



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему Анализ и прогноз высших заторных
уровней на реках бассейна реки Печора

Исполнитель Семенова Дарья Артемиевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«06» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение	2
Глава 1. Физико – географическая характеристика района	4
1.1 Рельеф и геологическое строение.....	4
1.2 Почвы и растительность	7
1.3 Климат	8
1.3.1 Температура воздуха.....	10
1.3.2 Осадки	14
1.3.3 Снежный покров.....	17
1.4 Водный режим	18
1.5 Гидрография	19
1.6 Подземные воды.....	20
1.7 Ледовый режим	21
Глава 2. Сбор и анализ исходных данных.....	27
2.1 Характеристика гидрологических постов.....	27
2.2 Статистический анализ собранных данных.....	35
Глава 3. Влияние изменения климата на характеристики ледового режима рек бассейна Печоры.....	42
3.1 Анализ температурного режима в бассейне реки Печора за рассматриваемый период	42
3.2 Характеристики ледового режима и их изменения	49
3.2.1 Начало, окончание и продолжительность ледовых явлений и ледостава	50
3.2.2 Толщина ледяного покрова	58
3.2.3 Анализ высших уровней воды в начале ледостава, период весеннего половодья(заторы).....	62
Глава 4. Прогноз высших заторных уровней для р. Печора – с. Усть–Цильма	68
4.1 Методика прогноза высших заторных уровней В.А. Бузина.....	68
4.2. Уточнение методики прогноза высших заторных уровней воды для р. Печора – с. Усть–Цильма	77
Заключение.....	85
Список использованной литературы	87
Приложение А – Исходные данные для прогноза высших заторных уровней р. Печора – с. Усть-Цильма	90

Введение

Континентальный климат России приводит к образованию льда на реках, водохранилищах и озерах зимой и разрушению его весной. Многие процессы и явления, связанные с формированием и разрушением ледяного покрова, могут привести к опасным последствиям для населения и хозяйственных объектов, расположенных рядом с водными объектами. Весной, при возрастающей водности рек, заторы льда ограничивают водопропускную способность и вызывают быстрый рост уровня воды, в результате которого могут быть затоплены здания, дороги и сельхозугодья. На берегах и поймах образуются гигантские ледяные валы, способные повредить и даже разрушить, находящиеся здесь сооружения.

Магистерская диссертация посвящена анализу условий формирования заторов льда на реках бассейна Печоры и разработке методики прогноза высших заторных уровней.

Актуальность данной работы связана с тем, что в Северо-Западном Федеральном округе часто наблюдаются заторы льда, нередко вызывающие наводнения, приводящие к затоплению населенных пунктов, промышленных объектов и колоссальным материальным ущербам. Риску затопления подвержены и обширные территории, относящиеся к бассейну реки Печора.

Одной из ключевых проблем, влияющих на социальную и экономическую стабильность любой страны, является готовность её структур к борьбе с различными опасными природными явлениями. Важную роль в этом процессе играют мониторинг, контроль и прогнозирование опасных явлений, а также принимаемые меры по их предотвращению. Именно в этом заключается практическая значимость разработки актуализированной прогнозной методики в рассматриваемом речном бассейне.

Теоретической базой стали исследования российских и зарубежных ученых.

Целью настоящей диссертации является уточнение и разработка методики для прогнозирования высших заторных уровней на реках бассейна р. Печора.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- Оценка изменений климата в бассейне реки Печора
- Влияние изменений климата на характеристики ледового режима
- Анализ процесса образования заторов льда и обуславливающих его факторов на реках Европейской территории России
- Разработка и апробация методики, позволяющая спрогнозировать высшие заторные уровни на реке Печора в створе с. Усть-Цильма.

Научная новизна заключается в уточнении вкладов затороформирующих факторов, что позволит при использовании разработанной в диссертации методики более надежно прогнозировать значения высших заторных уровней, по сравнению с существующими методиками. Также стояла задача сократить число физически обоснованных предикторов прогнозного уравнения, не ухудшая качество прогноза.

Данная магистерская диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и приложений.

Глава 1. Физико – географическая характеристика района

Печорский речной бассейн, расположенный на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа, является важной частью транспортной водной системы этих регионов.

Печора – одна из крупнейших рек в Европейской части России, ее длина составляет 1809 км, а площадь бассейна – 322 000 км².

Свое начало берет река Печора на Северном Урале, неподалеку от всемирно известного плато Маньпупунер. В своем верхнем течении она имеет горный характер. После слияния с Усой река резко поворачивает на запад, образуя на карте две глубокие излучины. Здесь ширина ее русла достигает двух и более километров. Близ Усть-Цильмы Печора поворачивает на север и течет по направлению к Баренцевому морю. Заканчивается путь великой реки Русского Севера в Печорской губе. При этом образуется многорукавная дельта шириной до 45 километров. Ширина самой Печорской губы колеблется в пределах от 40 до 120 км. [10]

Печора проходит через красивые природные ландшафты – горы, леса и равнины. Река является важным источником пресной воды и рыбы для местного населения и индустрии. На берегу реки Печора расположены крупные города: Вуктыл, Печора, Щельяюр, Усть-Цильма, Нарьян-Мар.[22]

1.1 Рельеф и геологическое строение

В карбоновом периоде около 300 млн. лет назад, Главный водораздел Русской равнины протекал по линии, соединяющей устья Мезени, Северной Двины и Вытегры, но водотоки того времени текли на восток к расположенному на месте Уральских гор морю. Около 200 млн. лет назад сток поверхностных вод на территории современного Северного края начал смещаться на север после образования Уральских гор в конце пермского

периода. Русская равнина была поделена на северный и южный склоны еще через 100 млн. лет в меловом периоде мезозойской эры, когда были сформированы основные формы рельефа и гидрографическая сеть, близкие к современным. Однако часть рек исчезла во время ледниковой эпохи, а другие изменили направление своего течения. Северные Увалы были подвержены наиболее значительной перестройке, расположенной на ее территории гидрографической сети, связанной с краевой зоной ледника. В результате реки Волжского бассейна стали длиннее, а реки Северо-Двинского и Печорского – короче.[22]

Буровые работы подтвердили сдвиг Главного водораздела Русской равнины после отступления Московского ледника на север. В районе Чусовского озера на южном склоне равнины были обнаружены древние речные долины, уклон которых направлен на север. Гидрографическая сеть изменилась значительно и на водораздельном участке между бассейном Волги и Сухоны. После отступления ледника большое Кубено-Сухонское озеро было спущено, и три реки потекли: две в Волжский бассейн, а одна в Северо-Двинский. Уфтюга, впадавшая в озеро, стала короче, так как была верховьем Сухоны до оледенения. Долины прарек были обнаружены на глубине 120 м под слоем четвертичных отложений в низовьях Северной Двины и на глубине 100–180 м в низовьях Печоры. Направление долин крупных рек Северного края местами совпадает с направлением доледниковых речных долин.

Формирование современной речной сети и рельефа Северного края было обусловлено наступлением льдов во время оледенений и морскими наступлениями в межледниковые периоды. Последняя крупная морская трансгрессия произошла между Московским и Валдайским оледенениями. В бассейнах Онеги, Мезени и Печоры под водой оказалась значительная территория. Бореальное море выровняло и сгладило следы предшествующих оледенений, поэтому в современном рельефе Северного края следы ледника сохранились только в верховьях Северной Двины и Печоры, а также в бассейне

Онеги. Буровые работы показали наличие двух слоев морены (днепровского и московского оледенений) в долине пра-Двины и трех слоев морены (днепровского, московского и валдайского оледенений) в долине пра-Онеги.

Реки Северного края молоды по сравнению с реками южного склона Русской равнины, так как возраст их составляет несколько тысячелетий, а не миллионы лет. Береговая линия морей, в которые они впадают, сформировалась геологически недавно. После отступления Валдайского ледника образовалось ледниковое озеро, которое соединилось с полярным морем около 10 тысяч лет назад. Прародитель Белого моря был намного большего размера, охватывая котловины Ладожского и Онежского озер, полуостров Канин, а также нижнее течение Онеги, Северной Двины и Мезени. Регрессия Белого моря началась около 5 тысяч лет назад, и береговая линия определила свои современные очертания только со временем.[10]

Северный край на сегодняшний день представляет собой постепенно понижающуюся равнину со слабыми волнениями, достигающую Северного Ледовитого океана, при этом единственным заметным подъемом является Тиманский кряж. Он состоит из нескольких плоских гряд, «камней», тянущихся от Чешской губы до верховья реки Вычегды, где он приближается к отрогу Уральских гор - Полюдову Камню. Наивысшая точка Тиманского кряжа – гряда Четласский Камень – находится на высоте 463 м над уровнем моря. Северная часть кряжа является водоразделом между Мезенью и Печорой, а южная часть водоразделом между Печорой и притоком Северной Двины - Вычегдой. Однако истоки некоторых притоков Печоры, таких как Цильма и Косьма, находятся на западном склоне Тиманского кряжа, а истоки Вычегды – на восточном склоне, а ее правый приток Вымь – в верховьях между двумя грядами к востоку от Четласского Камня. Высоты Северных Увалов, ограничивающих Северный край с юга, не превышают 300 метров над уровнем моря.

Рельеф Северного края идеально подходит для водных путей, поскольку его водоразделы сглажены и верховья рек разных бассейнов разделены часто

лишь несколькими километрами. Даже через хребты древних Уральских гор, ограничивающих Северный край с востока, в конце XIX века искались водные пути сообщения.

На территории Северного края Уральские горы делятся на: Полярный, Приполярный и Северный Урал. Наиболее высокие вершины расположены в приполярном Урале, такие как Народная, Карпинского и Манарага. На северных склонах и в цирках находятся многолетние снежники и ледники. [10]

1.2 Почвы и растительность

Большая часть почв на территории Северного края являются подзолистыми, супесчаными или суглинистыми, а иногда могут быть песчаными или торфянистыми.

В тундрах на севере полярного круга преобладают глеево-болотные почвы, а широтная зональность изменяется из-за горного рельефа и неровности местности.

В лесной зоне чаще всего встречаются подзолы на песках и глеево-подзолистые почвы на суглинках. Также имеются обширные торфяники на плоских водоразделах. В тундре почвы формируются на основе рыхлых наносов в условиях низких температур, недостатка кислорода и застоя влаги, поэтому они образуются по типу болотно-глеевых.

На горно-тундровых почвах на западном склоне Урала формируются на обломках коренных пород и имеют мощность от 40 до 60 см, а в высотных частях склонов распространены горно-тундровые почвы, мощность которых составляет от 5 до 15 см.

На рассматриваемой территории основной растительный покров состоит из хвойных лесов, а на север от полярного круга - из лесотундрового редколесья, мхов и лишайников с кустарниковыми зарослями. Хвойные леса

состоят в основном из елей с добавлением берез, сосен и иногда осин. Лесистость водосборов в тайге выше 80%, а в некоторых местах даже достигает 95-99%.

Сосновые леса широко распространены и обычно находятся на обширных речных террасах. На северной границе таежной зоны леса становятся более редкими из-за суровых климатических условий и большего количества болот. На юго-западной окраине территории, где тепло и сухо, есть еловые или елово-пихтовые леса с добавлением липы. [24]

Болота, которые расположены в тундровой зоне, являются прежде всего реликтами, при этом большинство из них находится под угрозой разрушения, хотя другие болота связаны с современными процессами образования болот.

Обычно болота на рассматриваемой территории мелководные и состоят главным образом из мхов и осоки. В таежной зоне часто можно найти выпуклые верховые сфагновые торфяники.

Растительность в травяно-кустарниковом слое болот включает такие растения, как пушица, шейхцерия, очеретник, багульник, подбел, кассандра, голубика и клюква, а также угнетенные сосны.[22]

1.3 Климат

По строительно-климатическому районированию в соответствии с СП 131.13330.20120 «Строительная климатология» Ненецкий автономный округ относится к зоне 1Г. [24]

Ненецкий автономный округ находится в зоне с отрицательным годовым температурным балансом. В округе выделяются два крупных района: полярный, расположенный на юге, и субарктический, занимающий северо-восточную часть территории. Субарктический район подразделяется на

западный, с морским климатом, и восточный, с более континентальным климатом и суровой зимой.

Полярный район занимает значительную часть территории Ненецкого автономного округа и имеет все четыре времени года: длительную холодную зиму, очень короткую весну, короткое лето и продолжительную сырую осень. Северная граница полярного района проходит севернее поселка Несь, затем от села Нижняя Пеша идет на г. Нарьян-Мар, а дальше на восток на Хорей-Вер и Харуту. Южная граница совпадает с административной границей округа.

Субарктический район включает северную и восточную части территории округа, о. Колгуев и о. Вайгач. Западный район имеет более мягкую зиму, прохладную длительную весну и короткое лето. Восточный район характеризуется суровым климатом с длинной морозной зимой, коротким летом и длительной осенью.

Климат прибрежных районов сильно подвержен влиянию морских дрейфующих льдов и течений. На западе территории на климат оказывает влияние одна из ветвей Гольфстрима, отепляющее действие которой простирается практически до полуострова Канин и Чешской губы. Благодаря этому море в этом районе редко замерзает даже зимой.

Расположенная на северо-востоке Европейской части России, Республика Коми охватывает несколько территорий, включающих Печорскую и Мезенскую низменности, Средний и Южный Тиман и западные склоны Уральских гор.[26]

В соответствии с климатическим районированием территории России для строительства республика расположена в пределах трех строительно-климатических подрайонов: 1Г, 1Д и 1В.

Подрайон 1Г, включающий тундру и лесотундру, характеризуется суровой длительной зимой (до 8 месяцев), с сильными ветрами и большими объемами снегопереноса, холодным, влажным и коротким летом. Относится к подзоне значительного ультрафиолетового дефицита с очень коротким периодом активной солнечной радиацией (до 3 месяцев).

Центральная часть республики относится к строительно-климатическому подрайону 1Д, подзоне северной тайги с еловыми, большей частью заболоченными лесами и болотами. Данная территория характеризуется суровой длительной зимой (7–7,5 месяцев), прохладным и влажным летом, период ультрафиолетового дефицита продолжается свыше 6 месяцев.

Между 62° с.ш. и 60° с.ш. располагается подзона средней тайги, а далее к югу – южной тайги. Данная территория по комплексу природно-климатических факторов отнесена к строительно-климатическому подрайону 1В, характеризующемуся умеренно суровой снежной зимой, умеренно теплым летом, отсутствием вечномерзлых грунтов. Это подзона ультрафиолетового дефицита в течение 4–5 месяцев и биологически активной радиацией до 5 месяцев (130 и более дней).[24]

1.3.1 Температура воздуха

Для изучения климатических особенностей в исследуемом бассейне были выбраны метеостанции, расположенные в городах Нарьян-Мар, Усть-Цильма и Печора.

Среднегодовая температура воздуха изменяется от 3°С на юго-западе до –8°С на северо-востоке. Январь является самым холодным периодом на основной части бассейна, в прибрежных районах – февраль. В течение особо свирепых зим средняя суточная температура воздуха может достигать –45°С на юго-западе, –41, –44°С на побережье Баренцева моря и –50, –56°С на остальной территории. Наивысшие температуры обычно наблюдаются в июле-августе, на юго-западе они могут достигать 35°С, а на побережьях моря – 25–30°С. Переход температуры воздуха через ноль в юго-западных районах происходит в начале апреля, а на северо-востоке – в середине мая. В годы с холодными веснами температура воздуха может понижаться до –13, –16°С.

Начинается летний период на юго-западе во вторая-третья декада мая, а на остальной территории это третья декада мая. Только в малочисленные дни на северо-востоке температура поднимается выше 10°C. В самые жаркие летние дни средняя месячная температура воздуха колеблется от 4°C на севере до 17°C на юге территории.

Осень наступает в начале сентября на юго-западе и во второй декаде августа на северо-востоке. К концу сентября температура уже опускается до 5°C на большей части бассейна Печоры, а в середине месяца могут наблюдаться отрицательные величины. В осенние месяцы преобладает прохладная и облачная погода с осадками и усилением ветра.

Зимний период начинается во второй-третьей декаде октября. На юго-западе он более мягкий, на северо-востоке же зима более продолжительная и суровая. Каждую зиму бывают дни с оттепелью. В ноябре они могут задерживать образование стабильного снежного покрова.

В таблице 1.1 представлены средние месячные температуры воздуха по метеостанциям: г. Нарьян-Мар, г. Печора, г. Усть-Цильма. Для оценки влияния изменения климата посчитаны средние значения за два периода: с начала наблюдений до 1980 года и с 1981 по 2022 год.

Из анализа таблицы 1.1 следует, что, начиная с 1981 года наблюдается рост средних месячных и годовых значений температуры воздуха по всем рассматриваемым метеостанциям. Наиболее ярко изменение температуры заметно на метеостанции г. Нарьян-Мар в период с февраля по июль. (рисунок1.1).[20]

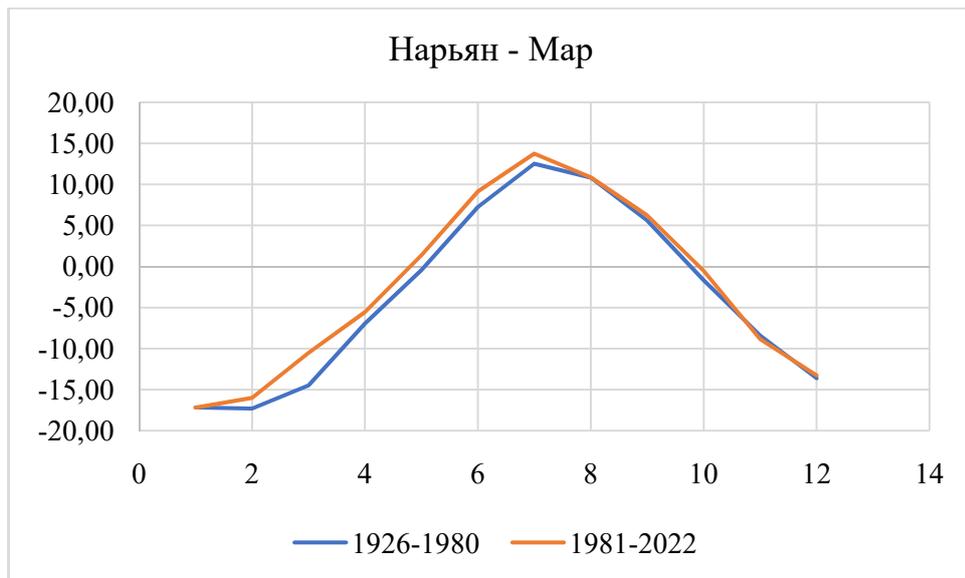


Рисунок 1.1 – Среднемесячные температуры воздуха за периоды: 1926–1980 гг.
и 1981–2022 гг.

Таблица 1.1 – Средняя месячная и годовая температура воздуха

Метеостанция	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Нарьян-Мар	1926–2022	–17,18	–16,75	–12,77	–6,34	0,35	8,07	13,05	10,85	5,87	–1,18	–8,59	–13,46	–3,18
	1926–1980	–17,17	–17,31	–14,48	–6,94	–0,43	7,26	12,53	10,84	5,60	–1,67	–8,40	–13,61	–3,65
	1981–2022	–17,20	–16,02	–10,53	–5,55	1,38	9,14	13,74	10,86	6,22	–0,53	–8,85	–13,27	–2,56
Печора	1944–2022	–18,5	–17,2	–10,1	–2,6	4,1	11,8	15,8	12,3	6,6	–1,0	–10,0	–15,3	–2,0
	1944–1980	–18,8	–18,1	–11,6	–2,9	3,3	11,0	15,3	12,4	6,3	–2,0	–10,2	–15,7	–2,6
	1981–2022	–18,2	–16,5	–8,7	–2,4	4,8	12,5	16,2	12,3	6,8	–0,1	–9,8	–15,0	–1,5
Усть-Цильма	1920–2022	–16,76	–15,36	–9,44	–2,31	4,02	11,24	14,95	12,15	6,49	–0,68	–8,07	–13,59	–1,45
	1920–1980	–16,76	–15,76	–10,58	–2,69	3,38	10,77	14,52	12,22	6,27	–1,24	–7,86	–13,79	–1,80
	1981–2022	–16,77	–14,78	–7,79	–1,75	4,95	11,93	15,57	12,05	6,80	0,12	–8,38	–13,29	–0,95

1.3.2 Осадки

Рассматриваемая территория находится в зоне избыточного увлажнения, с годовым количеством осадков, изменяющимися от 500–600 до 750–800 мм примерно от северо-востока до юга-запада. Рельеф местности оказывает влияние на распределение осадков, причем на наветренных склонах возвышенностей осадки становятся больше, а на подветренных – снижаются. Например, у западных склонов Урала выпадает до 1000 мм осадков и более в год, а у наветренных склонов Коношско-Няндомской возвышенности – до 750–780 мм.

В течение года количество осадков распределено неравномерно. Большая их часть (65–70 %) приходится на теплый период года. Примерно 400 мм осадков наблюдается на северо-востоке территории, а на юго-западе – около 500 мм.[22]

Таблица 1.2 включает в себя данные о средних суммах осадков по месяцам, сезонам и за год на исследуемых метеостанциях. Минимальное количество осадков наблюдается в феврале, а максимальное – в июле — августе. Однако, в некоторые годы месячные количества осадков могут значительно (на величину до 200 %) отклоняться от нормы. Анализируя таблицу 1.2, можно сделать вывод, что в последние годы с 1981 по 2022 значения месячных сумм осадков увеличились.[20]

В среднем, на побережье Баренцева моря, количество дней с осадками 0,1 мм и более составляет 180–190, а на остальной территории бассейна Печоры – 200–210. Количество дней с осадками 10 мм и более меняется незначительно. Суточные наивысшие осадки обычно наблюдаются летом и достигают 60–80 мм.

В летнее время суточные наивысшие осадки наблюдаются при ливнях, связанных с прохождением фронтов. Осенне-зимний период характеризуется более продолжительными и слабыми осадками.

В течение года доля жидких осадков составляет 50–60 %, твердых – 25–30 %, а смешанных –10–15%.

Таблица 1.2 – Средние, сезонные и годовые суммы осадков

Метеостанция	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	XI–III	IV–X
Нарьян-Мар	1926–2022	27	20	23	25	33	44	49	65	58	48	37	30	458	244	322
	1926–1980	24	18	20	23	30	40	46	60	58	46	36	27	427	230	302
	1981–2022	30	24	26	29	37	49	54	71	57	50	39	35	499	262	347
Печора	1944–2022	39	31	31	34	43	60	62	73	67	62	50	44	597	325	402
	1944–1980	37	29	30	33	42	48	54	69	73	61	49	40	563	318	380
	1981–2022	41	32	32	36	44	71	69	76	62	63	52	48	626	331	421
Усть-Цильма	1920–2022	33	25	27	31	43	58	63	67	65	58	42	37	547	287	384
	1920–1980	31	23	27	31	43	55	61	63	67	57	42	35	533	280	377
	1981–2022	36	28	28	30	43	62	65	73	62	60	43	40	568	297	394

1.3.3 Снежный покров

Обычно снежный покров появляется на большей части бассейна Печоры в конце сентября – начале октября, а на юге – в третьей декаде октября. Первый снег обычно тает во время оттепелей. Устойчивый снежный покров формируется в конце ноября, но в горах Урала он обычно появляется в начале октября.

Наибольшая высота снежного покрова обычно достигается во второй или третьей декаде марта. На защищенных лесных участках его высота составляет от 75 до 85 сантиметров, в то время как на открытых участках высота снега может быть на 10–20 см меньше. В предгорьях Урала высота снежного покрова может достигать 100–150 см и более.[10]

Обычно снег сходит на большей части территории к концу апреля – началу мая, а в предгорьях и горах Урала - к середине мая. Количество дней со снежным покровом варьируется в зависимости от местоположения: на побережье – от 200 до 230 дней, во внутренних районах - от 170 до 200 дней, на юге – от 160 до 170 дней.

Плотность снежного покрова меняется от 22–25 кг/м³ в лесной зоне до 32–34 кг/м³ в тундре. К началу снеготаяния, запас воды в снежном покрове составляет 140–200 мм в лесу и 120–180 мм на просторах поля и болот. Наибольшие запасы снега обычно встречаются в предгорьях и на горах Урала – от 300 до 400 мм и более.

Промерзание почвы и грунта обычно начинается в конце октября – начале ноября, в то же время полное оттаивание происходит в первой декаде мая на большей части территории. Наибольшая глубина промерзания обычно наблюдается в феврале-марте и достигает 120–200 см, а на северо-восточной окраине – до 240 см. В теплые зимы почва промерзает всего на 30–40 см.[22]

1.4 Водный режим

В «Гидрологическом словаре» А. И. Чеботарев определяет реку как водный поток, обычно постоянный, сравнительно больших размеров, питающийся стоком атмосферных осадков с водосбора. Однако, не все выпадающие осадки превращаются в сток рек, так как часть их испаряется. Также осадки являются источником питания подземных вод, поэтому в бассейне реки Печоры небольшая доля осадков стекает в реки.[27]

Однако, количество выпадающих осадков не постоянно, и периоды маловодья чередуются с периодами повышенной водности. В нашем столетии наибольшие расходы воды в реках бассейна Печоры наблюдались в 1952 и 1958 гг.

Очень низкие уровни воды в реках также являются проблемой, которая затрудняет судоходство и лесосплав, нарушает работу водозаборных сооружений. Почти на всех реках бассейна Печоры в 1936–1937 годах наблюдались необычайно низкие уровни воды. Небольшие реки с площадью водосборов менее 10 км^2 полностью высыхали летом в те годы. В межень 1936 года на Печоре, возле Усть-Цильмы, уровень воды опустился ниже нуля на 30 см.[22]

Летние дождевые паводки обычно продолжаются одну-две недели, и подъемы воды обычно незначительны. Тем не менее, бывают исключения. Например, в конце июля 1982 года на притоке Печоры р. Ижме в створе д.Картайоль наблюдался дождевой паводок высокой интенсивности: при продолжительности подъема 4 дня расходы воды выросли с $200 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1600 \text{ м}^3/\text{с}$ и объем паводка составил $1,7 \text{ км}^3$, т.е. почти 20% от годового.

В года с высоким количеством осадков средний годовой сток рек увеличивается в два-три раза по сравнению с засушливыми годами. Твердые осадки являются основным источником питания рек таежной зоны, на реке

Печоре до 55 % годового стока формируется за их счет. Дождевой сток составляет 15–20 %, а подземные воды – только 5–10 % от годового стока.

Реки бассейна Печоры являются наиболее подвижной частью природы и реагируют на любые изменения в окружающей среде. Например, высота половодья на этих реках определяется не только количеством снега в их бассейнах, но и другими факторами, такими как увлажненность почвы с осени, промерзлость земли к времени оттепели, и дружность наступления весны.

Затопление территорий в бассейне р.Печоры происходит в основном в период весеннего половодья. По данным, представленным Северным УГМС, территориальными управлениями МЧС России и администрациями муниципальных районов в бассейне р.Печоры около 60 населенных пунктов затапливается (подтапливается) в период половодья; численность населения, проживающего в зоне негативного воздействия вод – около 13 тыс. человек.

Высокое весеннее половодье с ледовыми заторами 21.05–15.06.1998 г. на реке Печора и ее притоках привело к затоплению в 7 населенных пунктах 459 жилых домов, при этом было отселено 400 чел. [22]

1.5 Гидрография

Река Печора относится к бассейну Северного Ледовитого океана. Протекает по территориям двух регионов РФ – Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Печора имеет следующие гидрологические характеристики: общая протяженность – 1809 км, площадь водосбора 322 тыс. км²; уклон реки – 0,34 м/км; расход воды в устье – 4100 м³/с.

Бассейн реки Печора имеет густую и равномерно развитую речную сеть, что связано с избыточным увлажнением и однородными природными

условиями на большей его части. Реки длиной менее 10 км составляют 93,6% от общего количества рек и примерно половину от общей протяженности водотоков. Крупнейшие притоки Печоры: Уса (565 км), Ижма (531 км), Шапкина (499 км), Илыч (410 км), Цильма (374 км), Сула (353 км), Лая (332 км).

Реки характеризуются спокойным течением, с плесами и песчаными перекатами, иногда пересеченными выходами твердых коренных пород или скоплениями валунов. Притоки Печоры и Усы, имеют порожистое русло и протекают в узких долинах, ограниченных высокими хребтами. Долины таких рек могут быть сжаты отрогами хребтов, а русла иметь характер быстротоков в лотковидных каньонах в скальных монолитах.

Большие реки, такие как Печора, Уса и Ижма, обычно не меандрируют, но при выходе из приморских равнин их русловая многорукавость становится обычной. Они имеют незавершенное меандрирование и часто образуют крупные острова на участках без меандров.

Озерность от 2 до 10% характерна для бассейна левого притока Печоры Адзвы. Большинство из этих озер изначально были ледникового происхождения и располагались в тектонических впадинах, которые сильно изменились в результате эрозии и аккумуляции. В долинах рек находятся озера-старицы

Болота занимают значительные территории в бассейне Печоры, хотя распределенные по ней неравномерно – от 1 до 17%. Наиболее заболоченными являются, например, бассейны рек Цильма (14–17 %), Сыня (17%) и Тобысь (14%).[22]

1.6 Подземные воды

На рассматриваемой территории наблюдаются порово-пластовые подземные воды, которые находятся в разных типах отложений, таких как мезозойского или палеозойского возраста, а их местонахождение зависит от типа горной породы. Грунтовые безнапорные воды обычно ближе к поверхности на низменностях и в впадинах, а на возвышенностях они могут находиться на значительной глубине.

Подземные водоразделы совпадают с поверхностными и зависят от климатических условий; приток подземных вод увеличивается весной и осенью и снижается зимой, а также в периоды засухи.

Запасы подземных вод сильно уменьшаются в зимнее время с полуторамесячными межениями. Как результат, в течение года можно заметить два максимума и два минимума уровня подземных вод. Наибольшей высоты уровень достигает весной или в начале лета (май, июнь), а самые низкие значения наблюдаются в конце зимы (март, апрель). Размах колебаний уровня подземных вод на ровных пойменных участках составляет 1–3 м, в то время как в районах разгрузки (у краев долин и котловин) он может достигать 5–10 м.

В общей структуре стока рек доля подземного стока составляет 10–30 %, но в карстовых районах это значение может достигать 30–50 %, а в зонах, где многолетняя мерзлота простирается поверх подземных вод, доля подземного стока менее 10 %.

Коэффициент подземного стока (отношение подземного стока к атмосферным осадкам) преимущественно составляет 10–15%. [10]

1.7 Ледовый режим

На реках бассейна Печоры в начале ледостава можно наблюдать появление отдельных ледяных кристаллов на поверхности воды. С течением

времени они сливаются в сероватые тонкие пленки, называемые салом. На берегах и на спокойных местах рек сало замерзает, превращаясь в тонкий лед, который становится шире, крепче и темнее при заморозках. Если на сало выпадает снег, то он перестает таять, образуя снежуру. Вблизи порогов, перекатов и крутых поворотов рек начинается образование внутриводного льда, который нарастает на дне реки, на камнях и других предметах под водой и частично всплывает на поверхность. Внутриводный лед в сочетании со снежурой и салом образует шугу. Продолжительность шугохода на реках зависит от погодных условий и может длиться от нескольких дней до двух месяцев и более, например, на правых притоках Печоры шугоход начинается обычно с 5-10 октября.[1]

Когда скопления шуги начинают соединяться друг с другом, они превращаются в ледяные острова. На спокойных участках рек - плесах лед обычно появляется первым, в то время как пороги и перекаты остаются без льда еще 5-20 дней, и поэтому продолжают поставлять больше шуги. Именно поэтому гидрологи называют их «фабриками шуги».

Нормальная работа водозаборных и других гидротехнических сооружений может быть нарушена из-за наличия внутриводного льда в реке. Покрывая поверхность электрических кабелей, забитых в грунт свай, она может способствовать выдергиванию их из грунта. Большие объемы шуги в русле способствуют осенним подъемам уровней воды и могут привести к частичному затоплению прибрежных территорий. Шуга плывет по течению и под кромкой уже сформировавшегося ледяного покрова прилипает к нему снизу, что приводит к снижению пропускной способности русла. Это приводит к образованию заторов льда, которые вызывают подъем уровня воды выше их по течению.

На реках бассейна Печоры зажоры льда - нормальное явление. Это происходит потому, что ледяной покров образуется сначала в низовьях и продвигается вверх по течению, а движение шуги идет в противоположном

направлении. Поэтому шугоход встречается с уже сформировавшимся ледоставом. В среднем течении река замерзает позднее, чем в верховьях и низовьях.[3]

Зажоры льда обычно образуются на реках ниже порогов или выходов грунтовых вод, поскольку в этих местах осенью полыньи остаются дольше, что приводит к замерзанию воды и образованию зажоров льда.

Зажорные пробки начинают рассасываться только в преддверии весеннего половодья.

Весенний ледоход на реках бассейна Печоры проходит очень бурно и сопровождается образованием заторов льда из-за того, что они начинают вскрываться с верховьев рек, в отличие от рек, текущих на юг, которые начинают вскрываться с нижнего течения.

Продвигающийся вниз по течению весенний ледоход встречает на своем пути еще достаточно прочный ледяной покров. Плывущий лед подныривает под него, создавая условия для формирования затора льда. Понижение температуры воздуха замедляет процесс движения льда, при этом с верхних участков продолжается поступление новых порций ледяного материала.

Заторы льда на реках могут возникать не только тогда, когда плывущие сверху льдины сталкиваются с невскрывшимися участками реки. Они могут образовываться при сочетании нескольких причин. Например, на извилистых участках реки, на поворотах, в случае имеющих на рассматриваемых участках островов, кос, осередков. Эти обстоятельства в сочетании с движения ледохода сверху вниз по течению служат условиями для формирования мощных ледяных заторов.

Заторы льда могут образовываться на участках реки, где она разделяется на рукава, что снижает пропускную способность русла, и лед поочередно проходит по одному из них. Эти места становятся центрами, около которых могут развиваться заторы.

Обычно заторы льда не длительные и продолжаются от 3 до 5 дней, но иногда могут длиться до 8–10 дней. Если битый лед занимает 60–80 % ширины реки, то кучи торосов на берегу могут достигать высоты 10 метров. При этом давление льда на погонный метр гидротехнических сооружений, которые оказываются в зоне затора, может достигать 150 тонн. Интересно, что самое большое давление возникает не на передней кромке головы затора, а на расстоянии в три-четыре ширины реки по течению от нее.

При возникновении ледяных заторов на реках Северного края высота подъема воды может достигать 10 метров над меженным уровнем, а иногда и больше. На Печоре в створах: д. Усть-Щугор высший уровень при заторе льда составил 14,8 метра, а у д. Ермицы – 9,2 метра.

После окончания ледохода высокие уровни воды на Печоре держатся в течение 2,5–3 месяцев, в то время как на менее крупных реках бассейна – всего 1–3 недели. [4]

В годы, когда на реках образуется крепкий ледяной покров и зажоры, которые формируются осенью, реки раскрываются при высоких уровнях воды, и происходит ледоход по пойме. Во время ледохода прочным льдом возможны разрушения или повреждения береговых объектов и других объектов, находящихся в пойме, таких как линии связи, электропередач, нефтяные скважины и другие, вследствие навала льда.

Из 21 створов на реках бассейна р. Печоры только в четырех: р. Печора – с. Щельяюр, р. Печора – с. Усть-Кожма, р. Адзьва – с. Харута, и р. Ижма – с. Усть-Ухта не отмечены навалы льда на берега при прохождении весеннего половодья. Наблюдения за навалами льда стали фиксироваться в Гидрологических Ежегодниках в составе ледовых явлений только с 1999 г. Поэтому период обобщения наблюдений за этим опасным гидрологическим явлением составляет 23 лет – с 1999 по 2022 гг., однако в большинстве случаев выполнить анализ можно только качественно, так как объемы ледяных навалов не определялись в процессе наблюдений. Их

высота изменяется от 2–3 метров до 10 м. и зависит от длины ледосборного участка, толщины льда и его структуры перед началом ледохода, расхода воды и уровня выхода воды на пойму. Обычно навалы льда возникают на участках рек с широкими и мелкими поймами. Длина навала льда может варьироваться от нескольких сот метров до 2-3 километров. Наиболее мощные навалы льда наблюдаются в низовьях Печоры, например, в протоках (рукавах), что связано не только с большими объемами льда, приносимых самой рекой, но и со льдом, поступающим из Баренцева моря при ветровых нагонах и приливах.

Чаще всего навалы образуются на поворотах и излучинах рек, а также на косах и мелководьях. Продолжительность существования навала зависит от его объема (высоты и ширины) и структуры – размеров и толщины слагающих его льдин, а также от погодных условий.

Наиболее продолжительные навалы льда наблюдаются в бассейне Печоры в створе Печора-Щердино и Усть-Щугор (рисунок 1.2). Продолжительность наблюдений в этом створе за данной характеристикой составляет 21 год; навалы льда в с. Усть-Щугор отмечены 18 раз. Среднее количество дней с навалами – 11, максимальное – 33 день, что, возможно, связано с очень длительным ледоходом, продолжавшимся 18 дней, при этом заторы льда не отмечены. Единственное упоминание об объемах льда в навале есть в этом створе за 1958 год: отмечено, что навалы льда наблюдались 15–24.05, их ширина составляла 70–90 м, а высота в первые дни 3–10 м. Отсутствие информации о длине навала не позволяет подсчитать его ориентировочный объем. Участок, на котором расположен пост, находится в 1 км ниже впадения р. Щугор.

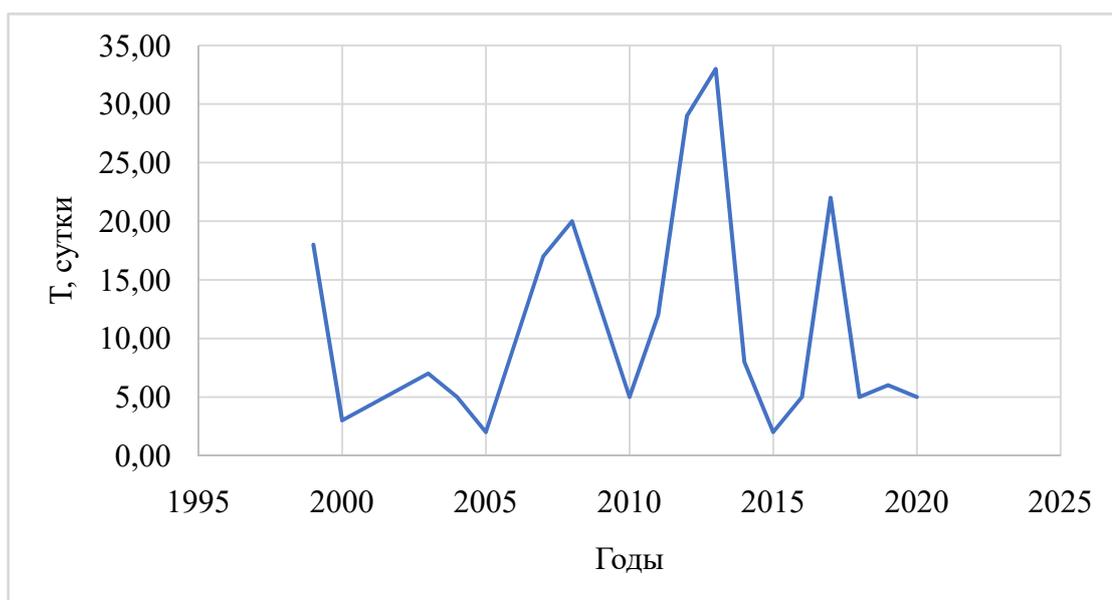


Рисунок 1.2 – Хронологический график продолжительности существования навалов льда в створе р. Печора – с. Усть-Щугор (1999–2020 гг.)

Сток р.Щугор при высоких уровнях и подпоре со стороны Печоры проходит через пойменные озера и понижения правобережной поймы и выходит в русло Печоры в 0,6 км ниже основного поста.

Достаточно длительные навалы льда отмечаются и в г/п р. Печора – д. Щердино, хотя они отмечаются только с 2005 г., но за 18 лет они наблюдались 6 раз, при этом в 2011, 2012 гг. – их продолжительность составляла 23 дня.[1]

Глава 2. Сбор и анализ исходных данных

Для изучения влияния климатических факторов на гидрологической режим, условия замерзания и вскрытия на реках бассейна р. Печора использовались данные гидрометрическим створам с наиболее полным объемом информации. Периоды наблюдений в этих створах превышают 25 лет. [1]

2.1 Характеристика гидрологических постов

На рисунке 2.1 представлена схема расположения постов, а в таблице 2.1 – информация о продолжительности гидрологических наблюдений на них, код поста и площадях водосборов.



Рисунок 2.1 – Схема расположения пунктов наблюдений в бассейне р. Печоры

Таблица 2.1 – Сведения о гидрологических постах

Река – пост	Ряд данных	Код поста	Площадь водосбора, км ²
р. Печора – с. Оксино	1917–2020	70827	312000
р. Печора – д. Якша	1914–2020	70410	9620
р. Печора – с. Усть-Кожва	1914–2019	70425	74600
р. Печора – с. Усть-Уса	1948–2020	70427	18800
р. Печора – д. Мутный Материк	1933–2020	70429	205000
р. Печора – р.п. Щельяюр	1934–2020	70432	212000
р. Печора – с. Ермицы	1935–2020	70436	295000
р. Печора – с. Троицко- Печорск	1936–2020	70414	35600
р. Печора – с. Усть-Цильма	1932–2020	70850	24800
р. Печора – п. Шердино	1977–2020	70570	42500
р. Печора – с. Усть-Щугор	1914–2020	70421	67500
р. Уса – с. Петрунь	1915–2020	70466	27500
р. Адъзва – д. Харута	1960–2020	70494	8700
р. Колва – с. Хорей - Вер	1959–2020	70499	5470
р. Ижма – с. Усть-Ухта	1913–2020	70509	15000
р. Ижма – с. Ижма	1930–2020	70514	28700
р. Ижма – д. Картайоль	1932–2020	70512	22700
р. Ухта – г. Ухта	1934–2020	70522	4290
р. Пижма – д. Боровая	1937–2020	70531	4890
р. Цильма – с. Трусово	1958–2020	70533	20900
р. Сула – д. Коткина	1929–2020	70540	8500

Описание постов сделано для получения информации об уровнях затопления поймы при прохождении весеннего половодья и связанных с ним заторах льда, возникающих вследствие особенностей морфометрического строения этих участков рек.

Р. Печора – д. Якша

Пост расположен на правом берегу у деревни, в 0,2 км выше впадения р. Якша. Прилегающая к долине реки местность является всхолмленной равниной, покрытая лесом, местами заболоченная.

Долина реки трапецеидальная, шириной 2–3 км, террасированная. Склоны долины крутые, покрытые лесом, правый высотой до 20 м, левый – 35 м. Пойма на участке поста отсутствует.

Русло реки прямолинейное, песчано – гравелистое, устойчивое. Берега крутые, высотой 7–9 м, песчаные, ежегодно разрушаются тальными водами. По обоим берегам наблюдаются выходы грунтовых вод.

В период ледостава долго держаться полыньи и наблюдается образование шуги. Река на участке лесосплавная.

Р. Печора – с. Трощко-Печорск

Пост находится на левом берегу у села, в 350 м ниже впадения р. Северная Мылва. Прилегающая к долине реки местность – равнина, поросшая хвойным лесом. Правобережье занято большими массивами моховых болот.

Долина реки трапецеидальная. Правый склон пологий, высотой до 15 м, покрыт лесом; левый – высотой до 20–30 м, крутой, залесен, у села открытый.

Пойма на участке поста правобережная, шириной 0,6–1 км, заболочена, в прирусловой части луговая, в остальной части – залесенная. Пойма затопляется при уровне 700 см над нулем поста.

Русло реки извилистое, песчано-глинистое, с песчаными пляжами, слабдеформирующееся. Левым берегом является склон долины, правый – пологий, задернованный уступ поймы высотой 6–7 м.

Р. Печора – пос. Шердино

Пост расположен на левом берегу у поселка в 2 км выше впадения р. Верней Шердины. Прилегающая к долине реки местность представляет собой значительно заболоченную равнину, покрытую лесом. Долина реки трапецеидальная с пологими склонами.

Пойма на участке поста отсутствует. Русло реки песчано-галечное, слабдеформирующееся. Берега крутые, высотой до 8–10 м, весной подвержены разрушению. В створе поста расположен песчаный остров. Ежегодно в створе поста проводятся дноуглубительные работы.

Р. Печора – с. Усть-Щугор

Пост находится на левом берегу у пристани, в 1 км ниже впадения р. Щугор. Прилегающая к долине реки местность – слабовсхолмленная равнина, поросшая хвойным лесом, в понижениях заболоченная. Долина реки трапецеидальная, склоны высотой 15–25 м, правый – пологий, левый – крутой, открытый.

Пойма двухсторонняя, переходящая с одного берега на другой, на участке поста – правобережная, шириной до 2 км, залесенная, заболоченная, в прирусловой части луговая, с озерами – старицами.

Выход воды на пойму происходит при уровне 800 см над нулем поста, вода первоначально поступает на пойму через понижения в 1 км выше устья р. Щугор и затапливает низменные пространства. При более высоких

уровнях происходит подпор уровня в устьевой части р. Щугор, вследствие чего основной сток реки Щугор происходит через пойменные озера и понижения правобережной поймы и выходит в русло реки Печора в 0,6 км ниже основного поста. При исторических уровнях пойма затопливается полностью, устьевые участки рек Печоры и Щугора смыкаются.

Русло реки умеренно извилистое, галечно-каменистое, устойчивое. При ледоставе характерно большое скопление шуги, весной в районе поста наблюдаются заторы льда.

Р. Печора – с. Усть-Кожва

Пост расположен на левом берегу в 3,5 км выше впадения реки Кожва, в 0,5 км ниже железнодорожного поста. Прилегающая к долине реки местность – залесенная равнина. Долина реки трапецеидальная, склоны умеренно крутые, высотой до 30–35 м, поросшие кустарником, левый склон террасирован.

Пойма правобережная, шириной от 3–4 до 10 км, луговая с кустарником, пересечена старицами, затопляется при уровне 500 см над нулем поста. Русло реки прямолинейное, песчано-гравистое. Берега умеренно крутые, открытые, левый – высотой 10–15 м, правый – 5–6 м. В 1,5 км ниже поста находится остров, затопляемый при высоких уровнях.

Р. Печора – с. Усть-Уса

Пост находится на правом берегу у села, ниже р. Уса при впадении ее в Печору. Прилегающая к долине местность – залесенная равнина, местами заболоченная. Долина реки ящикообразная, шириной до 20 км. Склоны крутые, высотой до 40–50 м, залесены.

Пойма левобережная, шириной до 15 км, покрыта луговой растительностью и кустарником, сильно изрезана протоками и старицами.

Уровень выхода воды на пойму равен 600 см над нулем поста. Русло реки разветвленное, на участке поста образует излучину, песчано-гравелистое, деформирующееся.

Правым берегом служит склон долины, сложенный гравелистыми грунтами, подвержен оползням; левый - высотой 5–6 м, песчаный, открытый. В районе поста расположены острова. Левая протока в межень местами пересыхает, зимой перемерзает. В 1 км выше поста наблюдаются заторы и зажоры льда, ниже поста и у поста, почти ежегодно, осенью держится полынья.

Р. Печора - д. Мутный Материк

Пост находится у деревни, на правом берегу в 1,5 км ниже впадения реки Малой Мутной. Прилегающая к долине реки местность – залесенная, местами заболоченная равнина. Долина реки ящикообразная, шириной до 20 км. Склоны умеренно крутые, высотой до 20–30 м, залесены, правый склон террасирован.

Пойма левобережная, шириной до 15 км, пересечена протоками и старицами, поросла кустарником, затопляется при уровне 850 см над нулем поста. Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Правый берег высотой 25–30 м, крутой, глинистый; левый – высотой 8–10 м, умеренно крутой, песчаный.

В 4 км ниже поста с левого берега выступает мыс, где в отдельные годы образуются заторы льда.

Р. Печора – с. Усть-Цильма

Пост расположен на правом берегу у деревни Коровий ручей. Прилегающая к долине реки местность – волнистая, залесенная равнина, изрезанная долинами мелких притоков. Долина реки ящикообразная,

шириной около 10 км. Склоны высокие 50–80 м, крутые, залесенные, местами обнажены.

Пойма левобережная, шириной до 6 км, покрыта кустарником, местами луговая, с наличием озер-стариц, сухих русел. Выход воды на пойму происходит при уровне 600 см над нулем поста. Русло реки слабоизогнутое, песчаное, у правого берега – каменистое, на участке неразветвленное. Правым берегом является склон долины, левый – высотой до 6–8 м, пологий, поросший кустарником.

В 4 км выше поста расположен остров и пережат Гаревский. В 4,5 км выше и 7 км ниже поста образуются заторы льда. Почти ежегодно зимой отмечаются большие скопления шуги.

Р. Печора – с. Ермицы

Пост расположен на левом берегу в 200 м ниже села. Прилегающая к долине местность – волнистая, залесенная, заболоченная равнина. Долина реки трапецидальная, шириной до 20 км. Склоны низкие, средней крутизны, покрыты лесом и кустарником.

Пойма двухсторонняя, покрыта кустарником, местами луговая с многочисленными протоками и озерами – старицами, затопляется при уровне 700–800 см над нулем поста. Русло реки прямолинейное, песчаное, сильно деформирующееся, разветвленное. Берега песчаные, пологие, размываемые.

В 5 км выше поста расположен остров, в 3 км ниже – пережат. В створе поста и в 7–8 км выше его образуются заторы льда.

Р. Печора – с. Оксина

Пост находится на правом берегу у села. Прилегающая местность представляет собой равнину с невысокими отдельными грядами, покрытую тундровой растительностью. Долина реки трапецидальная, шириной до 20

км. Левый склон 50–70 м, крутой, покрыт кустарником, шириной 4–6 км, затопляется при уровне 500 см над нулем поста, изрезана озерами-старицами.

Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующееся, разветвленное. Правый берег высотой 4–8 м, средне крутизны, открытый; левым берегом служит склон долины. В период весеннего половодья река течет несколькими рукавами. Пост расположен в зоне действия морских приливов.

Р. Ижма – д. Картайоль

Пост расположен на левом берегу в 40 м ниже впадения руч. Кывтыдшор. Прилегающая к долине реки местность – залесенная и заболоченная равнина с отдельными холмами. Долина сложного профиля, шириной до 10 км. Склоны пологие, высотой 60–70 м, сильно рассечены долинами притоков и сухими балками, залесены. На склонах имеются несколько террас, первая и вторая надпойменные террасы, имеют ширину 1–2 км, залесены и заболоченны.

Пойма шириной 150–200 м переходит с одного берега на другой, луговая, выше деревни частично распахана, затопляется при исторически высоких уровнях. Русло реки песчано-гравистое, деформирующееся. Берега высотой 9–13 м сложены каменистыми грунтами, наблюдаются выходы грунтовых вод.

В качестве исходной информации были использованы многолетние данные по высшим уровням воды, датам начала и конца ледостава и ледовых явлений, высшим уровням воды за ледоход, минимальным уровням открытого русла, максимальной толщине льда. Также обобщались сведения о прошедших заторах: выписывались значения высших заторных уровней и продолжительность данных заторов.

Таблицы с собранными данными для каждого из выбранных постов были зарегистрированы как база данных в 2023г.[1]

2.2 Статистический анализ собранных данных

Многолетний ряд количественной характеристики того или иного гидрологического явления считается однородным, если в рассматриваемый период условия явления оставались неизменными. Для проверки на однородность исходные ряды делились на 2 части (две выборки n_1 и n_2). Оценка однородности выполнялась с помощью статистических критериев Стьюдента и Фишера.[10]

Критерий Стьюдента

Вычисляются средние арифметические значения в каждой выборке:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{1 \leq i \leq m} x_i, \quad (2.1)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i \leq n} y_i, \quad (2.2)$$

затем вычисляются выборочные дисперсии для ряда:

$$S_x^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{1 \leq i \leq m} (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.3)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{1 \leq i \leq n} (y_i - \bar{y})^2, \quad (2.4)$$

Также необходимо оценить статистику Стьюдента t , на основе которой принимаются решение:

$$t^* = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{(m-1)S_x^2 + (n-1)S_y^2}} * \sqrt{\frac{mn(m+n-2)}{m+n}} \quad (2.5)$$

При заданном уровне значимости и числу степеней свободы ($m+n-2$) из таблиц распределения Стьюдента выявляют критическое значение $t_{кр}$.

Если $t^* > t_{кр}$, то гипотезу об однородности (отсутствия различия) отклоняют, если же $t^* \leq t_{кр}$, то принимают уровень значимости обычно принимается $2\alpha = 5\%$ или $2\alpha = 10\%$.

Критерий Фишера

Распределение Фишера несимметрично, используется при проверке гидрологических рядов по значениям дисперсии. Исходный ряд делится на две равные части, затем необходимо оценить дисперсии для каждой из частей ряда и определяется эмпирическое значение статистики Фишера.

$$F^* = S_1^2 / S_2^2, \quad (2.6)$$

$$S_1^2 > S_2^2 \quad (2.7)$$

Полученное значение F^* сравнивается с табличным значением $F_{1-\alpha}$.
Если при принятом уровне значимости оказывается, что

$$F^* < F_{1-\alpha}, \quad (2.8)$$

то расхождение дисперсий считается незначимым, и гипотеза об однородности ряда не опровергается

Таблица 2.2 – Значения критериев Фишера и Стьюдента ряда высших годовых уровней воды

Река – Пост	Период наблюдений	Статистические характеристики					
		Стьюдент			Фишер		
		t	t _{кр}	Однородность	F	F _{кр}	Однородность
р. Печора – с. Оксино	1917–2020	0,72	2,02	+	1	1,86	+
р. Печора – д. Якша	1914–2020	0,28	2,02	+	1,12	1,75	+
р. Печора – с. Усть-Кожва	1914–2019	0,45	2,02	+	1,61	1,83	+
р. Печора – с. Усть-Уса	1948–2020	0,78	2,05	+	1,21	2,02	+
р. Печора – д. Мутный Материк	1933–2020	0,55	2,03	+	1,29	1,91	+
р. Печора – р.п. Щельяюр	1934–2020	0,03	2,04	+	1,13	1,89	+
р. Печора – с. Ермицы	1935–2020	1,15	2,07	+	1,22	1,93	+
р. Печора – с. Троицко-Печорск	1936–2020	1,67	2,03	+	1,35	1,91	+
р. Печора – с. Усть-Цильма	1932–2020	1,03	2,03	+	1,08	1,88	+
р. Печора – п. Шердино	1977–2020	0,47	2,09	+	2,76	2,41	+
р. Печора – с. Усть-Щугор	1914–2020	0,9	2,05	+	3,2	1,78	+
р. Уса – с. Петрунь	1915–2020	1,1	2,02	+	1,16	1,79	+
р. Адъзва – д. Харута	1960–2020	0,24	2,06	+	1,41	2,15	+
р. Колва – с. Хорей-Вер	1959–2020	0,47	2,06	+	1,08	2,15	+
р. Ижма – с. Усть-Ухта	1913–2020	2,41	2,19	-	1,06	1,87	+

Река – Пост	Период наблюдений	t	t _{кр}	Однородность	F	F _{кр}	Однородность
р. Ижма – с. Ижма	1930–2020	0,39	2,02	+	1,28	1,86	+
р. Ухта – г. Ухта	1934–2020	1,23	2,03	+	1,18	1,89	+
р. Пижма – д. Боровая	1937–2020	1,07	2,03	+	2,34	1,93	-
р. Цильма – с. Трусово	1958–2020	0,13	2,05	+	1,14	2,12	+
р. Сула – д. Коткина	1929–2020	0,88	2,02	+	1,08	1,86	+

Таблица 2.3 – Значения критериев Фишера и Стьюдента ряда высших ледоходных уровней воды

Река – Пост	Период наблюдений	Статистические характеристики					
		Стьюдент			Фишер		
		t	t _{кр}	Однородность	F	F _{кр}	Однородность
р. Печора – с. Оксино	1917–2020	0,13	2,11	+	1,04	1,86	+
р. Печора – д. Якша	1914–2020	0,01	2,13	+	1,53	1,76	+
р. Печора – с. Усть-Кожва	1914–2019	0,59	2,02	+	1,31	1,83	+
р. Печора – с. Усть-Уса	1948–2020	0,05	2,04	+	1,57	2,02	+
р. Печора – д. Мутный Материк	1933–2020	0,17	2,03	+	1,26	1,89	+
р. Печора – р.п. Щельяюр	1934–2020	1,49	2,05	+	1	1,91	+
р. Печора – с. Ермицы	1935–2020	0,96	2,03	+	1,27	1,93	+
р. Печора – с. Троицко- Печорск	1936–2020	2,96	2,17	-	1,49	1,91	+
р. Печора – с. Усть-Цильма	1932–2020	2,52	2,09	-	1,18	1,88	+
р. Печора – п. Шердино	1977–2020	1,05	2,14	+	1,51	2,42	+
р. Печора – с. Усть-Щугор	1914–2020	0,19	2,1	+	3,08	1,79	-
р. Уса – с. Петрунь	1915–2020	0,69	2,02	+	1,05	1,82	+
р. Адъзва – д. Харуга	1960–2020	0,22	2,13	+	1,46	2,15	+

Река – Пост	Период наблюдений	t	t _{кр}	Однородность	F	F _{кр}	Однородность
р. Колва – с. Хорей - Вер	1959–2020	0,37	2,18	+	1,24	2,16	+
р. Ижма – с. Усть-Ухта	1913–2020	2,72	2,36	-	1,28	1,89	+
р. Ижма – с. Ижма	1930–2020	0,82	2,12	+	1,14	1,86	+
р. Ухта – г. Ухта	1934–2020	1,37	2,03	+	2,27	1,91	-
р. Пижма – д. Боровая	1937–2020	0,62	2,03	+	3,68	1,96	-
р. Цильма – с. Трусово	1958–2020	0,33	2,05	+	1,36	2,12	+
р. Сула – д. Коткина	1929–2020	0,64	2,05	+	2,14	1,86	-

Сопоставление рассчитанных значений статистик Стьюдента и Фишера с критическими табличными значениями показывает, что ряды данных в створе р. Ижма – с. Усть-Ухта не являются однородными. Это можно объяснить тем, что створ расположен рядом с городом Ухта, который оказывает антропогенное влияние. В районе поста находится крупный промышленный центр, вследствие этого имеются большие производственные и бытовые стоки и из-за этого нарушается однородность ряда. Также стоит отметить, что в данном створе все ледовые явления непостоянные, установление ледостава происходит не каждый год и он является кратковременным и неустойчивым.

Значения высших ледоходных уровней по своему характеру являются менее устойчивыми и вследствие этого наблюдается неоднородность исследуемых рядов.

В случае остальных исследуемых рядов гипотеза не опровергается и ряды однородны.

Глава 3. Влияние изменения климата на характеристики ледового режима рек бассейна Печоры

С 70-х годов XX века отмечается глобальные изменения в климатической системе Земли. Как показывают обобщения, выполненные в Гидрометцентре России, на территории страны средняя годовая температура воздуха увеличилась практически на 1,5 °С за период с 1976 по 2012 гг. Изменение климата необратимо приводит к изменениям в водном и ледовом режиме рек. На ледовом режиме оно сказывается из – за повышения температур воздуха и увеличения осадков за осенне-зимний период. Произошедшее в Северном полушарии заметное повышение зимних температур воздуха наблюдается и в бассейнах исследуемых рек.

3.1 Анализ температурного режима в бассейне реки Печора за рассматриваемый период

Для изучения климатических особенностей в данном бассейне были выбраны метеостанции, расположенные в городах Нарьян-Мар, Усть-Цильма и Печора.

На рисунках представлены графики хода средних годовых температур воздуха за период с 1926–2022 гг. При общем положительном тренде можно отметить изменение в ходе этой характеристики, начавшееся в 80-х годах прошлого века. Поэтому был выполнен анализ хода среднегодовых температур воздуха за два периода 1926–1980 и 1981–2022 гг. (рисунки 3.1–3.6)

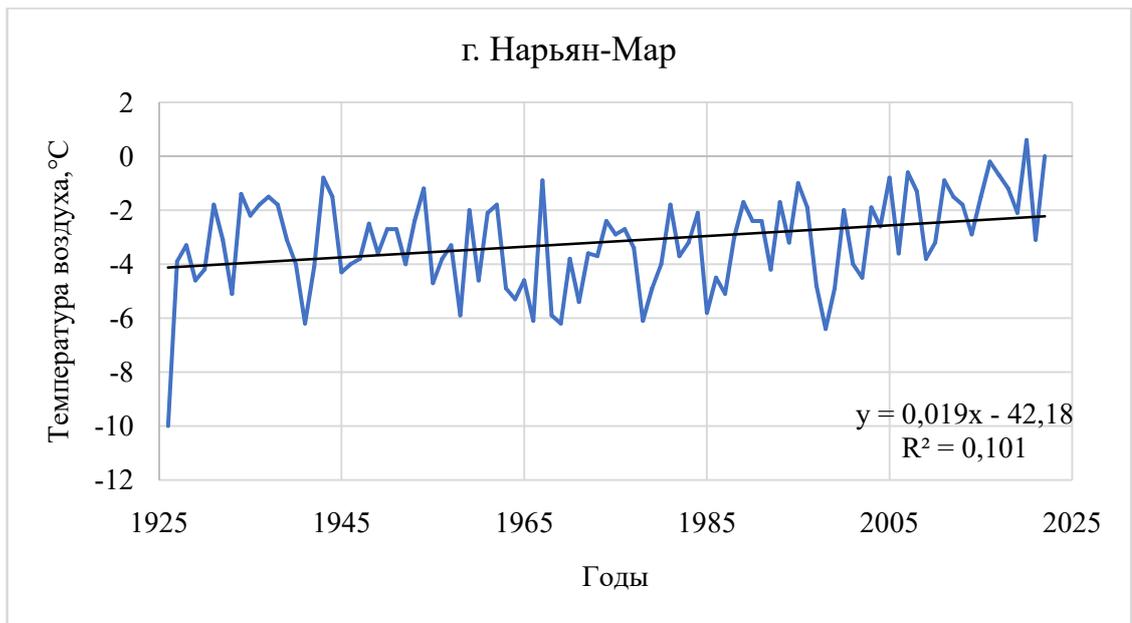


Рисунок 3.1 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г. Нарьян-Мар за 1926–2022 гг.

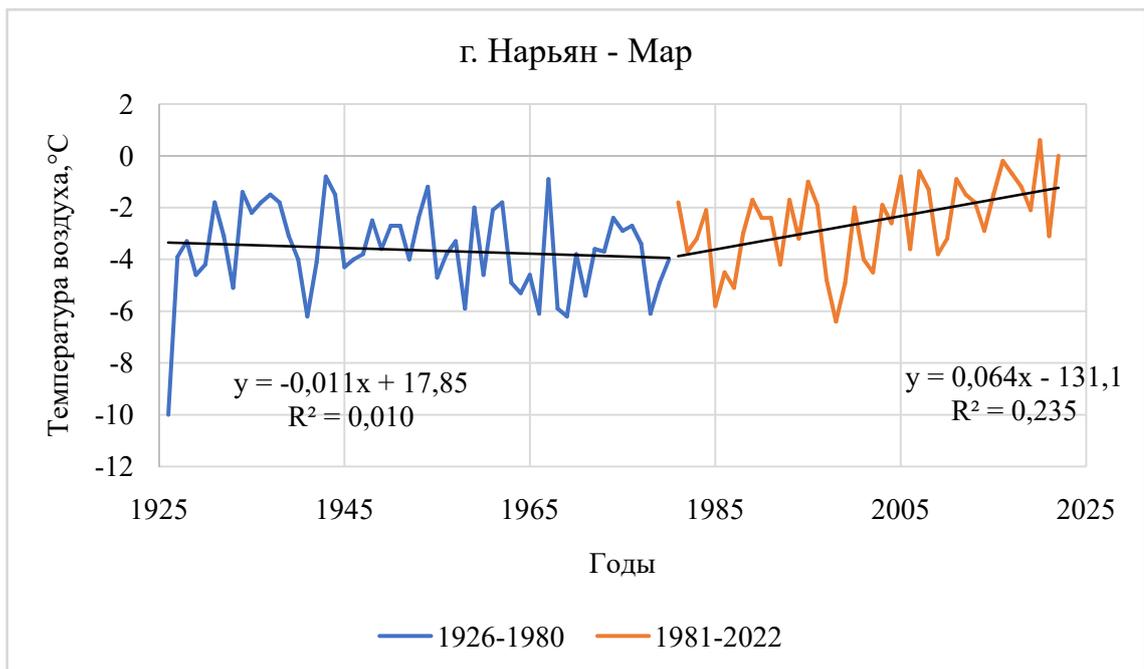


Рисунок 3.2 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г.Нарьян-Мар за 1926-1980 гг. и 1981-2022 гг.

Из анализа этого графика следует, что, начиная с 1981 г. наблюдается рост средних годовых значений температуры воздуха. Если среднее значение

этой характеристики по метеостанции г.Нарьян-Мар за период 1926–1980 гг. составляло $-3,65\text{ }^{\circ}\text{C}$, то за 1981–2022 гг. она равна $-2,56\text{ }^{\circ}\text{C}$.

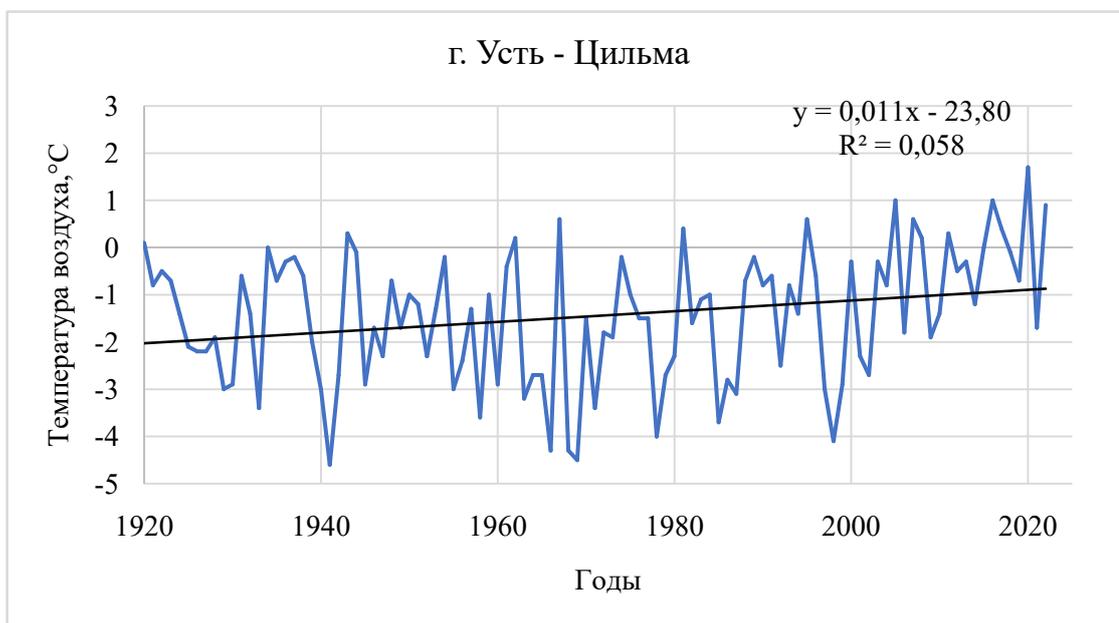


Рисунок 3.3 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г. Усть-Цильма за 1920–2022 гг.

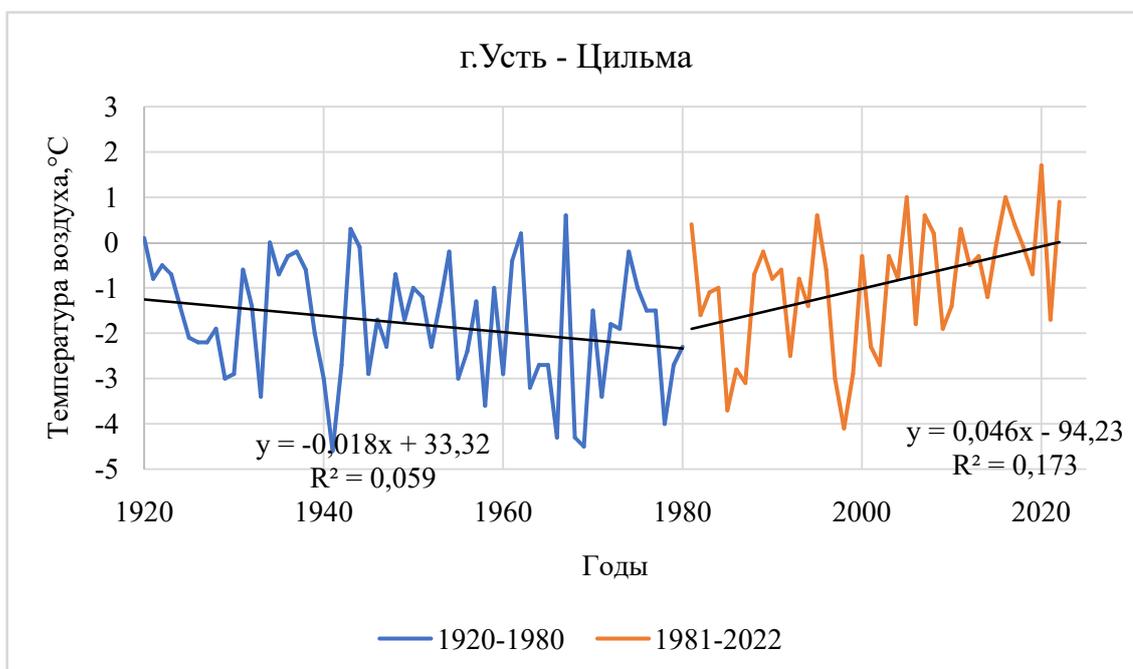


Рисунок 3.4 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г. Усть-Цильма за 1920–1980 гг. и 1981–2022 гг.

Аналогичная ситуация характерна и для хода средних годовых температур по мст. г. Усть-Цильма (рисунок 3.4): среднее за период 1920–1980 гг. значение исследуемой характеристики составляло $-1,79\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за период с 1981 по 2022 гг. оно было $-0,95\text{ }^{\circ}\text{C}$.

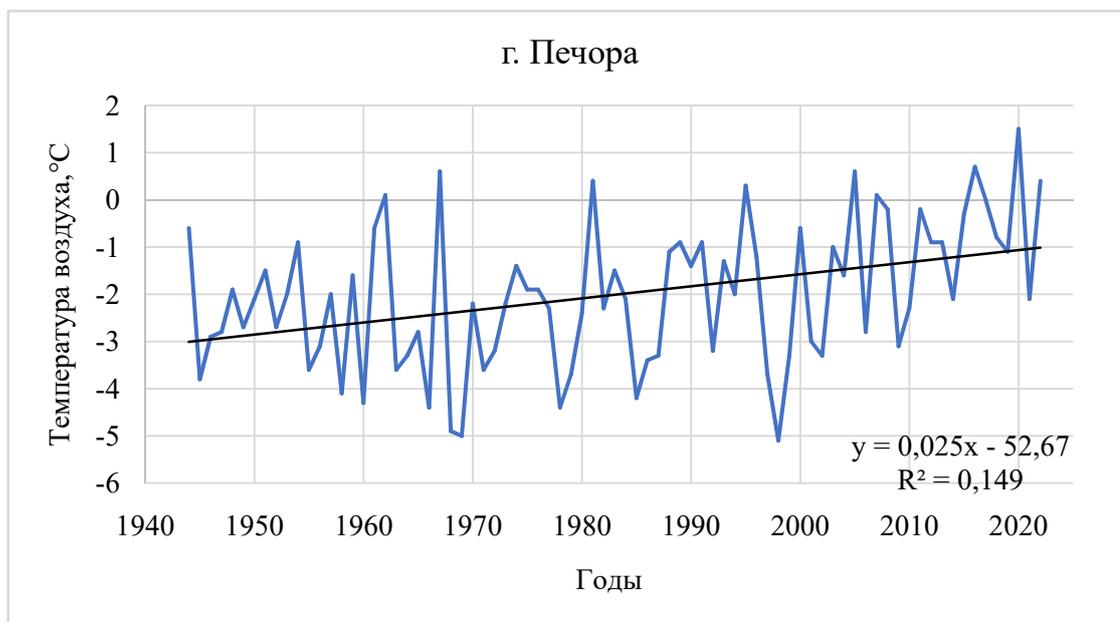


Рисунок 3.5 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г. Печора за 1944–2022 гг.

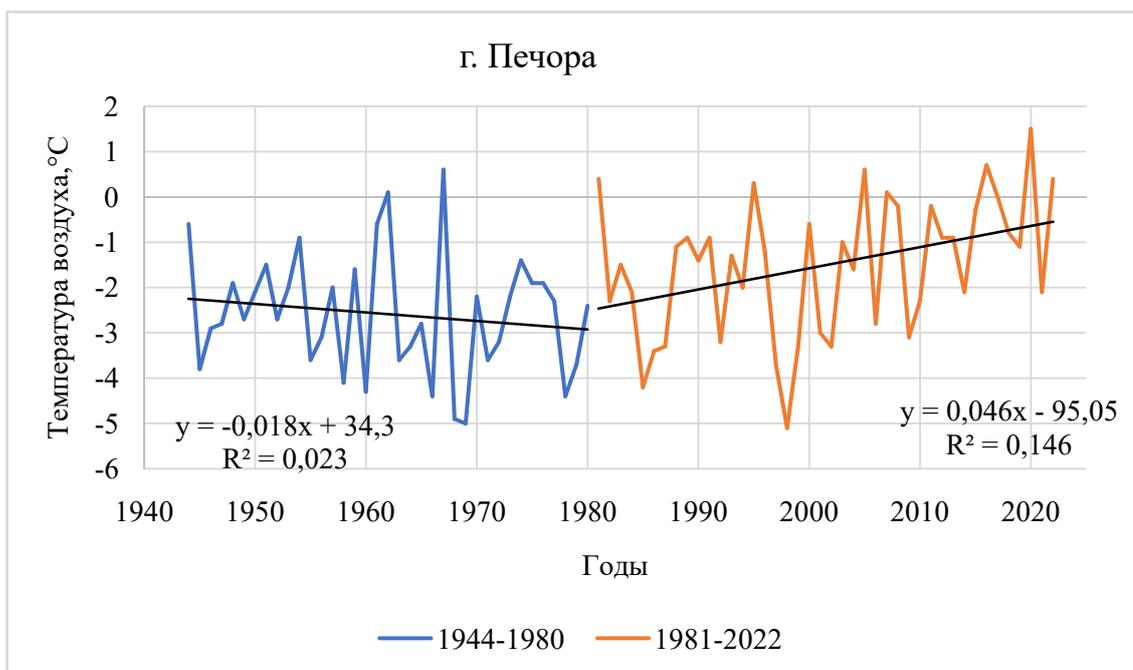


Рисунок 3.6 – Хронологический ход средней годовой температуры воздуха по метеостанции г. Печора за 1946–1980 гг. и 1981–2022 гг.

Выявленная тенденция наблюдается и по данным мст г. Печора (рисунок 3.6): среднее значение средней годовой температуры за 1944–1980 равно $-2,59$ °С, за период с 1981 по 2022 гг. $-1,5$ °С.

Как следует из анализа приведенных выше рисунков для периода 1981–2020 гг. по всем метеостанциям наличествуют тренды. Поэтому был произведен расчет значимости линейных трендов. Как видно из таблицы 3.1 тренд значим только у ряда данных по метеостанции г. Печора. Это можно объяснить тем, что чем севернее расположен пост, тем менее ощутимо воздействие изменения климата. Город Печора, расположен южнее остальных рассматриваемых станций.

Таблица 3.1 – Оценка значимости линейного тренда в рядах среднегодовых температур воздуха за 1981–2022 гг. при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

Метеостанция	Период, <i>n</i> лет	<i>R</i>	σR	<i>t</i>	<i>t</i> * σR	Значимость тренда
г. Нарьян-Мар	42	0,486	0,118	1,96	0,231	не значим
г. Усть-Цильма	42	0,416	0,128	1,96	0,250	не значим
г. Печора	42	0,146	0,132	1,96	0,258	значим

На ледовые явления непосредственное влияние оказывают среднезимние температуры воздуха (ноябрь — декабрь; январь–март). На рисунках 3.7–3.9 представлен ход рядов среднезимней температуры воздуха для исследуемых метеостанций.

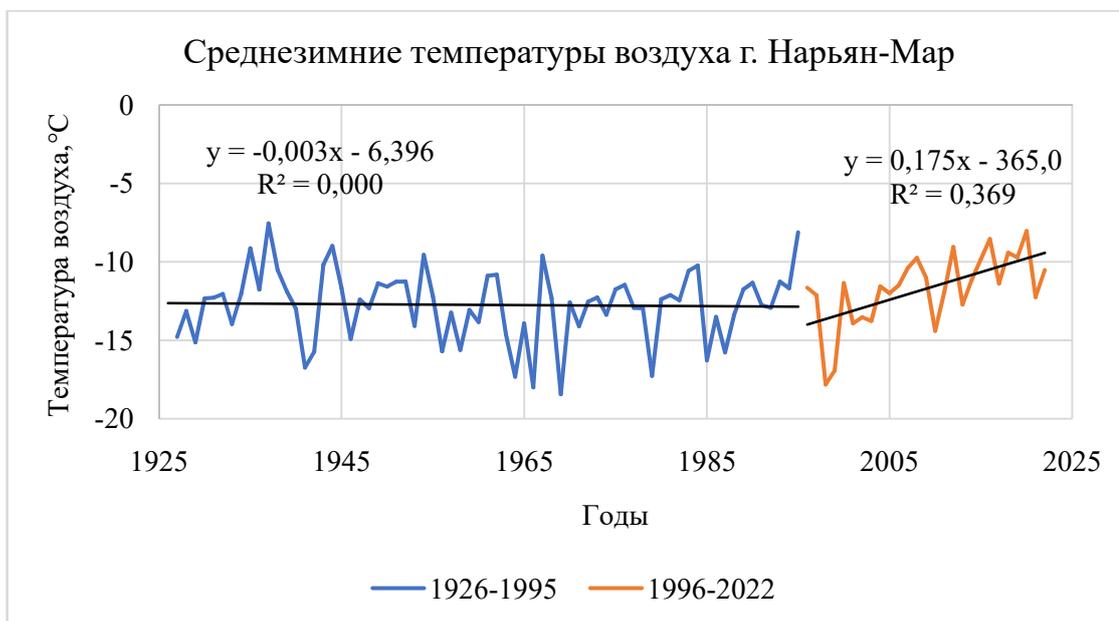


Рисунок 3.7 – Хронологический ход среднезимней температуры воздуха по метеостанции г. Нарьян-Мар за 1926–2022 гг.

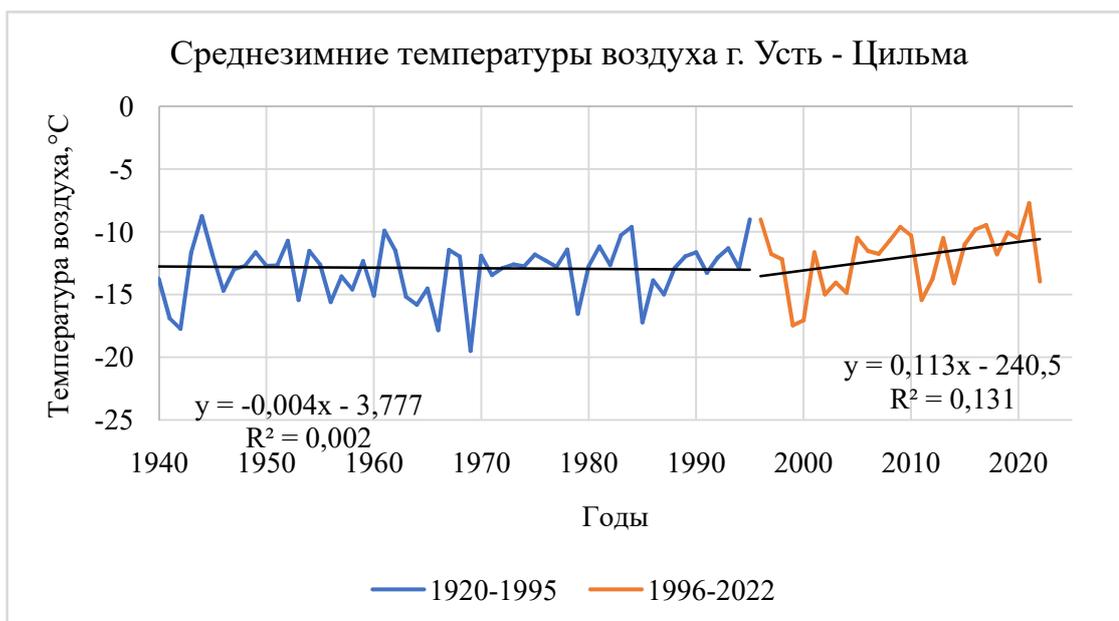


Рисунок 3.8 – Хронологический ход среднезимней температуры воздуха по метеостанции г. Усть-Цильма за 1920–2022 гг.

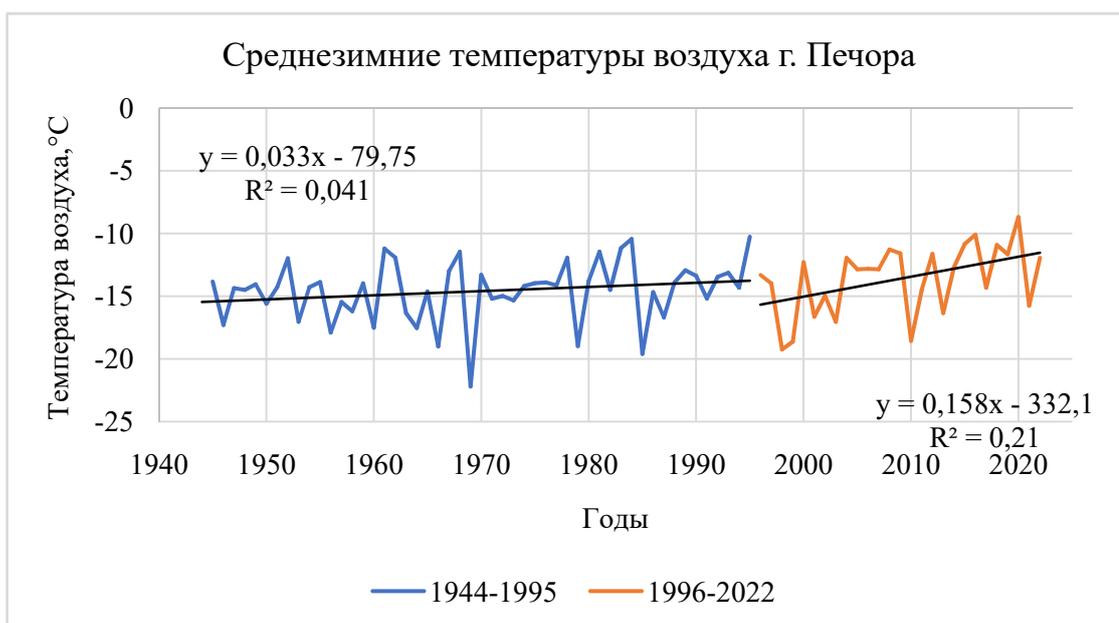


Рисунок 3.9 – Хронологический ход среднезимней температуры воздуха по метеостанции г. Печора за 1946–2022 гг.

Анализ среднезимних температур, показывает, что изменения не значительны, значимые линейные тренды отсутствуют. При более детальном рассмотрении хода изучаемых характеристик было выделено два периода с

начала наблюдений на метеостанции до 1995 года и после, так как именно с этого года заметно изменение средnezимних температур в сторону увеличения. Зимние температуры реагируют на изменение климата медленнее, чем среднегодовые, которые растут с 1980 года в основном за счет увеличения летних значений температур воздуха.

Однако стоит отметить, что наблюдающиеся рост температуры воздуха в начале зимы приводит к увеличению водности рек и теплозапаса воды в период, предшествующий началуледообразования, уменьшению глубины промерзания почвы и продолжительности существования промерзшего слоя.

3.2 Характеристики ледового режима и их изменения

Последние данные по обобщению результатов наблюдений мировой гидрометеорологической сети и исследований глобальной климатической системы указывает на вероятное в обозримом будущем потепление, связанное, прежде всего с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Это, в свою очередь, неизбежно вызовет изменение водного и ледового режимов рек, которые являются интегральными показателями изменений климата.

По данным исследований, проведенных в ГГИ, глобальное изменение климата за последние 30 лет привело к значительному увеличению стока крупных рек, находящихся в бассейне Северного Ледовитого океана. Один из чувствительных показателей изменения климата — это изменение ледового режима. Согласно статистическим оценкам многолетних изменений сроков замерзания и вскрытия рек России, видны заметные тенденции к сокращению периода с ледовыми явлениями на многих реках.

В соответствии с выполненными в ГГИ исследованиями в условиях глобального изменения климата последних трех десятилетий имеет место

значительное увеличение стока крупных рек бассейна Северно-Ледовитого океана. Чувствительным индикатором климатических изменений является ледовый режим. Проведенные статистические оценки многолетних изменений сроков замерзания и вскрытия рек России указывает на наличие заметных трендов, связанных с сокращением длительности периода с ледовыми явлениями на многих реках.[1]

3.2.1 Начало, окончание и продолжительность ледовых явлений и ледостава

Для реки Печора установлены даты раннего начала ледовых явлений и установления ледостава, представляющих опасность для судоходства,

Ранее появление льда и ледообразование являются опасным гидрологическим явлением для навигации на ней(таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сведения о раннем ледообразовании на реке Печора

Название ОГЯ	Характеристика и определения ОГЯ	Критерий ОГЯ
Раннее ледообразование	Появление льда на судоходных реках	5 октября и ранее
	Образование ледостава на судоходных реках	15 октября и ранее

Как показывает анализ, на р. Печора для судоходного участка от с. Якша до с.Оксино даты раннего начала ледовых явлений отмечаются в некоторых створах(Троицко-Печорск, Усть-Уса, Мутный Материк Усть-Цильма, Шердино, Усть-Щугор иОксино) раньше, чем заканчивается навигация. Самая ранняя дата начала ледовых явлений в створах на р. Печоре

– 29.09.1986 г. в с. Усть-Щугор. В нем же наблюдается самое частое – 7 раз за 1936–2019 гг., начало ледовых явлений, более ранних, чем 5 октября.

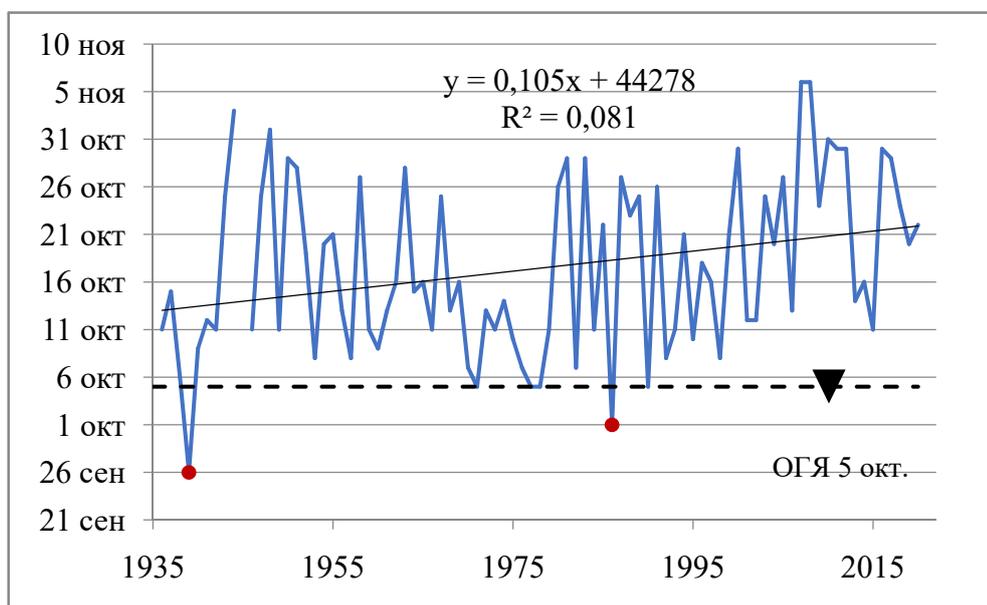


Рисунок 3.10 – Хронологический график дат начала ледовых явлений р. Печора – д. Мутный Материк

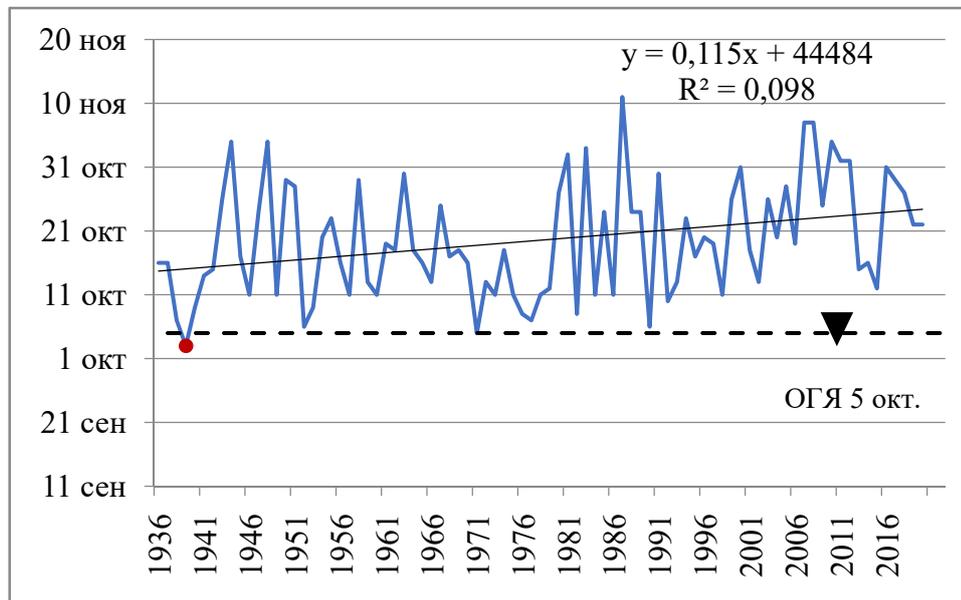


Рисунок 3.11 – Хронологический график дат начала ледовых явлений р. Печора – с. Усть-Цильма

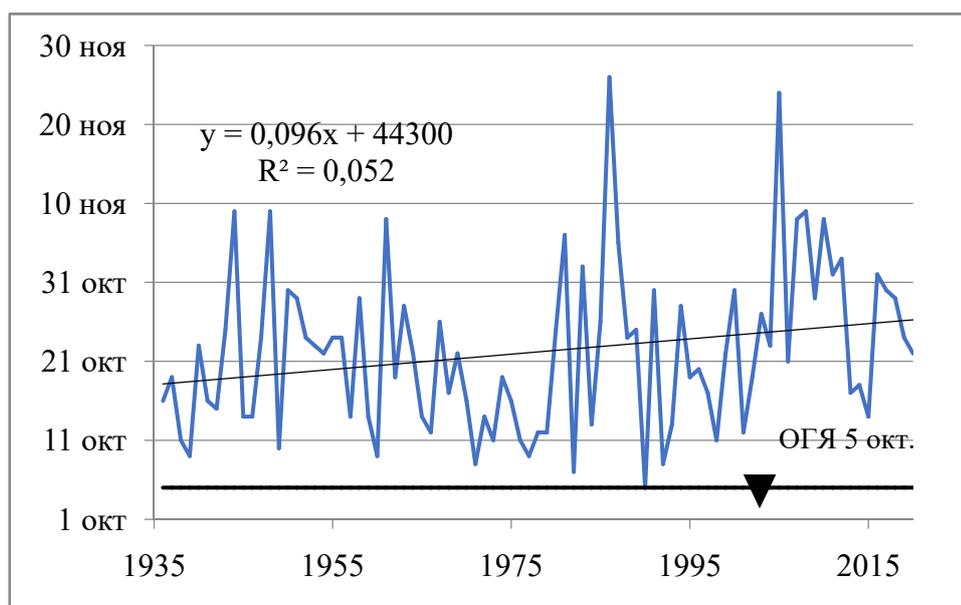


Рисунок 3.12 – Хронологический график дат начала ледовых явлений р. Печора – с. Ермицы

Раньше 15.10 (НГЯ) формирование ледостава наблюдается в створе р. Печора – д. Оксино (рисунок 3.13). Самая ранняя дата установления ледостава – 5 октября 1977 года. Ранние даты, соответствующие ОГЯ, отмечаются в створах: с. Троицко-Печорск, с. Усть-Кожва, д. Мутный Материк, р.п. Щельяюр, д. Ермицы.

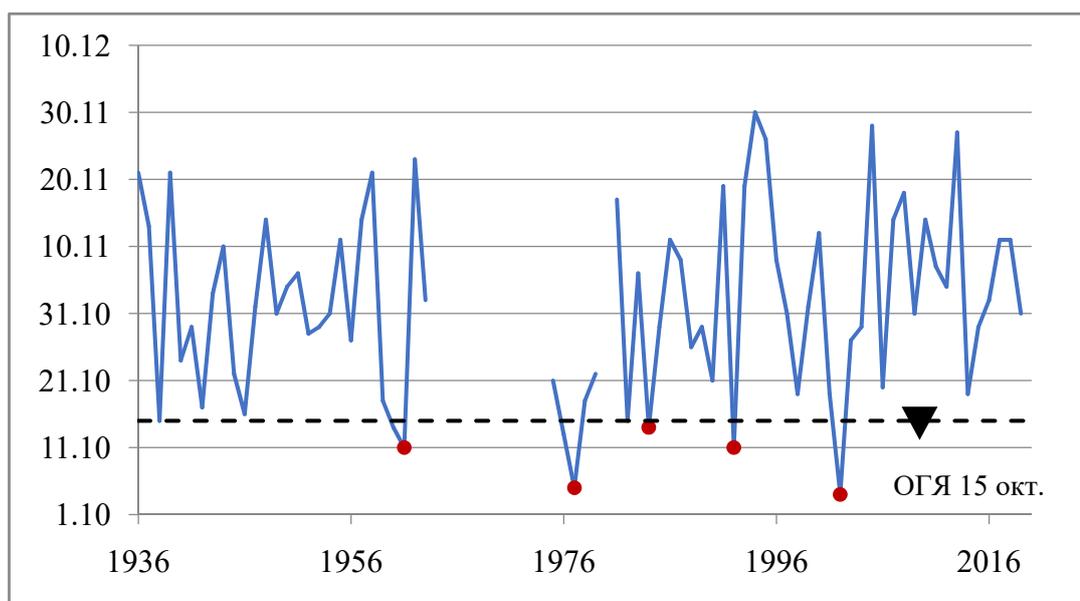


Рисунок 3.13 – Хронологический график дат установления ледостава р. Печора – с. Оксино

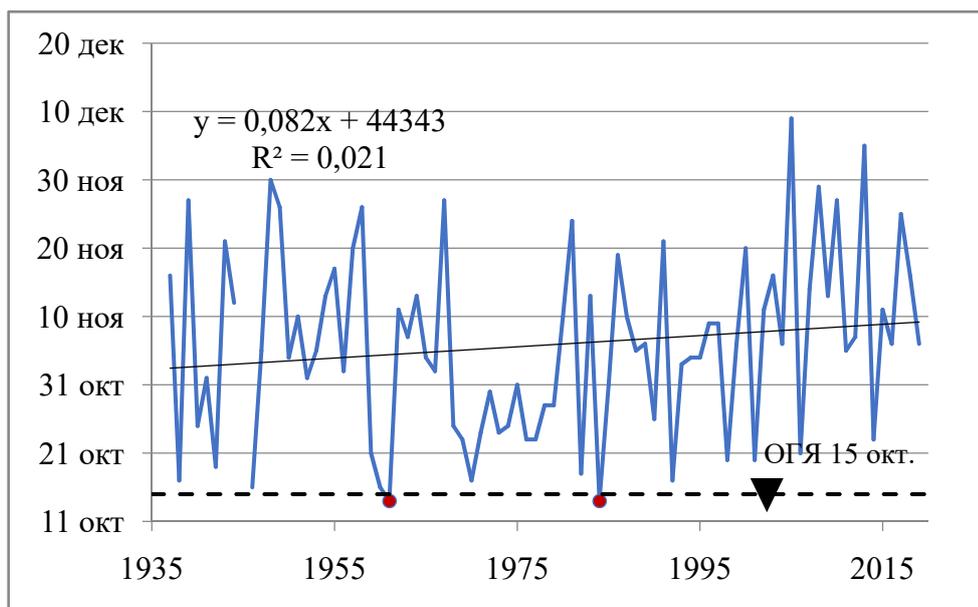


Рисунок 3.14 – Хронологический график дат установления ледостава р. Печора – д. Мутный Материк

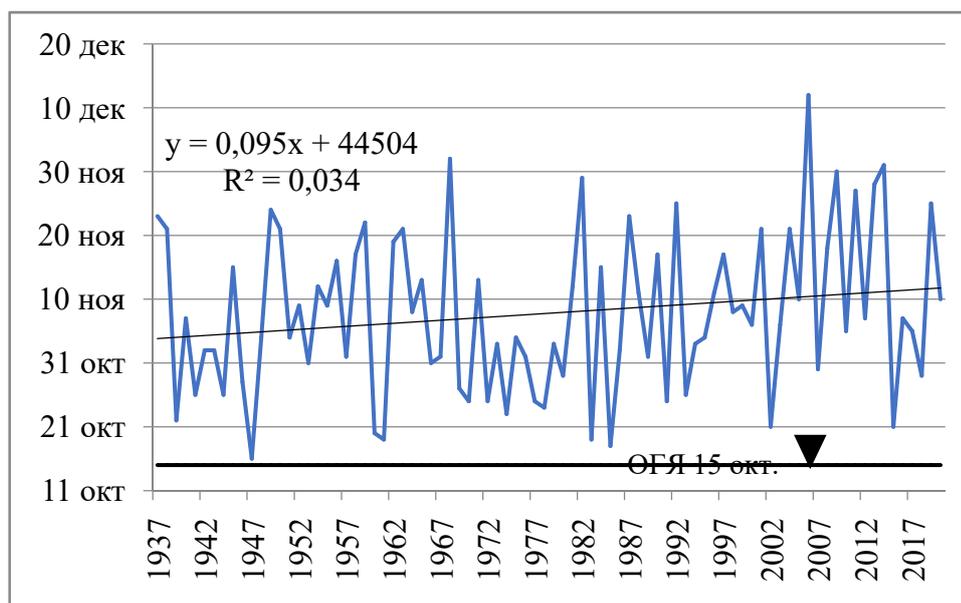


Рисунок 3.15 – Хронологический график дат установления ледостава р. Печора – с. Усть-Цильма

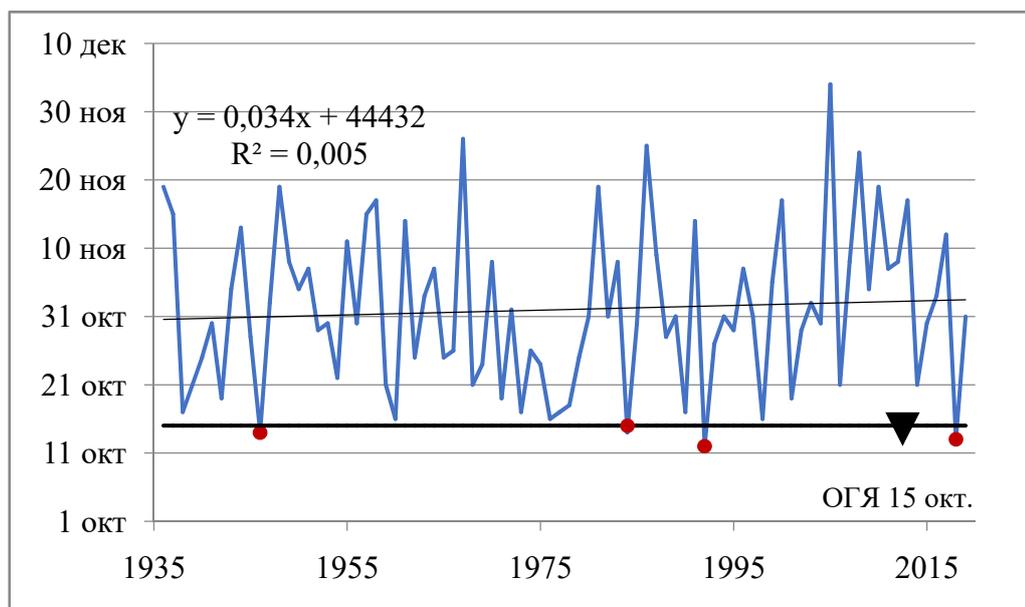


Рисунок 3.16 – Хронологический график дат установления ледостава р. Печора – с. Ермицы

Даты начала ледовых явлений на реках бассейна Печоры сдвинулись на более поздние в среднем на 5 дней, а даты начала ледоставав среднем на 6 дней, по сравнению с наблюдавшимися до начала изменения климата. Если в начале рассматриваемого периода ледостав начинался с конца октября, то в последние годы это уже начало ноября.

Изменение сроков замерзания и вскрытия рек – результат изменения климата.

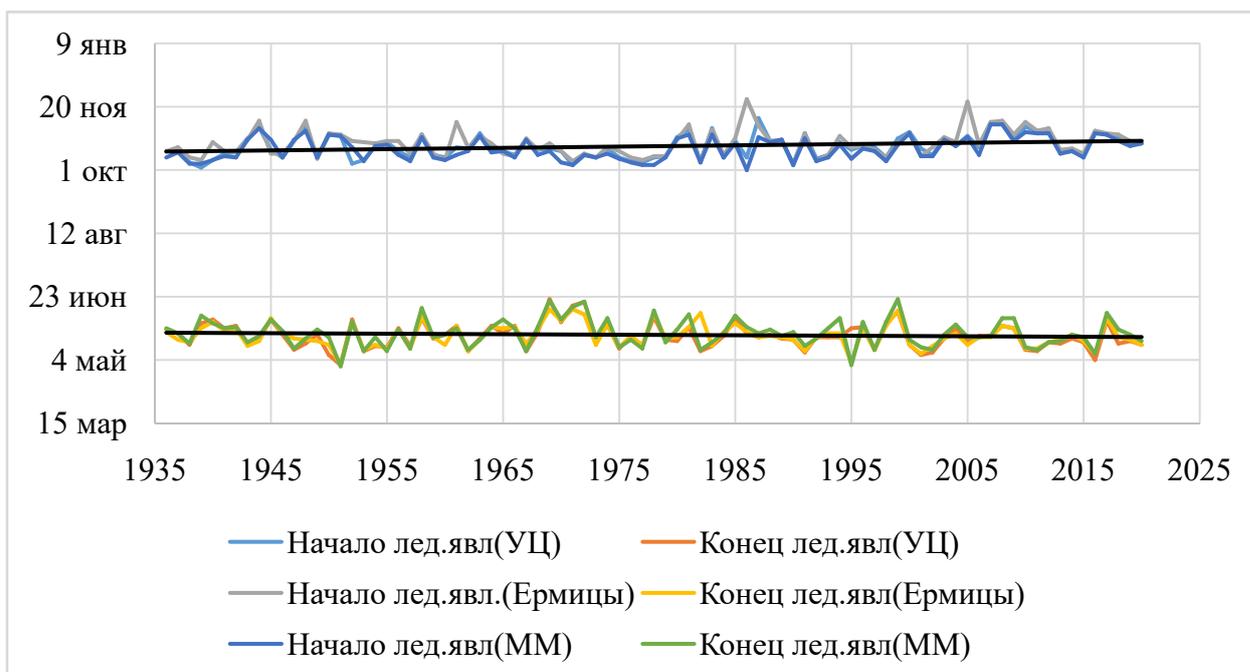


Рисунок 3.17 – Сроки начала и окончания ледовых явлений на р. Печора в створах Мутный Материк, Усть-Цильма, Ермицы

Анализируя рисунок 3.17, можно сделать вывод, что период, когда русло занятого ледовыми явлениями практически не изменился. Сместились лишь даты начала и окончания ледовых явлений.

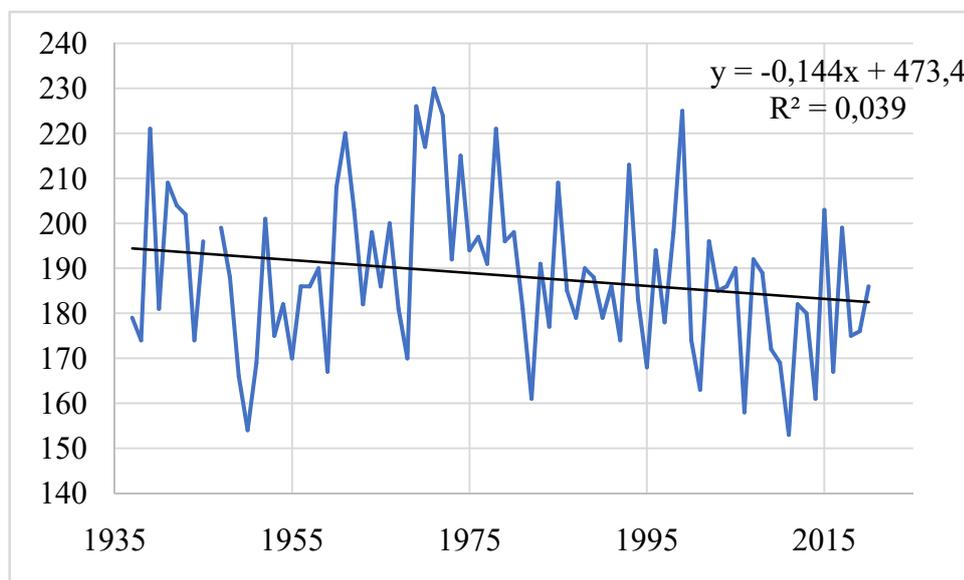


Рисунок 3.18 – Многолетняя изменчивость продолжительности ледостава р. Печора – д. Мутный Материк

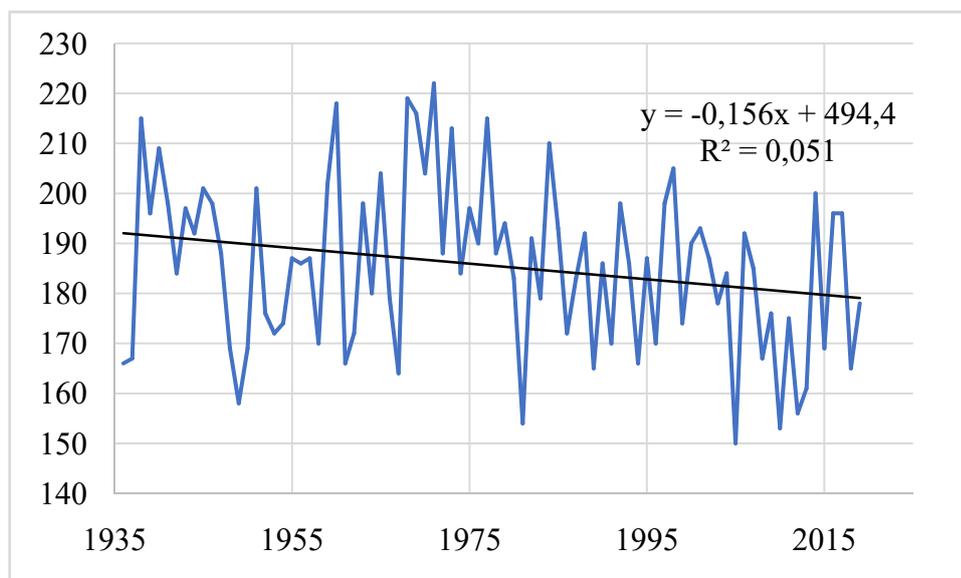


Рисунок 3.19 – Многолетняя изменчивость продолжительности ледостава р. Печора – с. Усть-Цильма

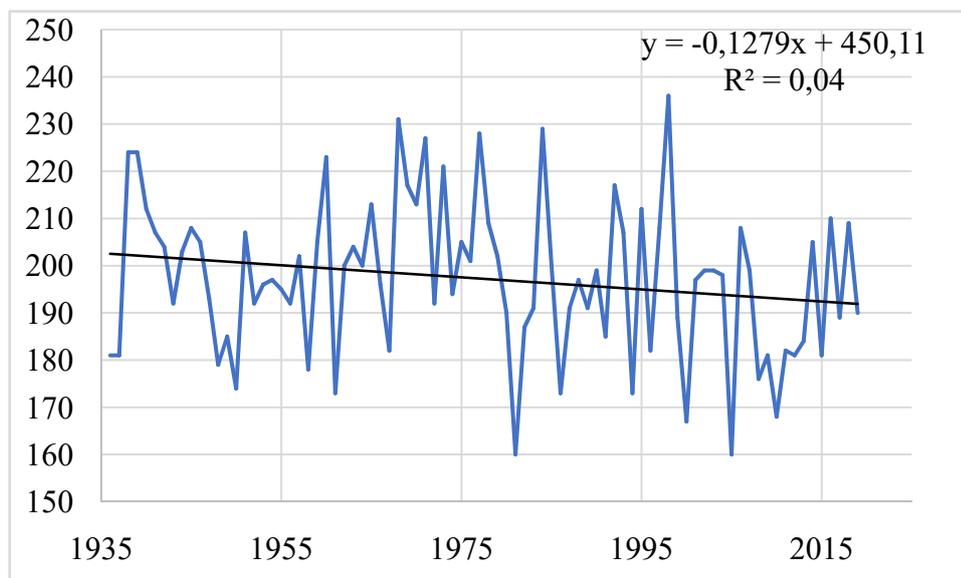


Рисунок 3.20 – Многолетняя изменчивость продолжительности ледостава р. Печора – с. Ермицы

Как видно из рисунков 3.18–3.20 продолжительность ледостава уменьшается для всех представленных створов. В таблице 3.3 приведена оценка значимости линейных трендов для характеристик ледового режима.

Таблица 3.3 – Оценка значимости трендов хронологических рядов изменения дат начала ледовых явлений, ледостава и продолжительности ледостава

Река-пункт		изменение дат начала ледовых явлений	изменение дат начала ледостава	продолжительность ледостава
р. Печора – д. Мутный Материк	σ_R	0,101	0,107	0,105
	R	0,285	0,147	0,198
	σ_{R*t}	0,198	0,210	0,206
р. Печора – с. Усть-Цильма	σ_R	0,099	0,105	0,104
	R	0,314	0,186	0,227
	σ_{R*t}	0,194	0,208	0,203
р. Печора – с. Ермицы	σ_R	0,104	0,108	0,105
	R	0,229	0,072	0,189
	σ_{R*t}	0,204	0,214	0,206

Рост среднегодовой, а также средней зимней температуры воздуха безусловно вносит корректировки в процесс замерзания и вскрытия рек.

Анализ выше представленных графиков показал, что на рассматриваемой территории заметно сократилась продолжительность ледостава, в среднем на 15–30 дней. Начиная с 1990 года неоднократно обновляются минимальные значения этой характеристики. Амплитуда ее колебаний в среднем составила 74 дня.

В связи с уменьшением периода ледостава может увеличиваться навигационный период на реках. Информация о датах установления ледостава на реках, а также его разрушении, может быть интересна для работы водного транспорта. Однако, так как продолжительность ледовых явлений не изменяется, то увеличение навигационного периода остается актуальным вопросом.

Кроме того, были построены и проанализированы корреляционные зависимости продолжительности ледостава, максимальных ледоходных

уровней и толщины ледяного покрова от средних зимних температур воздуха. Эти зависимости предполагается использовать для уточнения методики прогноза высших заторных уровней на реках бассейна Печоры.

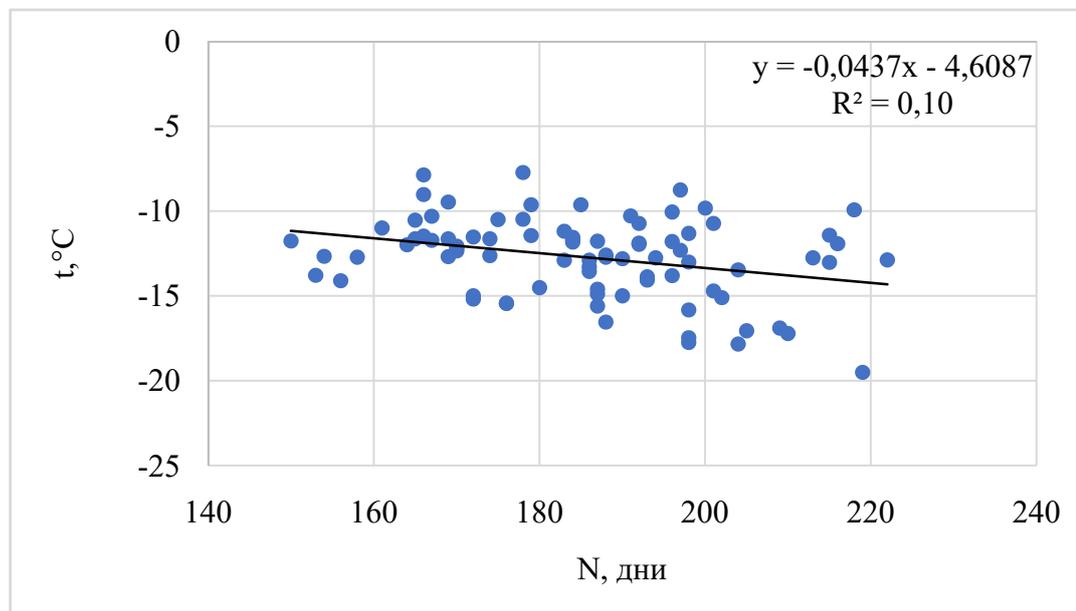


Рисунок 3.21 – График зависимости продолжительности ледостава на р. Печора – с. Усть-Цильма от средней зимней температуры воздуха по метеостанции Усть-Цильма

Так как коэффициент корреляции R составил 0,31. то можно говорить о том, что связь между данными характеристиками невелика. Из данного графика видно, что чем ниже средняя зимняя температура, тем больше продолжительность ледостава.

3.2.2 Толщина ледяного покрова

Начиная с середины 1970-х годов наметился тренд на более теплые зимы и соответственно на уменьшение толщины льда на реках в рассматриваемом районе. В таблице 3.4 представлены данные о

максимальных и минимальных значениях толщины льда по трем створам на р. Печоре.

Таблица 3.4 – Максимальные и минимальные значения толщины льда за весь период наблюдений

Река - пункт	$h_{\text{мин}}$	Дата	$h_{\text{макс}}$	Дата
р. Печора – д. Мутный Материк	54	2018	99	1959
р. Печора – с. Усть-Цильма	54	1995	99	1987
р. Печора – с. Ермаицы	61	2006,2007	109	1969

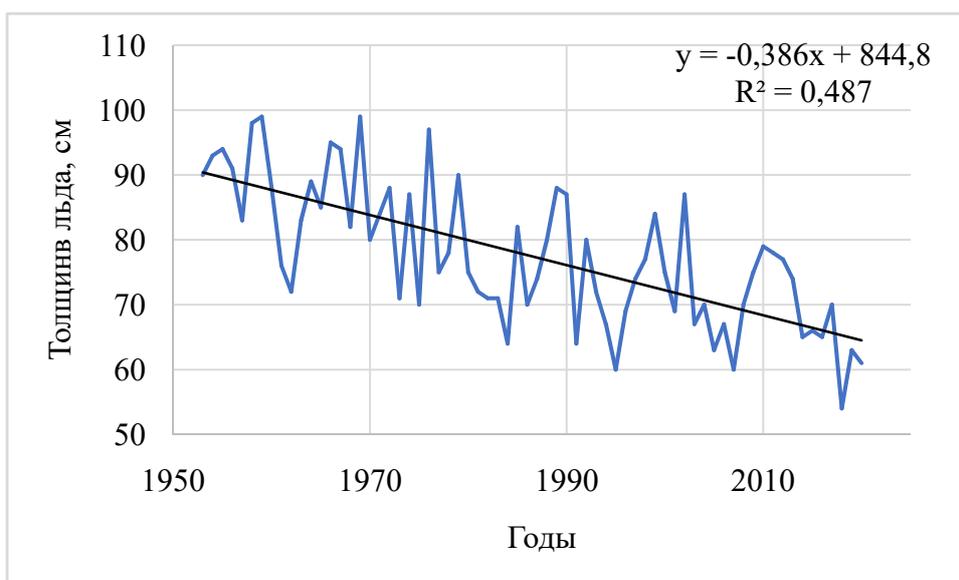


Рисунок 3.22 – Многолетняя изменчивость толщины р. Печора – д. Мутный Материк

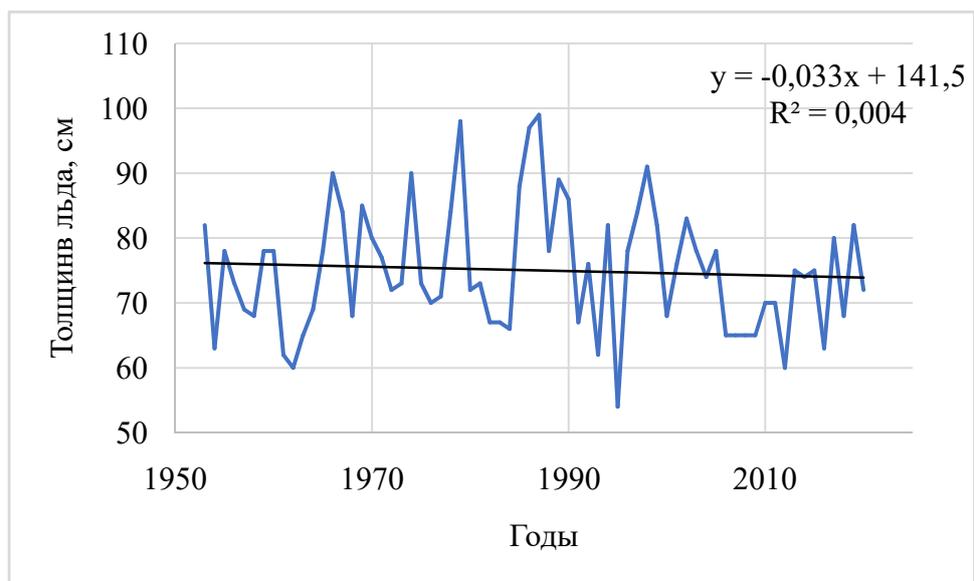


Рисунок 3.23 – Многолетняя изменчивость толщины р. Печора – с. Усть-Цильма

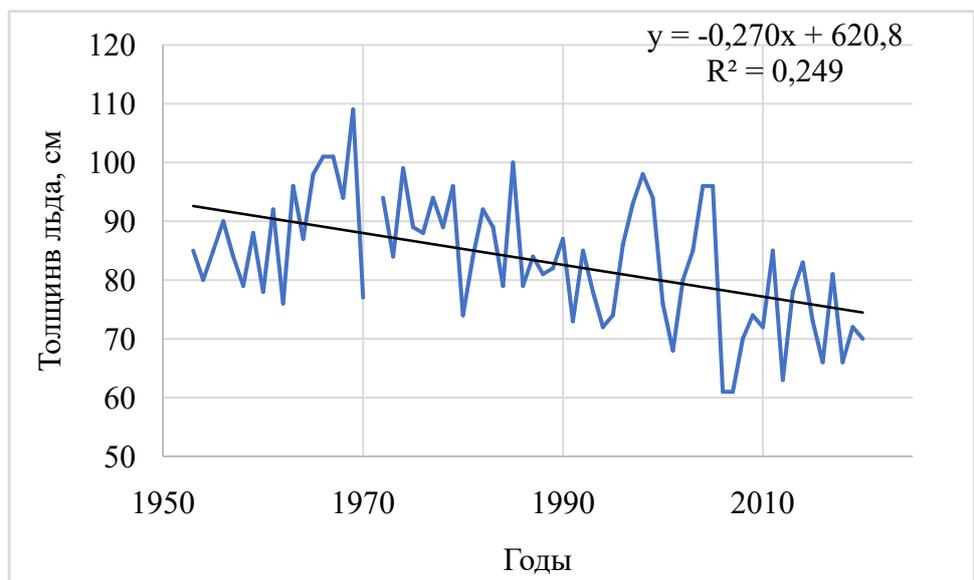


Рисунок 3.24 – Многолетняя изменчивость толщины р. Печора – с. Ермицы

На рисунках 3.22–3.24 представлены хронологические графики изменения максимальной толщины льда на реках бассейна Печоры за 1953–2020 гг. На посту у с. Усть-Цильма уменьшение толщины ледяного покрова незначительно, максимальное значение наблюдалось в 1987 году и составляло 99 см, а минимальное равное 54 см в 1995 году. На створах с. Ермицы и д. Мутный Материк наблюдается значимый тренд на уменьшение

толщины льда. Так на посту Ермицы диапазон изменения значений составляет от 109 см до 61 см, а у д. Мутный Материк – от 99 см до 54 см.

Стоит отметить, что на Европейской территории России изменения средnezимних температур воздуха отчетливо сказалось на уменьшении толщины ледяного покрова рек. На рисунке 3.25 представлена связь средnezимних температур воздуха по м/с Усть-Цильма и толщины льда на участке гидрологического поста Усть-Цильма.

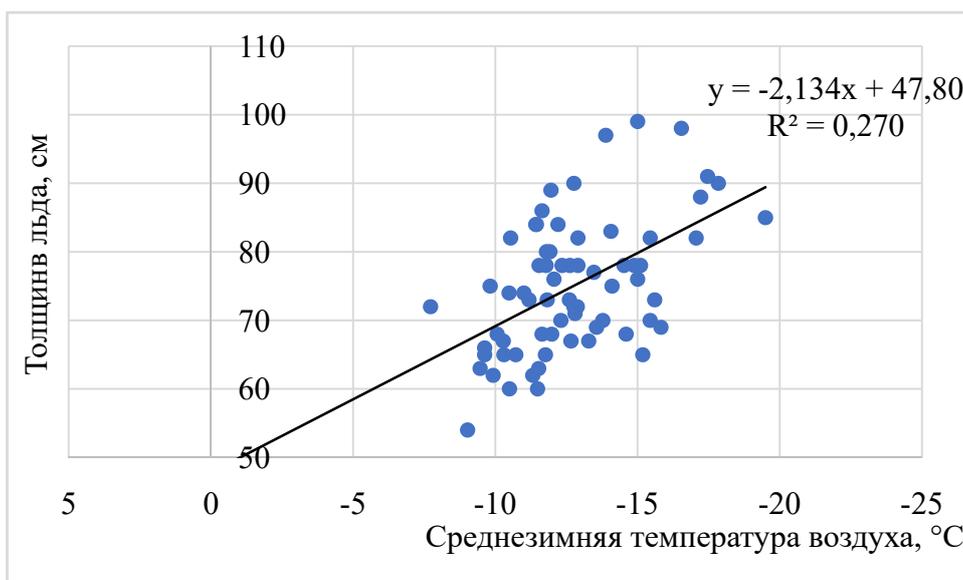


Рисунок 3.25 – График зависимости толщины льда на р. Печора – с. Усть-Цильма от средней зимней температуры воздуха по метеостанции Усть-Цильма

Таблица 3.5 – Оценка значимости трендов хронологических рядов изменения толщины льда

Река-пункт		Толщина льда
р. Печора – с. Усть-Цильма	σR	0,11
	R	0,07
	$R/\sigma R$	0,21
р. Печора – с. Ермицы	σR	0,08
	R	0,50
	$R/\sigma R$	0,16
р. Печора – д. Мутный Материк	σR	0,46
	R	0,69
	$R/\sigma R$	0,11

3.2.3 Анализ высших уровней воды в начале ледостава, период весеннего половодья(заторы)

Вследствие того, что одной из целью магистерской диссертации было создание базы данных для последующего уточнения методик прогноза заторных уровней на заторных участках реки Печоры, разработанных ранее в ГГИ, нами были построены и проанализированы зависимости максимальных заторных уровней от обуславливающих их факторов: сроков начала ледостава, его продолжительности, максимальных уровней начала ледостава и толщины ледяного покрова. [7]

Таблица 3.6 – Максимальные и минимальные значения высших уровней при ледоходе за весь период наблюдений

Река - пункт	Период	Нмин	Дата	Нмакс	Дата
р. Печора - д. Мутный Материк	1933-2020	482	25.05.1937	1188	03.06.1998
	1933-1979	482	25.05.1937	1173	03.06.1952
	1980-2020	485	26.05.1985	1188	03.06.1998
р. Печора - с. Усть-Цильма	1932-2020	508	15.05.2018	1192	05.06.1952
	1932-1979	606	25.05.1937	1192	05.06.1952
	1980-2020	508	15.05.2018	1091	02.06.1998
р. Печора - с. Ермицы	1935-2020	462	20.05.1937	1125	02.05.1995
	1935-1979	462	20.05.1937	1110	14.05.1967
	1980-2020	656	01.06.1985	1125	02.05.1995

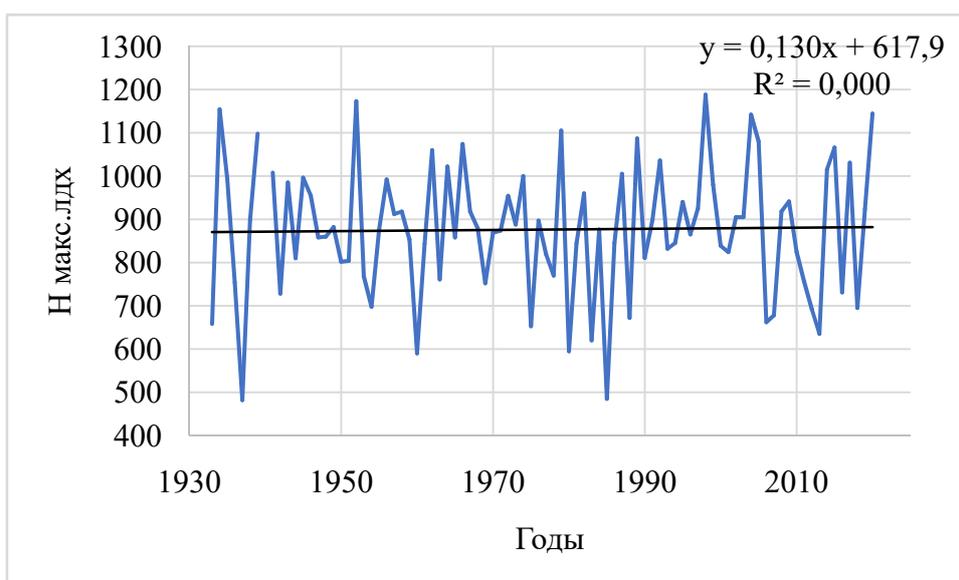


Рисунок 3.26 – Многолетняя изменчивость максимальных ледоходных уровней р. Печора – д. Мутный Материк

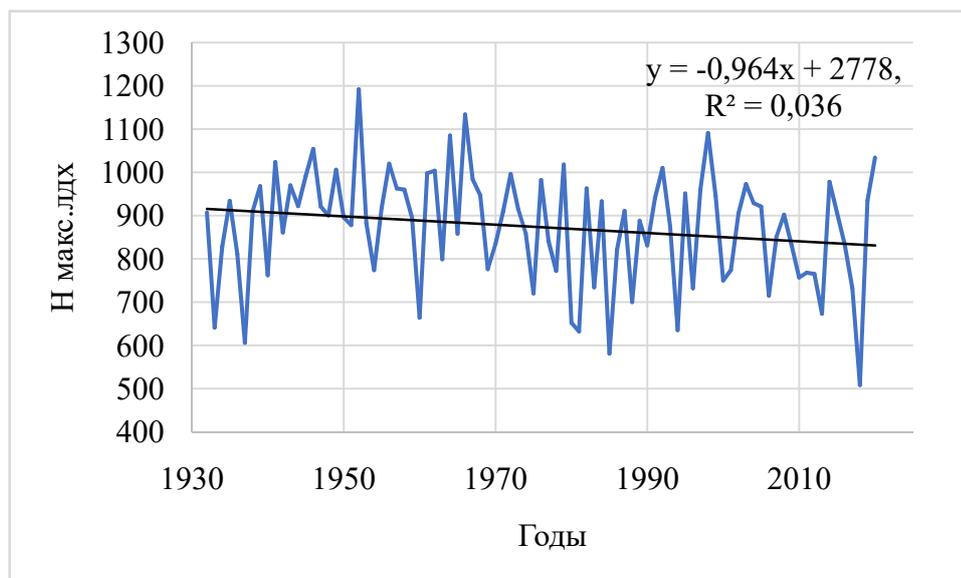


Рисунок 3.27 – Многолетняя изменчивость максимальных ледоходных уровней р. Печора – с. Усть-Цильма

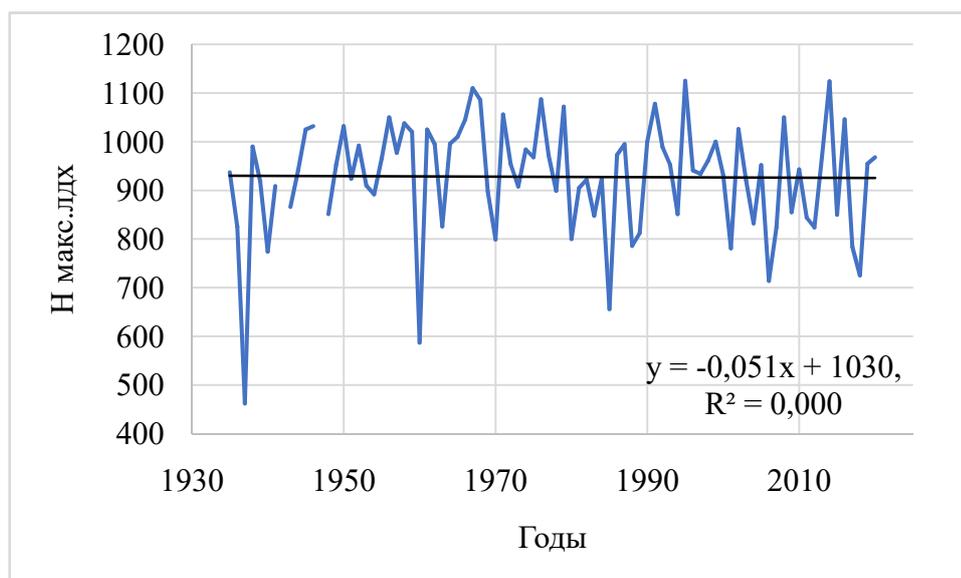


Рисунок 3.28 – Многолетняя изменчивость максимальных ледоходных уровней р. Печора – с. Ермицы

На рисунках 3.26–3.28 представлен хронологический ход высших ледоходных уровней воды для рек бассейна Печоры. Увеличение средней зимней температуры воздуха, а также годовой суммы осадков практически не

оказывают влияние на изменение максимальных ледоходных уровней. За весь период наблюдений значимых трендов не наблюдается.

Влияние климата на максимальные уровни при ледоходе имеет разнонаправленный характер: с одной стороны, затяжная осень, частые оттепели способствуют образованию внутриводного льда (шуги) и соответственно образованию зажоров, что ведет к увеличению максимальных ледоставных уровней, а с другой стороны потепление климата ведет к уменьшению ледяного покрова и более ранним датам начала ледохода. Поэтому влияние изменения климата не сказывается явно на изменение величин максимальных заторных уровней. Хотя при определенном сочетании климатических характеристик конкретного года (частые осенние оттепели, приводящие к высоким зажорным уровням, низкие зимние температуры, способствующие большой толщине льда, и дружная весна) могут привести к образованию мощных заторов льда в период весеннего ледохода.

Таблица 3.7 – Оценка значимости тренда хронологических графиков изменения высших уровней воды при ледоходе

Река-пункт		Высшие ледоходные уровни
р. Печора – с. Усть-Цильма	σR	0,11
	R	0,02
	R/ σR	0,21
р. Печора – с. Ермицы	σR	0,11
	R	0,01
	R/ σR	0,22
р. Печора – д. Мутный Материк	σR	0,10
	R	0,19
	R/ σR	0,20

Выявленные в результате анализа исходных данных однородные периоды, подтверждённые статистическим анализом, далее использовались нами для построения корреляционных зависимостей максимальных заторных уровней от определяющих их факторов.

Для оценки связи между ледоставными и ледоходными уровнями воды, были построены графики зависимости высших ледоходных уровней от высших уровней воды на начало ледостава.

Анализ данных графиков (рис. 3.29–3.31) показал, что связь между данными характеристиками с 1980 года улучшилась. Коэффициент корреляции составил 0,38.

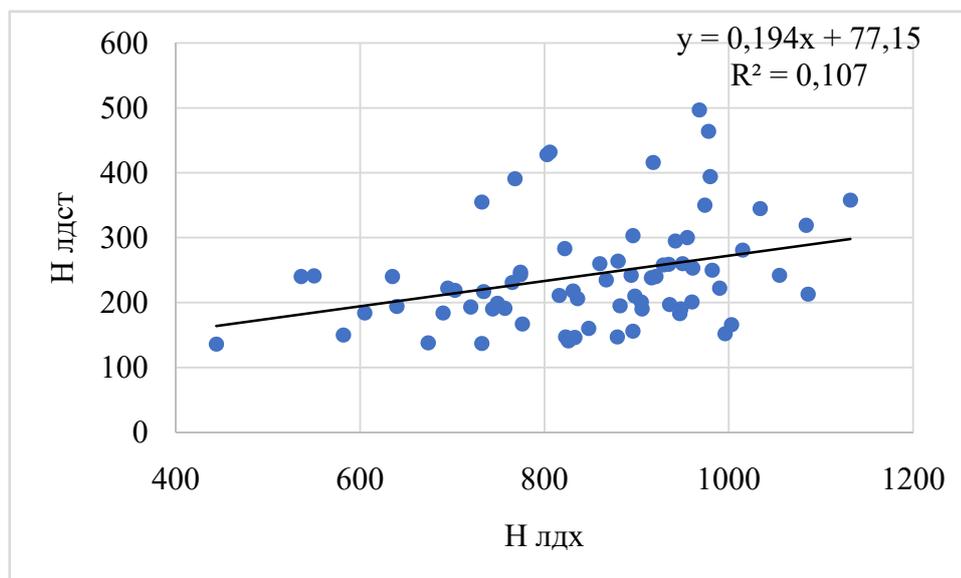


Рисунок 3.29 – График связи высших уровней воды при ледоходе и уровней воды на начало ледостава на р. Печора – с. Усть-Цильма за период 1950 – 2020 гг.

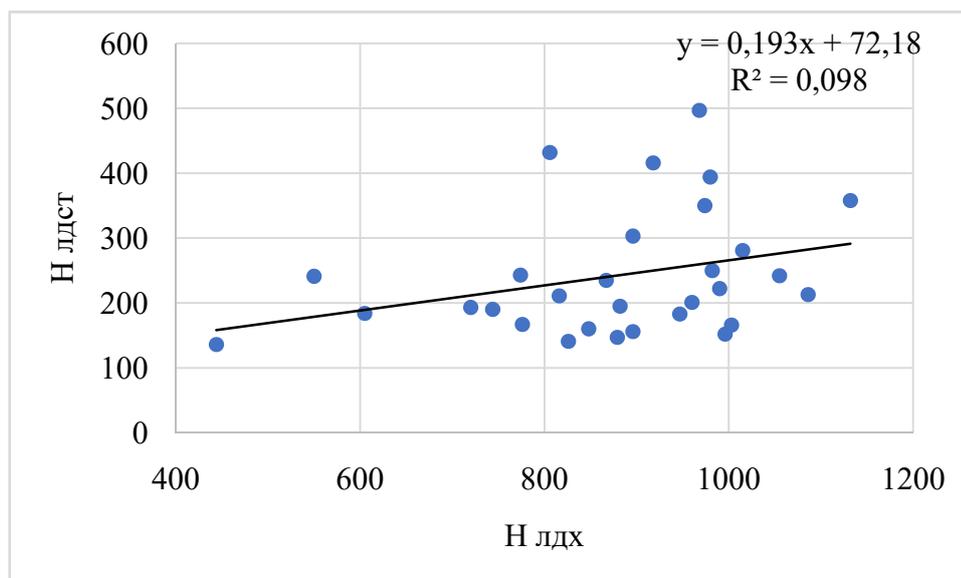


Рисунок 3.30 – График связи высших уровней воды при ледоходе и уровней воды на начало ледостава на р. Печора – с. Усть-Цильма за период 1950 - 1979 гг.

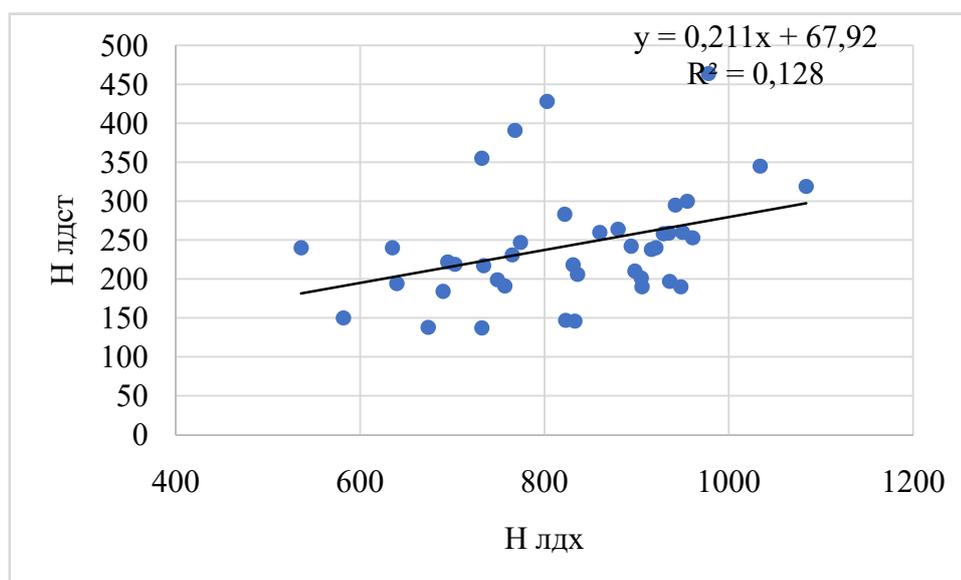


Рисунок 3.31 – График связи высших уровней воды при ледоходе и уровней воды на начало ледостава на р. Печора – с. Усть-Цильма за период 1980 – 2020 гг.

Глава 4. Прогноз высших заторных уровней для р. Печора – с. Усть-Цильма

При разработке методик прогноза высших заторных уровней воды реки Печора использованы сетевые материалы наблюдений за уровнями, толщиной ледяного покрова, ледовой обстановкой, датами ледовых явлений за период с 1980 по 2020 гг.

Прогностические зависимости устанавливались по срочным значениям заторных максимумов, которые в случае их отсутствия определялись по связи срочных и среднесуточных значений. Беззаторным вскрытиям соответствуют наибольшим за период весенних ледовых явлений высшие уровни густого ледохода. Если исходить из требований однородности происхождения уровней, то такой подход не совсем правомерен, однако с практической точки зрения полностью оправдан: для потребителя прогностической информации важно не происхождение уровня, а его высота.

Влияние такого фактора, как высший уровень в начале ледостава (H_3), характеризующего мощность скопления льда в русле, у верхней границы которого весной формируется затор, очень велико для рек, замерзающих по зажорному типу, к которому относятся реки Севера ЕТР.[6]

4.1 Методика прогноза высших заторных уровней В.А. Бузина

При разработке методов прогнозирования заторов льда на реках Севера, ученый В.А. Бузин исследовал наименее изученный участок реки Печоры, расположенный ниже устья реки Ижма, которая значительно влияет на режим данного участка. Река Ижма вскрывается на 8–10 дней раньше реки

Печоры, поэтому разрушение ледяного покрова и образование заторов льда в нижнем течении Печоры происходит на первой волне половодья, образованной на Ижме и двух других притоках Печоры: Пижме и Цильме. Волны, поступающие с верхней части реки и ее притока Усы, не оказывают значительного влияния на процесс вскрытия нижнего участка реки. Также на мощность заторов льда влияет подготовленность ледяного покрова к вскрытию, которую можно оценить по численному показателю - превышению уровня воды на дату составления прогноза над максимальным уровнем в начале ледостава. Связь между заторным подъемом уровня и затороформирующим расходом воды на участке Печоры обратная, что обусловлено наличием широкой поймы, замедляющей прирост уровня воды и льда.[4]

Вышеизложенное отражено в зависимостях, установленных для участков Печоры у сел Усть-Цильма и Ермицы:

$$\Delta H_3 = -0,0106Q_{кр.У-Ц} + c \quad (4.1)$$

$$\Delta H_3 = -0,0187Q_{кр.У-Ц} - 0,261(H' - H_{лс}) + 497 \quad (4.2)$$

где $Q_{кр.У-Ц}$ – расход воды у кромки ледяного покрова при вскрытии Печоры у с.Усть-Цильма, м³/с;

c – величина, зависящая от ледовой обстановки у с. Усть-Цильма в день составления прогноза, см.

Расход воды $Q_{кр.У-Ц}$ предвычисляется со средней заблаговременностью 9 суток по формуле 4.3:

$$Q_{кр.У-Ц} = 4,86Q_{и.к} + 0,744Q_{м.м} \quad (4.3)$$

где $Q_{и.к}$ и $Q_{м.м}$ – расходы воды на день выпуска прогноза в реках Ижма у с. Картайоль и Печора у д. Мутный Материк.

На Печоре в этот день может иметь место различная ледовая обстановка, которая учитывается при расчете расхода $Q_{м.м}$ через зимний коэффициент.

Ожидаемые максимальные заторные уровни воды Печоры у сел Усть-Цильма и Ермицы определяются суммированием подъемов ΔH_3 с уровнями $H_{Q_{кр}}$. Значения последних устанавливаются по летней кривой расходов.

Таблица 4.1 – Значения коэффициента «с» в формуле (4.3)

Ледовая обстановка на Печоре у с. Усть-Цильма в день выпуска прогноза	с
Ледостав	341
Подвижка	294
Ледоход	233

Заблаговременность прогнозов высших заторных уровней реки Печора по разработанной методике определяется значением расхода $Q_{кр.У.-Ци}$ текущей ледовой обстановкой на расчетном участке реки в день выпуска прогноза. Для оценки краткосрочных прогнозов максимальных заторных уровней рек Севера используется два критерия: отношение средней квадратической ошибки прогноза (s) к естественной вариации предсказываемого уровня (σH) и отношение ошибки (s) к вариации изменения уровня за период заблаговременности прогноза ($\sigma \Delta H$). Для проверки точности прогнозов также определяется вероятность неперевышения допустимой ошибки прогноза, если в качестве ожидаемого уровня используется средний многолетний уровень или уровень, предварительно рассчитанный по формуле 4.4:

$$H_3 = H' + \overline{\Delta H} \quad (4.4)$$

где $\overline{\Delta H}$ – норма превышения максимального заторного уровня над уровнем на дату выпуска прогноза H' . Все количественные показатели эффективности разработанных методик прогнозов сведены в таблице 4.3

Причиной изменения подхода к выбору аргументов расчетной методики является отсутствие части данных о ежедневных расходах.

Основными факторами для прогноза максимального заторного уровня для створа д. Ермицы на р. Печора:

- максимальный уровень начала ледостава в д. Ермицы ($H_{\text{макс.ледст}}$);
- максимальная толщина ледяного покрова в д.Ермицы ($h_{\text{л}}$);
- уровень на первый день после окончания ледовых явлений на р. Ижме – д. Картайоль ($H_{\text{махи.К}}$);
- уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк ($H_{\text{дВП, м.м.}}$).

Для створа с.Усть–Цильма:

- максимальный уровень в начале ледостава в с. Усть-Цильма ($H_{\text{макс.ледст}}$);
- максимальная толщина ледяного покрова в с. Усть-Цильма ($h_{\text{л}}$);
- уровень на первый день после окончания ледовых явлений на р. Ижме – д.Картайоль (дата выпуска прогноза) ($H_{\text{махи.К}}$);
- уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк ($H_{\text{дВП, м.м.}}$);
- уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Усть-Цильма.

Результаты расчета парных коэффициентов корреляции максимальных заторных уровней с определяющими их факторами приведены в таблицах 4.2.

Таблица 4.2 – Парные коэффициенты корреляции максимальных заторных уровней воды с количественными показателями факторов вскрытия и заторообразования

N п/п	Показатель	Период		
		1953– 2009	1953– 1979	1980–2009
р.Печора – д.Ермицы				
1	Максимальный уровень начала ледостава ($H_{\text{макс.ледст}}$)	0,27	0,37	–0,11
2	Максимальная толщина ледяного покрова ($h_{\text{л}}$)	0,22	0,08	0,06
3	Уровень на первый день после окончания ледовых явлений на р. Ижме – д. Картайоль $H_{\text{максИж.Карт}}$	0,40	0,43	0,33
4	Уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк $H_{\text{ДВП, Мут.Мат.}}$	0,31	0,20	0,24
р.Печора – с.Усть-Цильма				
1	Максимальный уровень начала ледостава ($H_{\text{макс.ледст}}$)	0,33	0,34	0,26
2	Максимальная толщина ледяного покрова ($h_{\text{л}}$)	0,02	0,03	0,02
3	Уровень на первый день после окончания ледовых явлений на р. Ижме – д. Картайоль (дата выпуска прогноза ДВП) $H_{\text{максИж.Карт}}$	0,58	0,58	0,6
4	Уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк $H_{\text{ДВП, Мут.Мат.}}$	0,22	0,15	0,21
5	Уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Усть-Цильма	0,33	0,29	0,32

Также были рассчитаны статистические характеристики количественных значений факторов максимальных заторных уровней воды р.Печора для двух постов: д.Ермицы и с.Усть-Цильма.

Статистический анализ выявил неоднородность рядов максимальных заторных уровней воды на реке Печоре поэтому прогнозные зависимости устанавливались, учитывая изменения климатических характеристик, начиная с 1980 года.

Ниже приведены прогнозные зависимости установленные для участков реки Печоры у деревни Ермицы:

$$H_3 = -0,382H_{\text{макс.лдст}} - 0,583h_{\text{макс}} + 0,243H_{\text{макс.И.К.}} + 0,25H_{\text{двп М.М}} + 807 \quad (4.5)$$

у села Усть-Цильма:

$$H_3 = -0,04H_{\text{макс.лдст}} + 3,69h_{\text{макс}} + 0,56H_{\text{макс.И.К.}} + 0,30H_{\text{двп М.М}} + H_{\text{двп У-Ц}} + 152 \quad (4.6)$$

Для оценки разработанных методик краткосрочных прогнозов высших заторных уровней рек были использованы два критерия: отношение средней квадратической ошибки прогноза (s) к естественной вариации предсказываемого уровня (σH) и отношение ошибки (s) к вариации изменения уровня за период заблаговременности прогноза. Полученные результаты следует отнести к категории удовлетворительных, при оценке по этим критериям (Таблица 4.4).

Таблица 4.3 – Сведения об эффективности методик краткосрочных прогнозов максимальных заторных уровней воды реки Печоры по методике В. А. Бузина

N	Река	Пункт	Средняя заблаговрем	Средняя	Оценка эффективности через среднее квадратическое отклонение от нормы
---	------	-------	------------------------	---------	--

П.П			еность прогнозов	квдр. погрешность s, см	уровня воды (σ_H)			изменения уровня за период заблаговременности прогноза ($\sigma_{\Delta H}$)		
					$\frac{s}{\sigma_H}$	Оправд. прогноза в%	Обесп. прогноза по норме	$\frac{s}{\sigma_{\Delta H}}$	Оправд. прогноза в%	Обесп. прогноза по норме
1	Печора	с. Усть-Цильма	9	115	0,72	72	44	0,74	72	56
2		с. Ермицы	11	77	0,72	67	51	0,42	90	38

Таблица 4.4 – Сведения об эффективности методик краткосрочных прогнозов максимальных заторных уровней воды реки Печоры

№	Река	Период	Средняя	Средняя	Оценка эффективности через среднее квадратическое
---	------	--------	---------	---------	---

п.п.	Пункт		заблаговременность прогнозов	квадр. погрешность s , см	отклонение от нормы					
					уровня воды (σ_H)			изменения уровня за период заблаговременности прогноза ($\sigma_{\Delta H}$)		
					$\frac{s}{\sigma_H}$	Оправд. прогнозов, %	Обесп. прогноза по норме	$\frac{s}{\sigma_{\Delta H}}$	Оправд. прогнозов, %	Обесп. прогноза по норме
1	Печора – с. Усть-Цильма	1953–2009	9	97	0,67	65	48	0,67	67	48
		1953–1979	9	105	0,67	67	52	0,67	78	52
		1980–2009	8	80	0,68	62	43	0,67	67	48
2	Печора – с. Ермицы	1953–2009	7	74	0,67	66	43	0,68	42	44
		1953–1979	8	69	0,68	70	51	0,67	85	30
		1980–2009	8	67	0,67	57	42	0,67	67	62

Как видно из таблицы средняя заблаговременность прогноза стала меньше, особенно для участка д.Ермицы она сократилась с 11 дней до 8. Однако несмотря на то, что качество прогнозов немного ухудшилось (это можно отнести к климатическим изменениям в северном полушарии Земли и не достаточности данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши) эти методики, прогноза можно считать удовлетворительными и предлагать к дальнейшему использованию.

4.2. Уточнение методики прогноза высших заторных уровней воды для р. Печора – с. Усть-Цильма

Для улучшения качества методики предложено изменить предикторы в прогнозном уравнении.

Верхний (информационный) гидрологический пост выбирается с учетом необходимой точности и достаточной заблаговременности прогноза (обычно на расстоянии 100 – 300 км от створа, для которого дается прогноз). Средняя заблаговременность прогноза максимального заторного уровня (H_3) зависит от скорости продвижения кромки ледяного покрова. Для р. Печоры она составляет 9 – 11 суток.

Для отбора наиболее подходящих предикторов были оценены парные коэффициенты корреляции с высшими заторными (ледоходными) уровнями (таблица 4.1). Рассматривались следующие факторы:

- Высший уровень в начале ледостава в с. Усть-Цильма;
- Максимальная толщина ледяного покрова в с. Усть-Цильма;
- Уровень на первый день после окончания ледовых явлений на на р. Ижме – д. Картайоль (дата выпуска прогноза ДВП);
- Уровень на подъёме половодья на р. Ижме – с. Ижма (дата выпуска прогноза ДВП);

- Уровень воды на первый день после окончания ледовых явлений р. Ижме – с. Ижма (дата выпуска прогноза ДВП);
- Уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк;
- Уровень на дvp +1 день на р. Печоре – д. Мутный Материк;
- Уровень на дvp –1 день на р. Печоре – д. Мутный Материк;

Таблица 4.5 – Парные коэффициенты корреляции высших заторных уровней воды с количественными показателями факторов вскрытия и заторообразования

Показатель	Значение парного коэффициента корреляции
Высший уровень в начале ледостава	0,48
Максимальная толщина ледяного покрова	0,27
Уровень на первый день после окончания ледовых явлений на на р. Ижме – д. Картайоль	0,13
Уровень на подъёме половодья на р. Ижме – с. Ижма	0,67
Уровень воды на первый день после окончания ледовых явлений р. Ижме – с. Ижма	0,61
Уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк	0,43
Уровень на дvp +1 день на р. Печоре – д. Мутный Материк	0,32
Уровень на дvp –1 день на р. Печоре – д. Мутный Материк	0,27

Основными факторами для прогноза максимального заторного уровня для створа р. Печора – с. Усть-Цильма были выбраны:

- высший уровень в начале ледостава в с. Усть-Цильма ($H_{\text{макс.ледст}}$);
- максимальная толщина ледяного покрова в с. Усть-Цильма ($h_{\text{л}}$);
- уровень на подъёме половодья на р. Ижме – с. Ижма (дата выпуска прогноза ДВП) ($H_{\text{и.и.}}$);
- уровень на дату выпуска прогноза на р. Печоре – д. Мутный Материк ($H_{\text{дВП м.м}}$);

Заблаговременность прогноза с использованием данных предикторов составит от 8 до 15 дней, что является хорошим показателем, для краткосрочного прогноза высших заторных уровней.

Прогнозные зависимости устанавливались, учитывая изменения климатических характеристик, начиная с 1980 года. Было принято решение использовать ряд исходных данных до 2014 года. Оставшиеся 6 лет оставлены для оценки полученного уравнения. Таблица исходных данных представлена в приложении А.

Далее представлена оценка качества модели множественной линейной регрессии.

Таблица 4.6 – Регрессионная статистика

Множественный R	0,76
R -квадрат	0,58
Нормированный R -квадрат	0,52
Стандартная ошибка	76,5
Наблюдения	35

Коэффициент множественной регрессии равен 0,76, что является удовлетворительным для модельного расчета, так как значение больше 0,6.

Таблица 4.7 – Дисперсионный анализ

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	239339	59835	10,2	2,41E-05
Остаток	30	175567	5852		
Итого	34	414906			

Необходимо также выполнить анализ значимости коэффициентов модели множественной регрессии. С помощью критерия Стьюдента проверяется гипотеза о том, что соответствующий коэффициент незначимо отличается от нуля, и соответственно, переменная при этом коэффициенте имеет незначимое влияние на зависимую переменную.

Таблица 4.8 – Значения коэффициентов для прогнозного уравнения и статистический анализ

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение
Y-пересечение	-211,2	203,3	-1,04	0,31
Переменная X1	0,31	0,38	0,80	0,43
Переменная X2	4,78	2,32	2,06	0,05
Переменная X3	1,26	0,35	3,63	0,001
Переменная X4	0,22	0,11	1,99	0,06

Строка *Y-пересечение* содержит значение коэффициента a_0 , стандартной ошибки S_{b0} и t -статистики t_{b0}

P -значение – это значение уровней значимости, соответствующее вычисленным t -статистикам.

В ходе регрессионного анализа получено уравнение (4.7) для прогноза высших заторных уровней для р. Печора в створе села Усть-Цильма.

$$H_{зт} = 0,30H_{\text{макс.лдст}} + 4,78h_{\text{льда}} + 1,26H_{\text{и.и.}} + 0,22H_{\text{двп м.м.}} - 211,2 \quad (4.7)$$

Таблица 4.9 – Предсказанные значения высших заторных(ледоходных) уровней с помощью регрессионного анализа

Наблюдение	Предсказанное Y	Наблюдение	Предсказанное Y
1	835	19	946
2	758	20	921
3	821	21	815
4	719	22	773
5	847	23	889
6	657	24	892
7	833	25	750
8	803	26	924
9	665	27	604
10	767	28	870
11	849	29	834
12	771	30	858
13	924	31	687
14	816	32	759
15	786	33	771
16	919	34	791
17	792	35	922
18	898		

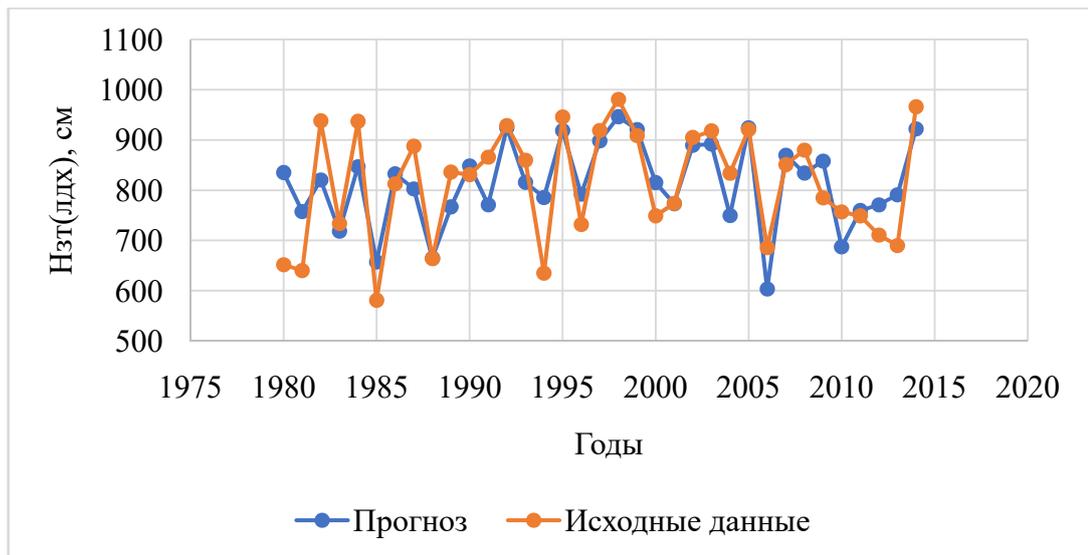


Рисунок 4.1 – График хода высших заторных уровней, полученных с помощью прогнозного уравнения и наблюдаемых значений.

Как видно на рисунке 4.1 прогнозные уравнение достаточно хорошо отражает исходные данные. После 1995 года уже можно сказать, что уравнение подстроилось под систему и отклонения от фактических данных минимальны.

Необходимо оценить эффективность методики, для дальнейшего использования прогностического уравнения.

Методика является эффективной по методу ГМЦ, если

$$\frac{S}{\sigma_{\Delta}} \leq 0,8, \quad (4.8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n-1}}, \quad (4.9)$$

где $\sum \delta^2$ – сумма значений « δ^2 »,

n – количество значений,

Таким образом, $S = 70,8$, $\sigma_{\Delta} = 110,5$.

То есть $S / \sigma_{\Delta} = 0,64$.

Это значение меньше 0,8, что указывает на эффективность методики.

Так как по методу ГМЦ методика является эффективной, решено проверить прогностическое уравнение на оставшихся 6 годах, с 2015 по 2020 гг.

Таблица 4.10 – Сравнение наблюдаемых данных и значений, полученных по регрессионному уравнению.

Год	Исходные данные	Прогноз	Погрешность, %
2015	859	775	9,8
2016	833	876	-5,1
2017	690	782	-13,3
2018	690	760	-10,1
2019	921	968	-5,1
2020	939	1068	-13,7



Рисунок 4.2 – График хода прогнозных и фактических значений высших заторных уровней

Погрешность прогнозных значений высших заторных (ледоходных) уровней, полученных с помощью предложенного уравнения, не превышает 15 процентов. Значения, определенные по прогностическому уравнению

выше фактических, это является своеобразным плюсом, так как в работе производится оценка высших уровней воды.

Несомненно, стоит отметить, что период равный 6 годам мал, для полноценной оценки результатов апробации методики.

Заключение

В результате выполнения магистерской диссертации был проведен анализ условий формирования заторов на р. Печора.

В ходе выполнения работы были собраны многолетние данные по высшим уровням воды, датам начала и конца ледостава и ледовых явлений, высшим уровням воды за ледоход, минимальным уровням открытого русла, максимальной толщине льда. Также обобщены сведения о характеристиках прошедших заторах и получены следующие основные результаты:

- При оценке изменений климата в бассейне р. Печора наблюдается значимый рост среднегодовых температур воздуха начиная с 1980 г.
- Даты начала ледовых явлений на реках бассейна Печоры сдвинулись на более поздние в среднем на 5 дней, а даты начала ледостава в среднем на 6 дней, по сравнению с наблюдавшимися до начала изменения климата.
- Период, когда русло занято ледовыми явлениями практически не изменился. Сместились лишь даты начала и окончания ледовых явлений.
- Увеличение средней зимней температуры воздуха, а также годовой суммы осадков практически не оказывают влияние на изменение максимальных ледоходных уровней. За весь период наблюдений значимых трендов не наблюдается.
- Разработана и апробирована эффективная методика прогноза высших заторных уровней. Уточнены вклады затороформирующих факторов, что позволило более надежно прогнозировать значения высших заторных уровней, по

сравнению с существующими методиками. Погрешность прогнозных значений высших заторных (ледоходных) уровней, полученных с помощью предложенного уравнения, не превышает 15 процентов.

Список использованной литературы

1. Анализ, обобщение и оценка опасных гидрологических явлений в различных регионах страны: Отчет о НИР ФГБУ ГГИ; Руководитель С.А.Журавлев 2.2.2.1 №ГР АААА-А20-120112690064-2.-СПб.2021.-172с.
2. Берденников, В.П. Физические характеристики льда заторов и зажоров. - вып. 129 изд. - Труды ГГИ, 1965. - 19-43 с.
3. Бузин, В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. - Л.: Гидрометиздат, 2004. - 202 с.
4. Бузин, В.А. Применение теоретической модели затора льда для прогноза максимальных заторных уровней воды рек севера. - №23 изд. - Сборник работ по гидрологии, 1999. - 108-115 с.
5. Бузин, В.А. Факторы образования и прогноз заторов льда на реках севера ЕТР. - №4 изд. - Метеорология и гидрология, 2010. - 63-74 с.
6. Бузин В.А., Чачина Н.С., Шаночкин С.В. Прогнозы максимальных зажорных и заторных уровней воды рек Северная Двина и Даугава. - вып.323 изд. - Труды ГГИ, 1986. - 19-27 с.
7. Георгиевский, В.Ю., Грек, Е.А., Марков, М.Л., Молчанова, Т.Г. Опасные гидрологические явления на реках арктической зоны Российской Федерации//Метеорология и гидрология, -2019, -№4-С.89-98.
8. Гинзбург, Б.М. Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке // Метеорология и гидрология. - 2005. - №12. - С. 88-97.
9. Гинзбург, Б.М.,Солдатова, И.И. Многолетняя изменчивость сроков ледовых явлений на реках как индикатор колебаний климата переходных сезонов // Метеорология и гидрология. - 1997. - №11. - С. 99-107.
- 10.Горошков, И.Ф. Гидрологические расчеты. - Л.: Гидрометиздат, 1979. - 431 с.

11.Горошкова, Н.И., Стриженок, А.В., Семенова, Д.А. База данных: Многолетние данные по характеристикам ледовых явлений, высшим годовым уровням и низшим уровням воды открытого русла для рек бассейна р. Печора за период с начала наблюдений по 2019 г. включительно. - 2023 г.

12.Горошкова, Н.И., Стриженок, А.В. Опасные гидрологические явления на реках бассейна Балтийского моря // Гидрометеорология и экология:достижения и перспективы развития/МГО 2020 имени Л.Н.Карлина. труды 4 Всероссийской конференции. - СПб: 2020. - С. 83-86.

13.Донченко, Р.В. Ледовый режим рек СССР. - Л.: Гидрометиздат, 1987. - 248 с.

14.Ильина, Л.Л., Грахов, А.Н. Реки севера. - Л.: Гидрометиздат, 1987. - 128 с.

15.Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. - т.1. Европейская часть изд. - Л.: Гидрометиздат, 1978. - 260 с.

16.Лобанов, В.А., Горошкова, Н.И., Стриженок, А.В.,Семенова, Д.А. Влияние изменений климата на экстремальные гидрологические характеристики в бассейне реки Печоры // Гидрометеорология и экология. - 2022. - №68. - С. 435-452.

17."Материалы по обоснованию схемы территориального планирования республики Коми" от 15.01.2021 // р.Коми. – 2021

18.Нежиховский, Р.А., Саковская, Н.П. Прогноз максимального заторного уровня р. Северная Двина у г. Архангельск. - вып.197 изд. – Труды ГГИ, 1972. - 118 с.

19.Перечень и критерии опасных природных явлений в зоне ФГБУ «Северное УГМС» - URL: <http://sevmeteo.polarpost.ru/dangerous/index.html> (дата обращения 19.10.2022).

20.Погода и климат [Электронный ресурс] //URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (Дата обращения 17.01.2023).

- 21.Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1984, - 78 с.
- 22.Ресурсы поверхностных вод. – т.3 Северный край изд. – Л.: Гидрометиздат, 1972
- 23.Свод правил. СП 33-101-2003. – 2004. Определение основных гидрологических характеристик. – М.:Госстрой России, 2004. – 73 с.
- 24.СНиП "Строительная климатология" от 2019 № 23-01-99 // М.: Стандартиформ.
- 25.СП 115.13330.2016 «Геофизика опасных природных воздействий». – М.: Стандартиформ. – 2018. – 43 с.
- 26."Схема территориального планирования Ненецкого автономного округа"- 2019 т 2017 № Т.1 // Омск. – 2018
- 27.Чеботарев, А.И. Гидрологический словарь. - Л.: Гидрометиздат, 1964. - 223 с.

Приложение А–Исходные данные для прогноза высших заторных уровней
р. Печора – с. Усть-Цильма

Дата	Нзт(Нлдж.мак)	Дата	Нлджт	лльда	Н ИИ	Дата	Лед.обст.	Н на двп ММ
1980	652	18.май	240	72	476	28.апр	густ лдж	134
1981	640	22.май	194	73	400	13.май	густ лдж	262
1982	938	10.май	190	67	471	03.май	редк	277
1983	734	01.май	217	67	412	26.апр	густ лдж	112
1984	937	23.май	238	66	498	13.май	редк	196
1985	581	21.май	150	65	402	08.май	густ лдж	25
1986	813	24.май	187	75	438	19.май	редк	352
1987	888	21.май	210	73	441	14.май	редк	209
1988	664	23.май	138	78	356	11.май	густ лдж	58
1989	836	20.май	206	79	409	12.май	редк	102
1990	831	08.май	218	80	458	27.апр	густ лдж	156
1991	866	06.май	197	77	408	23.апр	густ лдж	185
1992	929	18.май	258	76	492	13.май	редк	340
1993	860	21.май	260	68	432	13.май	редк	361
1994	635	18.май	240	75	421	03.май	редк	160
1995	946	28.апр	260	68	497	21.апр	редк	458
1996	732	23.май	255	78	415	09.май	густ лдж	138
1997	919	10.май	253	81	465	25.апр	густ лдж	274
1998	981	30.май	319	79	486	24.май	редк	324
1999	909	10.июн	295	80	475	31.май	редк	283
2000	749	05.май	199	68	432	28.апр	редк	444
2001	774	08.май	247	76	397	30.апр	редк	210
2002	905	10.май	201	83	441	05.май	редк	401
2003	918	19.май	300	78	476	09.май	зотор	180
2004	834	26.май	242	74	397	19.май	редк	153
2005	921	19.май	240	78	495	14.май	редк	304
2006	686	20.май	219	65	325	09.май	редк	129
2007	851	12.май	288	65	423	05.май	густ лдж	691
2008	880	29.май	264	65	491	17.май	густ лдж	163
2009	785	27.май	283	65	501	14.май	густ лдж	189
2010	757	09.май	191	70	367	27.апр	густ лдж	200
2011	749	10.май	291	70	402	21.апр	густ лдж	188
2012	711	16.май	231	63	425	02.май	редк	347
2013	690	14.май	222	75	409	05.май	густ лдж	280
2014	966	19.май	264	74	500	07.май	зотор	319
2015	859	17.май	190	75	436	07.май	редк	93
2016	833	03.май	146	63	401	24.апр	густ лдж	113
2017	690	03.июн	137	80	317	16.май	густ лдж	318
2018	690	26.май	184	68	376	14.май	редк	105
2019	921	18.май	259	82	559	12.май	редк	322
2020	939	14.май	345	72	516	09.май	густ лдж	494

