



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 **Анализ закономерностей**
изменений сроков навигационного
периода на реке Лена

Исполнитель Самохин Артём Алексеевич
(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

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

Хаустов В.А.
(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение	
1 Физико-географическое описание реки Лена	5
1.1 Географическое описание	5
1.2 Рельеф и геологическое строение	5
1.3 Почвы	7
1.4 Растительный покров	9
1.5 Водный режим	11
1.6 Климатические условия	12
1.7 Гидрографическая характеристика главных судоходных рек	14
1.8 Описание гидрологических постов	15
2 Исходные данные	18
3 Многолетние колебания рядов среднемесячных и среднегодовых температур воздуха	20
3.1 Оценка значимости линейных трендов	20
3.2 Проверка рядов на однородность	24
3.3 Анализ суммарных интегральных кривых	28
3.3.1 Оценка значимости линейных трендов до и после перегиба	30
4 Расчет периода физической навигации	33
5 Расчет изменения продолжительности безледоставного периода	34
5.1 Оценка значимости линейных трендов	34
5.2 Проверка рядов на однородность	36
5.3 Анализ суммарных интегральных кривых	37
5.3.1 Оценка значимости линейных трендов до и после перегиба	39
Заключение	41
Список использованных источников	42
Приложение	43

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем дипломном проекте был выполнен расчет изменения периода фактической навигации на реке Лена. Для реализации поставленной задачи были использованы данные 7 гидрологических постов. Продолжительность наблюдений на стационарных постах гидрологической сети составляет 74 года и включает данные по 2019 год. Площади водосбора варьируют от 425000 до 2430000 км². Также были использованы данные о среднемесячных и среднегодовых температурах воздуха по шести метеостанциям: Ленск, Олекминск, Якутск, Жиганск, Джарджан, Кюсюр. Продолжительность наблюдений на стационарных постах метеорологической сети составляет 74 года и включает данные по 2019 год. В процессе исследований был выполнен детальный статистический анализ рядов продолжительности безледоставного периода, а также рядов среднемесячных и среднегодовых температур. Проведена проверка однородности рядов, выполнен анализ значимости линейных трендов, построены суммарные интегральные кривые.

Дипломный проект содержит пять глав, введение, заключение, список использованных источников.

Первая глава включает в себя физико-географическую и климатическую характеристику исследуемой территории.

Вторая глава включает в себя исходные данные.

В третьей главе приводится выполненная оценка значимости линейных трендов и однородности рядов среднемесячных и среднегодовых температур, а также построение суммарных интегральных кривых, также оценка значимости линейных трендов до и после перегиба.

Четвертая глава включает в себя расчет периода физической навигации и анализ ее смещения.

В пятой главе приводится выполненная оценка значимости линейных трендов и однородности рядов продолжительности безледоставного периода, а также построение суммарных интегральных кривых, также оценка значимости линейных трендов до и после перегиба.

В заключении представлены общие результаты проведенных исследований и анализ изменения периода физической навигации на реке Лена

1. Физико-географическое описание реки Лена

1.1 Географическое описание

Река Лена принадлежит Лено-Индигирскому региону, расположенному в северо-восточной части Азиатского материка между $52^{\circ}00'$ и $77^{\circ}30'$ с.ш. и $92^{\circ}30'$ и $160^{\circ}00'$ в.д. на данной площади более 4,2 млн. км².

Наибольшая протяженность этой территории с севера на юг составляет около 2740 км, с запада на восток более 2300 км. На севере она омывается водами морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, на западе граница ее проходит от северной точки мыса Челюскина по водоразделу между притоками оз. Таймыр и Хатангского залива и бассейнами рек Хатанги и Енисея и далее Лены и Енисея, на юге - по водоразделу между бассейнами рек Лены и Амура, на востоке - по водоразделу между бассейнами рек Индигиркии Колымы до устья последней.

На западе территории находится относительно равнинное Среднесибирское плоскогорье, на севере, вдоль побережья, располагается обширные приморские низменности, на юге - Байкальская, а на востоке - Северо-восточная горные области. Характерной особенностью всей территории является суровый и резко-континентальный климат, повсеместное распространение многолетней мерзлоты, наличие наледей. Лесной ландшафт на севере и в горных хребтах сменяется тундрой, а местами вечными снегами и льдами. Наиболее населены и развиты в сельскохозяйственном отношении Южные и Центральные районы. В горных районах получили развитие горнодобывающая промышленность и в сравнительно небольшом объеме животноводство, звероводство и охотничий промысел.[4]

1.2 Рельеф и геологическое строение

Рассматриваемая территория принадлежит преимущественно трем крупнейшим тектоническим структурам Восточной Сибири – Сибирской платформе, Байкальской и Верхояно-Колымской горно-складчатым

областям. Строение рельефа, характер и условия залегания горных пород на ней неоднородны (рисунок 1).

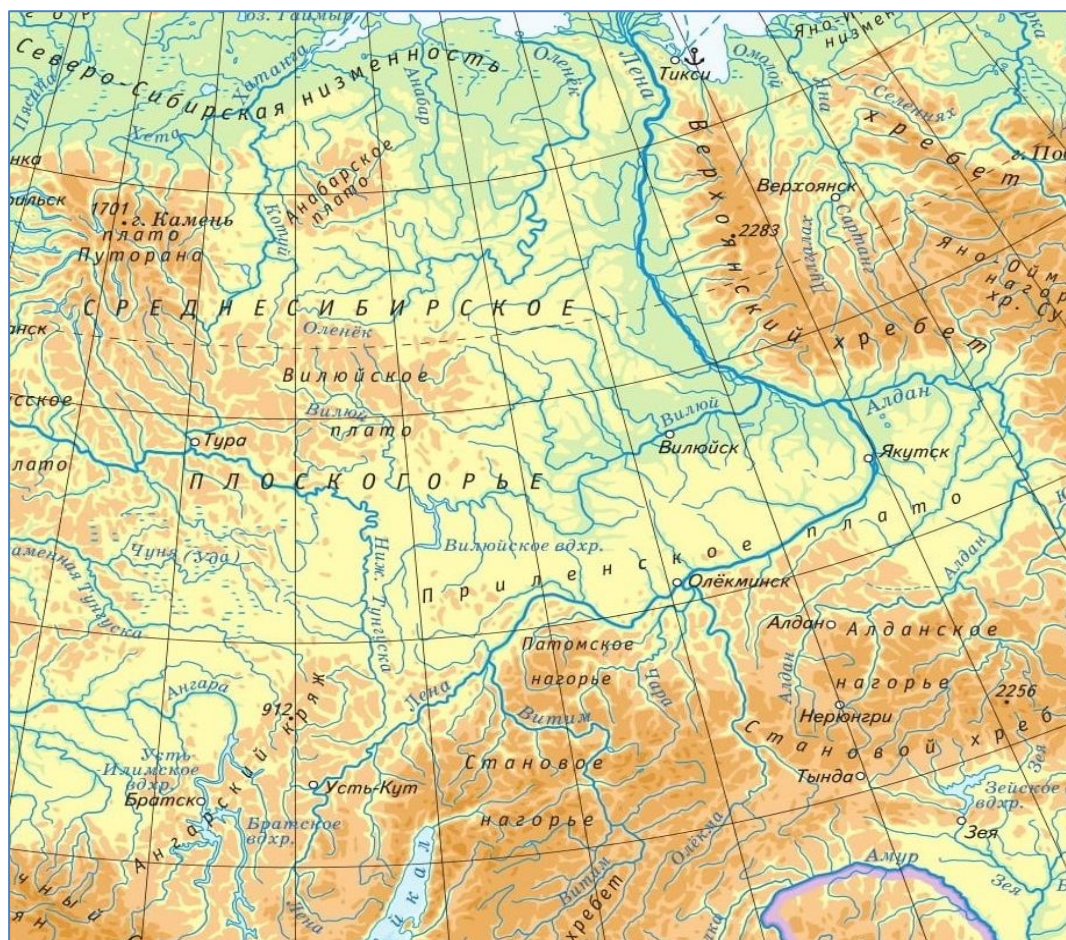


Рисунок 1– Физическая карта Восточной Сибири.

На Сибирской платформе преимущественно развиты плоскогорья, пластовые плато и равнины, и только на южной ее окраине, в пределах Алданского щита, находится нагорье со сравнительно интенсивно расчлененным рельефом. Байкальская и Верхояно-Колымская горно-складчатые области характеризуются горным, сложно построенным рельефом, развивающимся в первом случае на значительно метаморфизованных палеозойских породах, во втором – преимущественно на мезозойском складчатом основании. Палеозойские породы выведены на поверхность лишь в отдельных блоках. Наряду с горными районами в пределах Верхояно-Колымской области широко развиты низменности, приуроченные к жестким срединным массивам или синклиналим

структурам, являющимися районами устойчивого опускания в мезозойское и кайнозойское время.[4]

1.3 Почвы.

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

Почвы горных областей значительно отличаются от почв равнин, так как большие высоты и сильная расчлененность гор обуславливают большую их щебнистость и хорошо выраженную высотную поясность.

В горных областях северо-востока обычно преобладают примитивные каменистые почвы и процесс почвообразования все время обновляется сносом рыхлого материала. В межгорных депрессиях и долинах рек почвы развиваются в условиях дополнительного увлажнения за счет стока с гор и выхода ключей, которое создает тиксотропию почв и усиливает в них мерзлотно-деструктивные процессы (перемещение почвенной массы по профилю почвы и в боковом направлении). В связи с этим на севере появляются долинные тундры или мерзлотно-таежные торфянистые тиксотропные и деструктивные почвы.

На Алданском и Становом нагорьях, на Витимо-Олёкминских среднегорьях в горнотундровом поясе выделяются горнотундровые перегнойные и торфянистые почвы, развитые на элювии кристаллических пород архейского возраста, а в горнотаежном поясе – горные мерзлотно-таежные иллювиально – гумусовые почвы, развитые на элювии пород архейского комплекса и элювии юрских пород в зоне редколесий, а также горные мерзлотно-таежные оподзоленные почвы. На Алданском и Становом нагорьях в зоне средней тайги широко распространены перегнойно-карбонатные мерзлотно-таежные почвы, развитые на элювии карбонатных пород. На аллювиальных отложениях здесь встречаются мерзлотно-таежные полуболотные и мерзлотно-болотные торфянисто-перегнойные и

торфянистые почвы.

В пределах межгорных котловин и северного склона хребта Удокан (верховья р. Чары) распространены подзолистые иллювиально-железистые почвы.

Для межгорных понижений и речных долин характерна заболоченность почв.

В равнинных областях, особенно к западу от р. Лены, в распределении почв хорошо прослеживается широтная зональность.

Тундра занимает узкую прибрежную полосу, но здесь она выражена особыми формами - арктическими пустынями. Большая часть этих пустынь занята ледниками и фирновыми полями, а свободное от них пространство представлено каменистыми россыпями и полигональными почвами; последнее широко распространено на островах дельты Лены.

Почвы тундры характеризуются малой мощностью, значительной влажностью, тиксотропностью, заторфованностью и бледностью гумусом. Материнские породы, особенно к востоку от р. Лены, однообразны и представлены четвертичными песками и суглинками. К западу от р. Лены почвы имеют значительную щебнистость. Преобладающими почвами тундры являются торфянисто-болотные и глеевые торфянисто-болотные.

Почвы тайги характеризуются разной степенью оподзоливания, малой тиксотропностью и влажностью, повышенной засоленностью и сравнительно высоким плодородием.

На Приленской возвышенности и Лено-Алданском плато распространены таежные палевые тяжелосуглинистые, слобоосолоделые, дерново-таежные мерзлотные и перегнойно-карбонатные мерзлотные почвы. Здесь также встречаются мерзлотные оподзоленные почвы, причем на элювии мезозойских пород развиты оподзоленные ненасыщенные кислые почвы, а на супесчаном элювии юрского и меловых пород – таежные палевые и насыщенные нейтральные суглинистые почвы с признаками остаточной оподзоленности.[4]

На аласах и в лесостепных участках, на сухих надпойменных террасах Лены, Амги развиваются лугово-черноземные почвы, в более увлажненных местах встречаются черноземно-луговые почвы.

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. В бассейне Вилюя в пределах Центральноякутской низменности сравнительно широко распространены сапропелевые почвы, образующиеся на месте высохших озер. В нижнем течении Вилюя значительные площади занимают ровные и бугристые пески «тукуланы», поверхность которых лишена растительности.

Аллювиальные почвы покрывают пойменные террасы рек Лена, Алдана, Вилюя, Витима и Калара.

1.4 Растительный покров.

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

Арктические пустыни отличаются бедным, разорванным растительным покровом, наличием выносливых растений, способных к подснежному развитию (ложечная трава). Из цветковых здесь выживают такие виды, как лютики, крупки, камнеломки, образующие плотные дернинки и подушечки. Зона арктических пустынь занимает острова Де-Лонга и Анжу, а также верхние части горных возвышенностей.

Тундровая зона характеризуется безлесьем и преобладанием безкорневых мхов и лишайников, наличием стелющихся видов (карликовая ива и береза) и подушкообразных растений (камнеломка).

К востоку от устья Лены простираются кочкорные осоко-пушецевые тундры, разбросанные небольшими участками среди горных и равнинных тундр. К западу от устья Лены они встречаются реже. Поверхность этих тундр образована плотными кочками пушицы дернистой. Между кочками растут мхи и сравнительно редкие лишайники, встречаются отдельные кустики березки, брусники, морошки и багульника.

Лесотундровая зона характеризуется присутствием древесных пород, которые здесь представлены редкостойным, низкорослым лесом, преимущественно из лиственницы. Травянисто-кустарниковая растительность развита слабо.

Подзона северотаежного редколесья более однообразна и характеризуется сильно разреженным лиственничным лесом, широким распространением ерниковых зарослей и слабым травостоем.

Среднетаежная подзона включает довольно крупный лесной массив. Несмотря на широкое распространение многолетней мерзлоты на юге она местами отсутствует. С этим связано присутствие темнохвойных пород. Леса этой подзоны отличаются сомкнутостью крон, большой высотой, различным подлеском и богатством травянистого яруса, за счет которого снижается роль мхов и лишайников. [4]

Зональным господствующим типом растительности является лиственничная тайга. В Центральноякутской низменности имеются травяно-кустарничковые леса. На песчаных террасах рек широко распространены сосновые боры, и лишь изредка по долинам рек прослеживаются еловые леса.

На Лено-Алданском плато, Становом нагорье и Витимо-Олёкминском среднегорье лесной пояс в значительной мере представлен среднетаежными лиственничными, лиственнично-кедровыми и лиственнично-березовыми

лесами с подлеском из кустарников ив, рябины, ольховника.

1.5 Водный режим.

Река Лена является главной водной магистралью Восточной Сибири. Длина ее 4400 километров, а площадь бассейна 2488 тыс. км². По характеру течения Лену обычно делят на 3 крупных участка: верхний – от истока до устья реки Витим (1690 км), средний – от устья реки Витим до впадения реки Алдан (1400 км) и нижний – от устья реки Алдан до о. Столб (1310 км).

В пределах верхнего участка Лена протекает в узкой с крутыми или обрывистыми склонами долине, обладает значительным падением и изобилует перекатами; только ниже впадения реки Киренги появляются широкие спокойные плесы.

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 Центрально-якутскую низменность. Ниже г. Якутска долина реки расширяется до 5-10 км и более, на ее склонах прослеживаются террасы.

В пределах нижнего участка долина р. 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.[4]

Водность реки Лены велика – ее средний годовой расход у села Кюсюр равен 16600 м³/сек. Питание реки Лены смешанное снеговое и дождевое, с преобладанием первого, но не на всем ее протяжении.

В верхнем течении соотношение между сезонными долями стока сильно изменяется в зависимости от метеорологических условий года. Весенний сток (май-июнь) составляет 25-50%, летне-осенний (июль-октябрь) 30-60% его годовой величины. На зимнее полугодие приходится 10-

25%.

В среднем течении, после впадения рек Витима и Олёкмы, питающихся преимущественно дождевыми водами, летне-осенний сток увеличивается, но в отдельные годы он и здесь может быть меньше весеннего. Доля стока за зимний период равна 9-11%, она меньше, чем на верхнем участке.

В нижнем течении основным является снеговое питание. Сток за май-июнь составляет обычно 50-70%, доля же стока за зимнее полугодие снижается до 6-7% его годового объема.

Замерзает р. Лена почти повсеместно во второй половине октября, а вскрывается в верхнем течении в начале мая, в нижнем – в конце мая – начале июня.

В период весеннего ледохода образуются мощные заторы льда, вызывающие большие подъемы уровня воды.[4]

1.6 Климатические условия

Климат рассматриваемой территории характеризуется резкой континентальностью, которая проявляется очень низкими зимними (до минус 50-65 °С) и высокими летними (до 20-35 °С) температурами воздуха. Разность температур самого холодного и самого теплого месяцев достигает мирового максимума и равна 45-65 °С. Наибольшие величины этих разностей свойственны долинам и котловинам, а распределение их по территории позволяет сделать вывод о возрастании континентальности с запада на восток. На морских побережьях климат мягче, так как моря несколько обогревают берега осенью и зимой и, наоборот, охлаждают в теплое время года.

Главными факторами, определяющими такое своеобразие климата, являются характер общей циркуляции воздушных масс и физико-географические условия территории – ее удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океанов, открытость со

стороны Северного Ледовитого океана, большая протяженность как с севера на юг, так и с запада на восток, сложность орографии.

В зимний период территорию охватывает мощный сибирский антициклон, начинающийся образовываться в сентябре. В антициклоне происходит формирование континентального, очень холодного воздуха. Ясная и сухая погода способствует охлаждению земной поверхности и нижних слоев воздуха. Дальнейшему развитию антициклона, достигающего своего максимума в январе – феврале, способствуют вторжению арктических воздушных масс. Зима на большей части территории малоснежная. В зоне тундры снежный покров залегает неравномерно из-за сдувания его сильными ветрами. Незначительный снежный покров и исключительно низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты, достигающей большой мощности.

Лето хотя и короткое, но теплое, а иногда и жаркое, однако носит обычно прохладные и почти по всей территории вероятны заморозки во все летние месяцы. На побережье и островах лето пасмурное и холодное, часто возникают туманы, число которых уменьшается по мере удаления от побережья. Во второй половине лета туманы образуются в долинах рек.

Переходные сезоны года кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температур.

Продолжительность вегетационного периода возрастает с севера на юг. Осенью вторжение арктических воздушных масс обуславливает ранние заморозки, вначале редкие и слабые при довольно высокой температуре днем.

Арктические воздушные массы с малым влагосодержанием свободно проникают из Центральной Арктики в любое время года. Североатлантические теплые воздушные массы поступают сильно иссушенными, но с большим влагосодержанием, чем арктические массы, и обычно приносят циклоническую погоду, сопровождающуюся на севере сильными ветрами и продолжительными метелями.

Влажные и теплые тихоокеанские воздушные массы лишь изредка вторгаются в восточные и центральные районы, вызывая потепления со снегопадом зимой и дождливую погоду летом. Проникновению этих масс препятствуют горные хребты, протянувшиеся вдоль восточной границы территории.[4]

1.7. Гидрографическая характеристика главных судоходных рек.

Территория Лено-Индибирского бассейна располагает большим количеством поверхностных водных объектов. На ней насчитывается свыше 571 тыс. рек и малых водотоков общей протяженностью примерно 2 млн. км, около 825 тыс. озер суммарной площадью более 83 тыс. км². Болота и заболоченные земли занимают порядка 10% территории. Кроме вод рек, озер и болот здесь имеются поверхностные воды, находящиеся в твердом состоянии в виде современных ледников и наледей [4].

Основные черты гидрографии и режима водных объектов в Лено-Индибирском бассейне определяются сложными сочетаниями климатических особенностей, рельефа, геологического строения и многолетней мерзлоты.

Очень малые водотоки (длиной до 10 км) составляют свыше 94% общего числа, а их длина – около 58% суммарного протяжения всех рек района.

Густота речной сети относительно большая – в среднем около 0,5 км/км². В горных районах она достигает 1,0 км/км², по мере же перехода к плато и низменностям заметно уменьшается, в Центрально-якутской низменности до 0,1 км/км².

Строение речных долин преимущественно асимметричное (реки Лена, Алдан, Вилюй). Водораздельные линии большей частью хорошо выражены, за исключением низменностей, где нередко они почти не прослеживаются.

Характерной чертой речной сети данной территории является ее глубокий врез. В горных районах на отдельных участках долины рек имеют

глубину до 600-1000 м., на плато и возвышенных равнинах 150-300 м.

Речные долины на высокогорных участках имеют V-образную форму, глубокое и узкое дно, заполненное в значительной мере крупнообломочным материалом. В условиях среднегорного рельефа и плато долины, часто в плане четко выражены и сужаются при пересечении реками твердых пород.

1.8. Описание гидрологических постов.

Река Лена - с.Пеледуй.

Пост расположен в селе Пеледуй в 3.5 км выше устья р.Пеледуй. Долина реки шириной до 3 км. Правый склон крутой, порос хвойным лесом; левый – пологий, порос смешанным лесом с преобладанием сосны. Пойма двухсторонняя, шириной до 80 м. Русло реки на участке поста криволинейное, деформирующееся. На участке водпоста имеется остров.

Водпост находится на левом берегу состоит из свай и металлического репера №3 ЯУГМС 1946год в створе водпоста с отметкой 198,546 м усл. Отметка нуля графика 183,42 м усл. Температура воды измеряется в створе водпоста у левого берега, толщина льда – в створе водпоста на середине реки и у берега.

Река Лена – г.Ленск.

Пост расположен в городе Ленск в 0.5 км ниже устья реки Мухтуя. Долина реки трапецеидальная. Пойма левобережная, шириной до 5 км. Русло реки на участке поста слабоизогнута, шириной 800-900м, подвержена значительной деформации. Высота берегов до 9 м, Крутизна правого 20⁰, левого 25⁰. В 1.5км выше водпоста на левом берегу находится протока, действующая только при высоких уровнях. В отдельные годы весной на участке образуется заторы льда, вызывающие подъемы уровня до 3-4 м.

Водпост свайный, находится на левом берегу, в 150 метрах ниже пристани. Высота нуля графика 152,47 м БС.

Река Лена – с. Саняхтат.

Пост расположен в селе Саняхтат. Долина ящикообразная шириной до 5 км. Сколны долина 200-250 м, крутизной 35-40⁰ поросли хвойным лесом и кустарником, сложенные суглинистыми грунтами с выходами скальных пород. Пойма левобережная покрыта кустарником. В пойме имеются озера и болота, в отдельные годы пойма затопляется. Русло реки на участке прямолинейное; Песчано-галечное, к правому берегу каменистая.

Водпост находится на левом берегу состоит из свай и двух реперов в створе: дер.репера №1 ЯУГМС 1948г с отметкой 123,861 м абс. и мет.репера №3 ЯУГМС 1955г в 223 м от репера №1 с отметкой 118,470 м абс., переданный от дер.репера.

Отметка нуля графика 105,86 м абс. Температура воды измеряется в створе водпоста у левого берега, толщина льда – в створе водпоста на середине реки и у берега.

Река Лена – пос.Сангар.

Пост расположен в 1км ниже поселка Сангар. Водпост находится на правом берегу, состоит из свай и металлического репера №4 ЯУГМС 1948г в створе водпоста с отметкой 43,415 м усл. Ометка нуля графика 32м усл. Температура воды измеряется в створе водпоста у правого берега, толщина льда – в створе водпоста на середине реки и у берега.

Река Лена – с.Жиганск.

Пост расположен в селе Жиганск. Долина реки шириной до 10км. Правобережная пойма, покрыта кустарником, частично заболочена, с небольшими озерами. Русло реки на участке слабоизогнуто, песчано-галично, деформируется слабо. Против поста имеется остров длина его 7км, ширина 2км. Правый берег низкий, песчаный, левый – высокий, крутой.

Водпост находится на левом берегу в 150 м выше впадения реки Стрекаловка, в заводе, вдающийся в берег на 300-400 м, и состоит из свай и 2-х реперов в створе водпоста. Отметка нуля графика 35,00 м усл. Температура воды измеряется в створе водпоста у левого берега, толщина

льда – в створе водпоста на середине реки и у берега.

Река Лена – с.Джарджан.

Станция расположена в селе Джарджан. Долина реки корытообразное, шириной до 25 км, поросла смешанным лесом. Левобережная пойма затопляется при средних и высших уровнях. Русло реки на участке поста слабоизогнутое, сложено из гальки с песком, подвержено слабому размыву. В русле реки имеются острова, перекаты, песчаные отмели. Правый берег, высотой 20-30 м; левый – низкий.

В период весеннего ледохода в районе островов на участке поста образуются заторы льда.

Водпост находится на правом берегу в 300 м ниже устья реки Джарджан(п.б), состоит из свай и 2-х реперов. Отметка нуля графиков 12,55 м абс. Температура воды измеряется в створе водпоста у правого берега. Наблюдаемая температура обычно занижена из-за влияния холодных вод реки Джарджан.

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 прямолинейное устойчивое. Правый берег низкий, переходит в заболоченную лесотундру; левый – крутой, высотой до 200 м. Весенний ледоход проходит бурно, сопровождается большими навалами льда на берега, наблюдаются заторы льда. Основной водпост находится на правом берегу состоит из свай и 3-х реперов. Отметка нуля графика -0.05 м абс. [9]

2. Исходные данные

Для анализа климатических изменений в бассейне реки Лена использованы 6 метеорологических станции и 7 гидрологических постов, равномерно расположенных в верхней, средней и нижней частях бассейна (Рис.1). Они имеют период с 1945-2019 гг (Таблица 1)



Рисунок. 1. Схема расположения метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне реки Лена

Таблица 1. Исходные данные

№	Река - Пост	Расстояние от устья	F, м ²	Ноль поста	Период
1	Лена - Пеледуй	2693	425000	171.3	1945-2019
2	Лена - Ленск	2508	450000	152.47	1962-2019
3	Лена - Саньяхтат	1885	812000	105.78	1948-2019
4	Лена - Сангар	1177	1680000	57.28	1945-2019
5	Лена - Жиганск	754	2260000	28.11	1945-2019
6	Лена - Джарджан	512	2370000	11.34	1945-2019
7	Лена - Кюсюр	211	2430000	-1.41	1945-2019
Метеостанции					
№	Река - метео.пост	Период наблюдения			
1	Лена - Ленск	1945-2019			
2	Лена - Олекминск	1945-2019			
3	Лена - Якутск	1945-2019			

Продолжение таблицы 1.		
4	Лена - Жиганск	1945-2019
5	Лена - Джарджан	1945-2019
6	Лена - Кюсюр	1945-2019

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 (2008-2019 гг.) [3]. 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). [11]

3. Многолетние колебания рядов среднемесячных и среднегодовых температур воздуха

3.1 Оценка значимости линейных трендов

Расчёты начинались с анализа данных по среднемесячной температуре воздуха. Так как на территории бассейна реки Лена начало ледовых явлений преимущественно в ноябре – декабре, а конец в апреле – мае, то для каждой из шести метеорологических станций были построены хронологические графики среднегодовых температур воздуха [Приложение 1], а также отдельно для мая месяца и октября [Приложение 2-3]. Рассчитаны коэффициенты корреляции (R) и выполнена оценка значимости линейных трендов (Таблица 2-4).



Рисунок 2. Пример хронологического графика среднегодовой температуры воздуха за май метеостанции Ленск.



Рисунок 3. Хронологический график хода среднегодовых температур воздуха за май на метеостанции Якутск.



Рисунок 4. Хронологический график хода среднегодовых температур воздуха за май на метеостанции Кюсюр.

На графиках видно, что ряд среднемноголетних температур за май имеет положительный тренд на повышение температуры. Это также справедливо для других метеостанций [Приложения 2], и для ряда среднегодовых температур воздуха [Приложение 1].

Производилась оценка значимости трендов в рядах среднемесячных и среднегодовых температур воздуха при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ с помощью формул (1) – (3). Результаты по всем метеостанциям представлены в виде Таблицы 1-3.

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $Q_{\max} = f(t)$. Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|R| < t_{2\alpha} \sigma_R \quad (5.1)$$

где $t_{2\alpha}$ - теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$;

σ_R - стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}} \quad (5.2)$$

Таблица 2 – Результаты оценки линейных трендов среднегодовых температур воздуха по всем метеостанциям при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Среднегодовые температуры воздуха						
№	Река – станция	R	s_R	R/ s_R	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	0.45	0.10	4.50	2	+
2	Лена - Олекминск	0.38	0.11	3.62	2	+
3	Лена - Якутск	0.75	0.07	9.90	2	+
4	Лена - Жиганск	0.50	0.10	4.95	2	+
5	Лена - Джарджан	0.20	0.11	1.76	2	-
6	Лена - Кюсюр	0.46	0.10	4.46	2	+

Таблица 3. Результаты оценки линейных трендов среднегодовых температур воздуха за месяц Май по всем метеостанциям при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Среднегодовые температуры воздуха за Май						
№	Река – станция	R	s_R	R/ s_R	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	0.33	0.11	3.05	2	+
2	Лена - Олекминск	0.38	0.11	3.50	2	+
3	Лена - Якутск	0.50	0.10	5.46	2	+
4	Лена - Жиганск	0.38	0.11	3.57	2	+
5	Лена - Джарджан	0.28	0.11	2.59	2	+
6	Лена - Кюсюр	0.37	0.11	3.40	2	+

Таблица 4. Результаты оценки линейных трендов среднегодовых температур воздуха за месяц Октябрь по всем метеостанциям при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Среднегодовые температуры воздуха за Октябрь						
№	Река – станция	R	s_R	R/ s_R	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	0.08	0.11	0.74	2	-
2	Лена - Олекминск	0.04	0.12	0.37	2	-
3	Лена - Якутск	0.16	0.11	1.45	2	-
4	Лена - Жиганск	0.01	0.12	0.11	2	-

Продолжение таблицы 4.

5	Лена - Джарджан	0.01	0.11	0.09	2	-
6	Лена - Кюсюр	0.11	0.12	0.95	2	-

Среднегодовые ряды температур воздуха по всем метеостанциям имеют тренд на повышение температуры, что говорит о постепенном потеплении климата. В весенний период наблюдаются положительные тренды на повышение температуры в мае, как следствие мы можем предполагать смещение начала навигации на более ранние даты. В осенний период тренд не значим.

3.2 Проверка рядов на однородность.

Проверка рядов на однородность выполнялась с использованием параметрических критериев Стьюдента и Фишера. Проверялись ряды среднегодовых и среднемесячных температур по всем метеостанциям. В качестве примера показана проверка рядов среднегодовых температур на однородность за весь период.

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

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (5.3)$$

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

Критическое значение статистики Фишера определялось в программе Excel.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (5.4)$$

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

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (5.5)$$

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

σ_1 , σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда;

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

определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad (5.6)$$

Критическое значение статистики Стьюдента определялось в программе Excel.

Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (5.7)$$

Таблица 5. Результаты проверки рядов среднегодовых температур воздуха на однородность при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – станция	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
		F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D1 = D2$	$ t^* $	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q1 = Q2$
1	Лена - Ленск	1.15	1.91	Не опр	4.12	1.99	Опр
2	Лена - Олекминск	1.04	1.91	Не опр	3.54	1.99	Опр
3	Лена - Якутск	0.83	0.52	Опр	8.8	1.99	Опр
4	Лена - Жиганск	1.61	1.92	Не опр	4.12	1.99	Опр
5	Лена - Джарджан	1.62	1.91	Не опр	2.07	1.99	Опр
6	Лена - Кюсюр	1.62	1.93	Не опр	3.97	1.99	Опр

Данная проверка показала, что при использовании критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ нулевая гипотеза об однородности ряда не опровергается для рядов всех метеостанций, кроме метеостанции Якутск, а при использовании критерия Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ для всех рядов гипотеза об однородности опровергается. Это связано с положительной значимостью трендов (см. Таблица 2-4), которая присутствует у всех рядов среднегодовых температур.

Таблица 6. Результаты проверки рядов среднемноголетних температур воздуха за май на однородность при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – станция	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
		F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D1 = D2$	$ t^* $	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q1 = Q2$
1	Лена - Ленск	1.58	1.92	Не опр	2.75	1.99	Опр
2	Лена - Олекминск	1.23	1.93	Не опр	3.05	1.99	Опр
3	Лена - Якутск	1.1	1.92	Не опр	4.19	1.99	Опр
4	Лена - Жиганск	1.33	1.93	Не опр	3.21	1.99	Опр
5	Лена - Джарджан	1.46	1.92	Не опр	2.74	1.99	Опр
6	Лена - Кюсюр	1.69	1.94	Не опр	2.89	1.99	Опр

Данная проверка показала, что при использовании критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ нулевая гипотеза об однородности ряда не опровергается для рядов всех метеостанций. При использовании критерия Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ для всех рядов гипотеза об однородности опровергается, в связи с тем, что тренд на хронологическом графике значимый.

Таблица 7. Результаты проверки рядов среднемноголетних температур за октябрь на однородность при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – станция	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
		F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D1 = D2$	$ t^* $	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q1 = Q2$
1	Лена - Ленск	1.14	1.92	Не опр	0.19	1.99	Не опр
2	Лена - Олекминск	1.08	1.92	Не опр	0.65	1.99	Не опр
3	Лена - Якутск	1.16	1.92	Не опр	2.06	1.99	Опр
4	Лена - Жиганск	1.4	1.97	Не опр	0.16	1.99	Не опр
5	Лена - Джарджан	1.29	1.92	Не опр	0.4	1.99	Не опр
6	Лена - Кюсюр	1.28	1.94	Не опр	0.77	1.99	Не опр

Данная проверка показала, что при использовании критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ нулевая гипотеза об однородности ряда не опровергается для рядов всех метеостанций. При использовании критерия

Стьюдента, нулевая гипотеза не опровергается по всем станциям, кроме станции Якутск. Это связано с тем, что тренды за октябрь не значимы.

3.3 Анализ суммарных интегральных кривых

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые $S = f(t)$

$$S_i = \frac{\sum(T_i - T_{min})}{\sigma_T}, \quad (4)$$

На рис.5 - 7 в качестве примера показаны зависимости $S = f(t)$ среднемесячных температур за май для метеостанций Ленск, Якутск, Кюсюр.

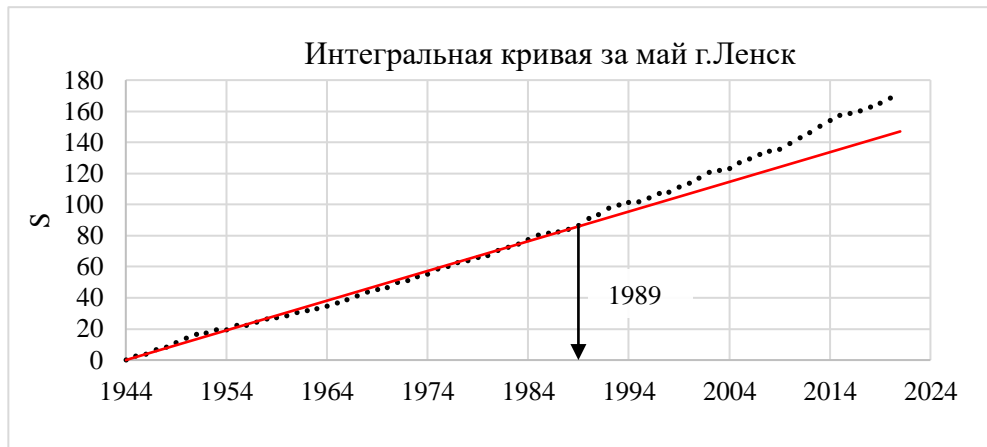


Рисунок 5. Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднееголетних температур за май метеостанции Ленск.

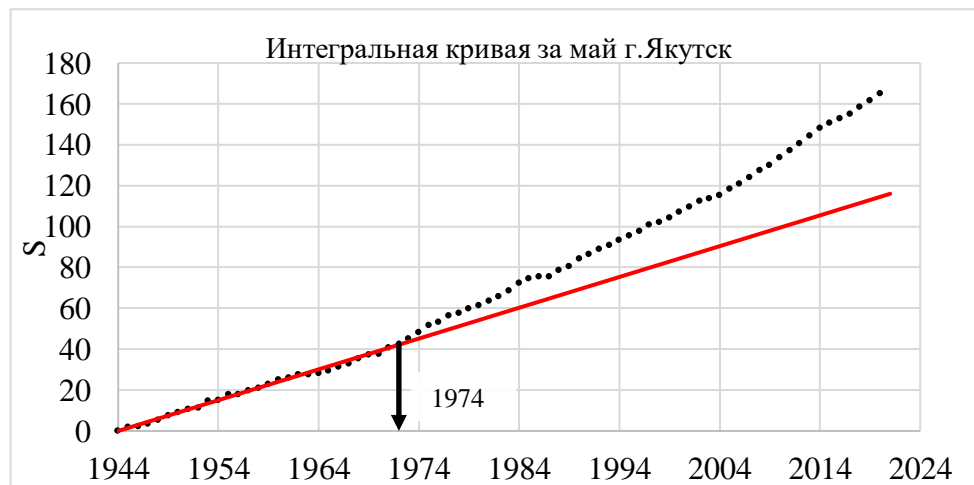


Рисунок. 6. Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднееголетних температур за май метеостанции Якутск

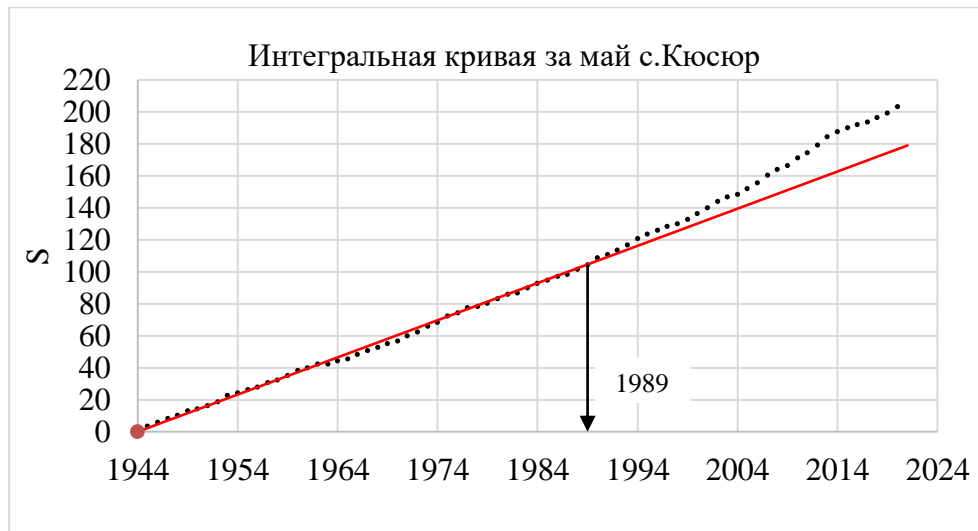


Рисунок. 7. Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда средненоголетних температур за май метеостанции Кюсюр.

На всех станциях прослеживается заметное потепление в весенние месяцы с 1980-х годов и продолжается до настоящего времени. Особенно сильно оно проявляется с 1989 года. Проанализировав суммарные интегральные кривые, можно заметить, что точки перегиба наблюдаются в период с 1980 по 1990 гг. Можно отметить, что на всех графиках в период 1980 – 2019 происходит отклонение от среднего в большую сторону. Этот период характерен практически для всех метеостанций и месяцев [Приложение 4].

3.3.1

Оценка значимости линейных трендов до и после перегиба.

На всех станциях заметное потепление в весенние месяцы прослеживается с середины 1985-х годов XX века и продолжается до настоящего времени (рис.5-7). Проверка показала, что на интервале с 1944 по 1985 гг. ряды среднемесячных и среднегодовых температур воздуха являются стационарными, а на интервале с 1986 по настоящее время в рядах годовых и весенне-летних температур содержат значимый тренд на повышение. Наибольшая интенсивность тренда наблюдается в мае. [Приложение 5]

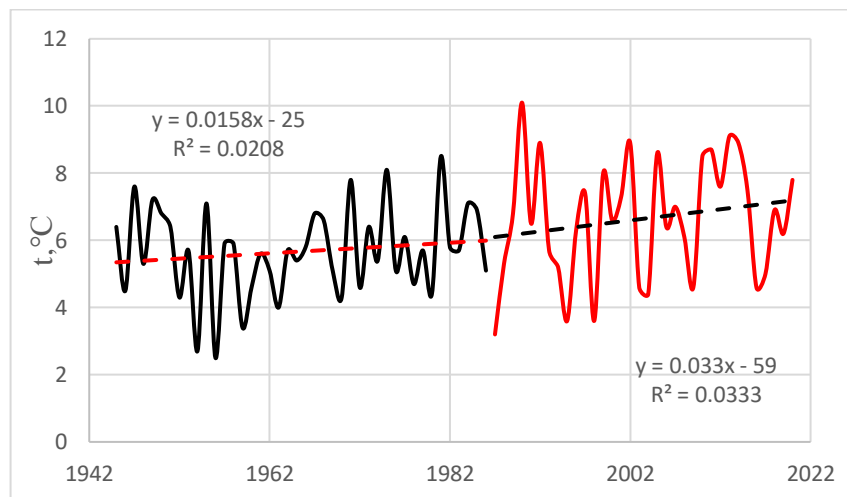


Рисунок 8. Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Ленск.

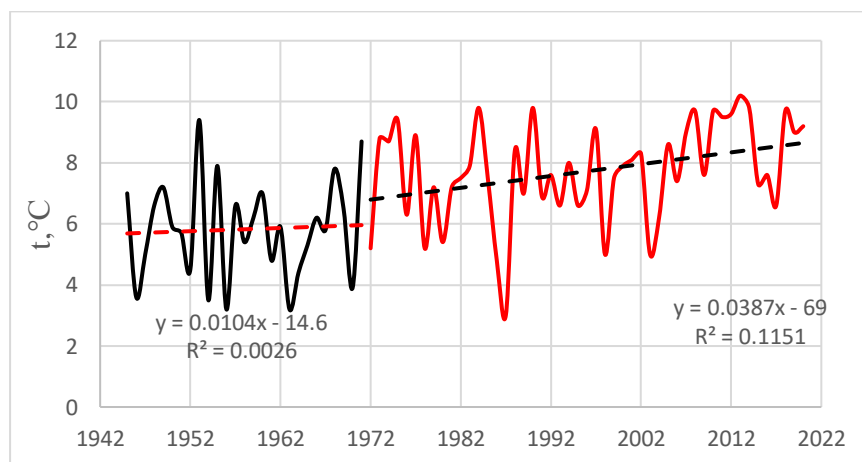


Рисунок 9. Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Якутск.

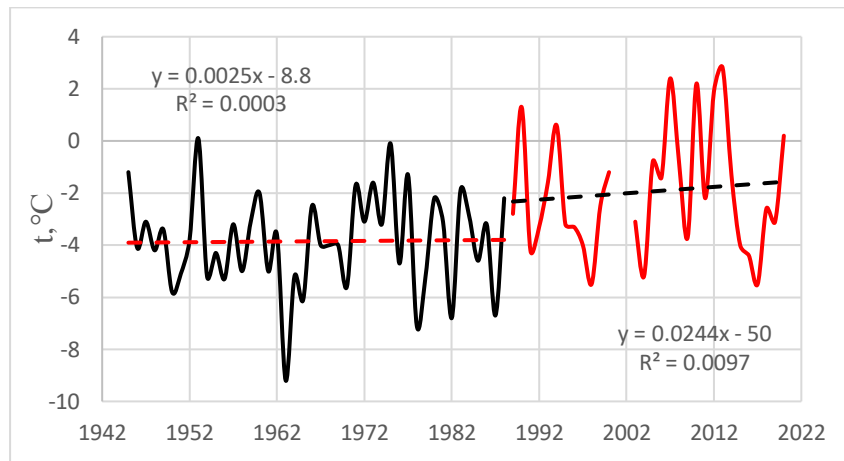


Рисунок 10. Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Кюсюр.

Таблица 8. Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах среднемесячных температур воздуха за май в период с 1985 по 2019 г.

Среднегодовые температуры воздуха за май			
№	Река – станция	1944-1984	1985-2019
		Значимость тренда	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	-	-
2	Лена - Олекминск	-	-
3	Лена - Якутск	-	+
4	Лена - Жиганск	-	+
5	Лена - Джарджан	-	-
6	Лена - Кюсюр	-	-

Таблица 9. Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах среднегодовых температур воздуха в период с 1985 по 2019 г.

Среднегодовые температуры воздуха			
№	Река – станция	1944-1984	1985-2019
		Значимость тренда	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	-	+
2	Лена - Олекминск	-	-
3	Лена - Якутск	-	+
4	Лена - Жиганск	-	-
5	Лена - Кюсюр	-	+

Климатические изменения привели к сдвигу сроков начала и окончания ледостава и как следствие – к изменению продолжительности периода навигации на постах, расположенных в среднем течении реки Лены. На этих постах за период с 1985 по 2019 г. наблюдается значимый положительный тренд в рядах продолжительности безледоставного периода. При этом точка перелома на суммарных кривых приходится на середину 85-х годов XX века, когда начался интенсивный рост температуры воздуха.

4. Расчет периода физической навигации

В соответствии с ГОСТ 26775-97 [12]: «период физической навигации – интервал времени от начала очищения водного пути ото льда до начала устойчивого ледообразования». Чтобы качественно оценить продолжительность навигационного периода, необходимо установить участки реки Лена, на которых проводится навигация. [10]

В ходе работы, анализ показал, что изменение климата не оказало существенного влияния на среднюю продолжительность весеннего и осеннего ледохода, поэтому при выполнении расчетов рассматривались только даты начала и окончания ледостава.

Анализ рядов продолжительности безледоставного периода, а также среднегодовых и среднемесячных температур показал, что все время наблюдений можно разбить на два периода с точкой перегиба в 1980-1990 гг.

Таблица 10. Средняя продолжительность периода физической навигации

№	Река – створ	Продолжительность физической навигации, Нфн		Δ, сут.
		1945-1997	1998-2019	
1	Лена - Пеледуй	147	150	3
		1962-1994	1995-2019	
2	Лена - Ленск	144	150	6
		1949-1983	1984-2019	
3	Лена - Саньяхтат	132	139	6
		1945-1999	2000-2019	
4	Лена - Сангар	132	138	7
		1945-1987	1988-2019	
5	Лена - Жиганск	126	131	5
		1945-1998	1999-2019	
6	Лена - Джарджан	117	122	5
		1945-1986	1987-2019	
7	Лена-Кюсюр	116	120	4

Весенний ледоход в южной части составляет 6 дней, в центральной 8, на северной части 10 дней. Период весеннего ледохода составляет 6-10

дней, что не влияет на период физической навигации.

Из таблицы 10 видно, что период физической навигации до и после перегиба изменился в пределах от 3 до 7 дней. Минимальное изменение произошло в створе Пеледуй, на юге рассматриваемой территории, максимальное – в створе Сангар.

5. Расчет изменения продолжительности безледоставного периода

5.1 Оценка значимости линейных трендов за безледоставный период

Оценка значимости линейных трендов выполнялась по методике, описанной в предыдущей главе.

Для каждого поста были построены хронологические графики: количество дней за безледоставный период (11-13). Оценка значимости производилась для хронологического графика продолжительности безледоставного периода.

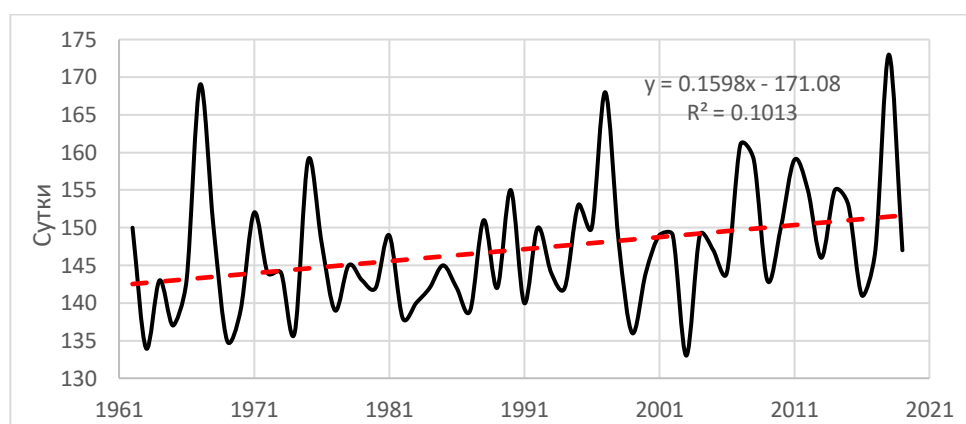


Рисунок 11 - Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Ленск.

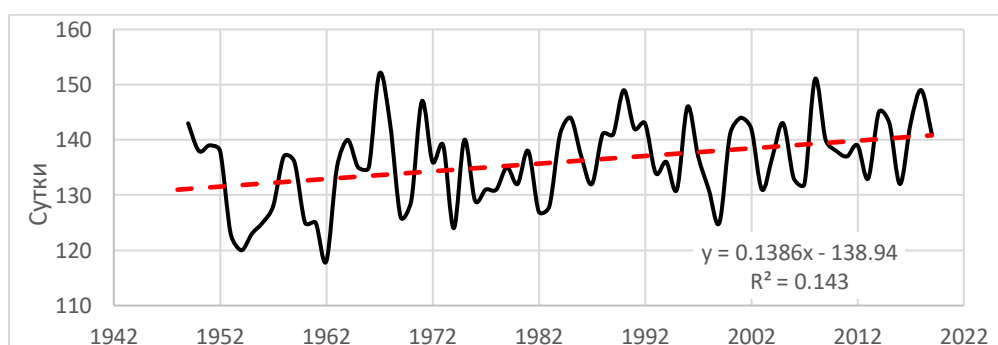


Рисунок 12 - Хронологический график продолжительности безледоставного периода р. Лена – п. Саньяхтат.

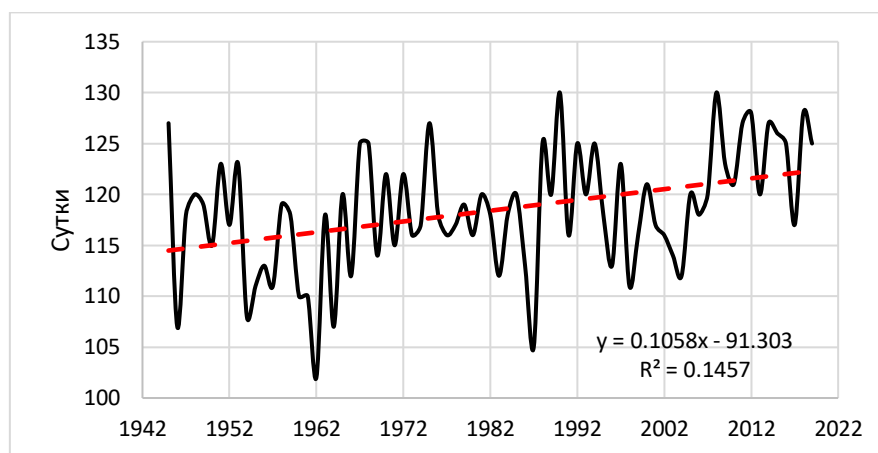


Рисунок 13 - Хронологический график продолжительности безледоставного периода р. Лена – п. Кюсюр.

Как видно из графиков, количество дней за безледоставный имеет тренд на повышение. На других постах можно видеть такую же ситуацию, что говорит о постепенном увеличении безледоставного периода на территории всей реки Лена [Приложение 6].

Таблица 11. Результаты оценки значимости линейных трендов рядов продолжительности безледоставного периода по всем постам.

№	Река – створ	R	SR	R/SR	t _{2α}	Значимость тренда
1	Лена - Пеледуй	0.16	0.11	1.42	2.00	–
2	Лена - Ленск	0.31	0.12	2.51	2.00	+
3	Лена - Саньяхтат	0.37	0.11	3.39	2.00	+
4	Лена - Сангар	0.44	0.10	4.20	2.00	+
5	Лена - Жиганск	0.40	0.11	3.80	2.00	+
6	Лена - Джарджан	0.18	0.11	1.53	2.00	–
7	Лена - Кюсюр	0.38	0.11	3.52	2.00	+

Как видно из таблицы, на большинстве гидропостов наблюдаются значимые тренды на увеличение безледоставного периода. Лишь у двух постов р. Лена – п.Пеледуй, р. Лена – п.Джарджан) тренды на значимы.

Как следствие можем сказать, что наблюдается значимый положительный тренд на увеличение безледоставного периода на территории всей реки, что соответствует трендам рядов температур.

5.2 Проверка рядов на однородность за безледоставный период

Проверка на однородность осуществлялась по той же методике, что описана в предыдущей главе. Она была проделана для рядов продолжительности безледоставного периода по всем постам при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Таблица 12. Результаты проверки на однородность рядов продолжительности безледоставного периода по всем постам при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – створ	Критерий Фишера			Критерий Стьюдента		
		F^*	$F_{2\alpha}$	$H_0: D_1 = D_2$	$ t^* $	$t_{2\alpha}$	$H_0: Q_1 = Q_2$
1	Лена - Пеледуй	1.47	1.93	Не опр	1.75	1.99	Не опр
2	Лена - Ленск	1.31	2.12	Не опр	2.24	1.99	Опр
3	Лена - Саньяхтат	1.73	1.96	Не опр	3.72	1.99	Опр
4	Лена - Сангар	1.14	1.94	Не опр	2.81	1.99	Опр
5	Лена - Жиганск	1.29	1.93	Не опр	2.81	1.99	Опр
6	Лена - Джарджан	1.67	1.96	Не опр	0.77	1.99	Не опр
7	Лена - Кюсюр	0.97	0.51	Опр	2.52	1.99	Опр

Данная проверка показала, что при использовании критерия Фишера при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ нулевая гипотеза об однородности ряда не опровергается для рядов всех гидропостов. При использовании критерия Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ гипотеза об однородности опровергается для всех рядов, кроме: р. Лена – п.Пеледуй, р. Лена – п.Джарджан. Это объясняется тем, что только у данных постов тренд не значим.

5.3 Анализ суммарных интегральных кривых за безледоставный период

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые $S = f(t)$;

На рис 14-16 в качестве примера показаны зависимости $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода. [Приложение 7]

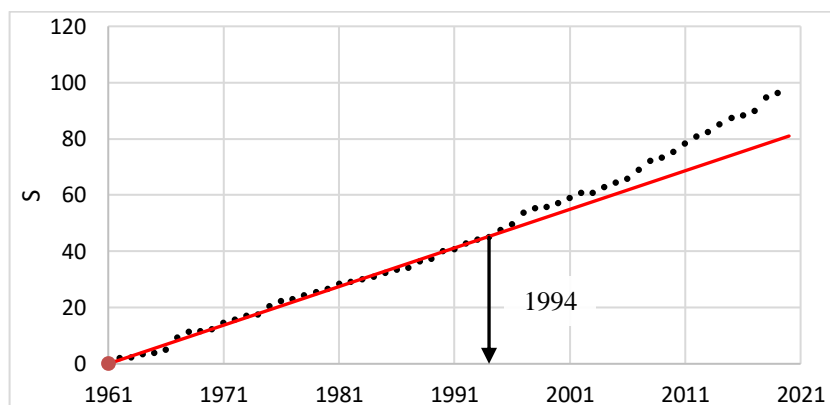


Рисунок 14. Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Ленск.

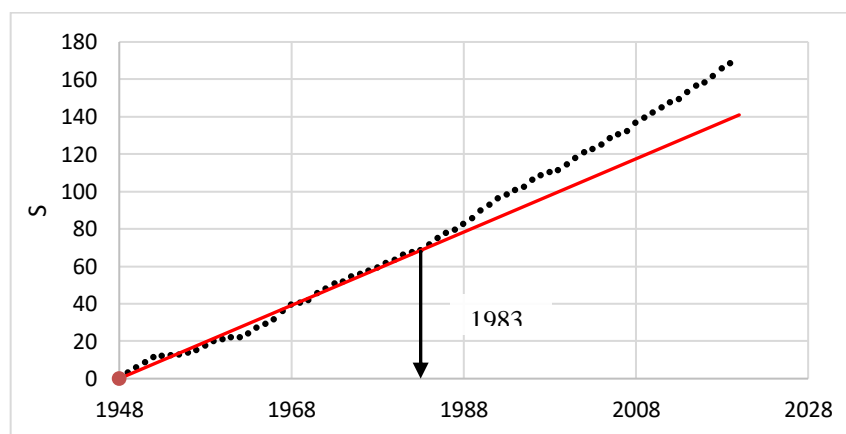


Рисунок 15. Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода р. Лена – п. Саньяхтат.

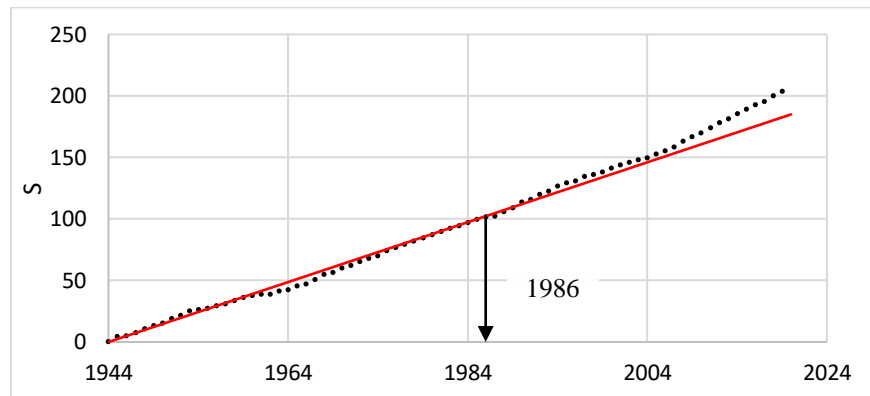


Рисунок 16. Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода р. Лена – п. Кюсюр.

На рисунке видно, что точка перелома на суммарной кривой приходится на 1985-1990 г. Именно тогда начался интенсивный рост температуры воздуха. Проверка значимости трендов после точки перелома показала, что тренды не значимы на постах Ленск и Саньяхтат.

5.3.1 Оценка значимости линейных трендов до и после перегиба за безледоставный период

На всех постах заметное смещение навигационного периода прослеживается с середины 1985-х годов XX века и продолжается до настоящего времени (рис.14-16). Проверка показала, что на интервале с 1944 по 1985 гг. ряды являются стационарными, а на интервале с 1986 по настоящее время содержат значимый тренд на повышение. [Приложение 8]

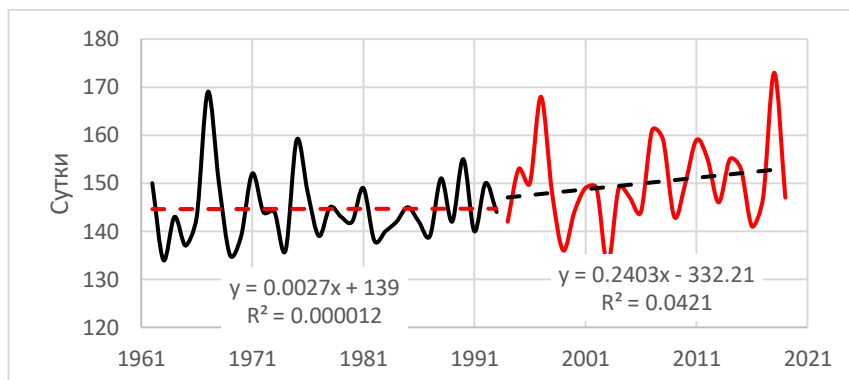


Рисунок 17. Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Ленск.

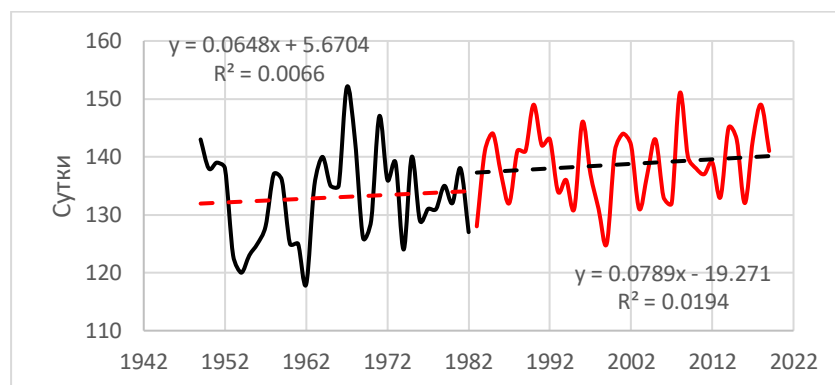


Рисунок 18. Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Саньяхтат.

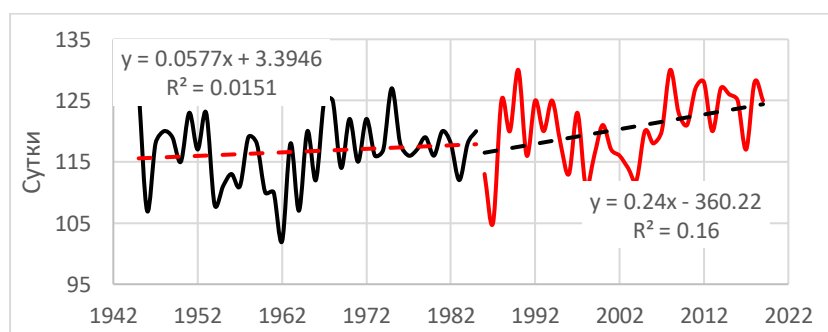


Рисунок 19. Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Кюсюр.

Таблица 13. Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах продолжительности безледоставного периода в период с 1985 по 2019 г.

Продолжительности безледоставного периода			
№	Река – станция	1944-1984	1985-2019
		Значимость тренда	Значимость тренда
1	Лена - Ленск	-	-
2	Лена - Саньяхтат	-	-
3	Лена - Сангар	-	+
4	Лена - Жиганск	-	+
5	Лена - Кюсюр	-	+

Климатические изменения привели к сдвигу сроков начала и окончания ледостава и как следствие – к изменению продолжительности периода навигации на постах, расположенных в среднем течении реки Лены. На этих постах за период с 1985 по 2019 г. наблюдается значимый положительный тренд в рядах продолжительности безледоставного периода. При этом точка перелома на суммарных кривых приходится на середину 85-х годов XX века, когда начался интенсивный рост температуры воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы было рассчитано изменение периода физической навигации на реке Лена. А также проанализировано его смещение. Климатические изменения привели к сдвигу сроков начала и окончания ледостава и как следствие – к изменению продолжительности периода навигации на постах, расположенных на реке Лена. На большинстве постов за период с 1945 по 2019 г, наблюдается значимый положительный тренд в рядах продолжительности безледоставного периода. При этом точка перелома на суммарных кривых приходится на 1985-1990 года, когда начался интенсивный рост температуры воздуха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
2. Горошков И.В. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 439 с.
3. Интернет-ресурс. <https://gmvo.skniivh.ru/> - система государственного мониторинга водных объектов.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. – Гидрометеиздат. Л.: – 1972 год. – 651 с.
5. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 35 с.
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
8. Интернет-ресурс. <http://elib.rshu.ru/> - электронная библиотека РГГМУ
9. Гидрологический ежегодник 1955 г том 8 Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского выпуск 0-7. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1960
10. Министерство транспорта Российской Федерации "Перечень судовых ходов, а также сроки работы средств навигационного оборудования в судоходных гидротехнических сооружениях в навигацию 2022 года" от 27.12.2021 № Ал-595-р
11. Интернет-ресурс. <https://meteo.ru/> - ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации)

6.ПРИЛОЖЕНИЯ

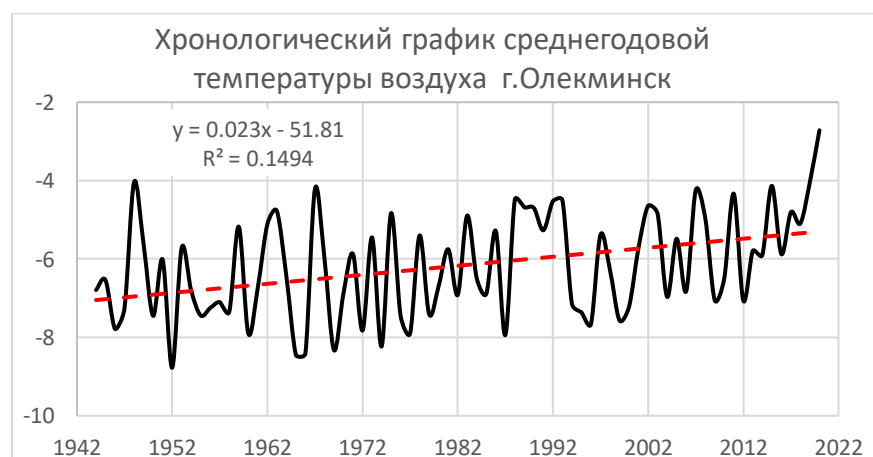
Приложение 1



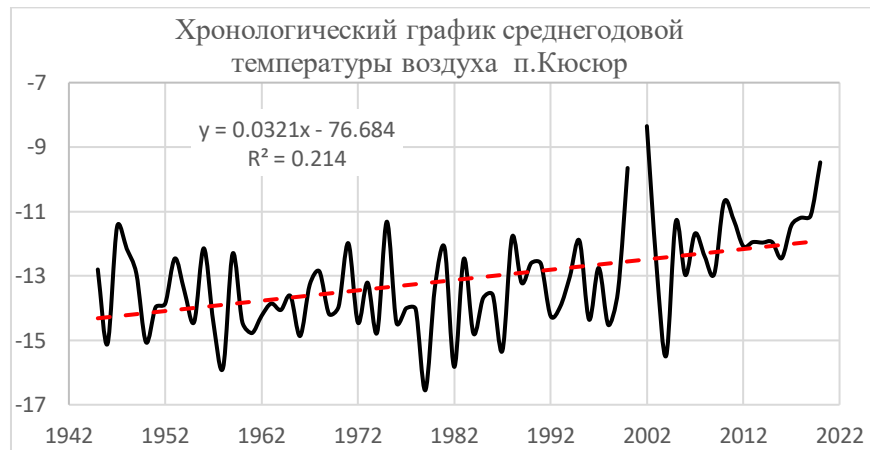
Хронологический график среднегодовой температур воздуха п.Джарджан



Хронологический график среднегодовой температур воздуха п.Жиганск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха г.Олекминск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха п.Кюсюр



Хронологический график среднегодовой температур воздуха г.Ленск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха г.Якутск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за май п.Джарджан



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за май п.Жиганск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за май г.Олекминск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь п.Джарджан



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь п.Жиганск



Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь г.Олекминск



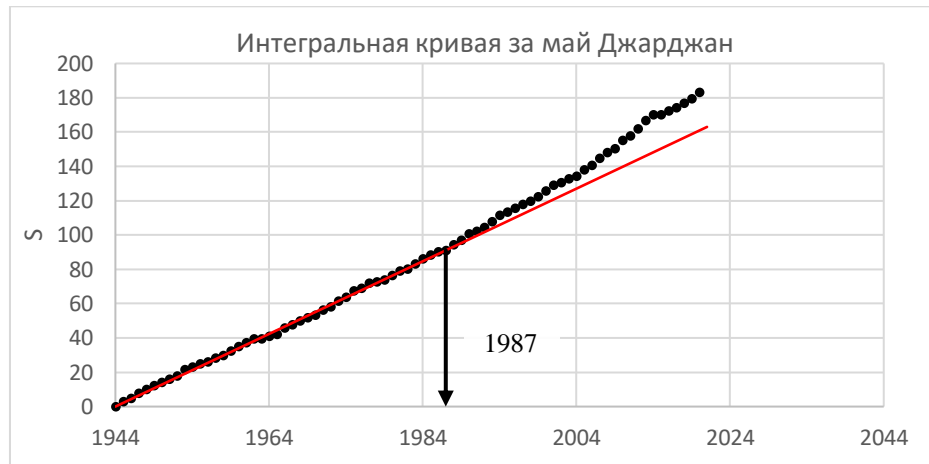
Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь п.Кюсюр



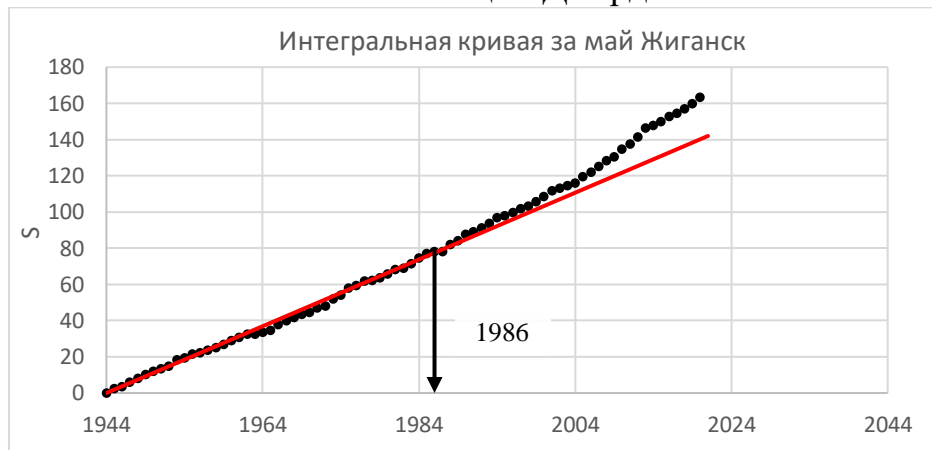
Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь г.Ленск



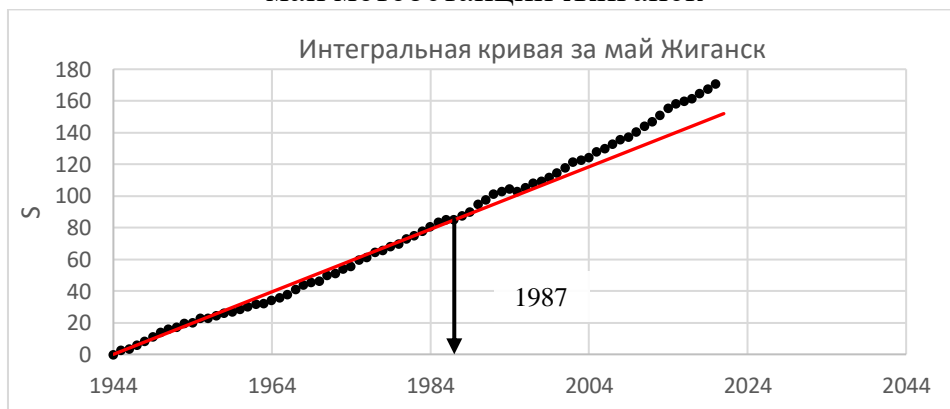
Хронологический график среднегодовой температур воздуха за октябрь г.Якутск



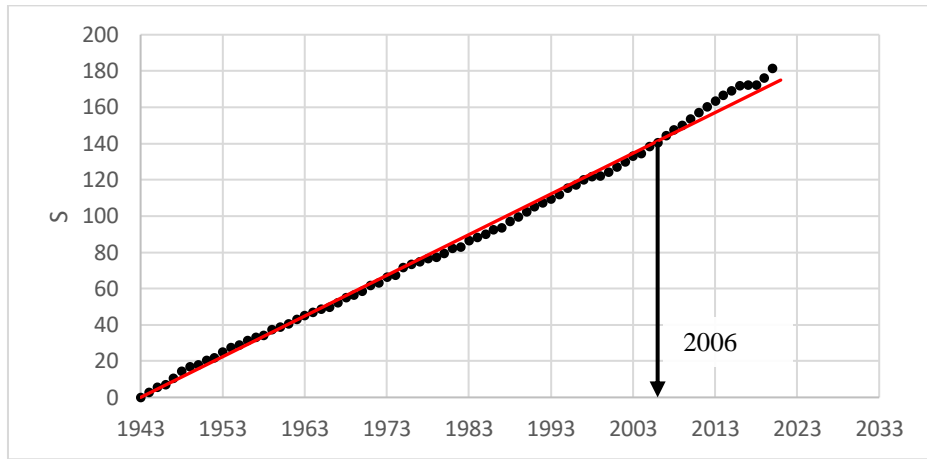
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха за май метеостанции Джарджан



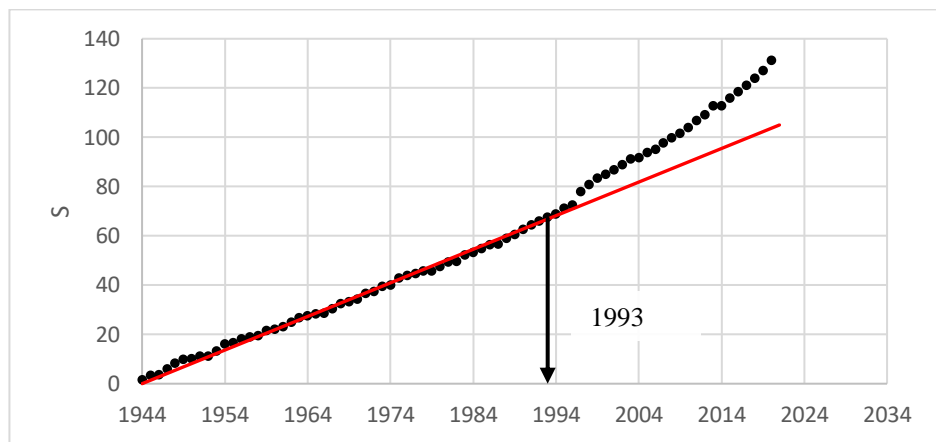
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха за май метеостанции Жиганск



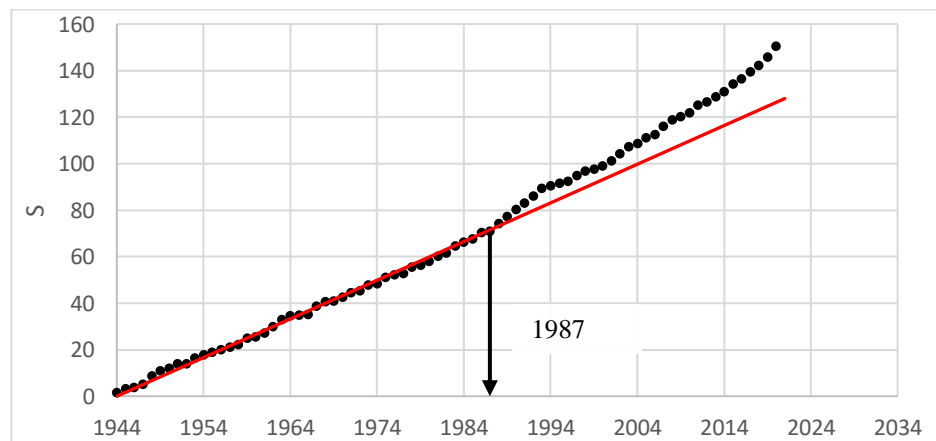
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха за май метеостанции Олекминск



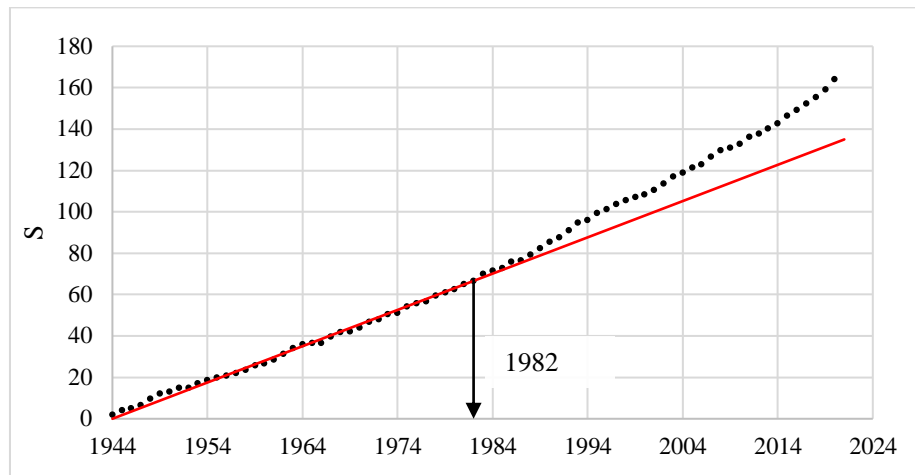
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Джарджан



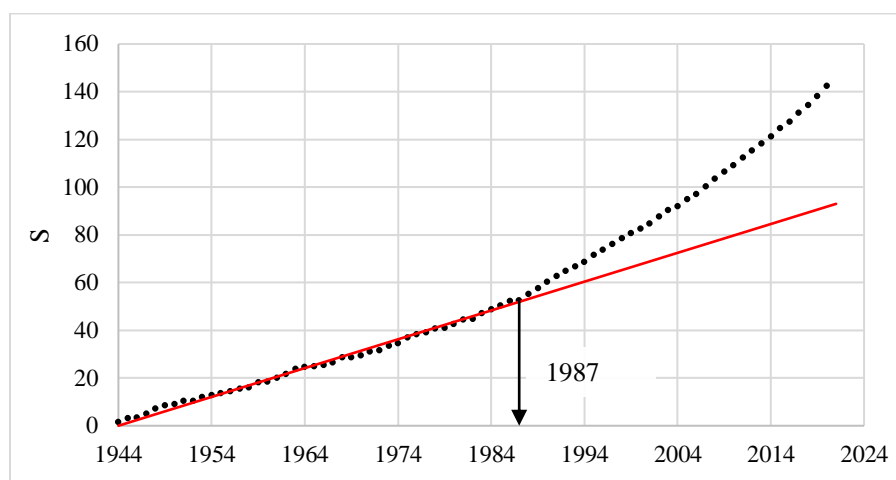
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Жиганск



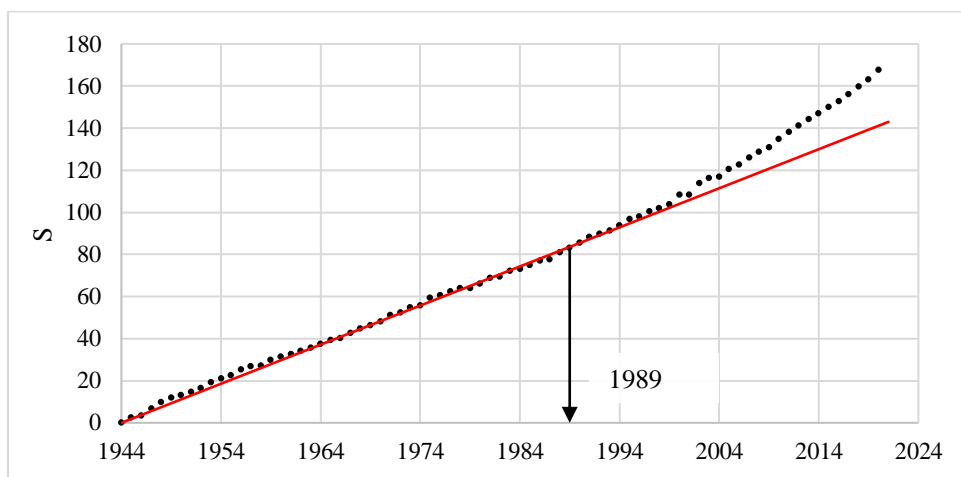
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Олекминск



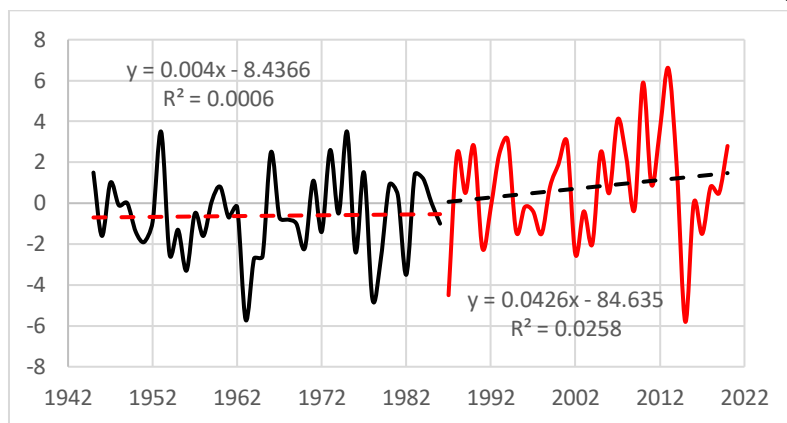
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Ленск



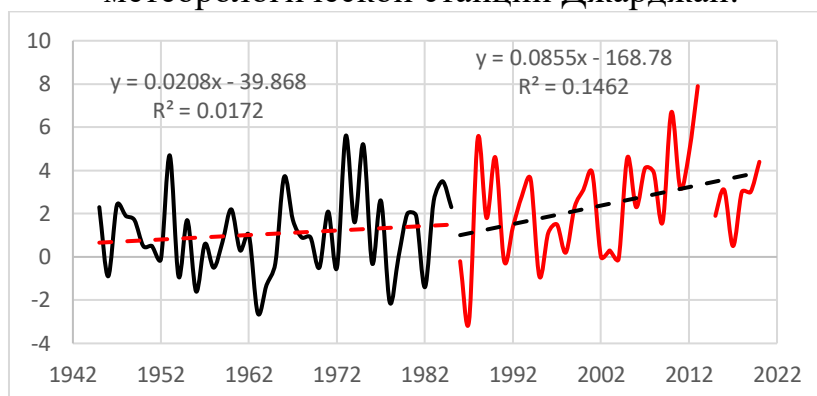
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Якутск



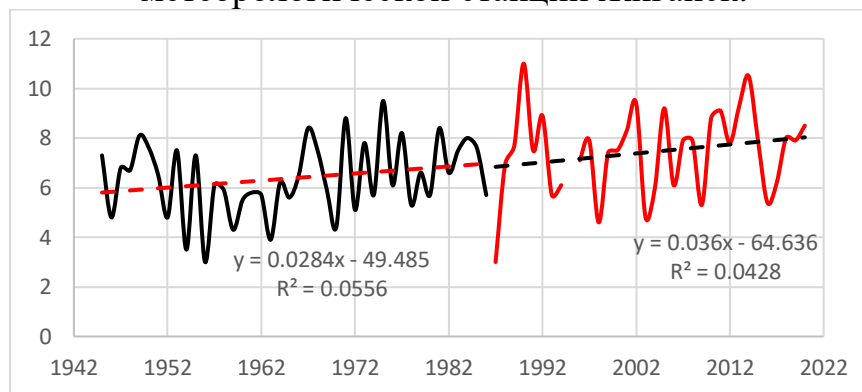
Суммарная кривая $S = f(t)$ ряда среднегодовых температур воздуха метеостанции Кюсюр



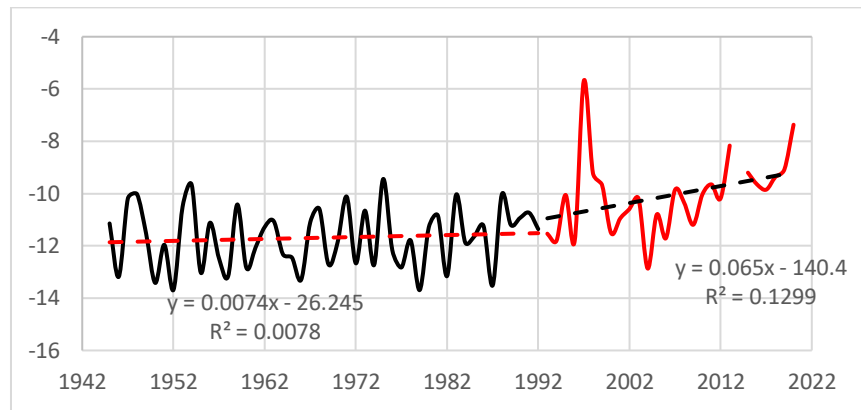
Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Джарджан.



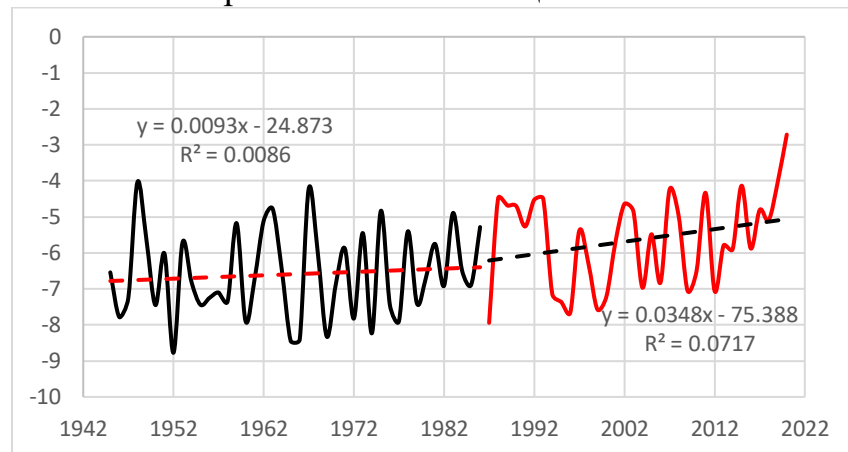
Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Жиганск.



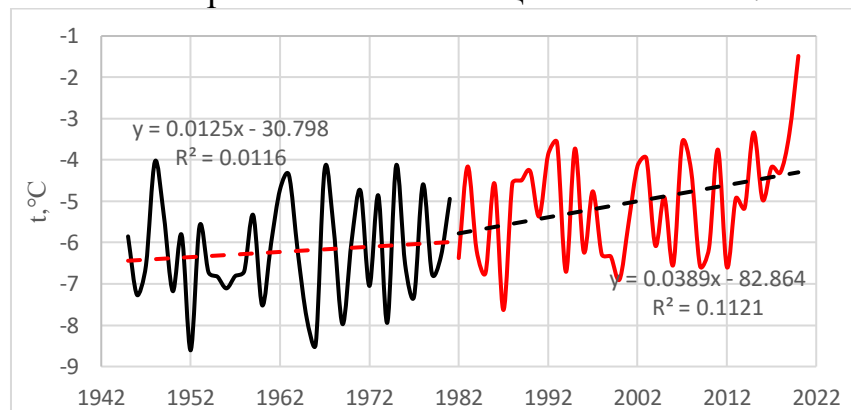
Хронологический график среднемесячных температур воздуха за май по метеорологической станции Олекминск.



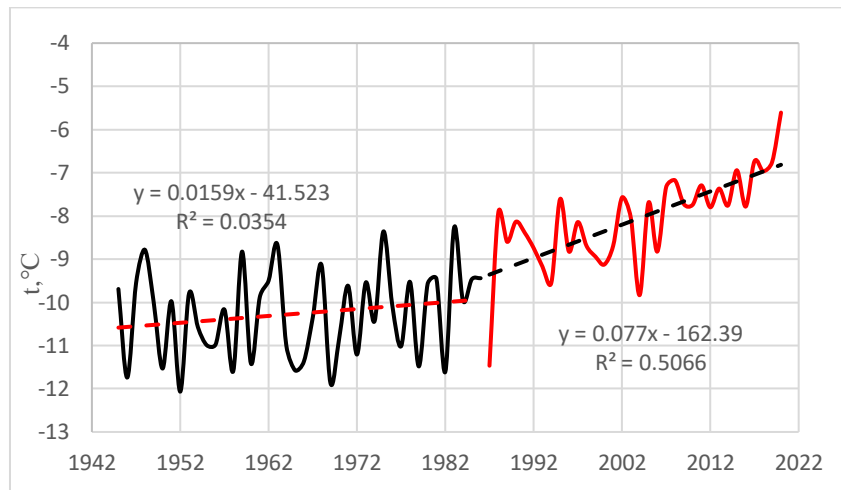
Хронологический график среднегодовых температур воздуха по метеорологической станции Жиганск.



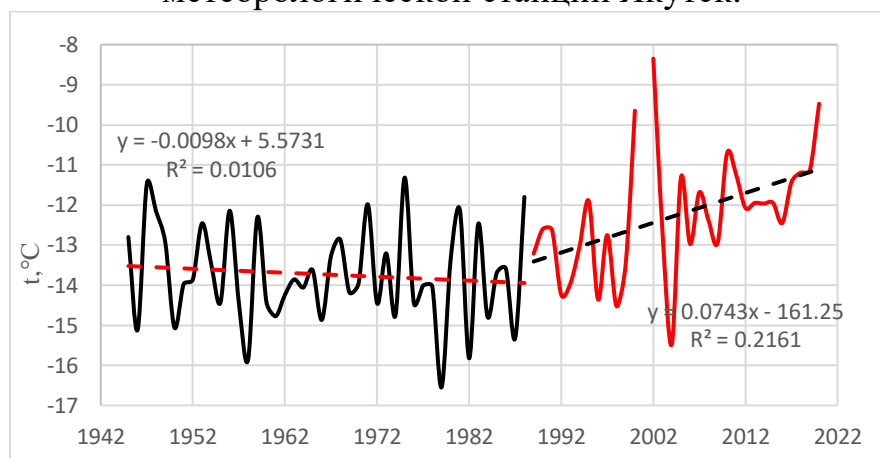
Хронологический график среднегодовых температур воздуха по метеорологической станции Олекминск.



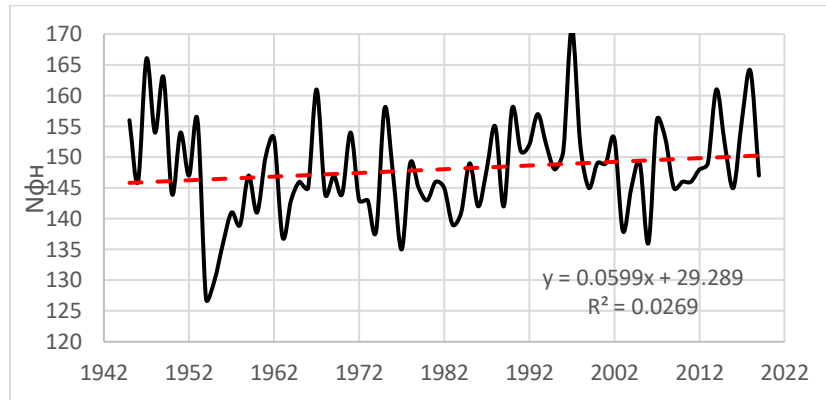
Хронологический график среднегодовых температур воздуха по метеорологической станции Ленск.



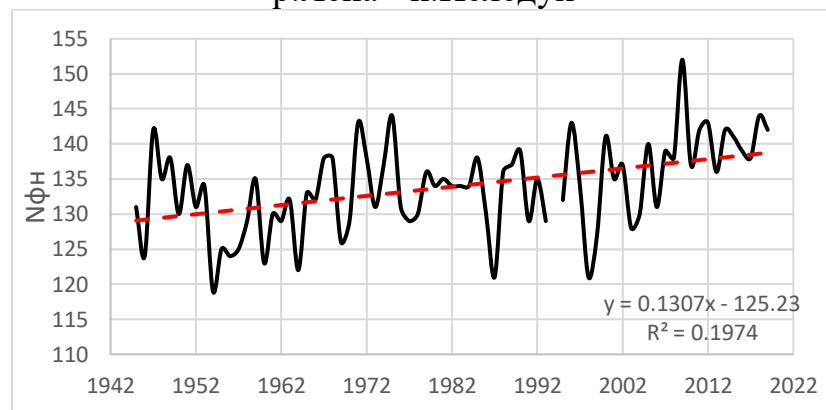
Хронологический график среднегодовых температур воздуха по метеорологической станции Якутск.



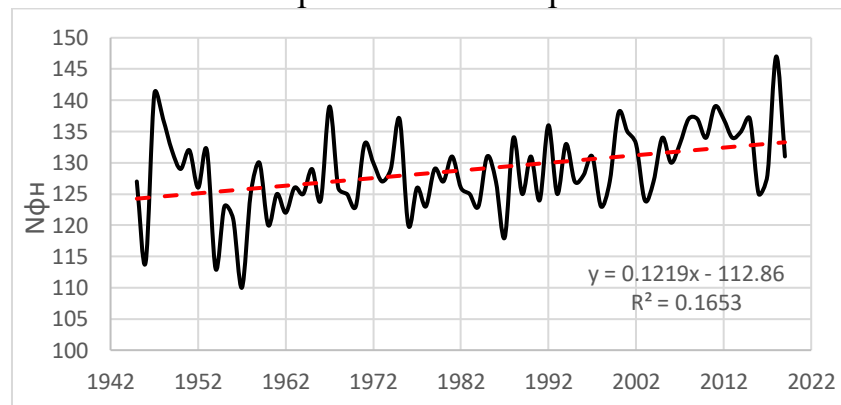
Хронологический график среднегодовых температур воздуха по метеорологической станции Кюсюр.



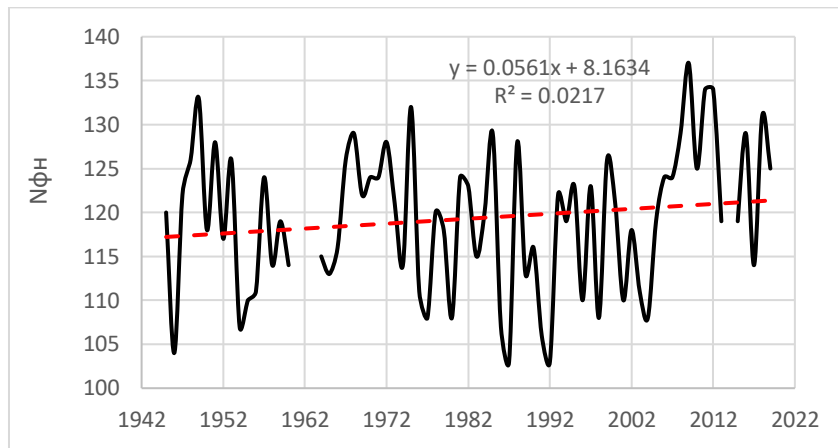
Хронологический график продолжительности безледоставного периода
р.Лена - п.Пеледуй



Хронологический график продолжительности безледоставного периода
р.Лена- п.Сангар

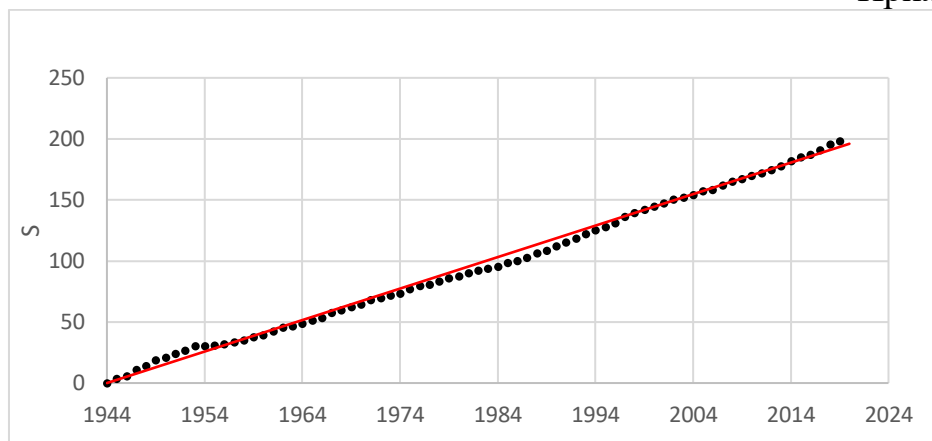


Хронологический график продолжительности безледоставного периода
р.Лена- п.Жиганск

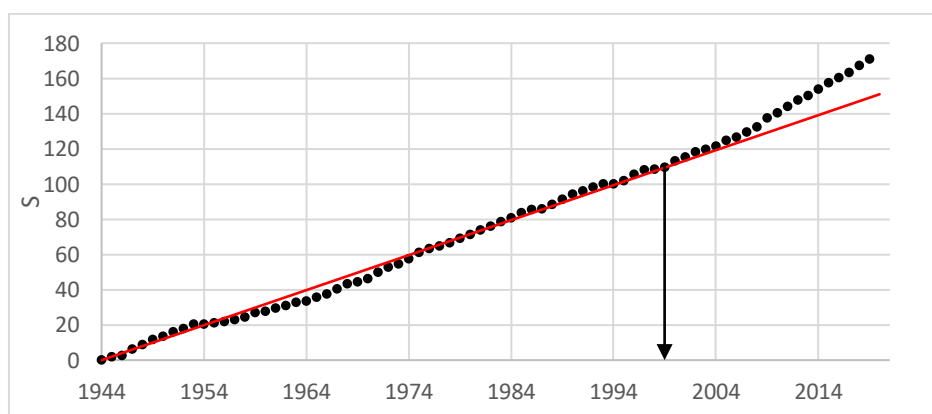


Хронологический график продолжительности безледоставного периода
р.Лена- п.Джарджан

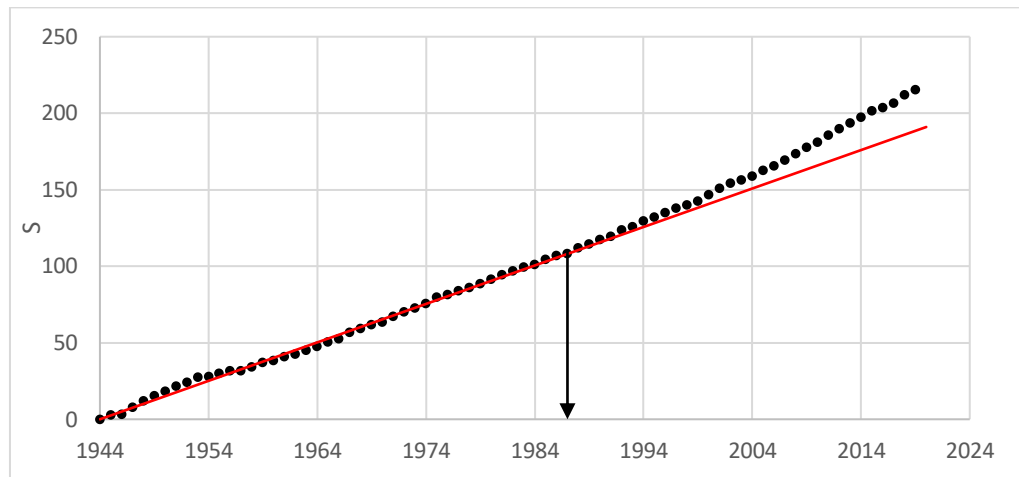
Приложение 7



Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода
р.Лена – п. Пеледуй.

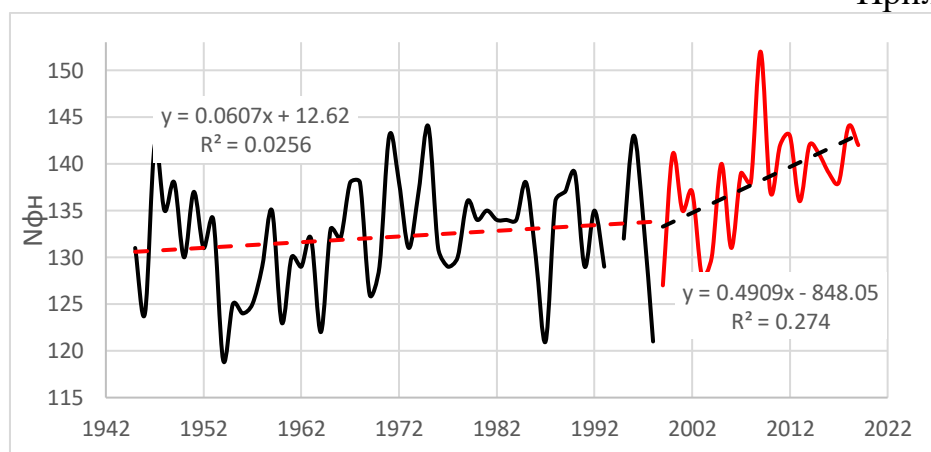


Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода
р.Лена – п.Сангар.

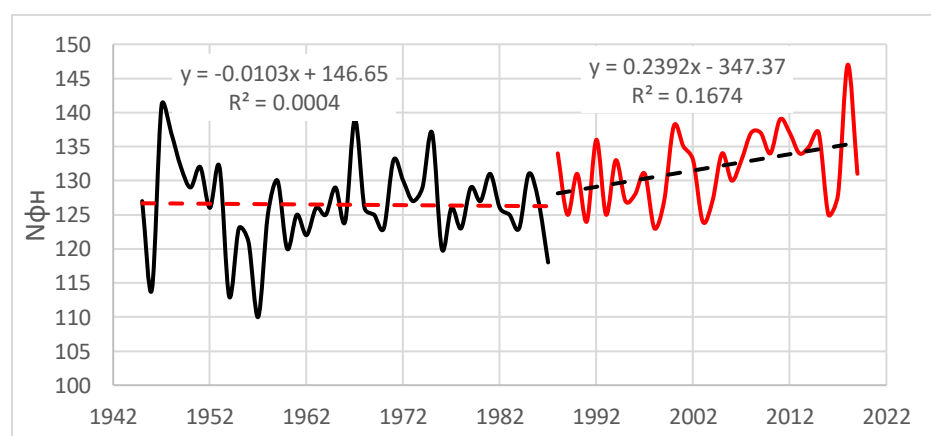


Суммарная кривая $S = f(t)$ продолжительности безледоставного периода р.Лена – п.Жиганск.

Приложение 8



Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Сангар.



Хронологический график продолжительности безледоставного периода р.Лена – п. Жиганск.