2	-30.4
Якутск	-40.1	-35.2	-21.1	-5.6	7.0	16.1	19.2	15.2	6.2	-7.7	-27.9	-38.6
Кюсюр	-37.4	-35.1	-26.0	-15	-3.1	8.3	12.5	9.6	1.9	-11.6	-28.8	-34.6
Тикси	-30.7	-30.1	-25.7	-17.7	-6.2	3.2	7.5	7.7	1.7	-10.9	-23.3	-28.4

Таблица А.2 – Осредненные среднемесячные расходы воды

№	Год	р.Лена – с.Крестов- ский	р.Лена - с.Со- лянка	р.Лена - с.Та- бага	р.Лена - с.Кю- сюр	р.Лена,дельта, протока Быков- ская - о. Столб
1	1927	—	—	8120	15778	—
2	1928	—	—	7449	16163	—
3	1929	—	—	7583	17823	—
4	1930	—	—	8110	16824	—
5	1931	—	—	8465	19166	—
6	1932	—	—	7465	16313	—
7	1933	4846	8260	8588	18149	4029
8	1934	4271	6648	7213	16561	3997
9	1935	4981	8593	8869	19568	4529
10	1936	4546	6857	7246	16060	4222

Продолжение таблицы А.2

№	Год	р.Лена – с.Крестов- ский	р.Лена - с.Со- лянка	р.Лена - с.Та- бага	р.Лена - с.Кю- сюр	р.Лена,дельта, протока Быков- ская - о. Столб
11	1937	4831	7098	7845	16608	4066
12	1938	5056	8140	8342	19205	4486
13	1939	3293	5450	5438	14572	3524
14	1940	3564	5399	5371	13667	3757
15	1941	3877	5954	5951	13672	3894
16	1942	3833	5967	5988	15051	4309
17	1943	2893	5197	5404	15374	3737
18	1944	4126	6181	6499	18909	4179
19	1945	4100	6351	6871	14547	3824
20	1946	3772	6285	6914	15802	3880
21	1947	4161	5849	6070	14862	3716
22	1948	4670	6573	6661	16462	4074
23	1949	5222	8280	8607	19566	4636
24	1950	3169	5520	5654	14826	3609
25	1951	4458	6767	7047	18553	4410
26	1952	4089	6094	6722	17224	4183
27	1953	3167	5031	5424	14405	3394
28	1954	3239	4544	5027	13234	3555
29	1955	3957	6054	6697	15561	3766
30	1956	4388	6997	7568	15569	4079
31	1957	4116	6755	7410	15965	3897
32	1958	3878	7310	8278	18284	3848
33	1959	4570	8103	8968	18300	4862
34	1960	4652	7263	7615	15987	3803

Продолжение таблицы А.2

№	Год	р.Лена – с.Крестов- ский	р.Лена - с.Со- лянка	р.Лена - с.Та- бага	р.Лена - с.Кю- сюр	р.Лена,дельта, протока Быков- ская - о. Столб
35	1961	4670	7356	7851	19978	4653
36	1962	4910	7765	8509	17653	4637
37	1963	4144	7224	7569	15438	3575
38	1964	3704	6214	6650	15651	3933
39	1965	3714	5738	5909	16037	3878
40	1966	4107	6684	7071	18831	3981
41	1967	4345	6940	7378	18153	3951
42	1968	3546	6000	6223	17024	4107
43	1969	3390	5355	5705	14864	3248
44	1970	3910	6317	6793	16038	4142
45	1971	4443	7395	7731	16440	3988
46	1972	3306	5490	5602	15428	3998
47	1973	4533	6566	6732	15832	3724
48	1974	4256	6873	7100	19332	4844
49	1975	4210	6828	6748	16897	4229
50	1976	3726	6587	6783	16102	4137
51	1977	3763	6695	6950	17390	4190
52	1978	4826	8322	8570	19091	4526
53	1979	4035	6747	6939	15940	3697
54	1980	4423	6932	7093	16599	4007
55	1981	4675	8532	8425	17832	4481
56	1982	4612	8274	8463	18548	4743
57	1983	6051	9766	10511	18908	4996
58	1984	4212	7523	8027	16591	3793

Продолжение таблицы А.2

№	Год	р.Лена – с.Крестов- ский	р.Лена - с.Со- лянка	р.Лена - с.Та- бага	р.Лена - с.Кю- сюр	р.Лена,дельта, протока Быков- ская - о. Столб
59	1985	3879	5473	5543	14663	3177
60	1986	3439	5171	5185	12731	2680
61	1987	3084	5607	5609	13976	2851
62	1988	5453	8634	8991	20913	5053
63	1989	4622	7923	8118	23054	5316
64	1990	3793	5792	5803	15800	3889
65	1991	3690	5810	5812	15292	4172
66	1992	4644	7464	7422	16078	3931
67	1993	4068	6783	6552	16734	4498
68	1994	4729	7706	7708	18538	4112
69	1995	4202	6544	6529	15491	4158
70	1996	4026	7136	7025	16214	5188
71	1997	4840	8720	8251	19395	4712
72	1998	5142	8552	8700	18089	4339
73	1999	3897	6315	6519	16776	5165
74	2000	4542	7912	8354	20520	3815
75	2001	4054	6288	6528	15978	4190
76	2002	4373	7060	7222	16943	4457
77	2003	3320	5794	5939	15229	4637
78	2004	5220	8118	8507	17743	5132
79	2005	3917	7193	7798	19856	5278
80	2006	4996	8710	9820	20378	5497
81	2007	4840	8310	9253	21525	6272
82	2008	5223	8621	9535	21603	7068

Продолжение таблицы А.2

№	Год	р.Лена – с.Крестов- ский	р.Лена - с.Со- лянка	р.Лена - с.Та- бага	р.Лена - с.Кю- сюр	р.Лена,дельта, протока Быков- ская - о. Столб
83	2009	5786	9403	9893	20604	5151
84	2010	4255	7089	7228	17138	4069
85	2011	4119	7224	7473	15668	6118
86	2012	5501	9549	10259	22016	4509
87	2013	4055	7726	8654	19382	4232
88	2014	3782	6332	6609	19114	5136
89	2015	3679	6241	6953	17813	4669
90	2016	3431	7019	7602	19635	3987
91	2017	3717	6766	7420	16525	5537
92	2018	4995	7878	8493	17892	4447
93	2019	3220	5516	5921	15588	5186
94	2020	4692	7925	8385	18002	5140

Приложение Б. Статистические характеристики по данным расходам воды

Таблица Б.1 – Данные по среднему значению, Cv и Cs для ряда стока воды

створ	с. Крестовский			с. Солянка			с. Табага			с. Кюсюр			дельта, протока Быков- ская		
месяц	Сред- ний	Cv	Cs	Сред- ний	Cv	Cs	Средний	Cv	Cs	Средний	Cv	Cs	Средний	Cv	Cs
Январь	938	0.22	0.29	1423	0.2	1.06	1612	0.23	0.32	3174	0.29	0.8	568	0.29	0.34
Февраль	773	0.21	0.34	1133	0.21	0.96	1237	0.23	0.41	2468	0.33	0.57	409	0.45	0.69
Март	709	0.2	0.56	978	0.22	1.37	1036	0.23	0.68	1874	0.37	0.67	316	0.56	0.69
Апрель	844	0.38	2.59	1041	0.27	1.47	991	0.25	0.99	1547	0.38	0.63	260	0.59	1.02
Май	7573	0.23	0.36	13245	0.26	0.15	12172	0.33	0.16	8571	1.01	1.75	1353	0.9	1.81
Июнь	13638	0.27	0.44	21975	0.25	0.54	24032	0.24	0.38	73345	0.14	0.15	20221	0.19	1.45
Июль	8484	0.31	0.72	14133	0.3	0.72	15469	0.29	0.58	40563	0.2	0.26	11134	0.25	0.61
Август	6648	0.33	0.61	11085	0.31	0.57	11539	0.32	0.68	27952	0.24	0.45	6610	0.25	0.28
Сентябрь	5820	0.33	0.89	9945	0.31	0.82	10341	0.34	1.06	24728	0.27	0.57	5898	0.29	0.82
Октябрь	3124	0.27	0.53	5241	0.27	0.5	5958	0.25	0.47	14574	0.26	0.41	3503	0.33	0.65
Ноябрь	1091	0.27	0.67	1559	0.31	2	1708	0.28	0.6	3716	0.27	0.62	772	0.38	0.74
Декабрь	1148	0.23	0.09	1689	0.18	0.47	1788	0.22	0.51	3199	0.28	0.77	622	0.34	1.03

Приложение В. Хронологические графики температуры воздуха с выведением линейного тренда для двух временных периодов

Примечание для графиков: голубым цветом выделен период до 1976 года, красным цветом – период после 1976 года.

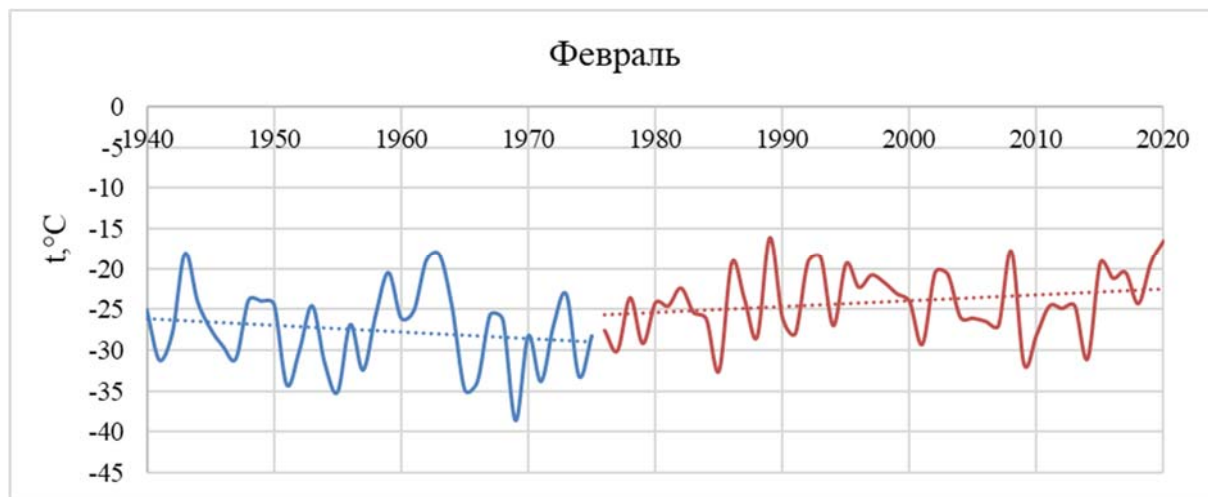


Рисунок В.1 – Хронологический график за февраль на м/с Ленск

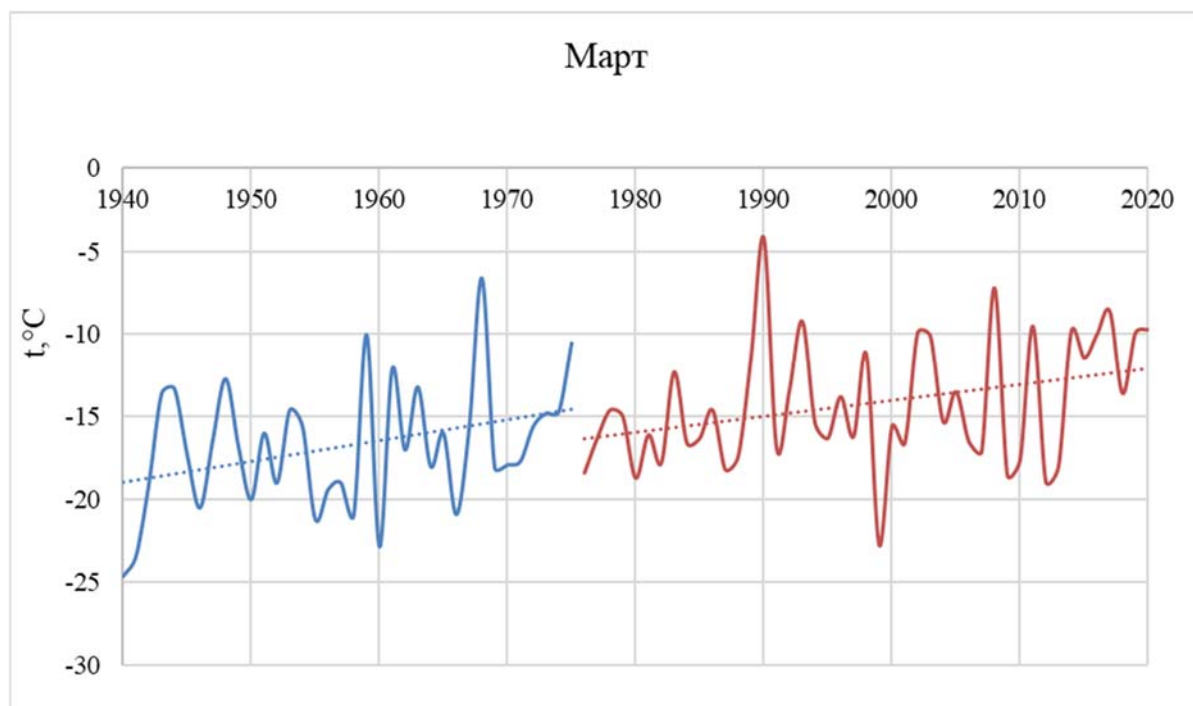


Рисунок В.2 – Хронологический график за март на м/с Ленск



Рисунок В.3 – Хронологический график за апрель на м/с Ленск

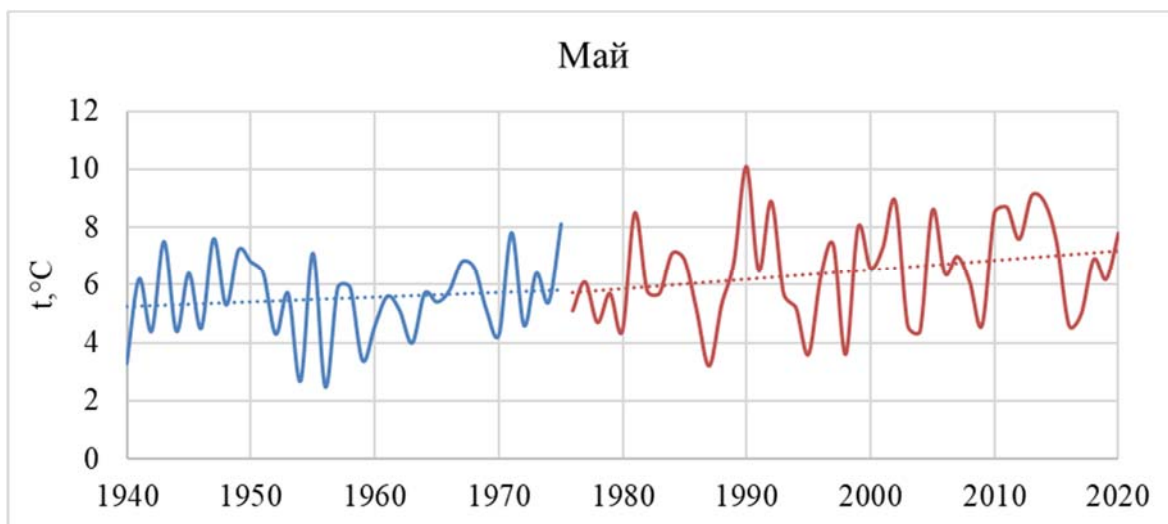


Рисунок В.4 – Хронологический график за апрель на м/с Ленск

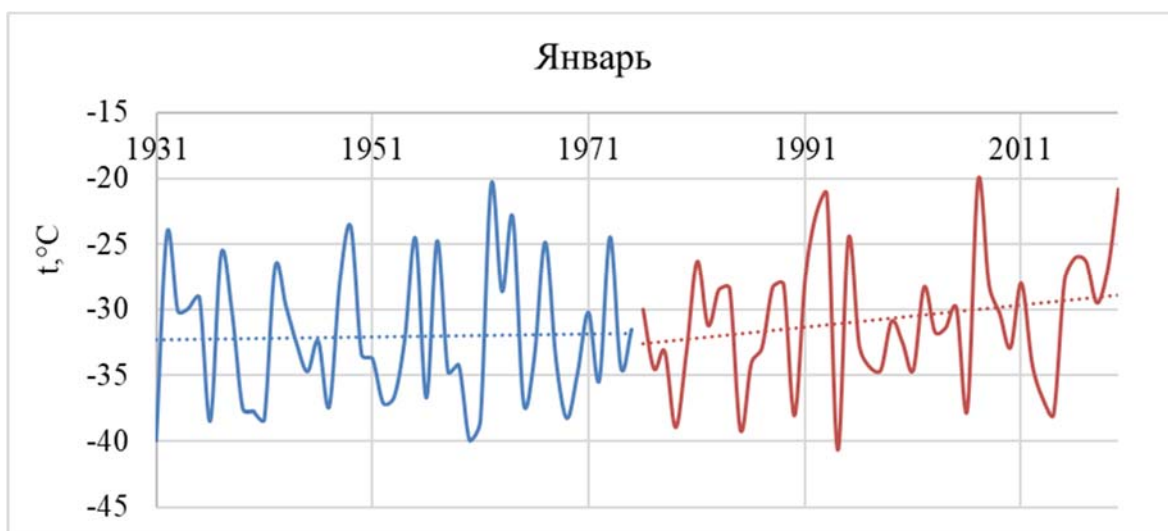


Рисунок В.5 – Хронологический график за январь на м/с Олекминск

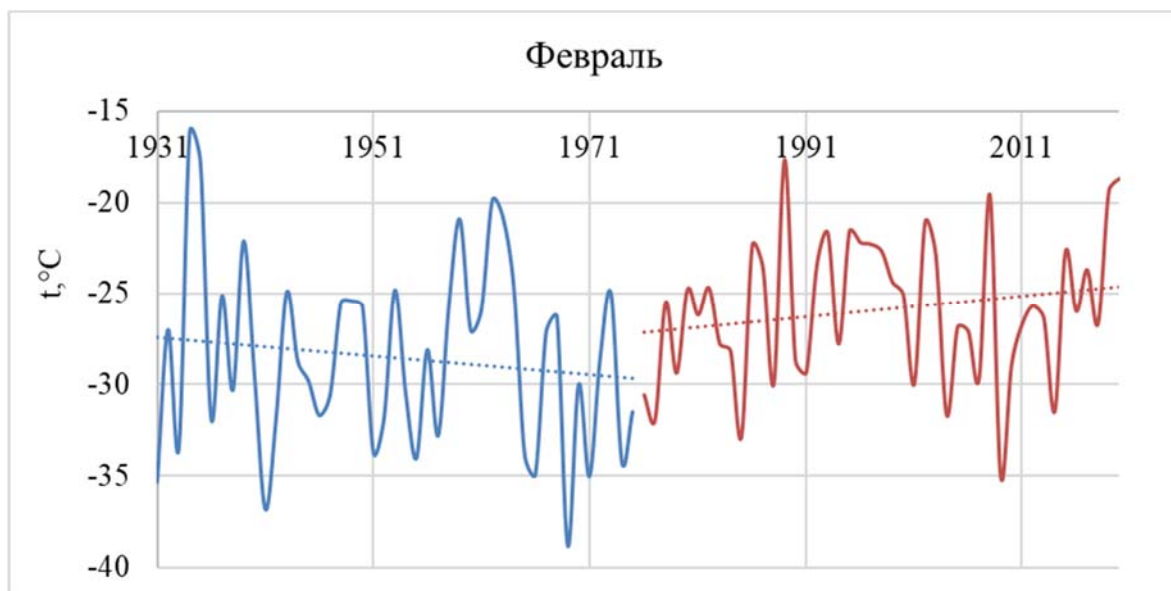


Рисунок В.6 – Хронологический график за февраль на м/с Олекминск

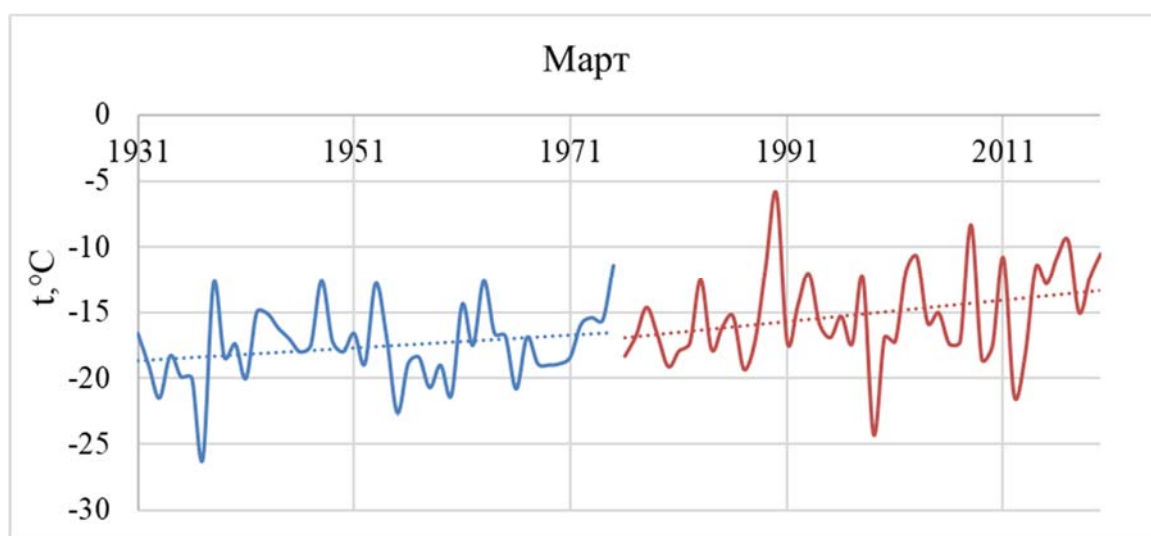


Рисунок В.7 – Хронологический график за март на м/с Олекминск

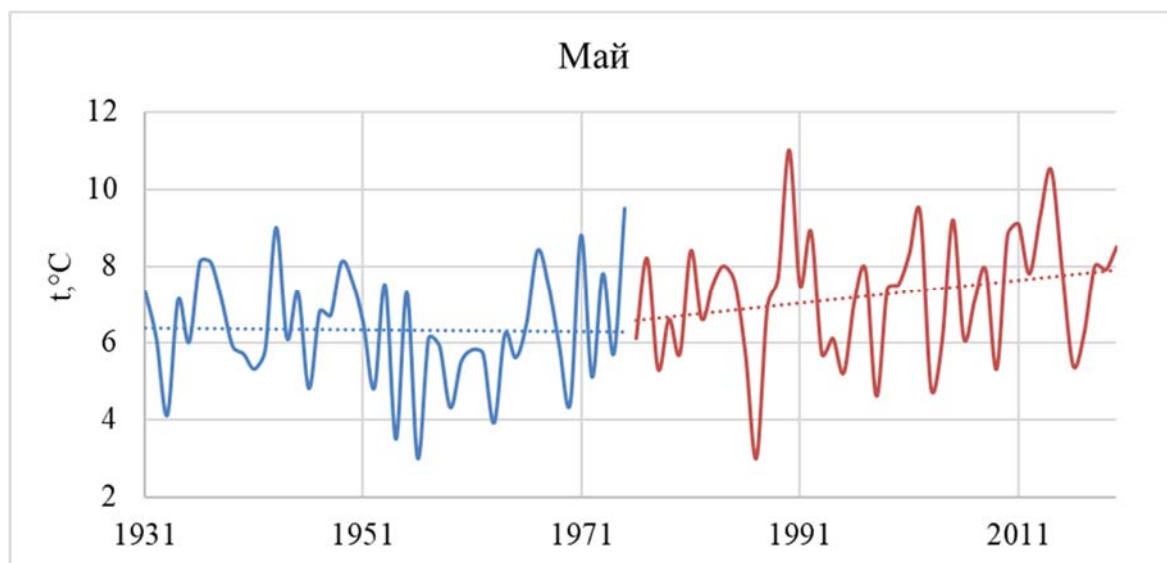


Рисунок В.8 – Хронологический график за май на м/с Олекминск

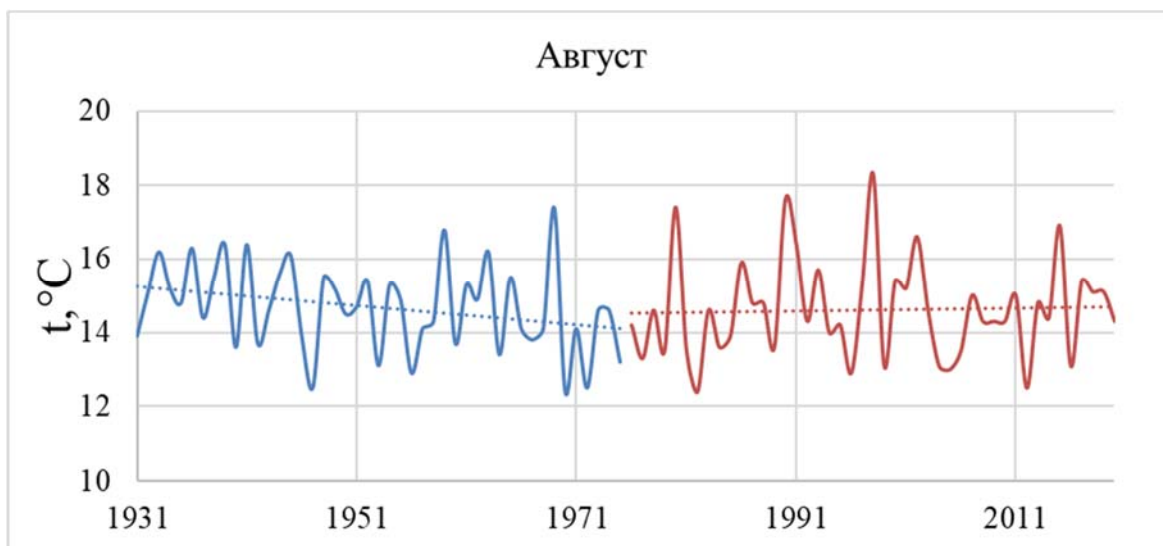


Рисунок В.9 – Хронологический график за август на м/с Олекминск

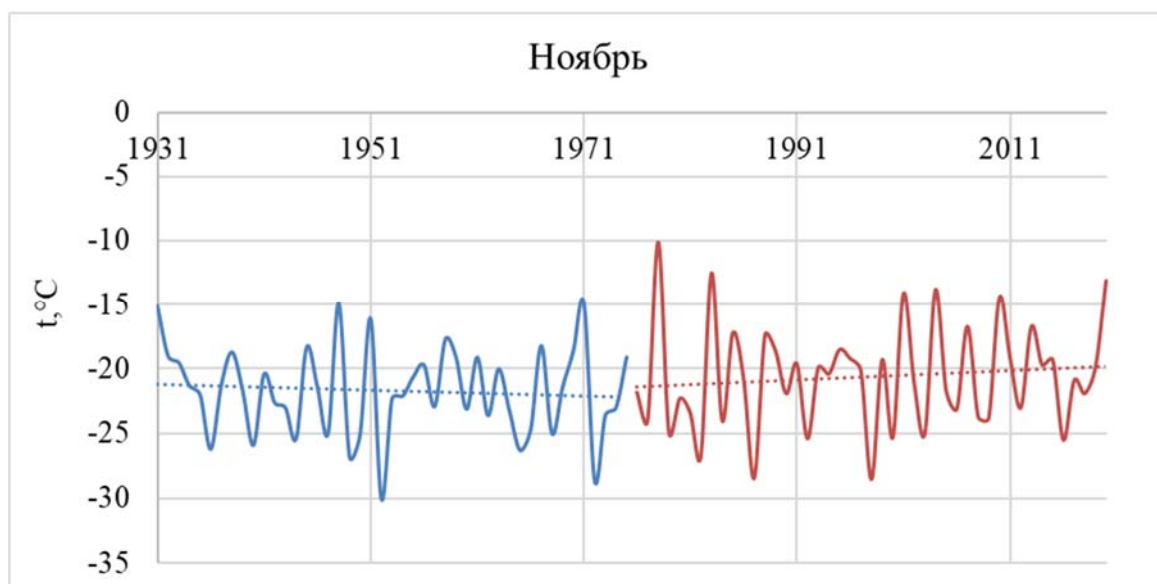


Рисунок В.10 – Хронологический график за август на м/с Олекминск

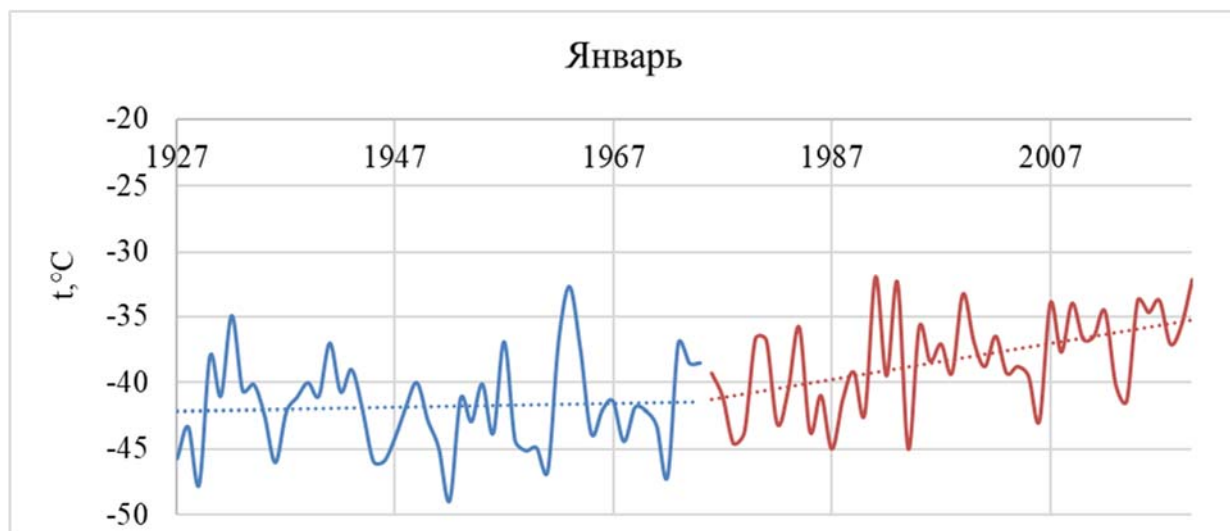


Рисунок В.11 – Хронологический график за январь на м/с Якутск

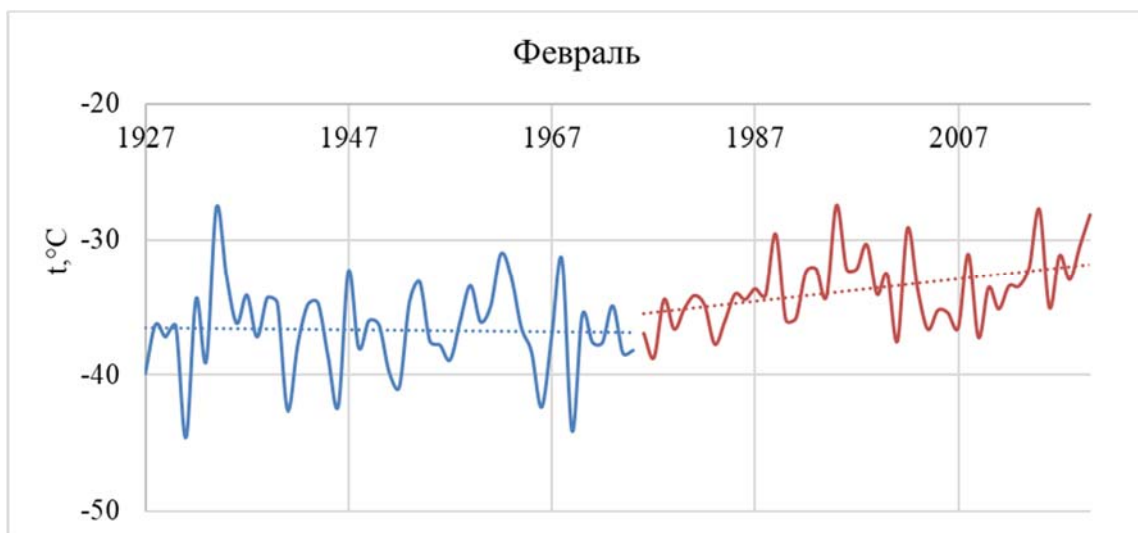


Рисунок В.12 – Хронологический график за февраль на м/с Якутск

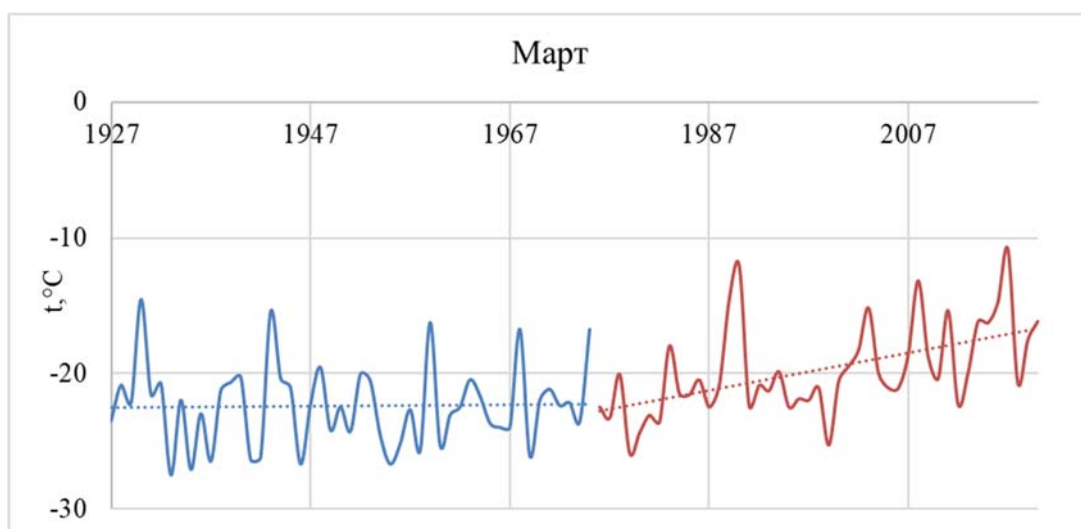


Рисунок В.12 – Хронологический график за март на м/с Якутск

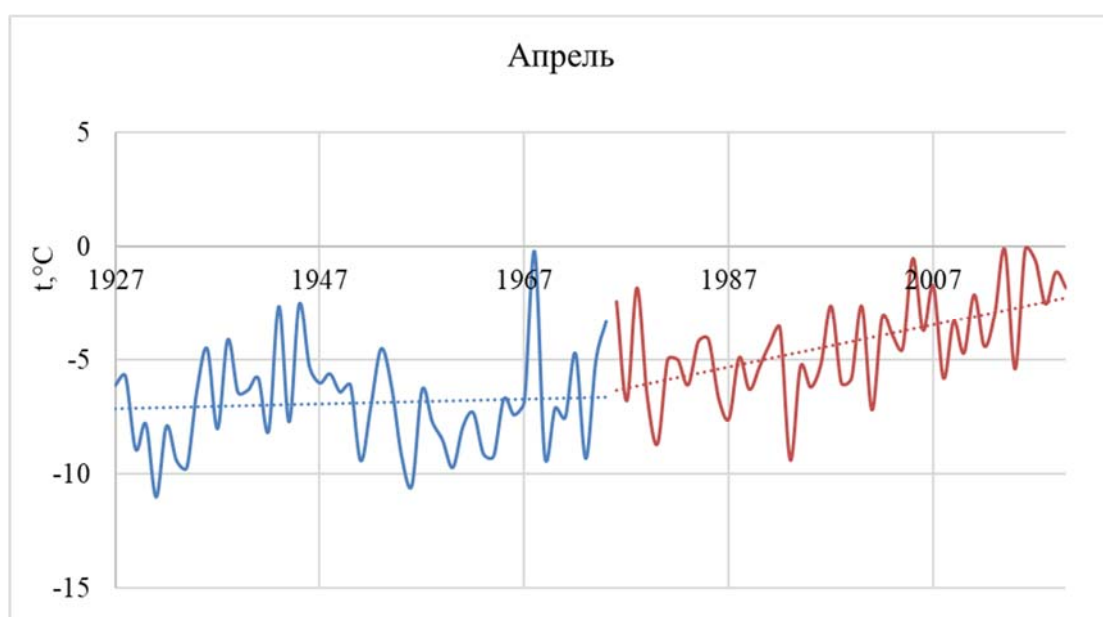


Рисунок В.13 – Хронологический график за апрель на м/с Якутск

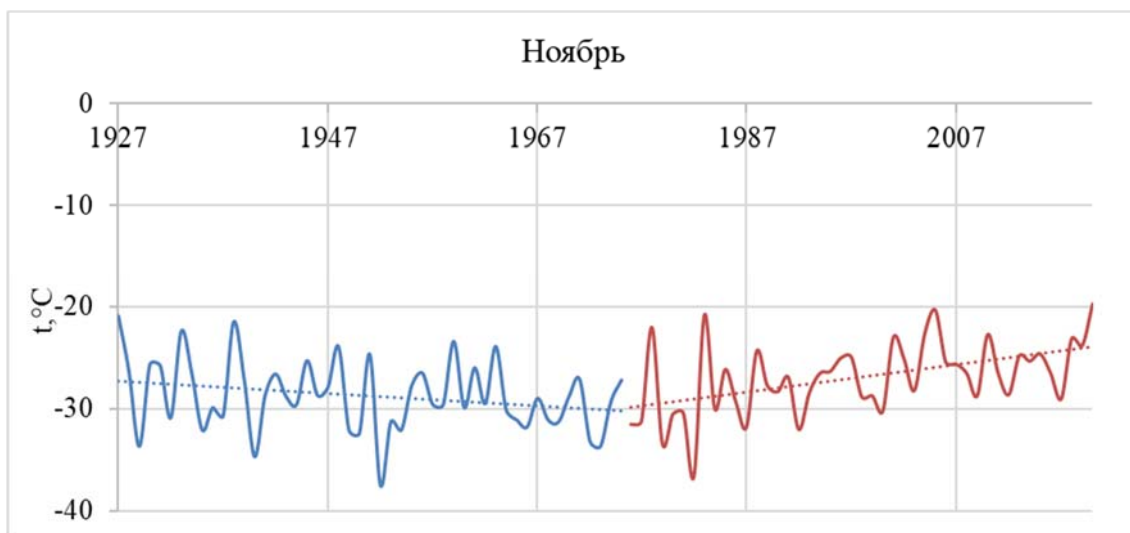


Рисунок В.14 – Хронологический график за ноябрь на м/с Якутск



Рисунок В.15 – Хронологический график за январь на м/с Кюсюр

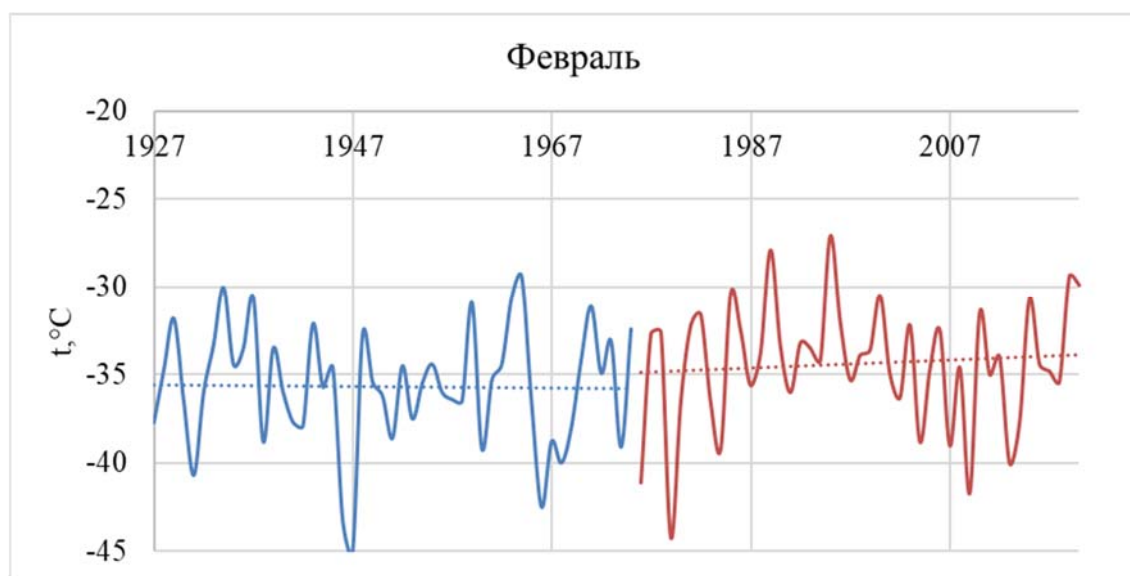


Рисунок В.16 – Хронологический график за февраль на м/с Кюсюр

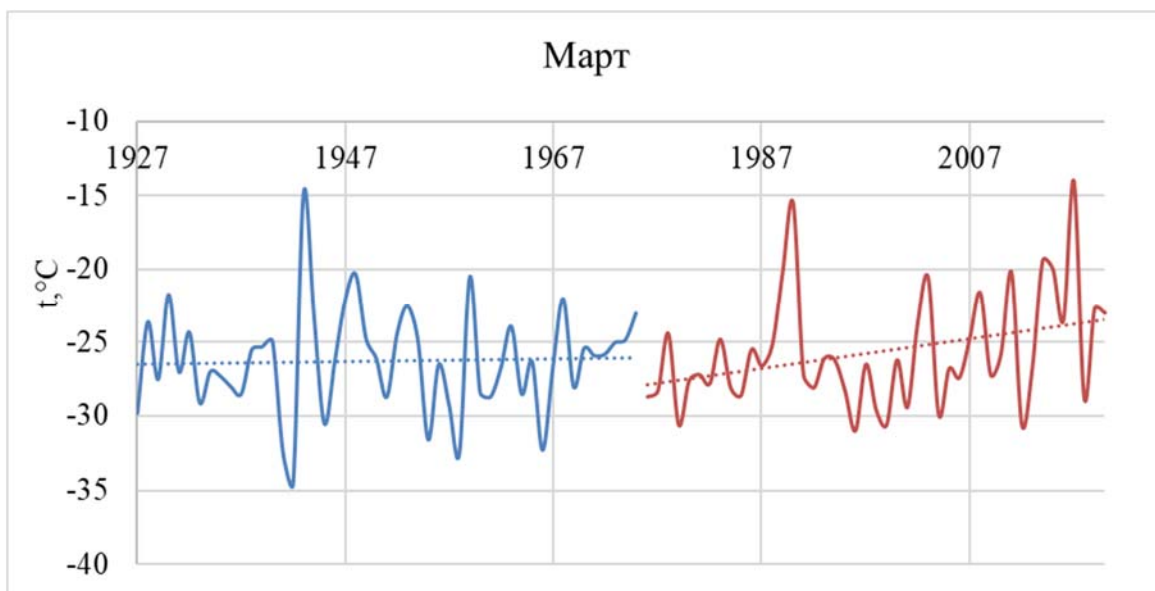


Рисунок В.17 – Хронологический график за март на м/с Кюсюр

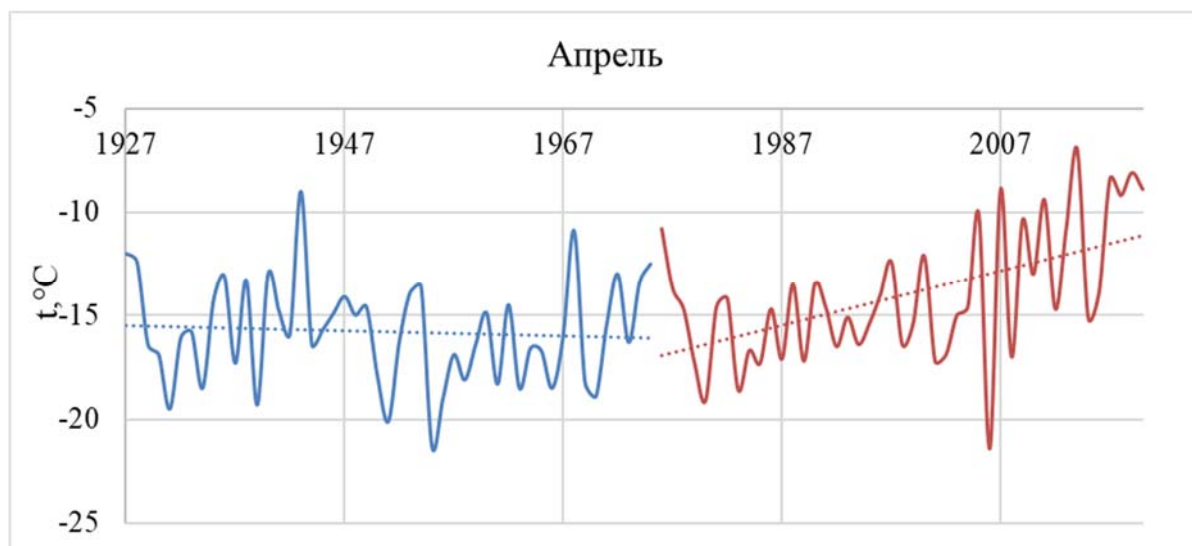


Рисунок В.18 – Хронологический график за апрель на м/с Кюсюр

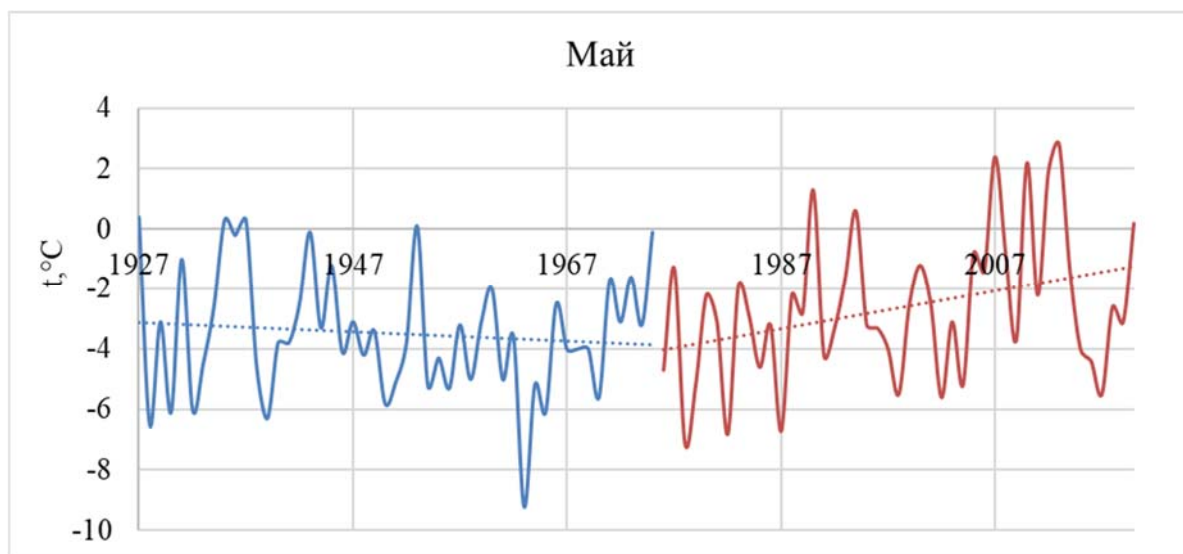


Рисунок В.19 – Хронологический график за май на м/с Кюсюр

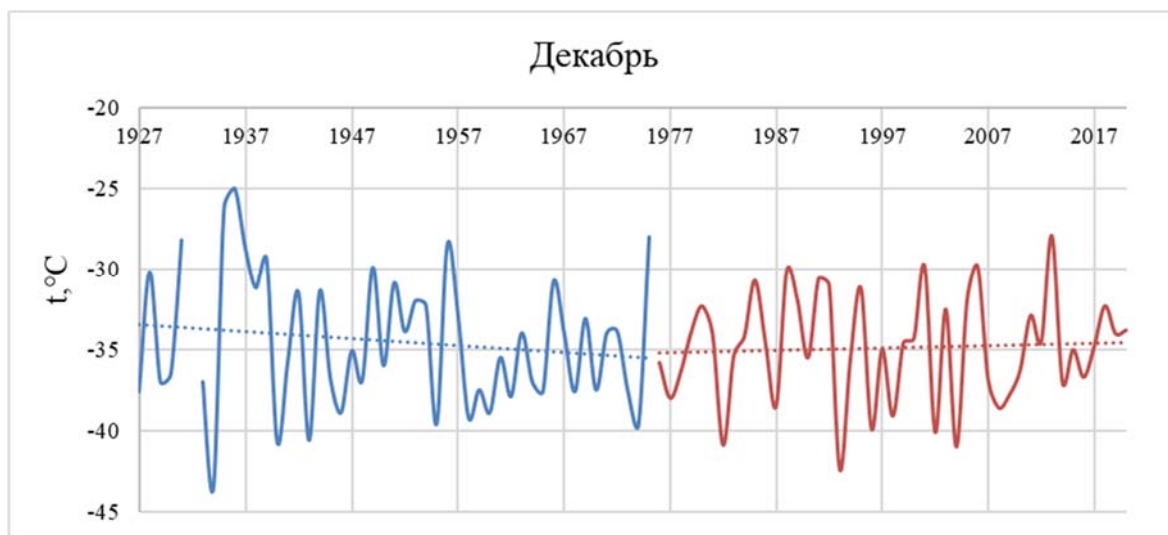


Рисунок В.20 – Хронологический график за декабрь на м/с Кюсюр

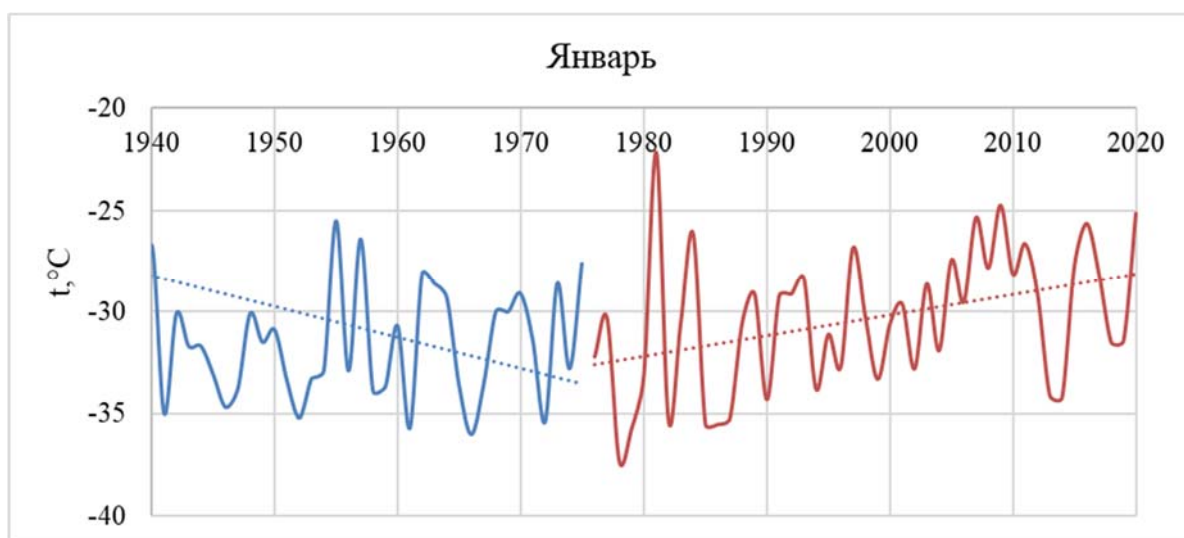


Рисунок В.21 – Хронологический график за январь на м/с Тикси

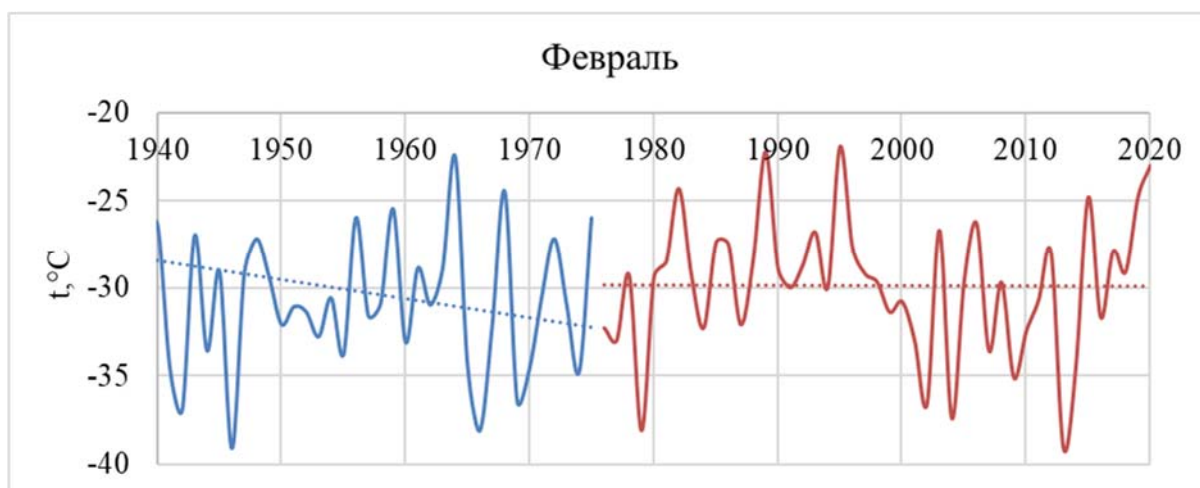


Рисунок В.22 – Хронологический график за февраль на м/с Тикси

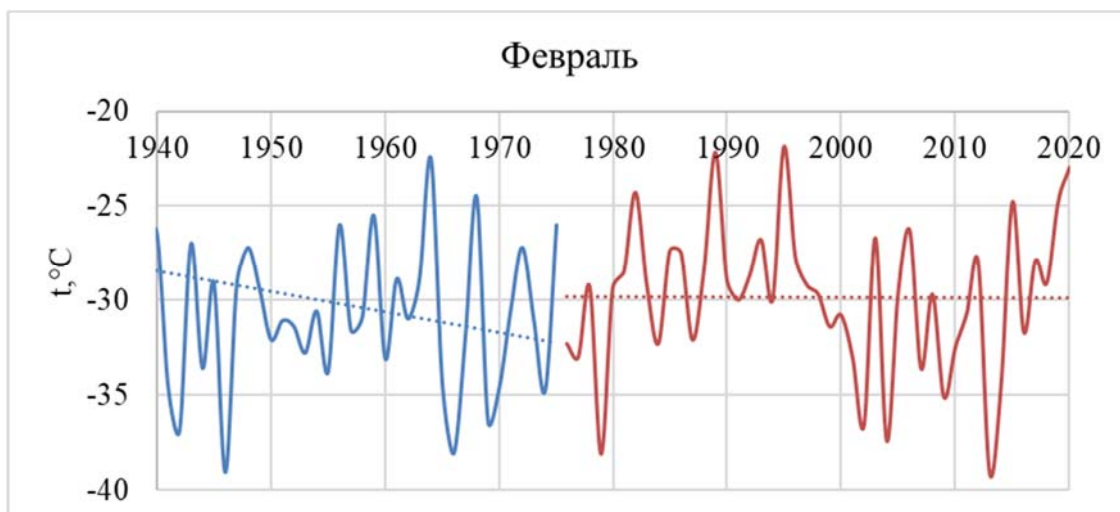


Рисунок В.23 – Хронологический график за февраль на м/с Тикси

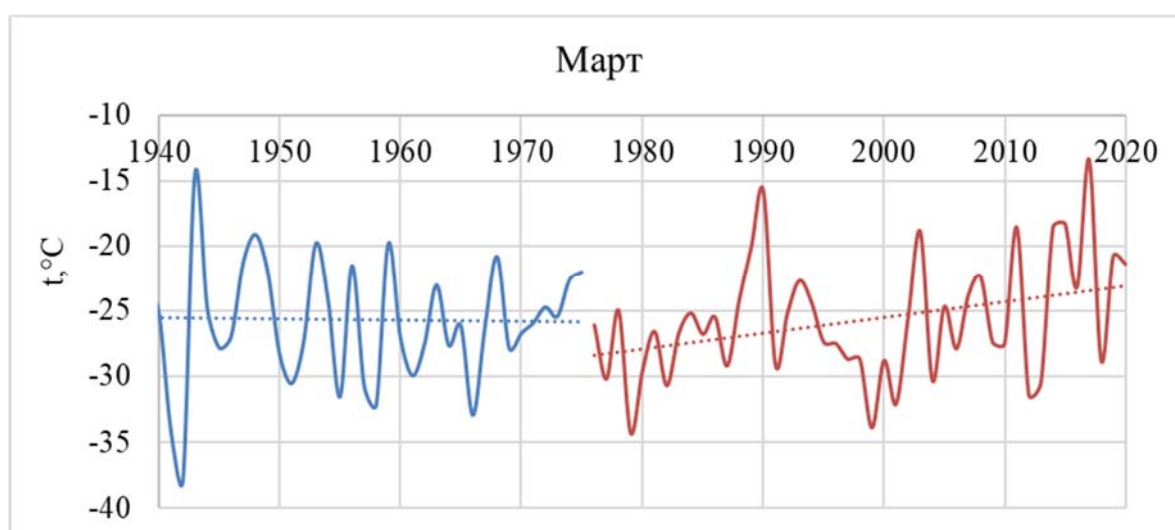


Рисунок В.24 – Хронологический график за март на м/с Тикси

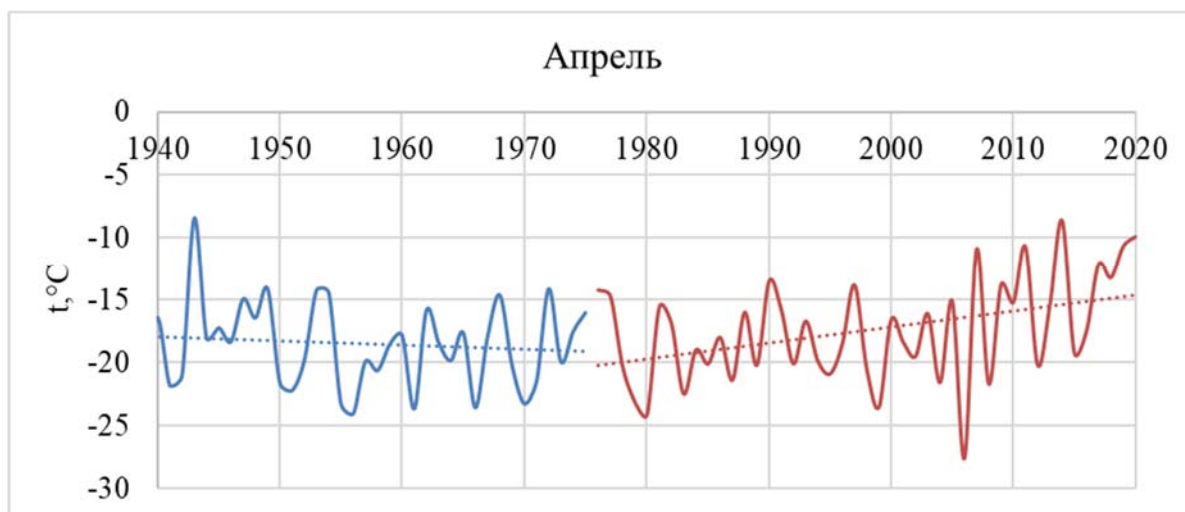


Рисунок В.25 – Хронологический график за апрель на м/с Тикси

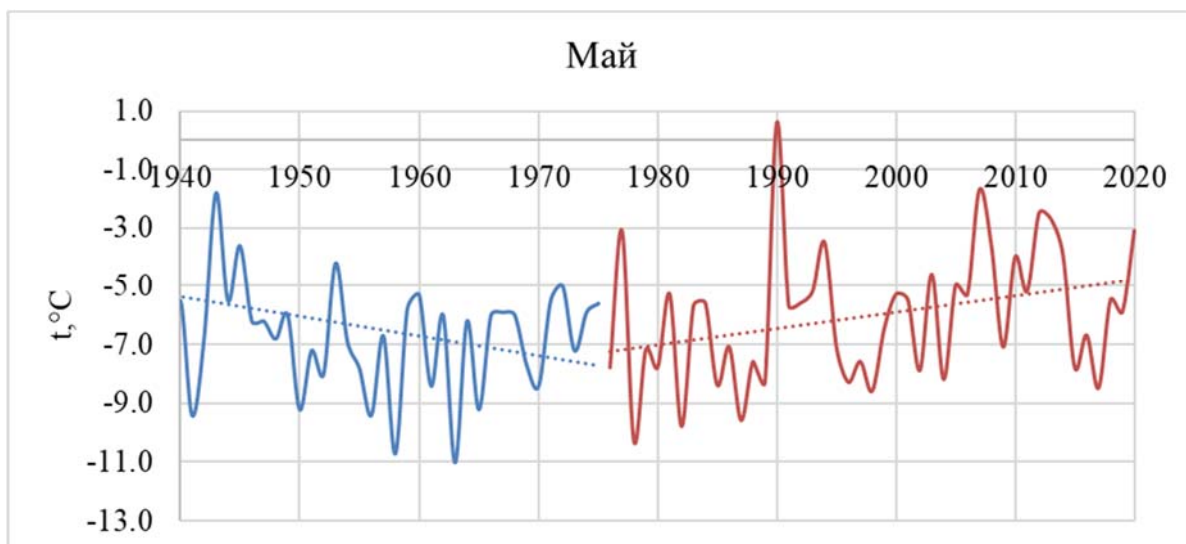


Рисунок В.26 – Хронологический график за май на м/с Тикси

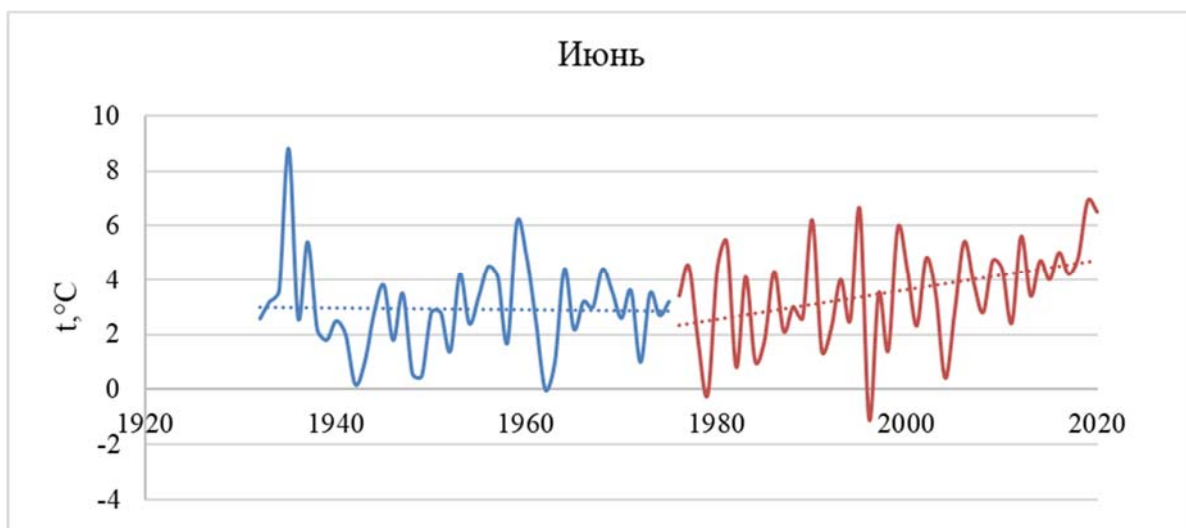


Рисунок В.27 – Хронологический график за июнь на м/с Тикси

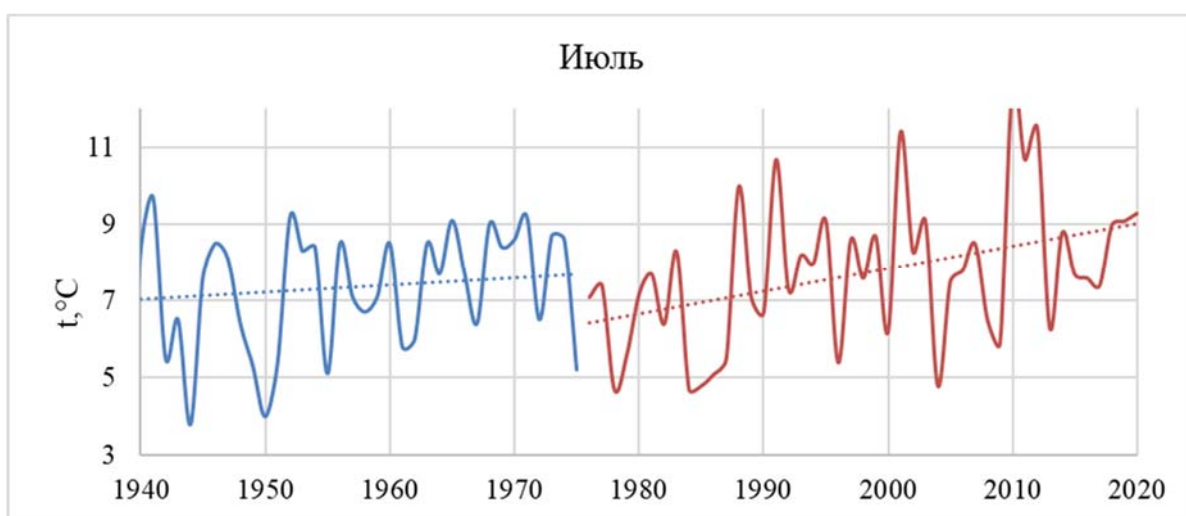


Рисунок В.28 – Хронологический график за июль на м/с Тикси

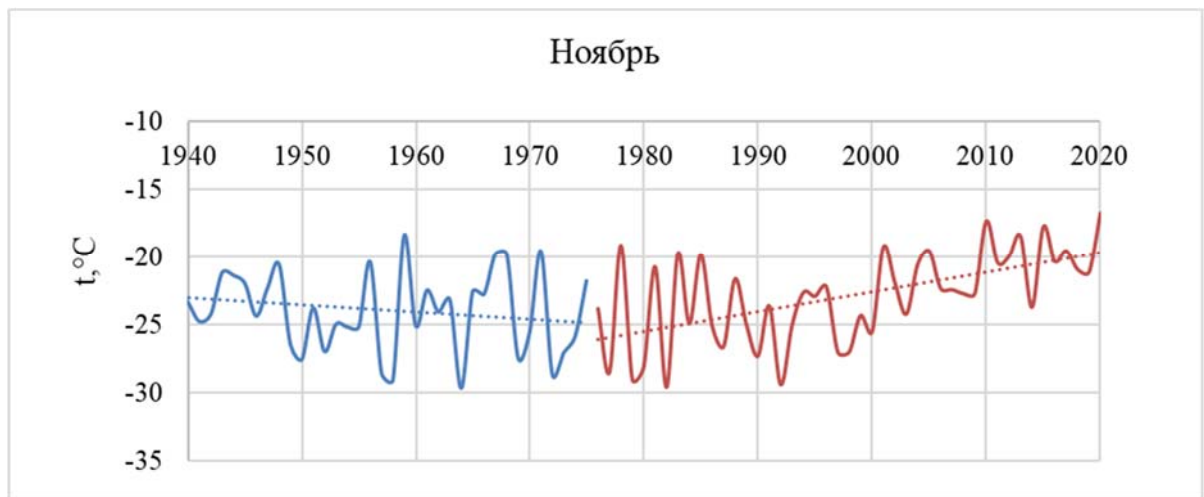


Рисунок В.28 – Хронологический график за ноябрь на м/с Тикси

Приложение Г. Хронологические графики расходов воды с выведением линейного тренда для двух временных периодов

Для гидрологических постов, в которых месяцы неоднородны составлены линейные графики с выведением трендов в периодах до 1976 г. и после, так как по исследованиям ученых наиболее заметное потепление климата стало происходить с 1976 года.

Примечание для графиков: голубым цветом выделен период до 1976 года, синим цветом – период после 1976 года.

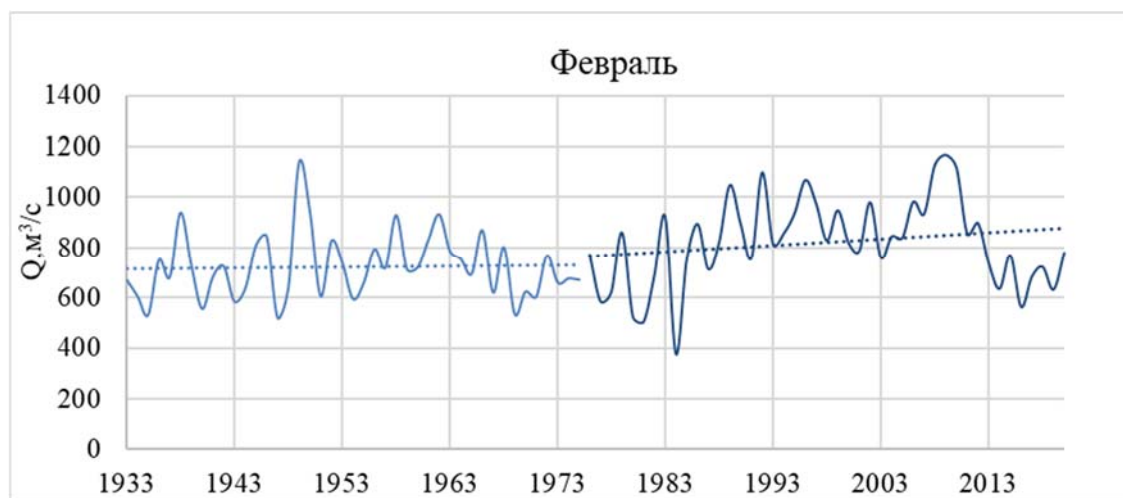


Рисунок Г.1 – Линейный график неоднородности в феврале на г/п Крестовский

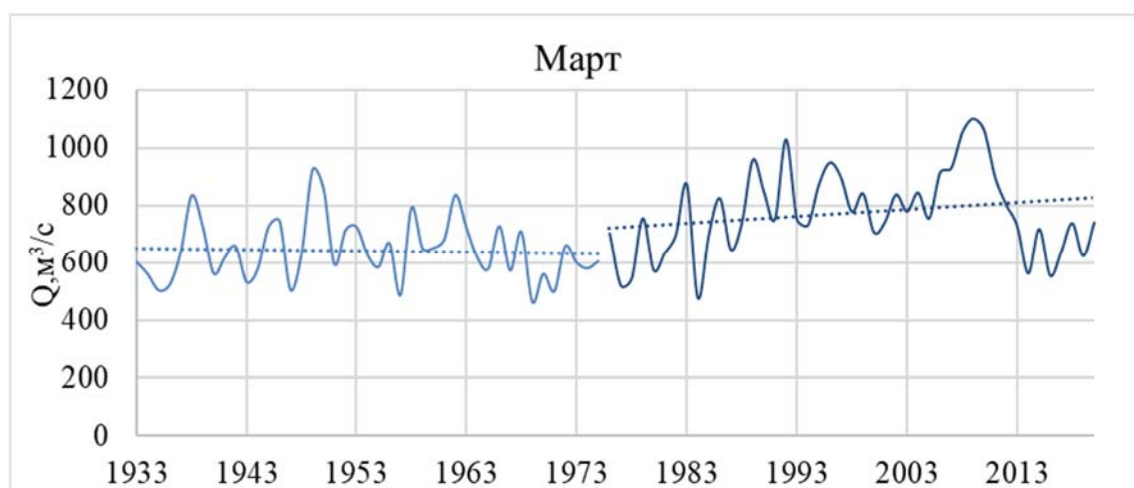


Рисунок Г.2 – Линейный график неоднородности в марте на г/п Крестовский



Рисунок Г.3 – Линейный график неоднородности в апреле на г/п Крестовский

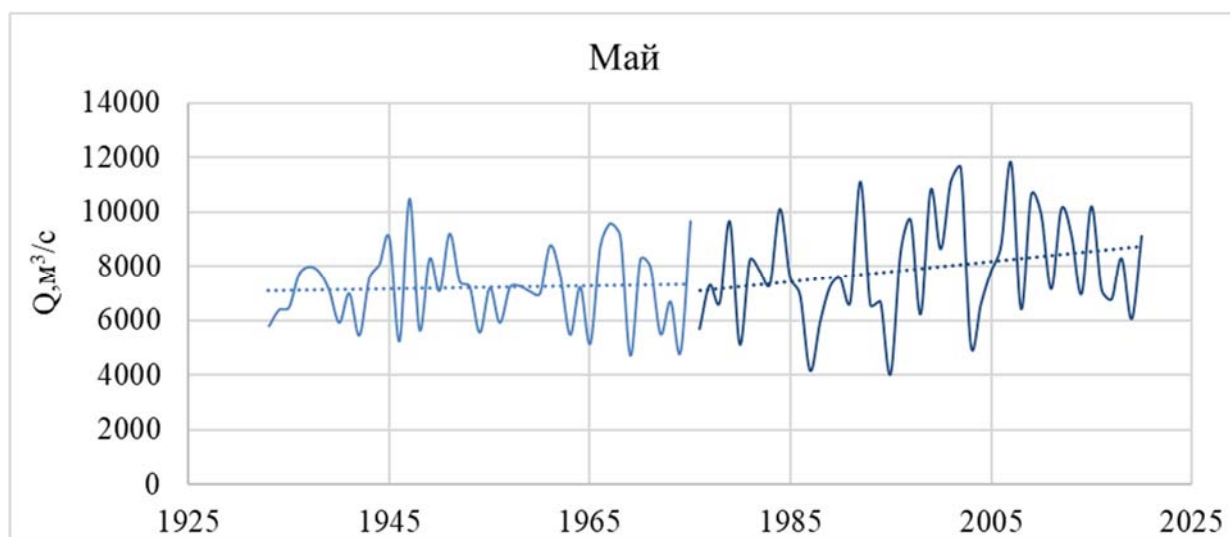


Рисунок Г.4 – Линейный график неоднородности в мае на г/п Крестовский

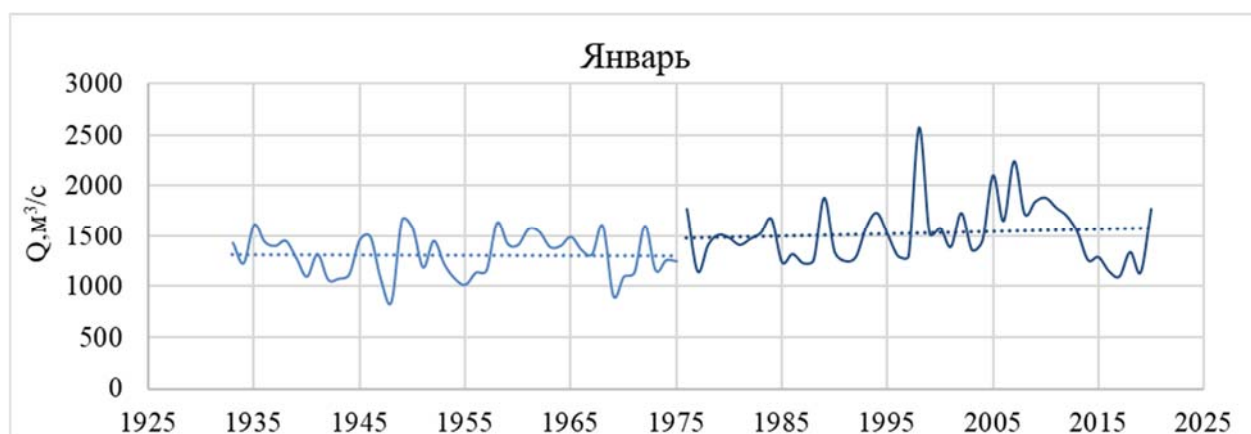


Рисунок Г.5 – Линейный график неоднородности в январе на г/п Солянка

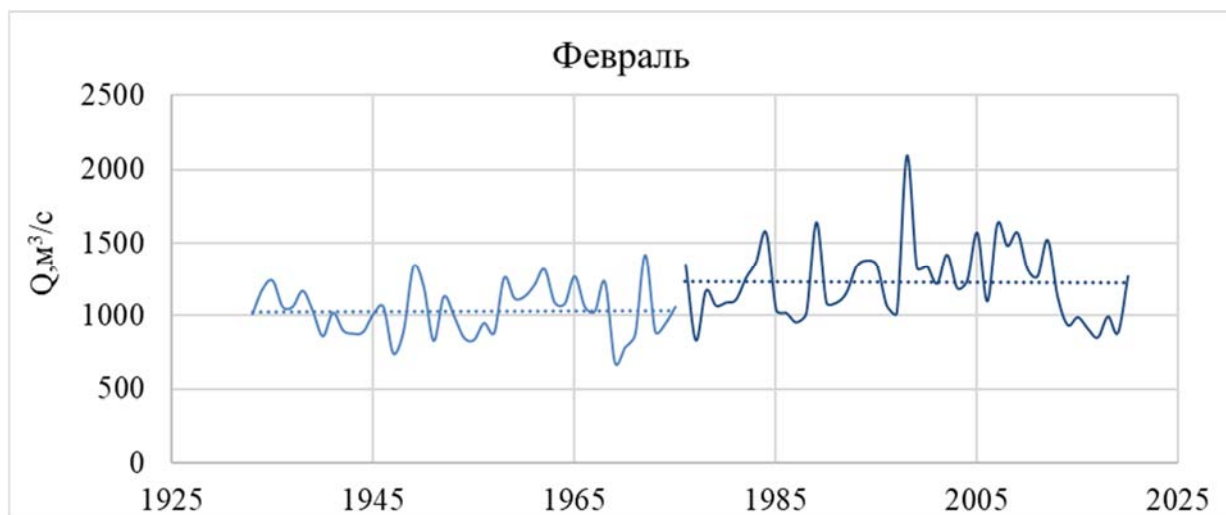


Рисунок Г.6 – Линейный график неоднородности в феврале на г/п Солянка

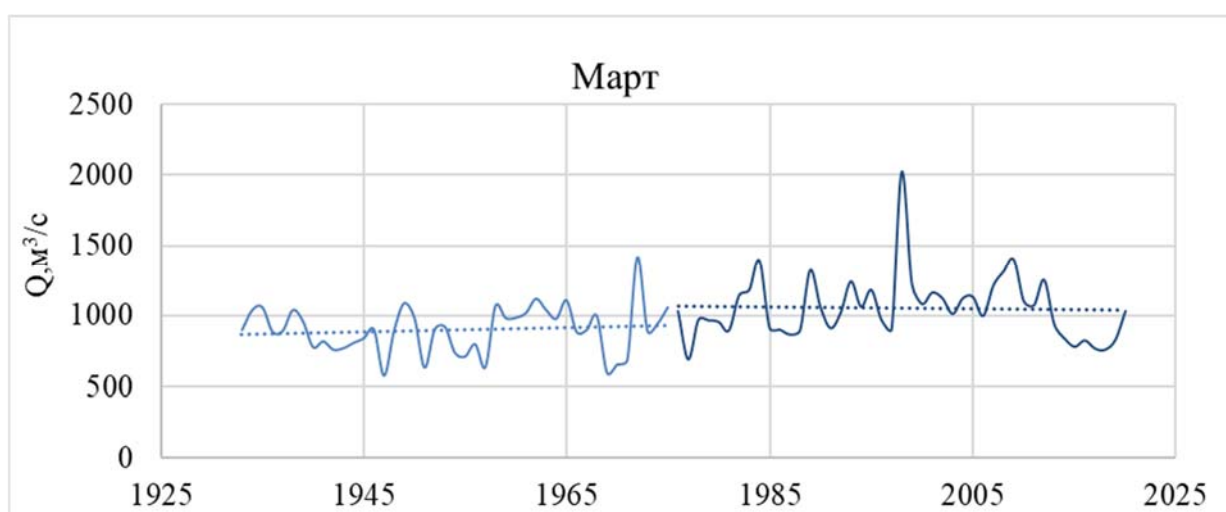


Рисунок Г.7 – Линейный график неоднородности в марте на г/п Солянка

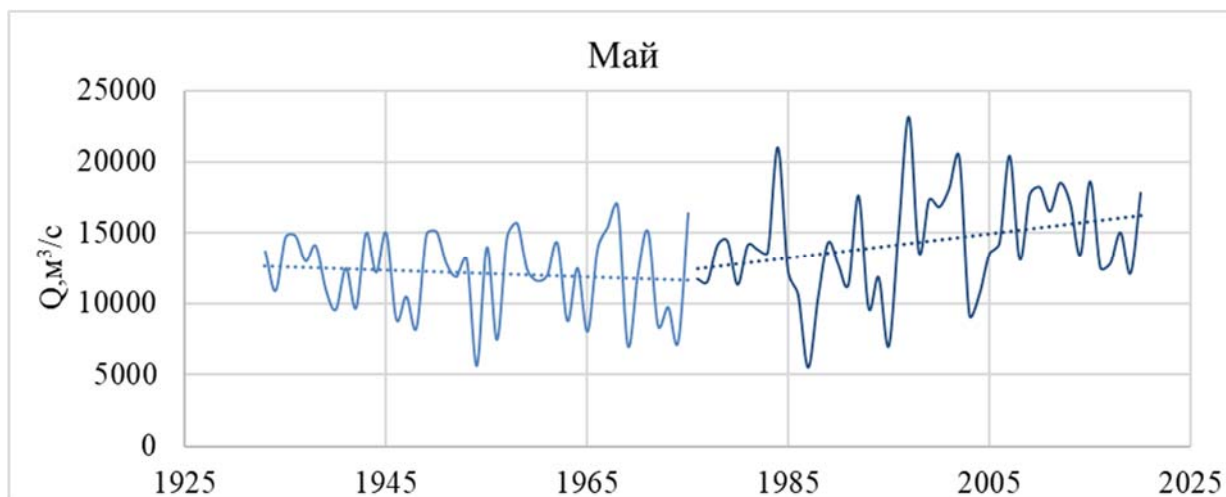


Рисунок Г.8 – Линейный график неоднородности в мае на г/п Солянка

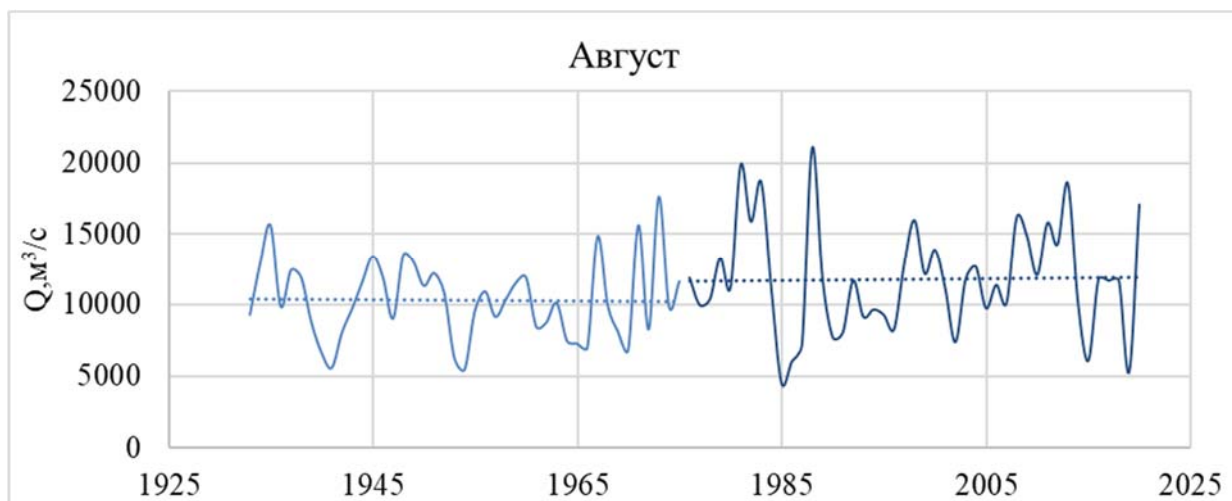


Рисунок Г.9 – Линейный график неоднородности в августе на г/п Солянка

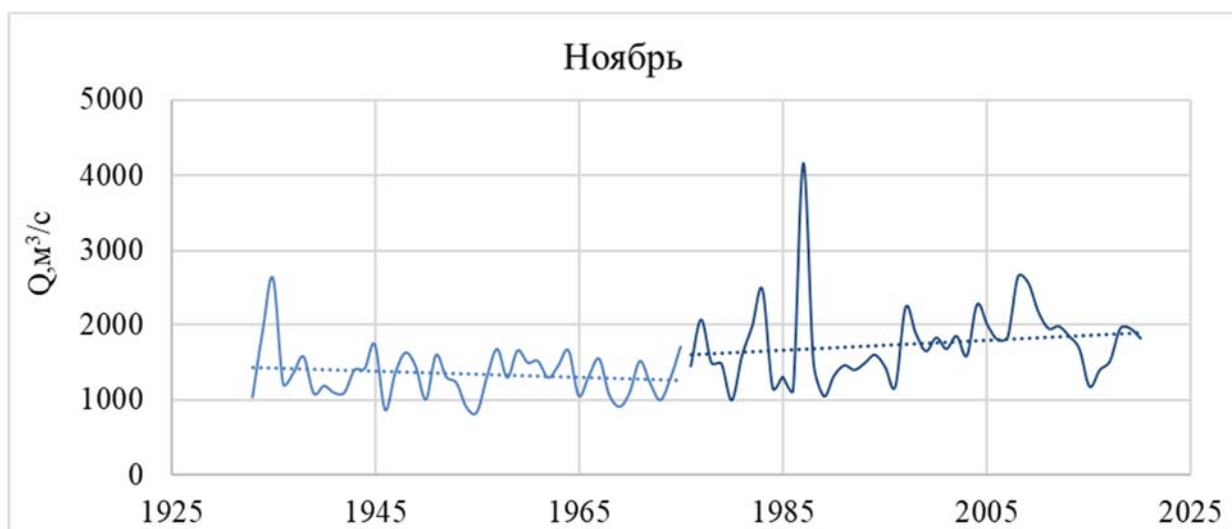


Рисунок Г.10 – Линейный график неоднородности в ноябре на г/п Солянка

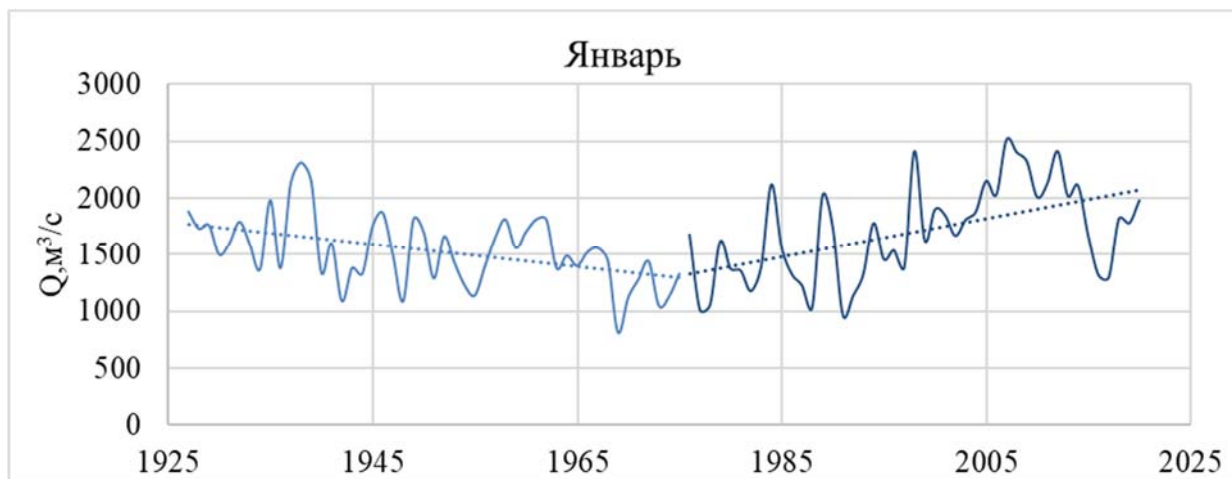


Рисунок Г.11 – Линейный график неоднородности в январе на г/п Табага

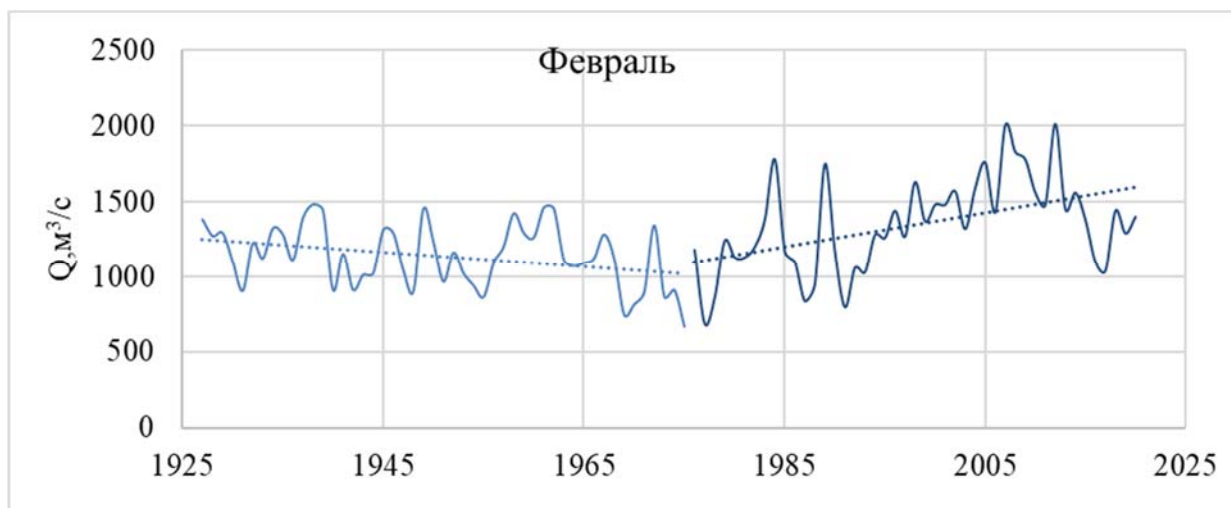


Рисунок Г.12 – Линейный график неоднородности в феврале на г/п Табага

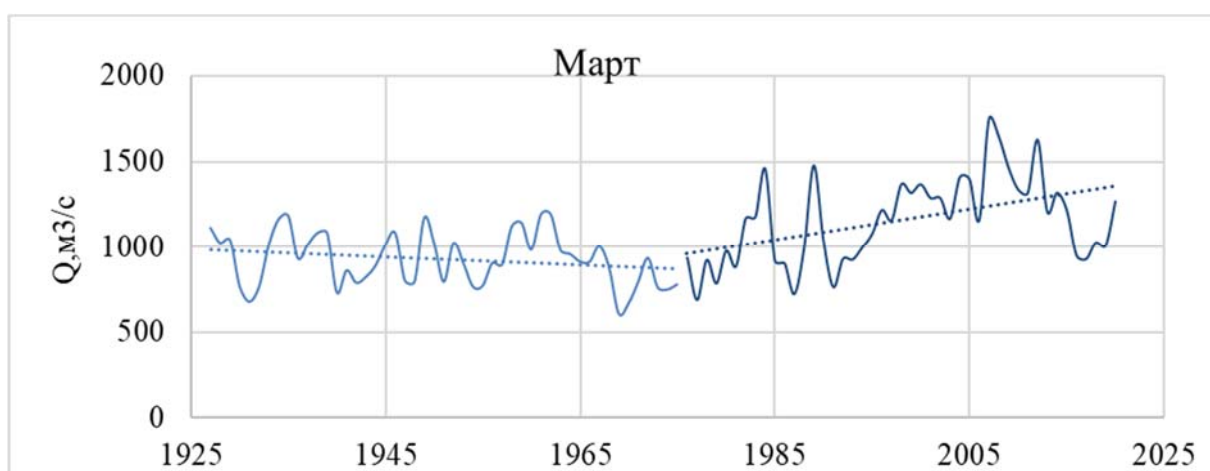


Рисунок Г.13 – Линейный график неоднородности в марте на г/п Табага

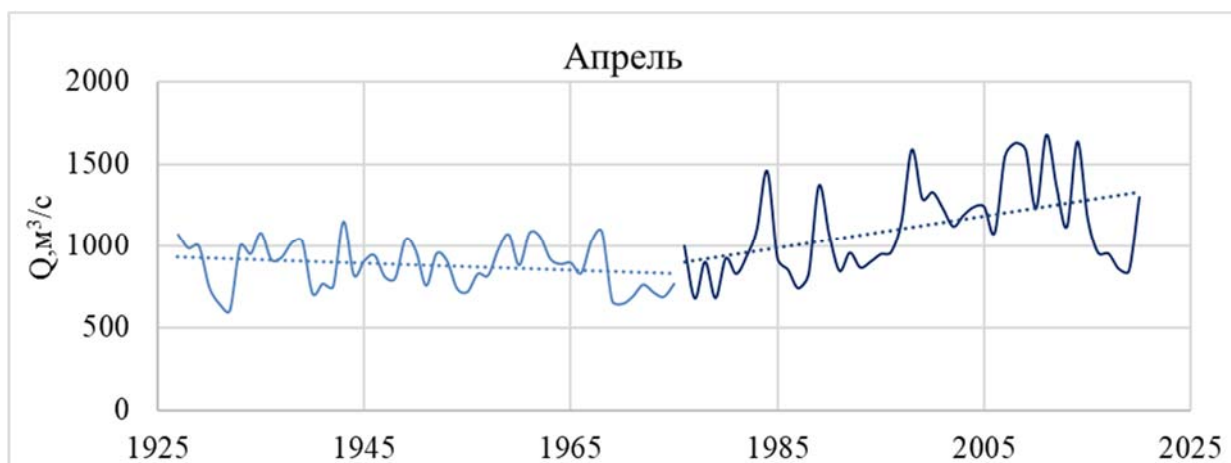


Рисунок Г.14 – Линейный график неоднородности в апреле на г/п Табага

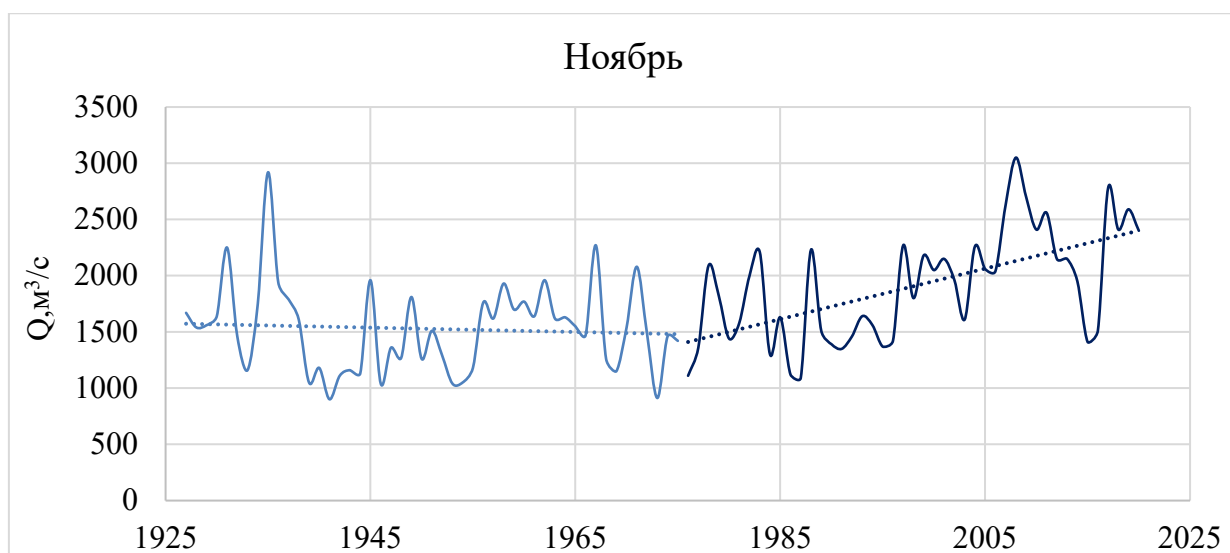


Рисунок Г.15 – Линейный график неоднородности в ноябре на г/п Табага

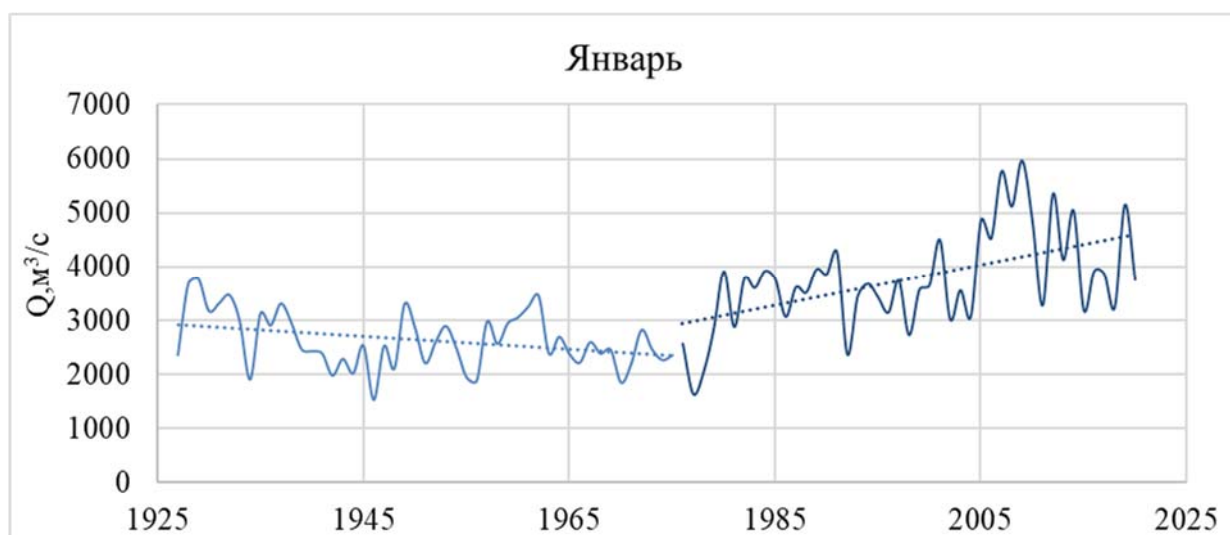


Рисунок Г.16 – Линейный график неоднородности в январе на г/п Кюсюр

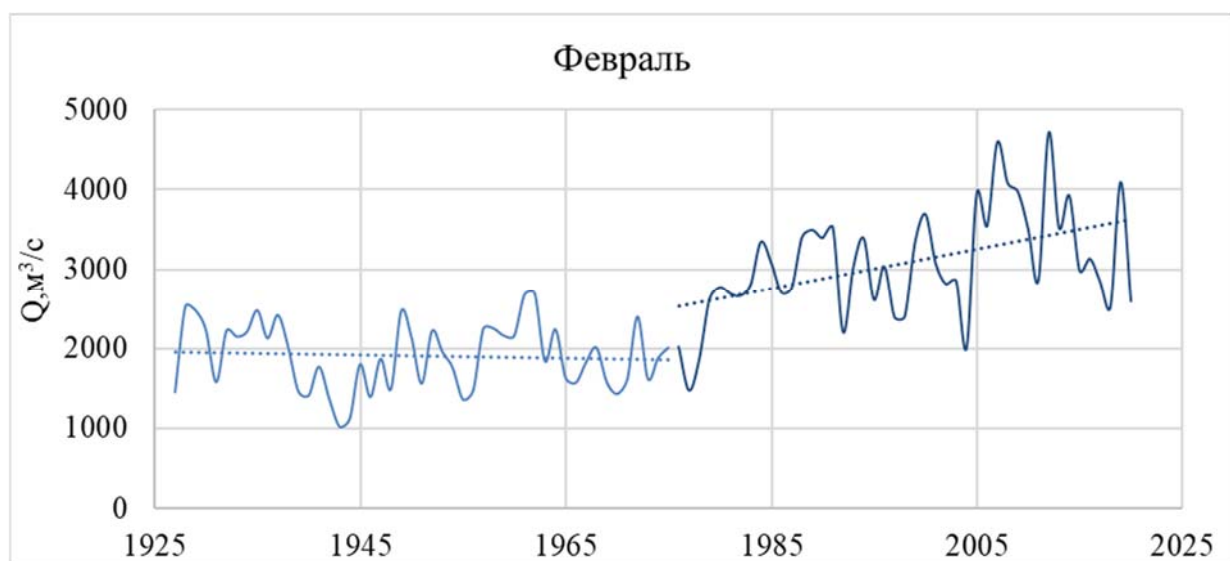


Рисунок Г.17 – Линейный график неоднородности в феврале на г/п Кюсюр

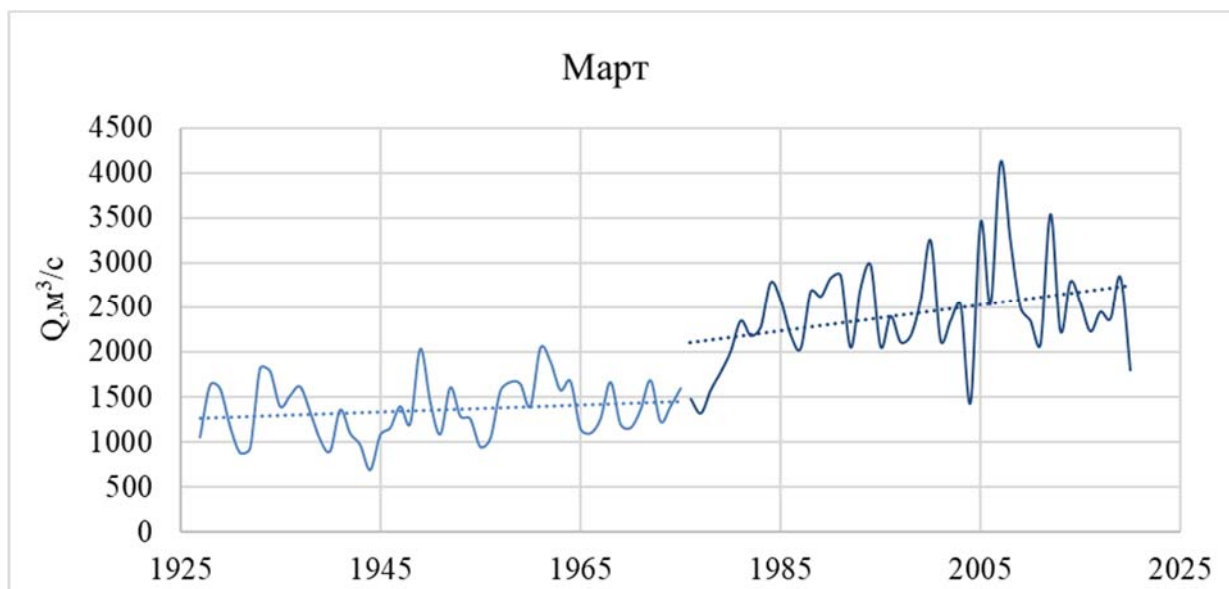


Рисунок Г.18 – Линейный график неоднородности в марте на г/п Кюсюр

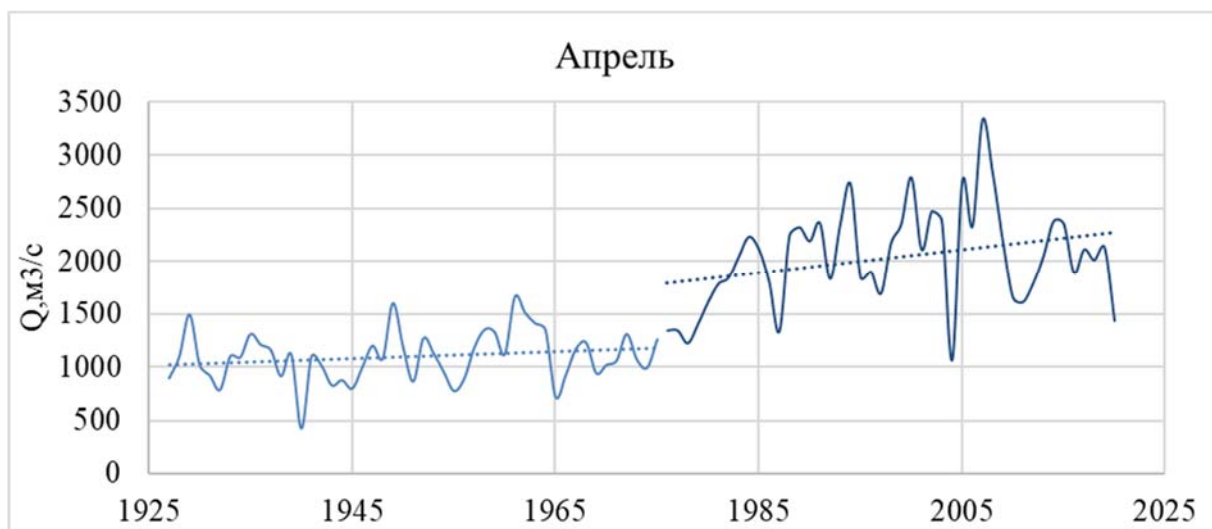


Рисунок Г.19 – Линейный график неоднородности в апреле на г/п Кюсюр

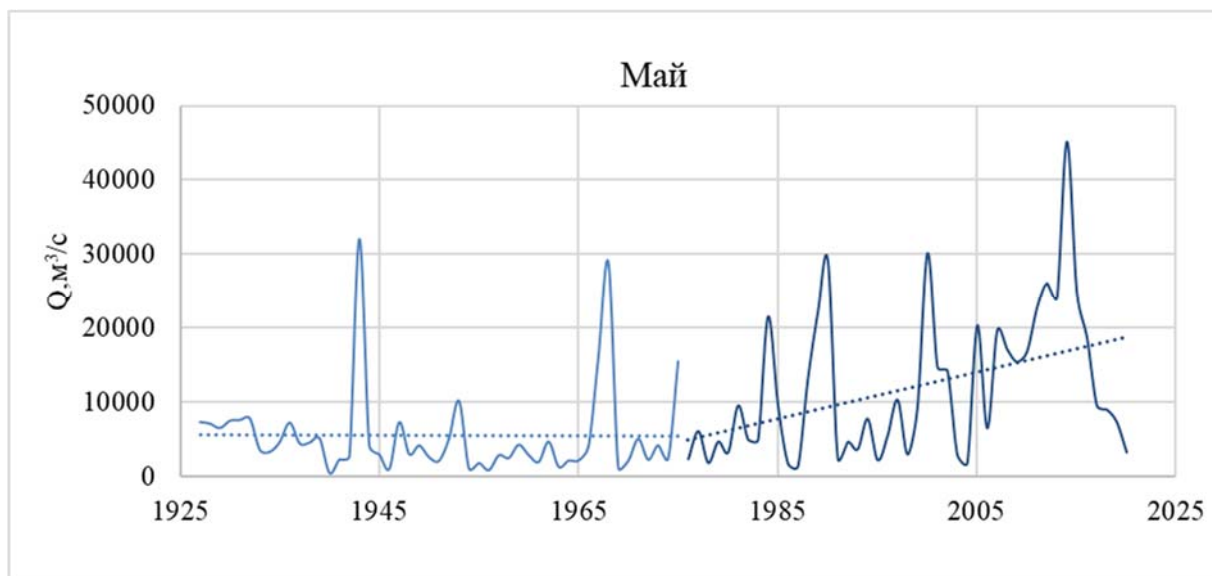


Рисунок Г.20 – Линейный график неоднородности в мае на г/п Кюсюр

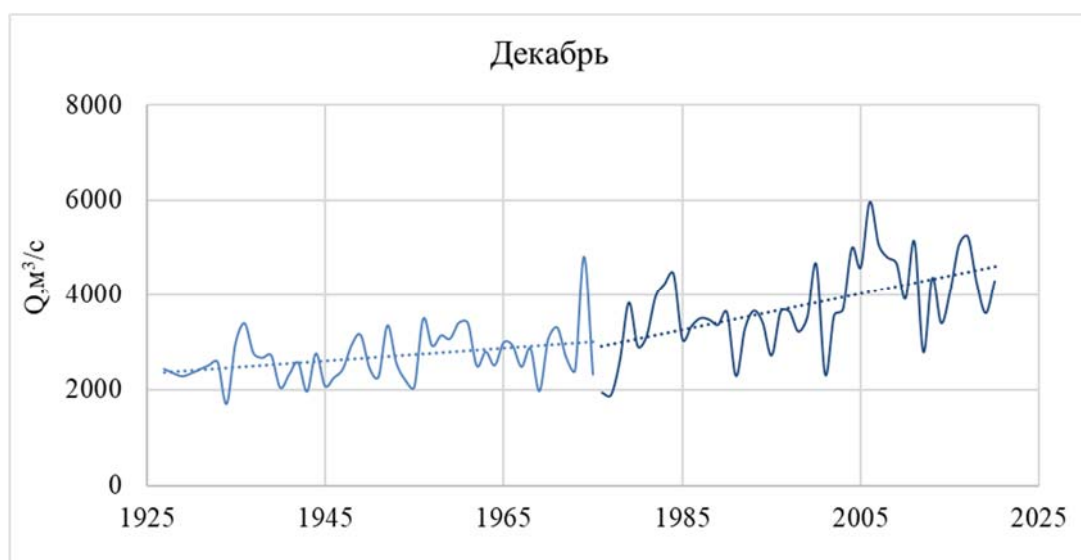


Рисунок Г.21 – Линейный график неоднородности в декабре на г/п Кюсюр

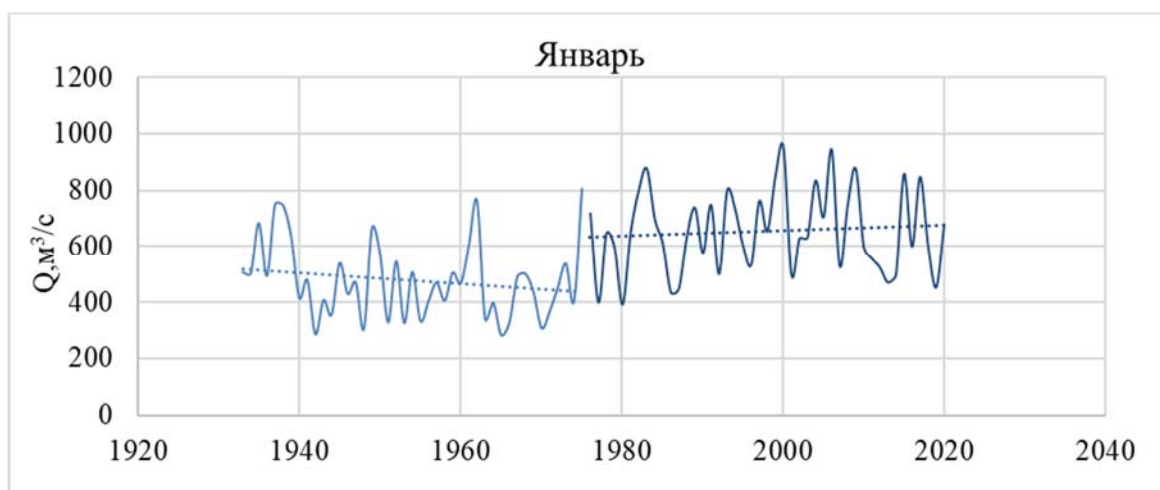


Рисунок Г.22 – Линейный график неоднородности в январе на г/п дельта, протока Быковская

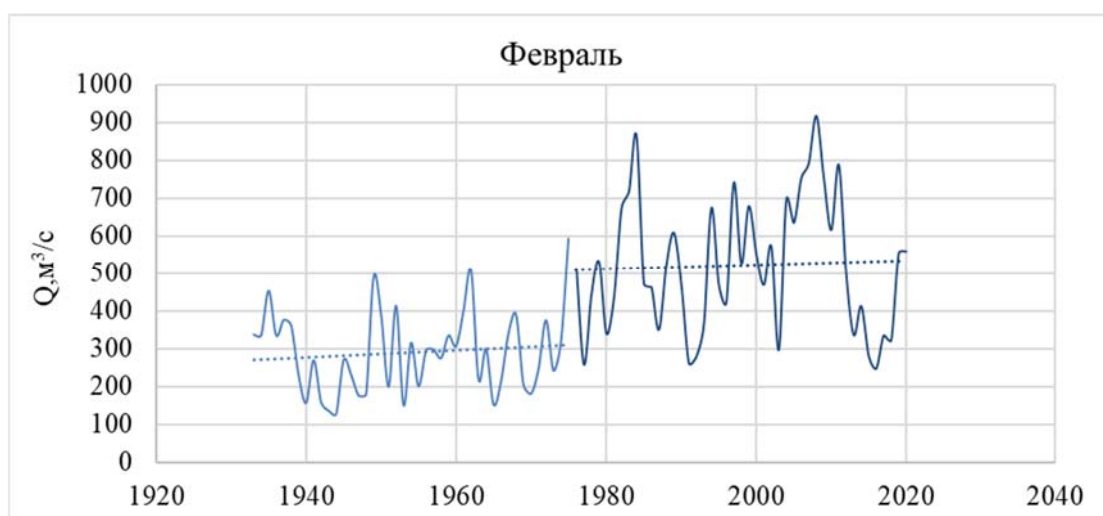


Рисунок Г.23 – Линейный график неоднородности в феврале на г/п дельта, протока Быковская

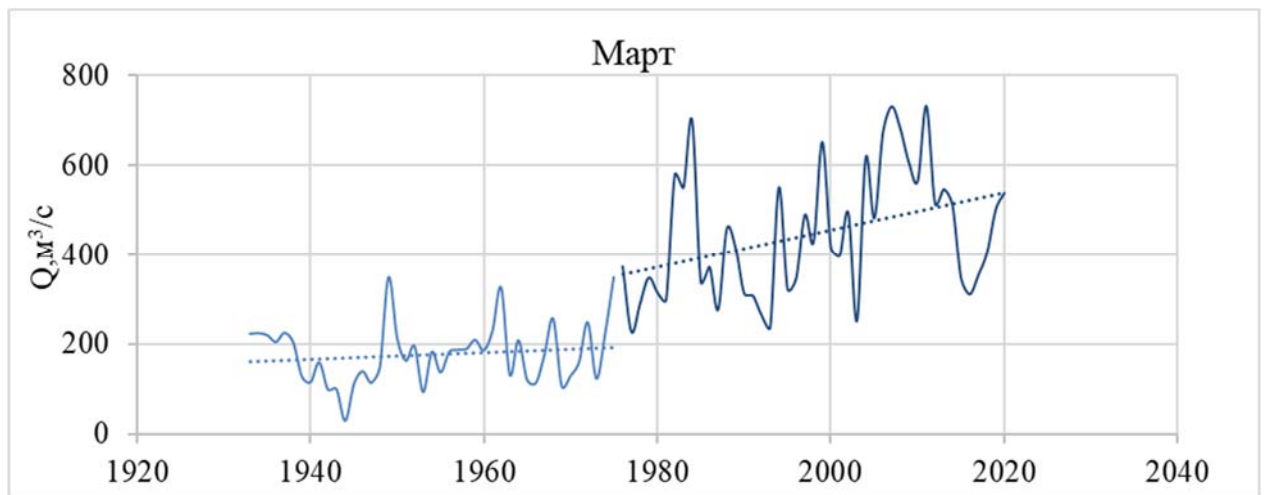


Рисунок Г.24 – Линейный график неоднородности в марте на г/п дельта, протока Быковская

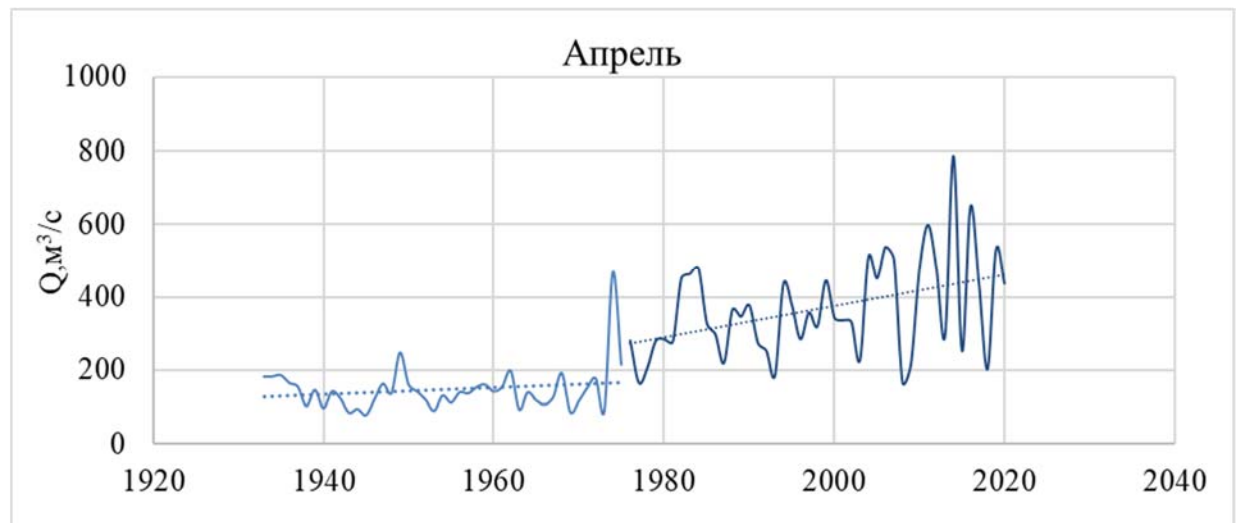


Рисунок Г.25 – Линейный график неоднородности в апреле на г/п дельта, протока Быковская

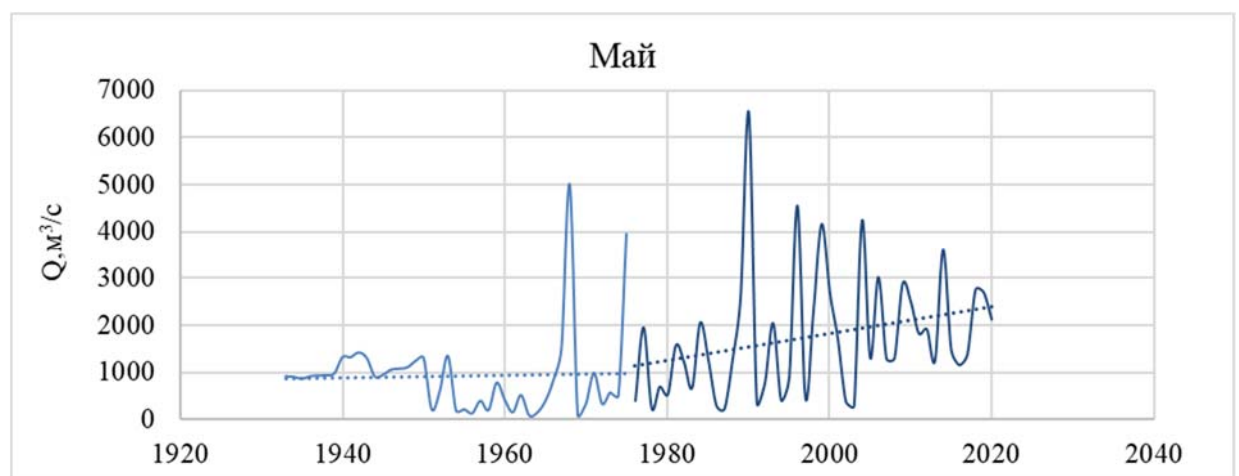


Рисунок Г.26 – Линейный график неоднородности в мае на г/п дельта, протока Быковская

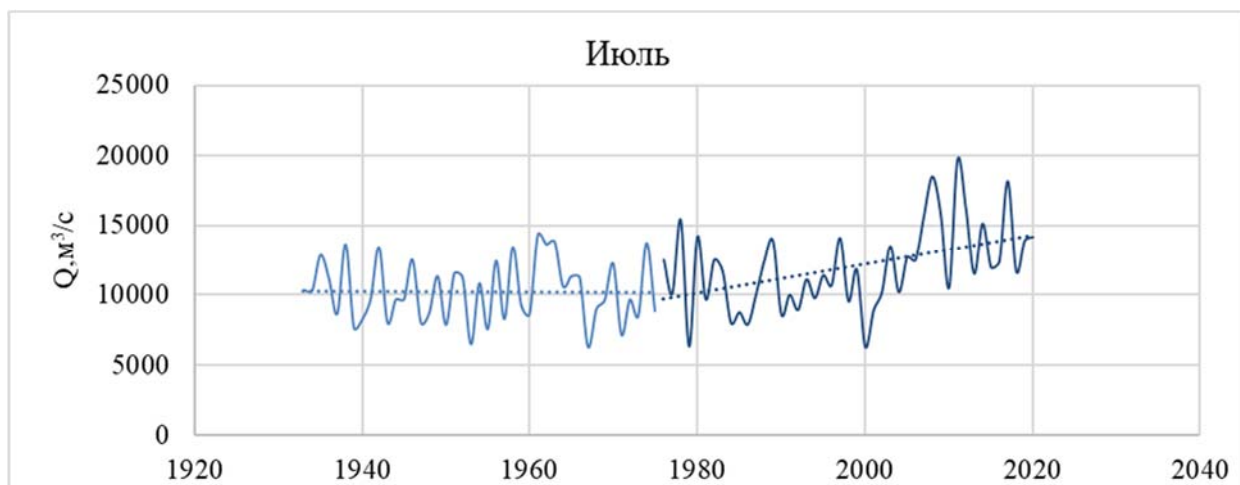


Рисунок Г.27 – Линейный график неоднородности в июле на г/п дельта, протока Быковская

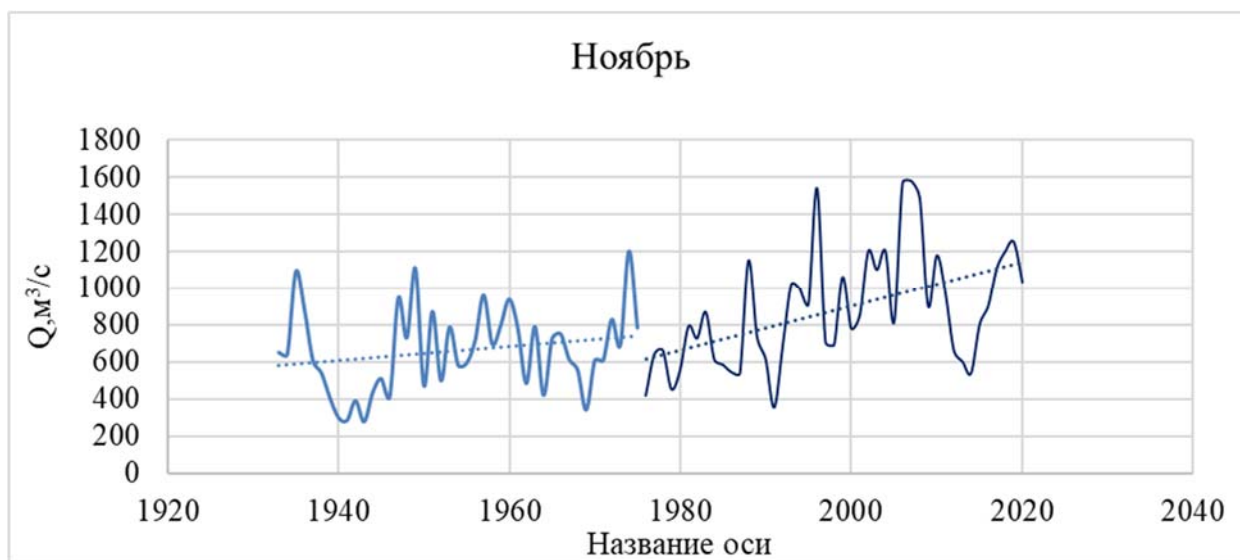


Рисунок Г.27 – Линейный график неоднородности в ноябре на г/п дельта, протока Быковская