



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Долгосрочное прогнозирование сроков
появления плавучего льда на реке Пур**

Исполнитель Голубков Андрей Максимович
(фамилия, имя, отчество)

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

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Гайдукова Е.В.
(фамилия, имя, отчество)

«24» мае 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение.....	2
1. Физико-географическое описание района	3
1.1 Географическое положение	3
1.2 Рельеф.....	4
1.3 Климат	5
1.4 Гидрография.....	8
2. Физика процесса.....	21
2.1 Замерзание рек.....	21
2.2 Вскрытие рек	24
3. Методика прогноза	29
3.1 Определение устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C	30
3.2 Прогнозирование дат появление плавучих явлений.....	33
3.3 Оценка прогнозов и методики	35
4. Прогноз сроков появления плавучего льда.....	36
4.1 Весенний период	36
4.2 Осенний период.....	41
Заключение.....	47
Список использованных источников.....	49

Введение

Арктика богата природными ресурсами, но в связи с суровостью климата, транспортная сеть развита слабо. Водный транспорт является одной из важнейших частей логистики региона. Поэтому важно заранее знать сроки появления плавучего льда в весенний и осенний период для закрытия или открытия речной навигации.

Прогнозирование сроков появления плавучего льда поможет заранее устанавливать сроки навигации и планировать маршруты для наиболее эффективного управления природными ресурсами.

Объектом исследования была выбрана река Пур, находящаяся в арктической зоне России.

Цели работы:

- Сбор гидрологических и метеорологических данных;
- Нахождение зависимости гидрологических данных от метеорологических для составления прогноза.

Задачи работы:

- Обработка данных по постам и метеостанциям;
- Построение графиков зависимости;
- Составление ряда поверочных прогнозов дат появления плавучего льда;
- Оценка полученных прогнозов и методики.

В первой главе работы рассмотрено физико-географическое описание объекта исследования. Во второй главе представлена физика процесса замерзания и вскрытия рек. В третьей главе описаны используемые для расчетов методики. В четвертой главе представлены все результаты исследования. В заключение сформулированы выводы по проделанной работе.

1. Физико-географическое описание района

1.1 Географическое положение

Река Пур расположена в Ямало-Ненецком автономном округе России в пределах арктической зоны между 64° и 67° северной широты и между 77° и 78° восточной долготы. Образуется от слияния рек Пякупур и Айваседапур, впадает в Тазовскую губу Карского моря. Протекает через Пуровский район в зоне вечной мерзлоты (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Бассейн реки Пур

Длина реки составляет 389 км, площадь водосбора бассейна – 11200 км². Общее падение реки составляет 21 м, уклон равен 0,054 ‰.

По длине реки расположены следующие населенные пункты:

Тарко-Сале. Расположен на слиянии двух истоков реки Пур, между реками Пякупур и Айваседапур. Население составляет около 20 тыс. человек.

Поселок городского типа Уренгой. Расположен на правом берегу реки в 245 км от истока. Население составляет около 10 тыс. человек.

Село Самборг. Расположено на правом берегу в 86 км от устья. Население составляет около 2 тыс. человек. [8]

1.2 Рельеф

Исследуемая территория расположена в пределах Западно-Сибирской равнины на Пурской низменности и Пур-Тазовской возвышенности в лесной природной зоне.

Бассейн реки располагается на повышенных участках («материках»). Они представляют собой плоские массивы, разделенные долинами рек и заболоченными многоозерными понижениями. Сибирские увалы представляют плоские возвышенности средней высотой в 160 – 180 м; в верховьях реки Пур увалы понижаются до 90-95 м. На востоке цепь возвышенностей (материков) достигает высот 170 – 190 м.

Особенностью исследуемой территории является вечная мерзлота.

Многолетнемерзлые породы, расположенные севернее 61° северной широты, залегают редкими островками на безлесных участках, главным образом в торфяниках. На широтах $65-66^{\circ}$ эти породы занимают большую площадь, чем талые породы и встречаются даже на участках, поросших лесом. Севернее мерзлые породы имеют в основном сплошное распространение и отсутствуют только под руслами крупных рек и под глубокими (свыше 2 м) большими озерами. Под менее крупными водотоками и водоемами верхняя поверхность мерзлых пород залегает на глубине нескольких десятков метров.

Наименьшие температуры мерзлых пород фиксируются в торфяниках, тогда как наивысшие — в песчаных отложениях. Разница в температурах этих типов грунтов в одном и том же районе может достигать $3-4^{\circ}\text{C}$.

Глубина сезонного протаивания многолетней мерзлоты уменьшается с юга на север. Минимальные глубины сезонного протаивания установлены на торфяниках, максимальные — в песчаных отложениях.

Мощность мерзлой толщи у полярного круга колеблется от 400-450 до 250—300 м. Южнее полярного круга мерзлые толщи имеют двухслойное строение: верхний слой прослежен до глубины 30-80 м, ниже до глубины 90-150 м залегают талые породы, отделяющие верхний слой от реликтовой толщи мерзлых пород, нижняя граница которой отмечена на глубинах до 300 м и более. К югу от 63-64° с. ш. многолетнемерзлые породы с поверхности не встречаются, мерзлые толщи залегают на большой глубине (от 150—200 до 300-400 м).

Западно-Сибирская равнина представляет молодую (последгерцинскую) платформу, покрытую мощной толщей четвертичных отложений. В бассейне реки Пур встречаются морские палеогеновые отложения. [9]

1.3 Климат

Исследуемая территория характеризуется умеренно-континентальным климатом. Равнинность территории и открытость с севера и юга не препятствует глубокому проникновению в ее пределы воздушных масс. Поэтому в любой сезон года возможны резкие изменения погоды, переход от тепла к холodu, резкие колебания температуры воздуха от месяца к месяцу, от суток к суткам и в течение суток.

Для температурного режима рассматриваемой территории характерны суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, но жаркое лето, короткие переходные сезоны — весна и осень, поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период. [9]

Изучение климата производилось по метеостанциям: Уренгой, Новый Уренгой, Тарко-Сале, Ноябрьск и Халысавэй (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Расположение метеостанций в бассейне реки Пур

Холодное Карское море, являясь источником холода летом и сильных ветров зимой, увеличивает эту суровость. Средние годовые температуры составляют от -4°C до -6°C (Таблица 1). Температура уменьшается по мере продвижения на север.

Таблица 1 – Средние многолетние значения месячной и годовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по данным метеостанций [1]

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ноябрьск	-22,9	-20,3	-11,2	-4,3	3,8	13,3	16,1	12,8	6,4	-1,9	-14,0	-20,0	-3,5
Халясавэй	-23,8	-21,7	-13,3	-6,4	1,9	12,2	16,9	13,0	6,4	-3,4	-15,2	-20,8	-4,5
Тарко-Сале	-24,6	-23,2	-15,9	-7,6	0,2	11,0	16,3	12,5	6,0	-4,1	-16,3	-22,0	-5,6
Уренгой	-25,8	-23,2	-14,9	-7,7	0,5	12,4	15,9	12,4	5,9	-3,6	-16,9	-22,4	-5,6
Новый Уренгой	-25,2	-23,3	-16,0	-9,0	-0,5	11,6	15,5	12,1	5,6	-3,8	-16,5	-21,8	-5,9

Самым холодным месяцем является январь. Средние температуры воздуха изменяются от -23°C в южной части и до -26°C в северной. В мае (на севере в июне) среднесуточная температура переходит через 0°C и начинается весна.

Самым жарким месяцем является июнь. Средние температуры воздуха изменяются от $+16^{\circ}\text{C}$ до $+17^{\circ}\text{C}$. Холодный период (переход температуры через 0°C) наступает в сентябре.

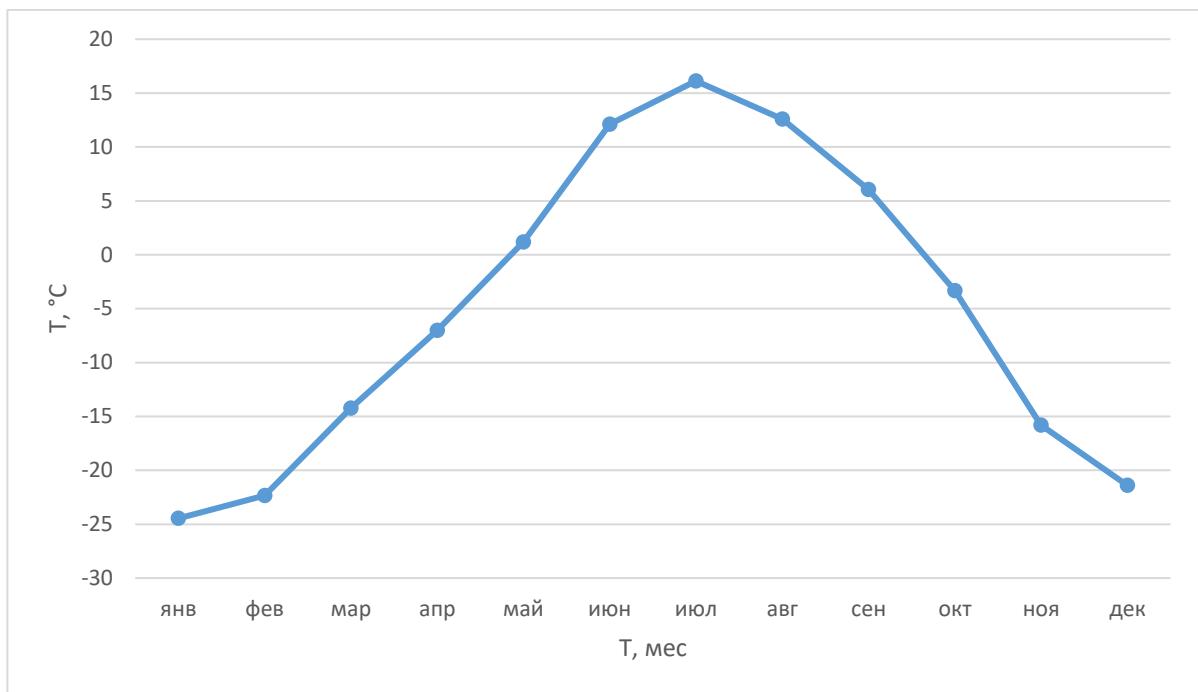


Рисунок 3 – Многолетний ход среднемесячных температур

Количество и распределение осадков рассматриваемой территории определяются главным образом особенностями общей циркуляции атмосферы, в частности фронтальной деятельностью западных циклонов.

Наибольшее годовое количество осадков (510 – 580 мм) выпадает в лесной зоне. Увеличение осадков в этом районе связано с наибольшим развитием циклонической деятельности. К северу от этой зоны количество осадков убывает и составляет 460 – 520 мм (Таблица 2).

Таблица 2 – Средние многолетние значения месячных и годовых сумм осадков (мм) по данным метеостанций [1]

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ноябрьск	26	20	33	40	41	75	69	96	64	54	39	30	588
Халысавэй	25	19	23	30	37	61	64	72	60	51	40	30	511
Тарко-Сале	29	23	30	34	38	58	64	74	58	55	41	34	538
Уренгой	24	21	30	33	36	61	58	66	56	59	41	31	516
Новый Уренгой	20	17	25	28	35	59	57	67	52	48	30	24	462

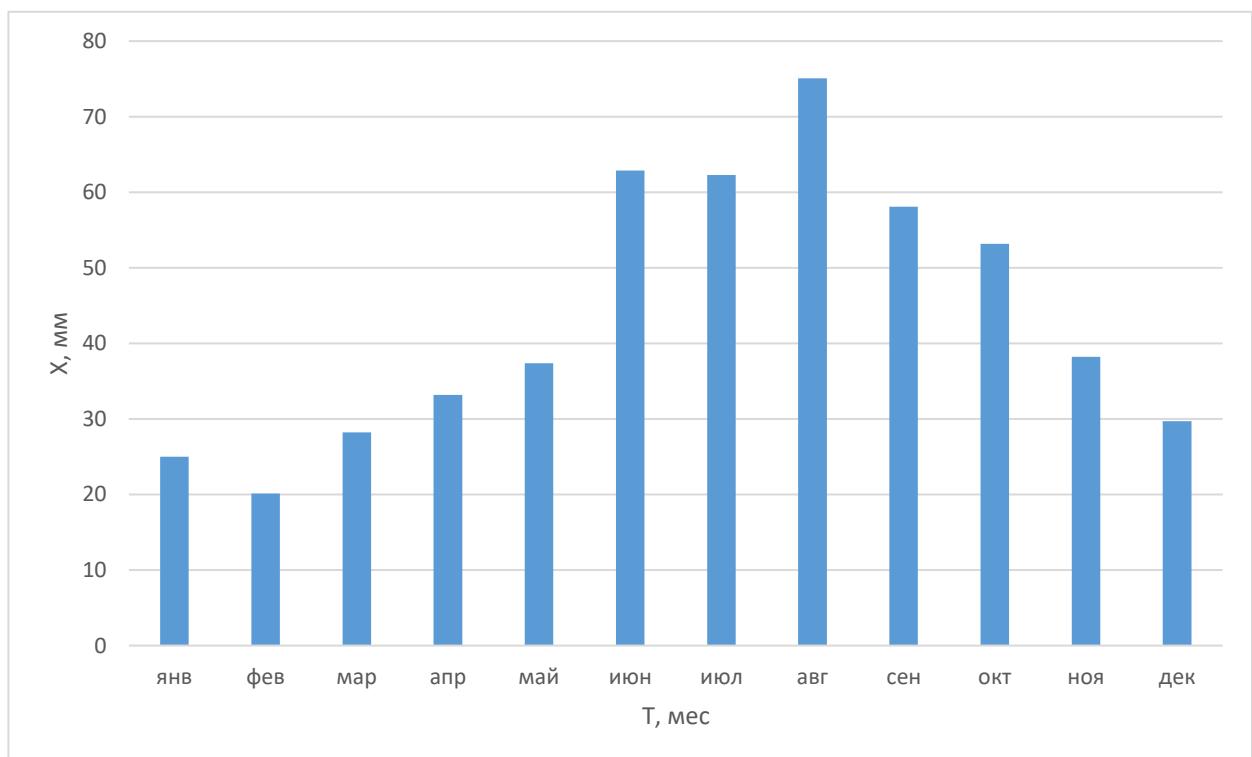


Рисунок 4 – Многолетнее месячное распределение сумм осадков по метеостанциям

Уменьшение осадков к северу связано главным образом с малым влагосодержанием преобладающего здесь арктического воздуха, а к югу — ослаблением циклонической деятельности и повышением температуры.

1.4 Гидрография

Река Пур образуется от слияния рек Пякупур и Айваседапур, впадает в Тазовскую губу. Длина реки 389 км, площадь водосбора 112 тыс. км².

Основные притоки – реки Хыльмиг-Яха, Ягенетта, Трыб-Яха, Бол. Хадырь-Яха, Ево-Яха, Нгарка-Хадыта-Яха, Надосале-Хадыта, Малой-Яха. Кроме указанных рек впадает ряд речек и мелких ручьев. Направление течения реки почти строго выдерживается с юга на север. Долина реки хорошо развита и имеет ширину в верхней части 5-10 км, в средней 10-12 км и в нижней 20-25 км.

Пойма реки преимущественно двусторонняя. Вогнутые берега обрывистые. Пойменные берега в верхней части бассейна покрыты смешанным лесом, постепенно переходящим в лесотундру и тундру (в приустьевом участке).

Характерной особенностью реки является наличие стариц, проток, островов. В нижнем течении русло реки делится островами на рукава, достигающие местами 1 км ширины.

При впадении в Тазовскую губу русло разделяется на два рукава: правый – Мал. Пур и левый – Бол. Пур. На выходе реки в Тазовскую губу имеется бар. Глубины на баре не постоянны и изменяются под действием сгонно-нагонных ветров. Извилистость реки Пур незначительна.

Ширина реки колеблется от 200 до 850 м. Преобладающие глубины на плесовых участках 4-5 м, максимальные 12 м. Наименьшая глубина на перекатах 1,2 м.

Скорости течения вследствие небольших уклонов незначительны. В межень скорости уменьшаются до 0,3-0,5 м/сек, на плёсах и до 0,6-0,8 м/сек. на перекатах. Во время половодья скорости течения на реке Пур возрастают до 1,2-1,3 м/сек. [9]

На территории реки расположены три действующих гидрологических поста (Рисунок 5).



Рисунок 5 – Гидрологические посты на реке Пур

Таблица 3 - Среднемноголетнее распределение стока ($\text{м}^3/\text{с}$) по месяцам на постах [1]

Пост	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
пгт. Уренгой	501	408	350	380	1609	2523	1077	749	784	833	841	643	892
г. Тарко-Сале	193	158	135	165	746	943	492	355	362	362	324	245	373

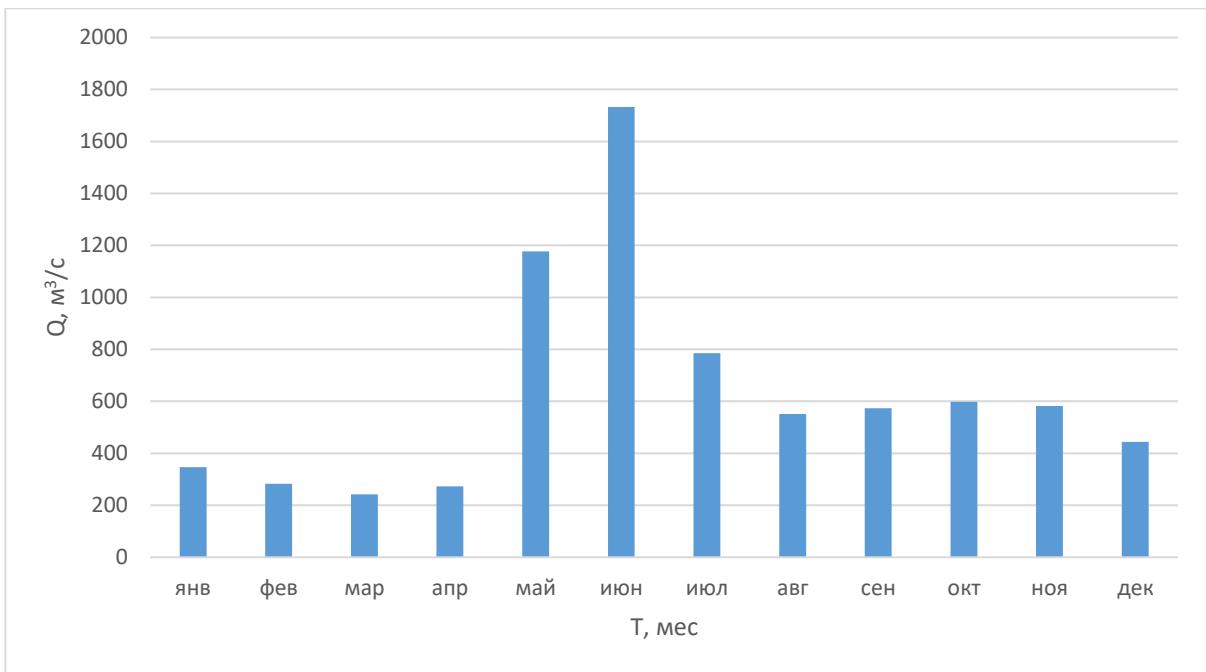


Рисунок 6 – Месячное распределение стока на постах

Бассейн реки Пур относится к Пур-Тазовскому подрайону. Этот район занимает северо-восток лесной зоны. Низовье реки располагается в лесотундре и тундре. Поверхность рассматриваемого подрайона представляет собой плоско-холмистую равнину с общим, очень небольшим уклоном на север, значительно залесенную (40-80%) и заболоченную (10-45%). Водный режим характеризуется весенне-летним половодьем, летними и осенними паводками (Рисунок 7). [9]

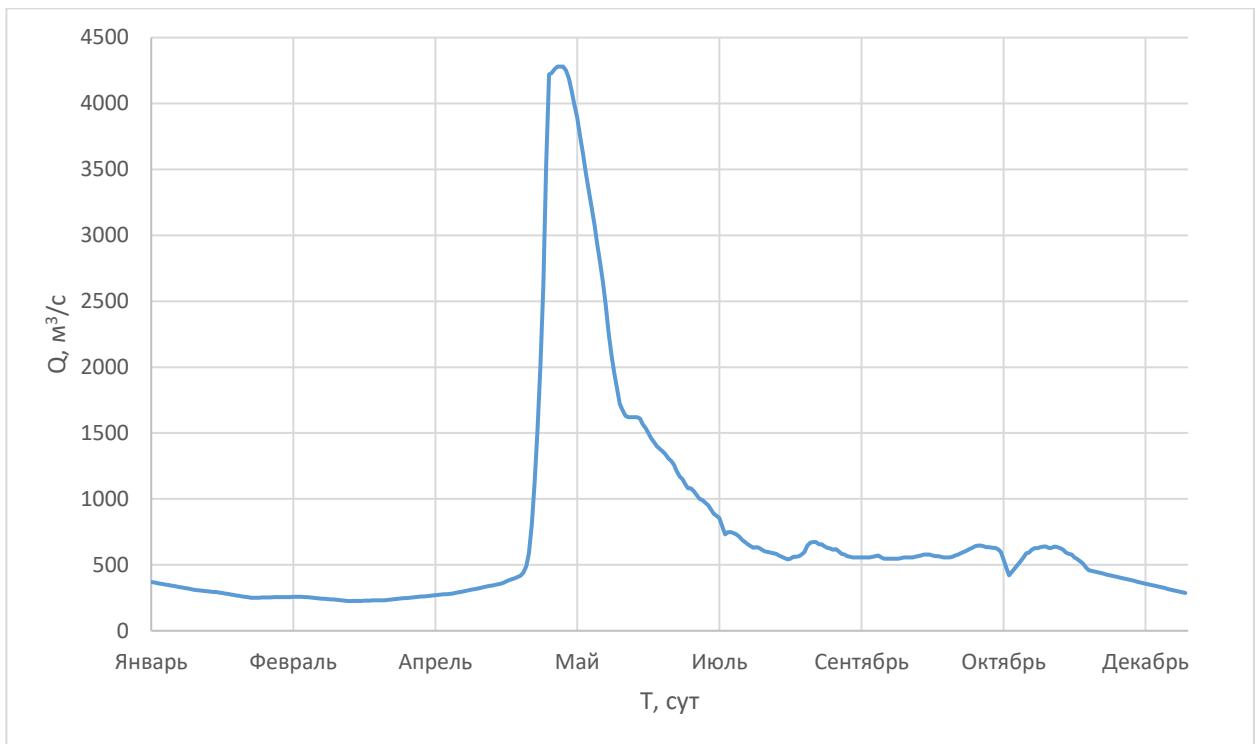


Рисунок 7 – Гидрограф стока р. Пур у пгт. Уренгой за 2022 год

Половодье начинается в первой декаде мая. Максимум проходит в начале июня. Заканчивается половодье в конце июля - начале августа. Продолжительность его 80-90 дней. Объем стока половодья составляет 50-60% годового.

Летне-осенняя межень обычно длится с июля (на крупных реках с августа) по сентябрь. Средняя продолжительность ее 40-70 дней. Летние и осенние паводки достаточно выражены.

На крупных реках они сливаются вместе и образуют повышенный летне-осенний сток. Паводки здесь не превышают половодья. Средние модули летне-осенней межени $7,20-8,60 \text{ л/сек. км}^2$.

Появление ледовых образований на реках в среднем относится к первой половине октября. Зимняя межень продолжительная (195 дней). Ледостав устойчивый, средняя продолжительность его 225 дней. Средние модули стока за зимнюю межень $3,00-4,80 \text{ л/сек. км}^2$.

Средний годовой модуль стока $9,00-10,0 \text{ л/сек. км}^2$.

Коэффициент внутригодовой зарегулированности стока 0,60. [9]

Питание реки преимущественно снеговое. Для водного режима реки Пур характерно высокое весеннее половодье и низкие летняя и зимняя межень, а также летние и осенние дождевые паводки, приводящие к подъему уровня воды в реке Пур до 1,5-2,0 м. Половодье обычно начинается в середине мая, средняя продолжительность половодья – от 75 дней в верхнем течении и по нарастающей вниз по течению, до 85 дней в нижнем течении. Пик половодья приходится обычно на начало-середину июня. Уровень воды во время половодья поднимается в среднем на 4-5 м, максимум составляет 7 м. Средний расход воды в устье составляет 1040 м³/с. Средний годовой объем стока в устье реки Пур составляет 32,78 км³. Основной сток (57-63% годового) проходит весной-летом, в летне-осенюю межень – 19-25%, зимой – 17-20% в зависимости от водности года. Самый многоводный месяц – июнь (34-35% объема годового стока), самые маловодные – март и апрель (2,1-2,3%). Промерзание и пересыхание для реки Пур не характерно.

В устьевой части реки наблюдаются ветровые нагонные явления из Тазовской губы, распространяемые на 100 км и более вверх по течению.

По классификации О.А. Алекина (1989), вода в реке Пур относится к маломинерализованным водам гидрокарбонатного класса, натриевой группы. Существует тенденция к уменьшению общей минерализации от истока к устью. Общая сумма ионов изменяется от 81,3 мг/дм³ в районе слияния рек Пякупур и Айваседапур, до 44,4 мг/дм³ в дельте реки Пур. Вода в реке относится к категории «очень мягкая», общая жесткость находится в пределах от 0,15 до 0,4 мг/дм³.

Органическое вещество в воде присутствует в виде смываемых с почв и болот веществ гумусового происхождения и продуктов распада различных органических веществ, преимущественно растительного происхождения.

Из загрязняющих веществ выше предельно допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК) присутствуют нефтепродукты и фенолы. Превышение ПДК по нефтепродуктам составляет 1,5 – 5 раз, по фенолам 5 раз (ниже г. Тарко-Сале). По тяжелым металлам превышение ПДК составляет: марганец – 1,1 – 1,7 раза, цинк 1,4 раза, медь – 4 раза.

Вода реки Пур по содержанию ртути, кадмия, никеля, свинца характеризуется как «чистая», меди и цинка – «слабозагрязненная», железа – «умеренно-загрязненная».

Интегральный индекс загрязнения свидетельствует, что в среднем по реке воды относятся ко 2 классу качества – «относительно чистые». [1]

Бассейн реки Пур находится в условиях преимущественного формирования подземного притока в реки из водоносных горизонтов (комплексов) в четвертичных отложениях. Чехол рыхлых четвертичных отложений имеет практически сплошное распространение. В границах максимального оледенения (севернее примерно 60° с. ш.), в области ледниковой аккумуляции, четвертичные отложения представлены мощными толщами валунных суглинков и флювиогляциальных песков, в которых получают развитие грунтовые и слабонапорные воды.

При незначительной глубине залегания подземных вод четвертичного комплекса (от 0 до 10- 15 м), отдельные водоносные слои имеют мощность 40-60 м, но отличаются невысокой водоносностью. Дебит скважин изменяется от 0,05 до нескольких литров в секунду.

Территория к северу от Полярного круга находится в зоне распространения мощной толщи многолетнемерзлых пород, где формирование подземного питания рек осуществляется исключительно за счет грунтовых вод деятельного слоя и русловых и подрусловых таликов. В зимний период такие реки перемерзают. Разгрузка глубоких подземных вод дочетвертичных водоносных

комплексов практически через сквозные талики, существующие под долинами крупных рек. [9]

Описание постов:

р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале. Пост расположен в поселке, в 2,9 км выше слияния рек Пяку-Пур и Айвасе- до-Пур, образующих р. Пур.

Прилегающая местность - плоская равнина, покрытая хвойным лесом.

Долина реки неясно выраженная. Склоны ее пологие, сложены песчано-илистыми грунтами.

Пойма двухсторонняя, шириной 9 км, заболоченная, изрезана старицами, озерами, поросла хвойным лесом.

Вода выходит на правобережную пойму при уровне 828 см над нулем поста, на левобережную - при уровне 900 см. Сток в пойме не учитывается.

Русло реки песчаное, деформирующееся. Берега пологие, местами обрывистые, высотой 3-4 м, сложены песчано-илистыми грунтами, покрыты кустарником и лесом.

В 2,9 км ниже поста на середине реки расположена песчаная отмель длиной 400-500 м, у которой во время ледохода наблюдаются заторы льда.

Пост свайного типа, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 15,25 м (БС).

Гидроствор № 1, веерный, расположен в 1,5 км ниже поста, оборудован лодочной переправой.

Гидроствор № 2, расположенный в 1,5 км выше поста, служит для измерения расходов в зимний период.

Единичные пробы воды на мутность берутся в створе поста, в 5 м от берега.

Температура воды измеряется в створе поста, в 3-4 м от берега, толщина льда на середине реки.

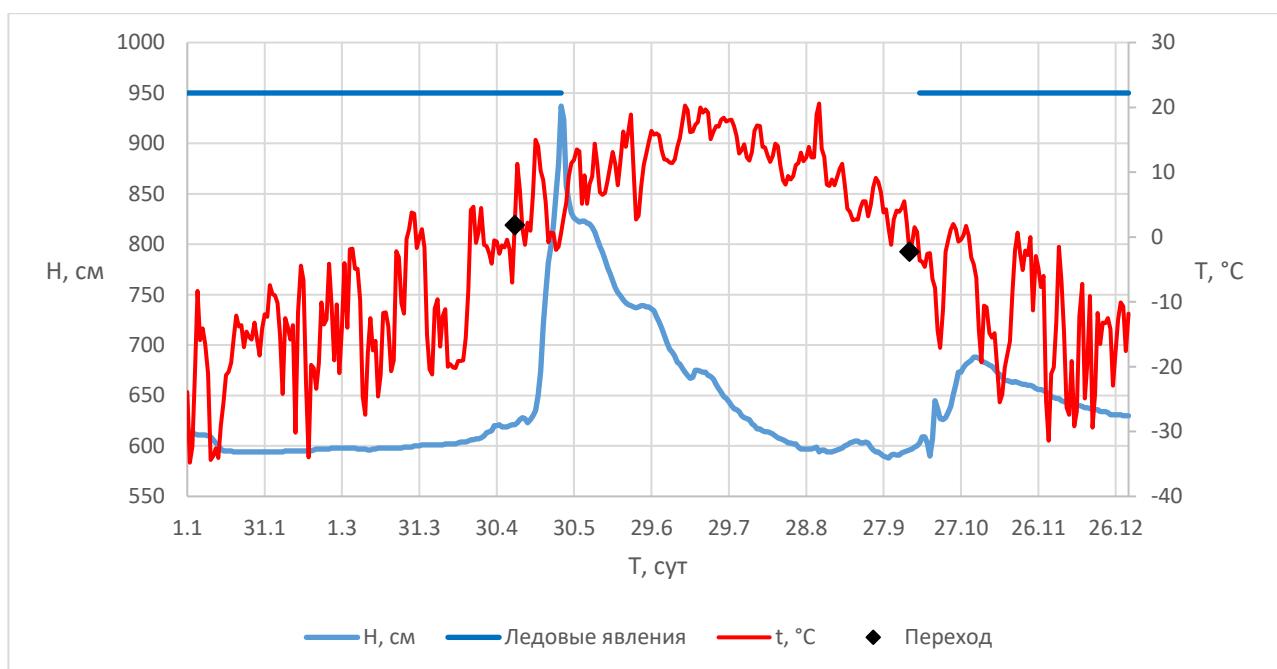


Рисунок 8 – Хронологический график р. Пяку-Пур - пос. Тарко-Сале за 2008 год

р. Пур - пгт. Уренгой. Пост расположен на южной окраине поселка, против радиостанции пристани «Уренгой».

Прилегающая местность - лесотундра с плоским рельефом, изрезана озерами и ручьями, покрытая смешанным лесом, в котором преобладают хвойные породы.

Долина реки неясно выраженная, склоны ее пологие, незаметно сливаются с прилегающей местностью, сложены супесчаными грунтами, покрыты смешанным лесом.

Пойма двухсторонняя, шириной 6-8 км, залесена, частично заболочена, изрезана озерами и старицами.

Вода выходит на пойму при уровне 800 см над нулем поста, сток в пойме не учитывается.

Русло реки умеренно извилистое, песчаное, деформирующееся. На участке поста русло разделено песчаным осередком на два рукава, оба судоходны. Берега крутые, обрывистые.

В период весеннего ледохода на участке поста бывают заторы льда.

Пост свайного типа, находится на правом берегу. Отметка нуля поста 5,86 м БС.

Пост неоднократно переносился: 20.08.50 г. на 240 м ниже по течению, в 1952 г. на 0,9 км выше, в 1963 г. на 690 м ниже, в 1974 г. на 600 м выше, в 1975 г. на 30 м ниже, к пирсу, в 1977 г. вверх по течению.

Уровенные наблюдения увязаны.

Дополнительный пост, который был оборудован в 0,65 км выше, разрушен в половодье в 1975 г.

Гидроствор № 1 расположен примерно в 1,0 км выше поста.

Гидроствор № 2 расположен в 4 км ниже поста, служит для измерения расходов воды в период летней межени.

Гидроствор № 3, меженный, расположен в 400 м выше поста.

Расходы воды на всех гидростворах измеряются с лодки.

Температура воды измеряется створе поста, в 2-3 м от берега, толщина льда - на середине реки.



Рисунок 9 – Хронологический график р. Пур - пгт. Уренгой за 2008 год

р. Пур - пос. Самбург. Пост расположен у поселка, в 0,44 км ниже устья р. Самбурка.

Прилегающая местность - слабовсхолмленная тундра, покрытая низкорослым лесом, сильно изрезанная озерами, местами заболоченная.

Долина реки трапециoidalная, шириной около 19 - 20 км. Слоны долины пологие; правый склон высотой до 38 м, имеет прирусловую террасу, на которой расположен пос. Самбург, левый незаметно сливается с прилегающей местностью. Слоны сложены песчаными грунтами, покрыты кустарником.

Пойма преимущественно левобережная, шириной до 19 км, сильно изрезана озерами, ручьями, протоками, одна из которых действует в течение года, заболочена, поросла кустарником и низкорослым смешанным лесом.

Вода выходит на пойму при уровне 700 см над нулем поста, полностью пойма затопляется при уровне 750 см, сток в пойме не учитывается.

Русло реки умеренно извилистое, песчаное, деформирующееся, на участке поста песчаной отмелью разделено на два рукава, которые в 6,0 км ниже поста

сливаются в одно русло. Отмель полностью затопляется при уровне 350 см над нулем поста. Берега реки задернованы, сложены супеском, крутые, высотой 11 м. Наблюдается косоструйность, особенно у левого берега.

В летне-осенний период при северных ветрах наблюдаются нагоны воды из Тазовской губы. Выше и ниже поста бывают заторы льда.

Пост свайного типа, расположен на правом берегу. Отметка нуля поста - 1,94 м (БС).

В 1971 г. в связи с разрушением берега пост был перенесен на 60 м выше, уровневые наблюдения увязаны.

Гидроствор № 1, веерный, расположен в основном русле, в 243 м ниже поста.

Гидроствор № 2 расположен на протоке, в 2,0 км от ее устья, оборудован тросовой переправой.

Ежедневные пробы воды на мутность берутся в гидростворе № 1, в 340 м от постоянного начала.

Температура воды измеряется в створе поста, в 5 - 10 м от берега, толщина льда - в 100 м ниже поста, на середине реки. [7]

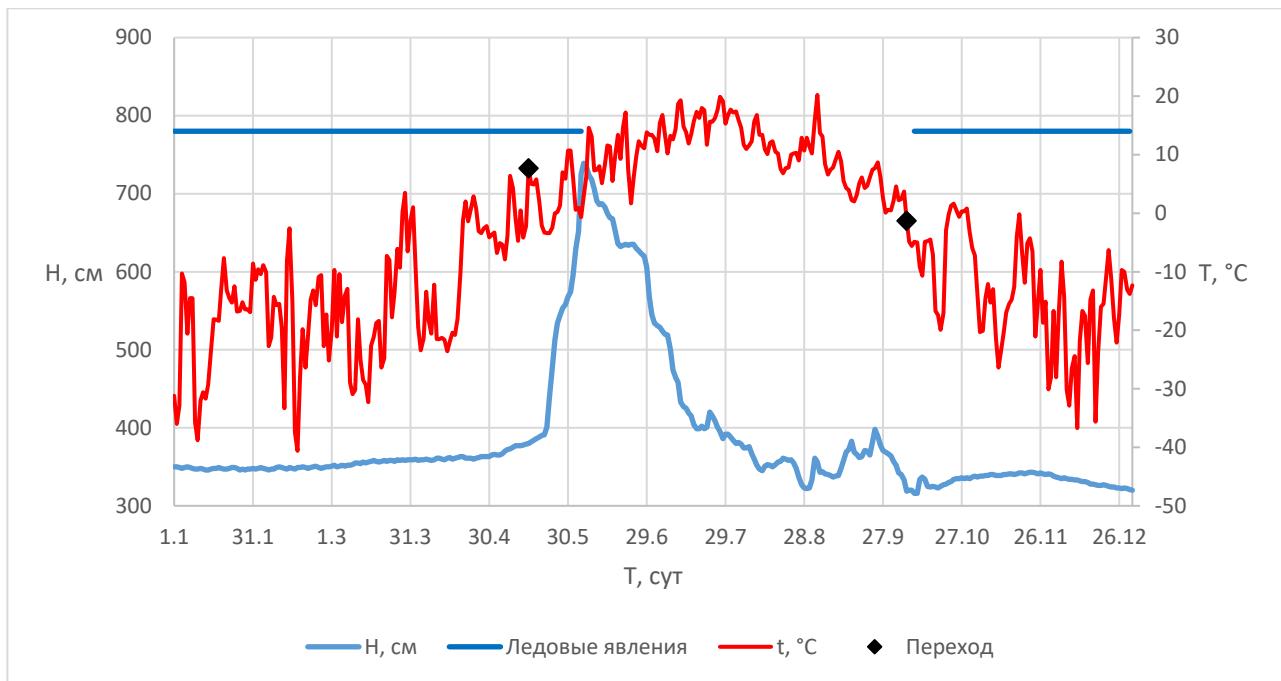


Рисунок 10 – Хронологический график р. Пур - пос. Самбург за 2008 год

2. Физика процесса

2.1 Замерзание рек

Появление льда на поверхности воды связано с ее охлаждением до 0°C. Изменение температуры воды является результатом теплообмена между потоком и окружающей средой. Теплообмен потока с атмосферой играет основную роль. Он складывается из конвективного теплообмена с воздухом, поглощения прямой и рассеянной солнечной радиации, эффективного излучения, потерь или прихода тепла при испарении воды или конденсации влаги на водной поверхности. Поступление тепла с грунтовыми и поверхностными водами, а также за счет теплосодержания выпадающих осадков и перехода части кинетической энергии потока в тепловую имеют второстепенное значение. [5]

Процесс замерзания рек характеризуется совокупностью ледовых явлений, начиная от образования первичных кристаллов льда поверхностного или внутриводного происхождения и кончая формированием ледяного покрова.

Разнообразие ледовых явлений, сроки и продолжительность периода замерзания определяются комплексом условий теплообмена воды с атмосферой и грунтом, гидравлическими и морфологическими особенностями рек, а также физико-механическими свойствами льда, формирующего ледяной покров.

Необходимым условием начала ледообразования в реке является переохлаждение воды:

$$t < 0 \quad (1)$$

Это условие выполняется при полном расходе тепла в слое активного перемешивания в результате теплопотерь с водной поверхности в атмосферу.

В зависимости от условий перемешивания водных масс переохлаждение воды с образованием льда происходит либо преимущественно в поверхностном

слое, либо по всей глубине. В первом случае образуется поверхностный лед, а во втором — внутриводный.

Процессы ледообразования и формирования ледяного покрова следует отличать друг от друга. Ледообразование может происходить во всей массе воды, а формирование ледяного покрова только на ее поверхности. Кроме того, оба процесса могут протекать в различных условиях. На участках рек с небольшими скоростями течения процессы ледообразования и формирования ледяного покрова протекают одновременно в поверхностном слое воды. Однако на участках рек со значительной скоростью течения ледообразование происходит не только в поверхностном слое воды, но и по глубине. В этом случае имеет место несовпадение процессов ледообразования и формирования ледяного покрова по условиям и месту образования.

На участках рек с малыми уклонами и небольшой скоростью течения (до 0,2 м/с) переохлаждение воды имеет место только в тонком поверхностном слое, в котором появляются и смерзаются между собой кристаллы льда игольчатой формы, образуя корку льда. Ледяной покров формируется большей частью в результате роста и смыкания заберегов.

В реках со скоростью течения более 0,4 м/с перемешивание водных масс способствует переохлаждению всей толщи воды, а поэтому образование льда происходит на разных глубинах и на дне. При интенсивном перемешивании воды образование льда на водной поверхности затруднено не только в результате незначительного переохлаждения воды, порядка 2—3 сотых градуса, но и вследствие механического воздействия на кристаллизацию. В этих случаях наблюдается образование кристаллов внутриводного льда в виде круглых линз, чечевицеобразной, пластинчатой или шарообразной формы.

Кристаллы льда находятся во взвешенном состоянии до тех пор, пока их гидравлическая крупность меньше вертикальной составляющей пульсационной скорости.

На равнинных реках (Амударье, Неве, Волге и др.) образуются кристаллы в виде пластинок неправильной или окружной формы диаметром от 0,2 до 1,0 см и толщиной до 1 мм. Гидравлическая крупность указанных кристаллов составляет 2—8 см/с. На горных реках (Мане, Нарыне, Чирчике) встречаются кристаллы чечевицеобразной и шаровидной формы, а также более или менее правильной формы типа эллипсоида. Диаметр частиц нередко превышает 1,0 см, а гидравлическая крупность в среднем составляет 5—8 см/с, но в ряде случаев достигает 10—15 см/с.

В турбулентном потоке под влиянием теплообмена и многообразных ситуаций скоростного поля кристаллы льда формируются в ледяные образования различного размера, формы и степени устойчивости. В свою очередь форма и размеры ледяных образований являются по существу отражением турбулентной структуры потока.

В начальной стадии процесса ледообразования перемещение кристаллов льда происходит в виде пассивной примеси, распределенной в толще потока в форме шуговых облаков размером от 0,5 до 5—7 h по длине и от 0,1 до 0,3 b по ширине.

Вследствие гидродинамической неустойчивости основного течения шуговые облака не являются стабильными и в процессе движения распадаются на менее крупные образования — комья, которые затем превращаются в плотные шуговые скопления в результате роста, смерзания, а также механического слипания в переохлажденной воде. Под действием сил потока из комьев формируются на водной поверхности более устойчивые шуговые скопления в форме венков диаметром от 0,5 до (2... 3) h и толщиной от 0,1 до 0,6 h, в зависимости от скорости течения и физических свойств шуги. В течение периода замерзания плотность шуги, движущейся в поверхностном слое, увеличивается от 300 до 700 кг/м³. Причем ледяные образования приобретают устойчивость и не разрушаются под действием сил потока при достаточном сцеплении кристаллов льда, не менее 30—40 кПа. Согласно теоретическим и

экспериментальным данным, этой прочности соответствует плотность льда около 600 кг/м³. Следовательно, для устойчивых ледяных образований в качестве минимальных значений прочности и плотности льда можно принять.

По мере промерзания ледяных образований прочность льда увеличивается и при полном смерзании достигает 370 кПа. Сплочение и смерзание шуговых венков в крупные ледяные образования — ковры либо льдин в ледяные поля с преобладающим размером, достигающим двух-трех ширин реки, являются по существу началом формирования ледяного покрова. Количество льда, необходимое для образования ледяного покрова, зависит от скорости течения и ветра, физико-механических свойств льда и суммы теплопотерь с водной поверхности и льда в атмосферу, необходимой и достаточной для появления, накопления и смерзания ледяных образований, т. е.

$$N = f(V, \sigma, \Sigma S) \quad (2)$$

Завершается процесс замерзания реки ледоставом. Во всей цепи явлений — от появления первичных кристаллов льда, их переноса, накопления, роста, смерзания и до формирования ледяного покрова — можно различать характерные сочетания условий, определяющих особенности развития ледовых процессов.

2.2 Вскрытие рек

Процесс вскрытия рек характеризуется разрушением ледяного покрова вследствие уменьшения его толщины и прочности под влиянием притока тепла и воздействия механических сил, включая подвижки льда, появление закраин, полыней, ледоход, и завершается полным очищением реки ото льда. Начинается процесс таяния еще до устойчивого перехода температуры воздуха к положительным значениям, но после того, как тепловой баланс ледяного покрова становится положительным.

Уменьшение толщины и прочности льда происходит в результате поверхностного и внутреннего таяния под влиянием тепла солнечной радиации, воздуха и воды, а также вследствие увеличения скорости течения при подъеме уровня воды. Относительная роль теплового и механического факторов во вскрытии реки зависит от гидрологического режима и метеорологических условий весеннего периода. Наиболее интенсивное развитие этого процесса происходит в конце ледостава, когда сопротивляемость ледяного покрова уступает разрушающим усилиям. Под воздействием сил потока и ветра исчезает связь его с берегами, теряется устойчивость и нарушается целостность (сплошность). Образовавшиеся льдины и поля либо тают на месте, либо сплавляются вниз по реке. В местах повышенной толщины и прочности ледяного покрова, или недостаточной ледопропускной способности русла, вскрытие реки сопровождается формированием заторов.

Л. Г. Шуляковский представил условие разрушения ледяного покрова в виде уравнения:

$$\sigma h_l \leq f(H, \Delta H) \quad (3)$$

из которого следует, что вскрытие реки наступает в том случае, если при подъеме уровня воды развивающие усилия со стороны потока вызывают в ледяном покрове разрушающие напряжения. При этом трение потока на нижней поверхности ледяного покрова принимается в качестве основной силы, создающей напряжение во льду, и учитывается ее зависимость от уровня воды (H) и подъема его к началу вскрытия (ΔH).

С. Н. Булатов ввел в уравнение (3) относительное разрушающее напряжение σ_r , представляющее собой отношение разрушающего напряжения тающего льда σ к начальному значению σ_0 , которое имел бы лед, не подвергавшийся воздействию солнечной радиации, при температуре 0°C , т. е. $\sigma = \sigma/\sigma_0$. При этом уравнение (3) записывается в виде:

$$\phi h \leq f(H, \Delta H) \quad (4)$$

Таким образом, уравнения (3) — (4) явились основой модели процесса разрушения ледяного покрова, созданной для обоснования методов расчета и прогноза сроков вскрытия рек, расположенных в различных физико-географических районах страны.

Процесс разрушения ледяного покрова развивается в зависимости от его мощности к началу таяния, погодных и гидрологических условий весеннего периода. На реках с малыми скоростями течения и незначительными колебаниями уровня воды в течение весеннего периода, разрушение ледяного покрова происходит в основном за счет поверхностного и внутреннего таяния льда. Как отмечалось выше, вскрытие реки наступает в тот момент, когда лед теряет прочность, т. е. спаянность между кристаллами исчезает и ледяной покров рассыпается на отдельные кристаллы или группы кристаллов. Необходимым условием развития этого- процесса является переход теплового баланса ледяного покрова к положительным значениям, т. е.

$$\Sigma S_L > 0 \quad (5)$$

и поглощение ледяным покровом тепла, достаточного для нарушения межкристаллических связей.

На реках с малыми скоростями течения ледяной покров может быть либо однородным, состоящим из кристаллического льда, либо слоистым, имеющим два слоя. Один слой — кристаллический лед, другой — снежный. Вскрытие реки происходит в результате таяния льда на месте и наступает в тот момент, когда прочность льда достигает предельных значений.

На больших и средних реках процесс разрушения ледяного покрова более сложный. Наряду с ослаблением прочности льда под влиянием тепловых факторов происходит нарушение целостности и взлом ледяного покрова под влиянием колебания уровня воды и воздействия гидродинамической нагрузки.

Развитие процесса разрушения ледяного покрова происходит в следующей последовательности:

- 1) нарушается связь ледяного покрова с берегами;
- 2) расчленяется ледяной покров на ледяные поля;
- 3) разрушаются ледяные поля на льдины.

Необходимым условием нарушения связи ледяного покрова с берегами является образование вдольбереговых трещин при подъеме уровня воды, превышающем максимальную высоту прогиба ледяного покрова:

$$H > f_{kp} \quad (6)$$

Значение критического подъема уровня воды рассчитывается с учетом толщины, прочности и физико-механических характеристик льда по формуле Д. Ф. Панфилова:

$$f_{kp} = \sigma h_l^2 / (6\sqrt{\rho C_n}) \quad (7)$$

При подъеме уровня воды в реке выше уровня замерзания вслед за образованием вдольбереговых трещин ледяной покров всплывает и работает под нагрузкой как полубесконечная плита на упругом основании. Если гидро- и аэродинамическая нагрузка на ледяной покров и горизонтальная составляющая силы веса льда в направлении течения превышают его сопротивляемость, то в местах концентрации напряжений образуются поперечные трещины.

При дальнейшем повышении уровня воды под влиянием водного потока происходят подвижки, способствующие расчленению¹ ледяного покрова на ледяные поля по линиям трещин, а также в местах наименьшей прочности льда. Преобладают подвижки, приводящие к смещению ледяного покрова на небольшие расстояния. Однако на некоторых реках происходят мощные подвижки, захватывающие участки протяженностью 15—20 км. Скорость

движения льда во время подвижек 0,2—0,3 м/с. Размеры и продолжительность подвижек зависят от соотношения сил, способствующих и препятствующих движению льда в реке. До начала ледохода может быть несколько подвижек и большей частью при больших подъемах уровней воды. В процессе движения ледяные поля, обладающие различным запасом кинетической энергии, сталкиваются и разрушаются на льдины. Кроме того, образование льдин происходит при прохождении ледяных полей кривой спада, в сужениях и на отмелях.

Распространение волны вскрытия прекращается на тех участках реки, где эти условия не выполняются. Задержка может быть кратковременной и не нарушит общего хода процесса вскрытия в том случае, если при остановке льдин сохраняется устойчивость и однослойное распределение их на водной поверхности. Однако характер вскрытия может существенно измениться, если у кромки льда происходит нарушение устойчивости, торошение и сжатие льдин, либо подныривание льдин под кромку в зависимости от энергии потока. В этом случае образуются заторные скопления, под влиянием которых пропускная способность русла уменьшается и уровни воды повышаются. Прорыв заторных скоплений сопровождается быстрым распространением волны вскрытия по длине реки. Причем на тех участках, где имеются очаги заторообразования, она вновь останавливается. Во время вскрытия некоторых рек образуется несколько заторов различной мощности. Заторным характером вскрытия отличаются реки, текущие с юга на север, на которых взлом слегка ослабленного ледяного покрова происходит под воздействием паводочной волны. [6]

3. Методика прогноза

Заблаговременность прогноза – промежуток времени между датой составления прогноза и датой осуществления предсказываемого явления. В зависимости от требований организаций, использующих прогнозы, и закономерностей процессов, обуславливающих гидрологические процессы, заблаговременность гидрологических прогнозов колеблется от 1–2 суток до 2–3 месяцев, а иногда и больше.

Обычно требуются прогнозы многих гидрологических явлений и притом с различной заблаговременностью. Для разработки методов составления этих различных прогнозов приходится учитывать и различные процессы, влияющие на предсказываемое гидрологическое явление. Отсюда вытекают принципиально различные классификации гидрологических прогнозов и методов их составления.

Классификация прогнозов:

1. По заблаговременности:

- краткосрочные прогнозы – заблаговременность до 15 суток (10 суток – для водного режима, 15 суток – с учетом ледовых явлений);
- долгосрочные прогнозы – заблаговременность от 15 суток до нескольких месяцев;
- сверхдолгосрочные – заблаговременность 1 год и более.

2. По содержанию:

- прогнозы водного режима (расходов, уровней воды и т. п.);
- прогнозы ледовых явлений (появление льда на водоемах, замерзание рек и озер, нарастание толщины льда, вскрытие рек и т. п.);

- прогнозы волнения;
- прогнозы загрязнения от предприятий.

3. По охвату территории:

- локальные (в какой-то точке, прогнозы относящиеся к отдельным участкам рек, озерам);
- территориальные (обобщенные по территории сведения об ожидаемых размерах или сроках того или иного явления).

4. По виду водного объекта:

- прогнозы для равнинных рек;
- прогнозы для горных рек;
- прогнозы для озер и водохранилищ. [3]

3.1 Определение устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C

Определение даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °C для обозначения холодного и теплого периода производилось по алгоритму Хаустова В.А. [10]

Для каждого года суммируется среднесуточная температура воздуха, после чего визуально оценивается точка перегиба, в последствии принимающаяся за дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °C. Расчет дат устойчивого перехода производился в программном продукте Temperature transition v2.0. В качестве примера, представлен график суммирования температур с нанесенными датами устойчивого перехода для метеостанции Уренгой в 2000 году (Рисунок 11).

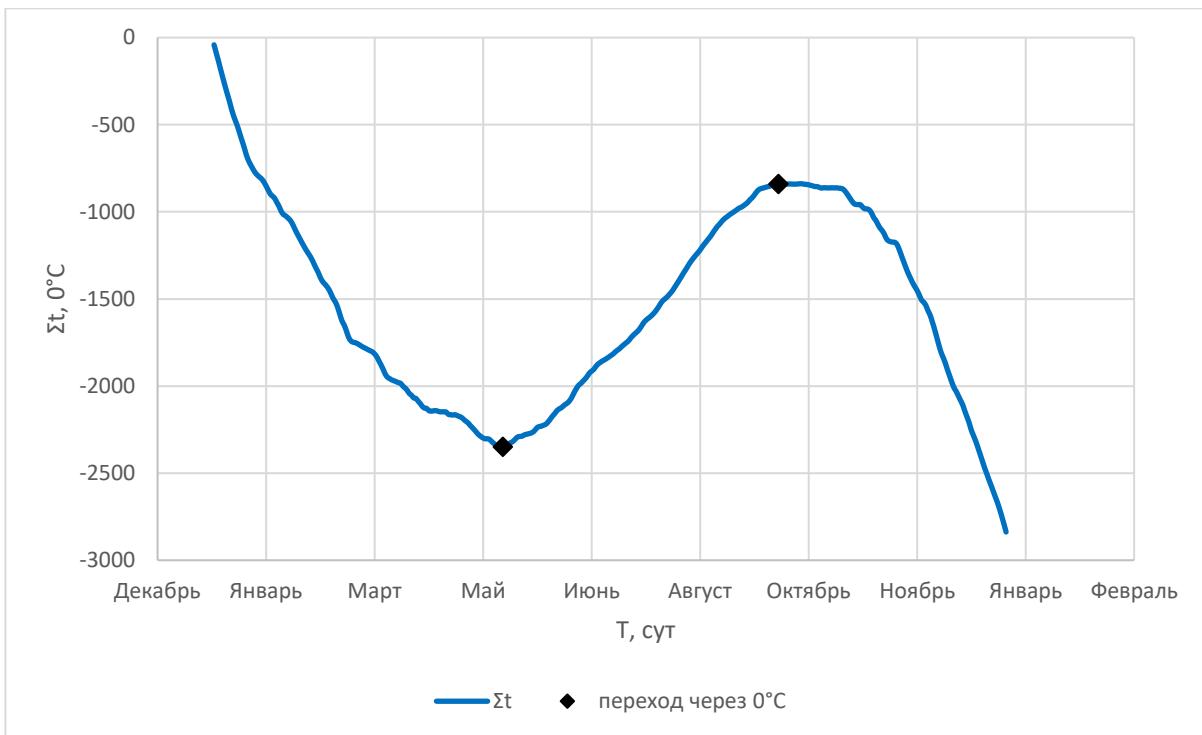


Рисунок 11 – Определение даты устойчивого перехода температур воздуха через 0°C на метеостанции Уренгой в 2000 году

Полученные среднемноголетние значения дат устойчивого перехода для весеннего (Рисунок 11) и осеннего (Рисунок 13) периодов были нанесены на карты.

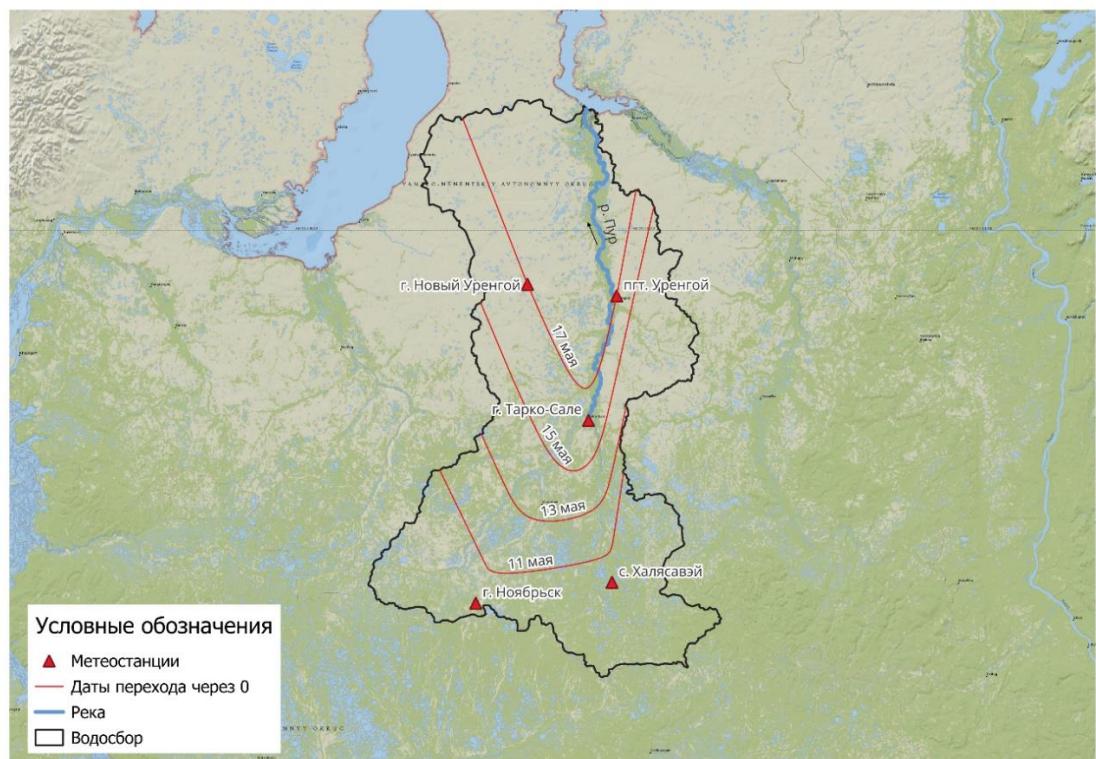


Рисунок 12 – Даты устойчивого перехода температур воздуха через 0 °С в весенний период



Рисунок 13 – Даты устойчивого перехода температур воздуха через 0 °С в осенний период

Наблюдается тенденция наступления устойчивого перехода через 0 °С с юга на север в весенний период и с севера на юг в осенний.

3.2 Прогнозирование дат появление плавучего льда

Прогноз появления плавучего льда строился на нахождении эмпирических зависимостей уже наблюденных дат от метеорологических параметров. В качестве плавучего льда был выбран осенний и весенний шугоход, а в качестве метеорологических параметров – даты устойчивого перехода температур через 0 °С и сумма отрицательных температур от момента устойчивого перехода до момента появления плавучего явления.

$$\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{то}) \quad (8)$$

$$\Delta D_{ш} = f(\Delta \Sigma t) \quad (9)$$

Где $\Delta D_{ш}$ – отклонение от нормы дат наступления шугохода, $\Delta D_{то}$ – отклонение от нормы дат устойчивого перехода температур через 0 °С, $\Delta \Sigma t$ – отклонение от нормы суммы отрицательных температур от момента устойчивого перехода до момента появления плавучего льда.

По данным с гидропостов были построены карты дат наступления весеннего (Рисунок 14) и осеннего (Рисунок 15) шугохода.

По полученным зависимостям выявляется уравнение, наилучшим образом описывающее полученное поле точек. Уравнение связи можно использовать, если коэффициент детерминации равен или больше 0,49.

Производится серия поверочных прогнозов на независимом материале. Эти прогнозы отдельно оцениваются на оправдываемость. Оценивается эффективность методики.



Рисунок 14 – Даты наступление весеннего шугохода



Рисунок 15 – Даты наступления осеннего шугохода

Наблюдается тенденция наступления шугохода с севера на юг в весенний период и с юга на север в осенний.

3.3 Оценка прогнозов и методики

Оценка отдельных прогнозов:

Вследствие качественного характера прогнозов температур воздуха трудно объективно установить их точность, а следовательно, и эффективность методики. В краткосрочных прогнозах дат характерных явлений водного и ледового режима заблаговременностью Δt допустимые погрешности составляют:

Таблица 4 – Допустимые погрешности дат характерных явлений водного и ледового режима заблаговременностью Δt [4]

Δt , сутки	1-3	4-5	6-9	10-13	14-15
$\delta_{\text{доп.}}$, сут	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5

Оценка методики прогноза:

Оценка производилась по методу ГМЦ. Методика может использоваться на практике, если она достаточно точна. Мерой ее точности служит среднеквадратическая погрешность поверочных прогнозов S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\phi} - Y_{\text{пр}})^2}{n-m}} \quad (10)$$

где Y_{ϕ} – фактическое значение величины; $Y_{\text{пр}}$ – предсказанное значение; n – число членов ряда; m – число параметров в прогностическом уравнении, при использовании линейной зависимости (вида $y = ax + b$) $m = 2$.

За критерий применимости и качества методики принимается отношение S/σ т. е. отношение среднеквадратической погрешности поверочных прогнозов

к среднеквадратическому отклонению предсказываемой величины от среднего значения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (11)$$

Методика прогноза считается практически приемлемой, если обеспеченность допустимой погрешности поверочных прогнозов не менее чем на 10 % превышает обеспеченность вероятного отклонения предсказываемой величины от среднего. Это означает, что:

при $n \leq 15$ должно быть $S/\sigma \leq 0,70$;

при $15 < n \leq 25$ должно быть $S/\sigma \leq 0,75$;

при $n > 25$ должно быть $S/\sigma \leq 0,80$. [3]

4. Прогноз сроков появления плавучего льда

Расчеты производились для гидрологических постов: р. Пяку-Пур - г. Тарко-Сале, р. Пур - пгт. Уренгой, р. Пур - пос. Самбург и метеостанций: с. Халясавэй, г. Тарко-Сале и пгт. Уренгой.

Для удобства, все даты были переведены в условные единицы количества дней от 1 января соответствующего года.

4.1 Весенний период

Для весеннего периода, чтобы исключить случаи, когда весенний шугоход наступал раньше устойчивого перехода через 0°C , использовались метеостанции, находящиеся выше по течению в бассейне реки относительно гидрологических постов.

Использовались следующие связи гидрологический пост – метеостанция (с длиной ряда):

г. Тарко-Сале - с. Халясавэй (27 лет);

пгт. Уренгой - г. Тарко-Сале (74 года);

пос. Самбург - пгт. Уренгой (19 лет).

Были построены хронологические графики дат наступления шугохода (Рисунок 16), устойчивого перехода через 0 °C (Рисунок 17) и сумм температур после устойчивого перехода через 0 °C (Рисунок 18).

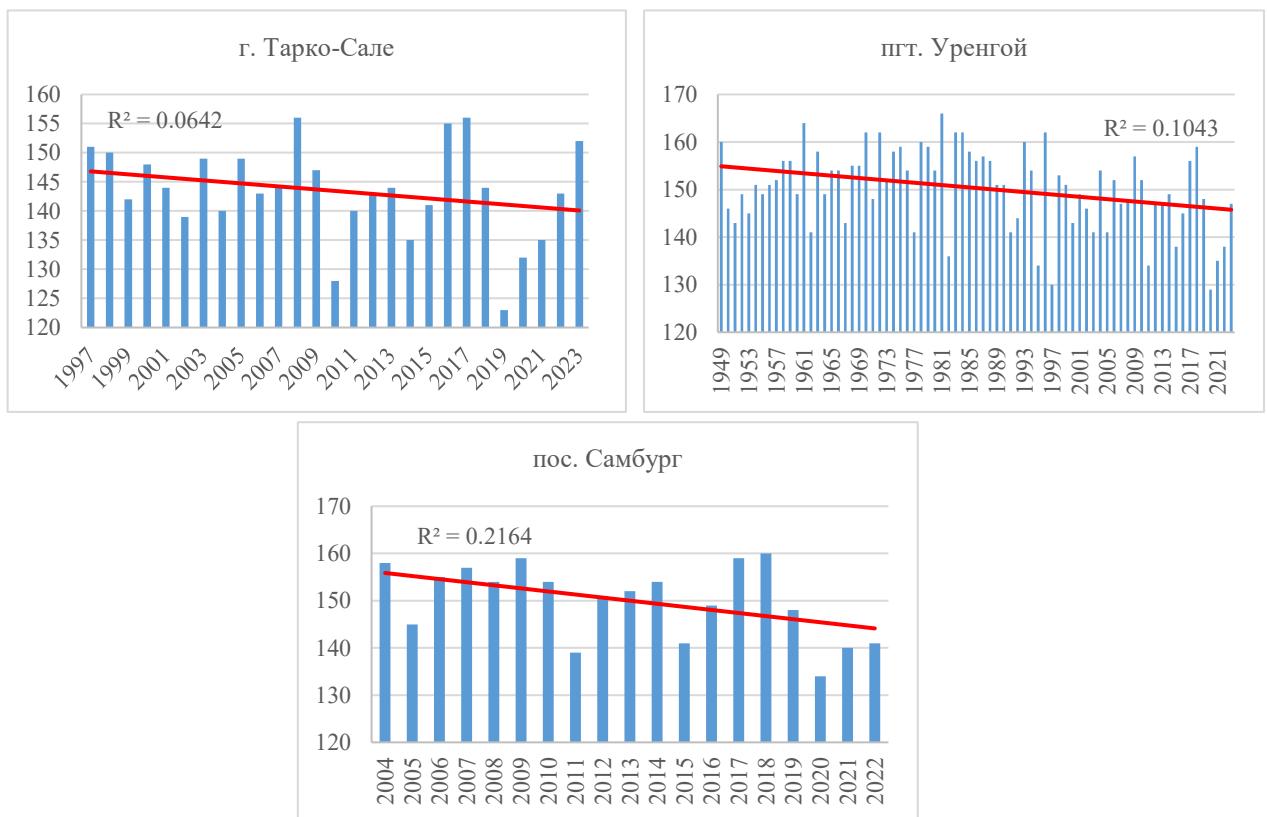


Рисунок 16 – Хронологические графики дат наступления шугохода (по оси абсцисс – год, по оси ординат – даты наступления шугохода)

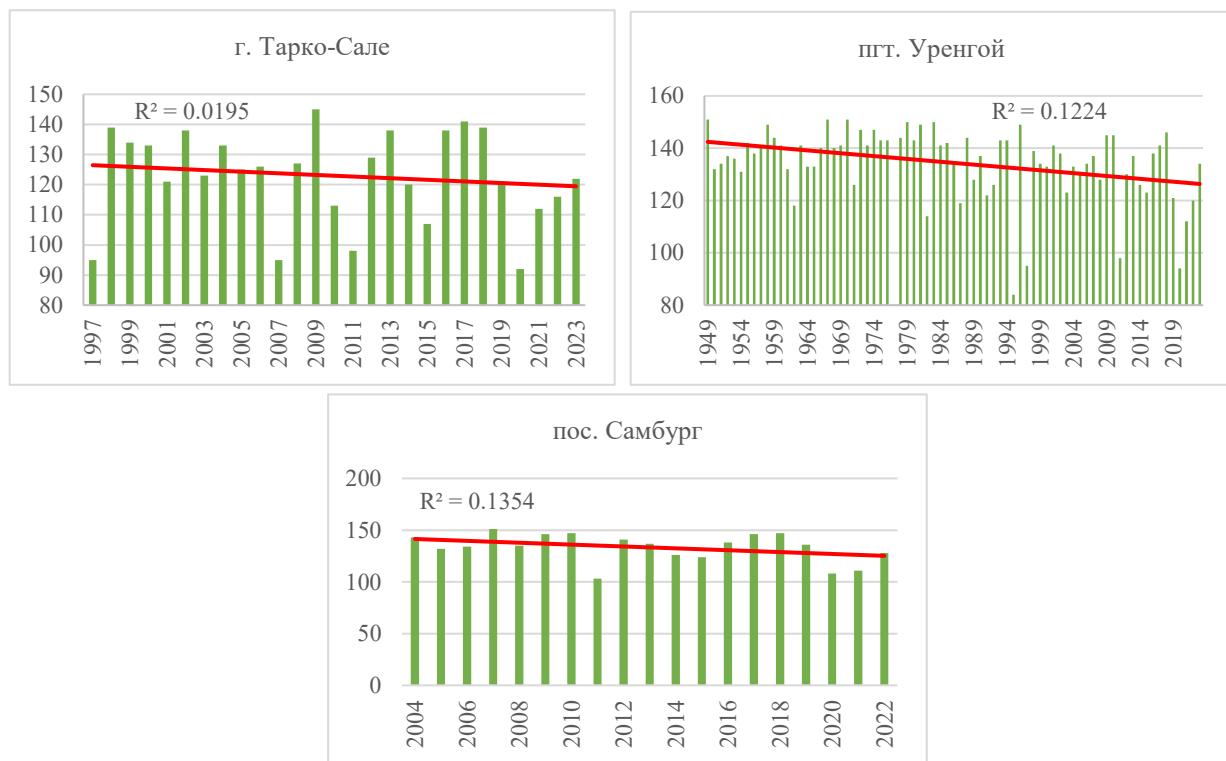


Рисунок 17 – Хронологические графики дат устойчивого перехода через 0°C
(по оси абсцисс – год, по оси ординат – даты устойчивого перехода)

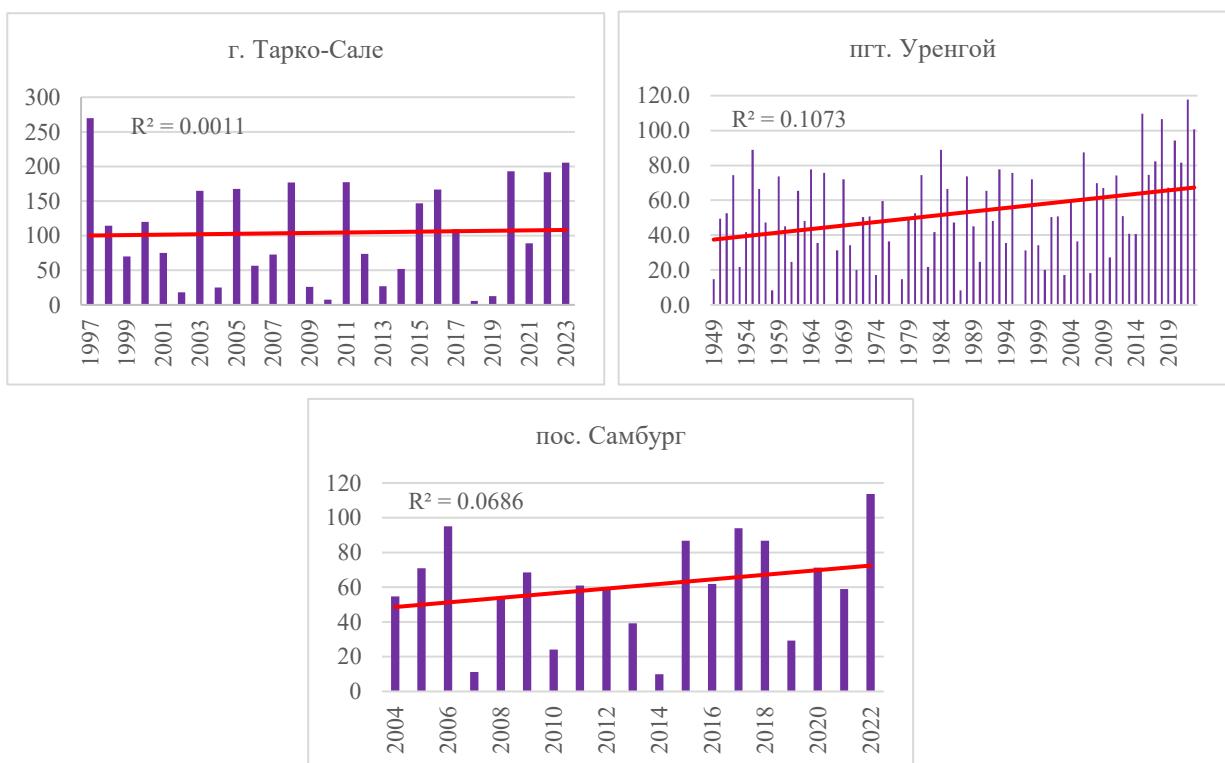


Рисунок 18 – Хронологические графики сумм температур после устойчивого перехода через 0°C (по оси абсцисс – год, по оси ординат – суммы температур)

Наблюдается общий тренд на более раннее наступление дат весеннего шугохода и дат устойчивого перехода через 0 °C.

Были построены зависимости $\Delta D_{ш}=f(\Delta D_{то})$ (Рисунок 19) и $\Delta D_{ш}=f(\Delta \Sigma t)$ (Рисунок 20).

Количество лет для зависимости: 20 для г. Тарко-Сале, 49 для пгт. Уренгой и 14 для пос. Самбург. В качестве прогностических уравнений, для сравнения, были выбраны линейная зависимость и полином второго порядка. Коэффициенты детерминации для каждой связи приведены в таблице 5.

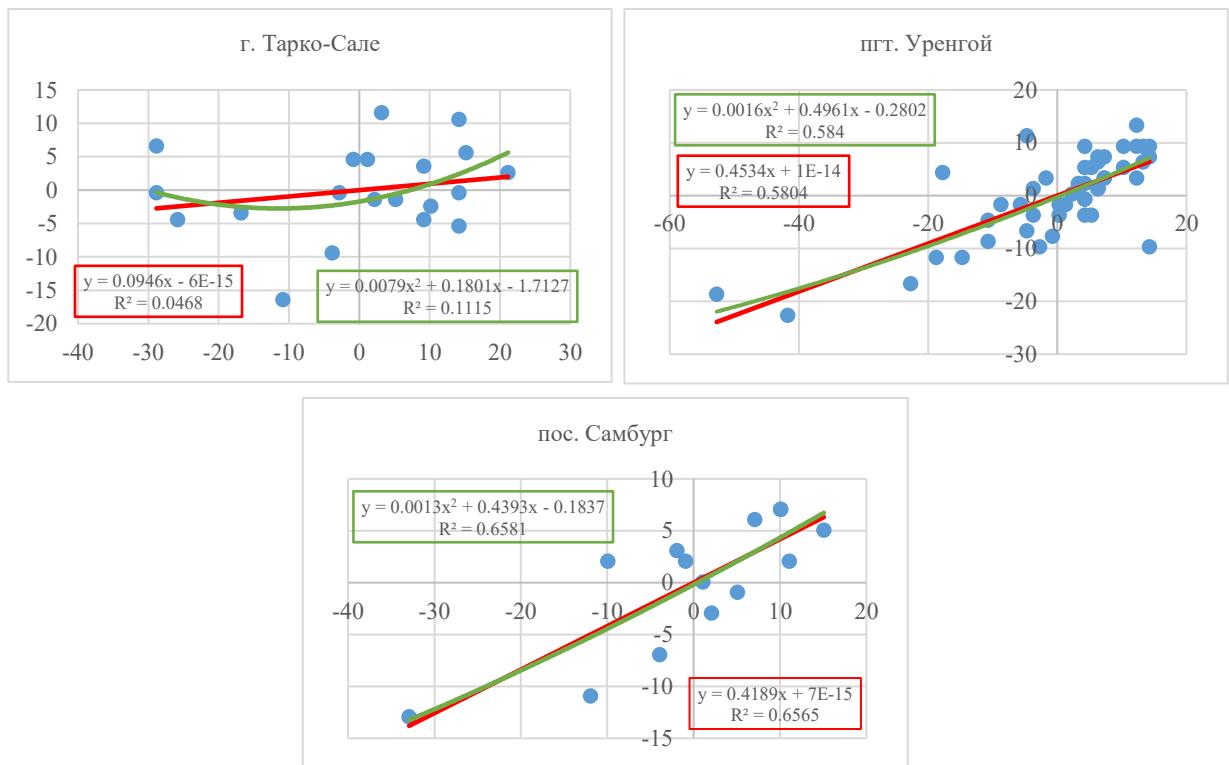


Рисунок 19 – графики связи $\Delta D_{ш}=f(\Delta D_{то})$ (линейная связь отмечена зеленым, полином – красным)

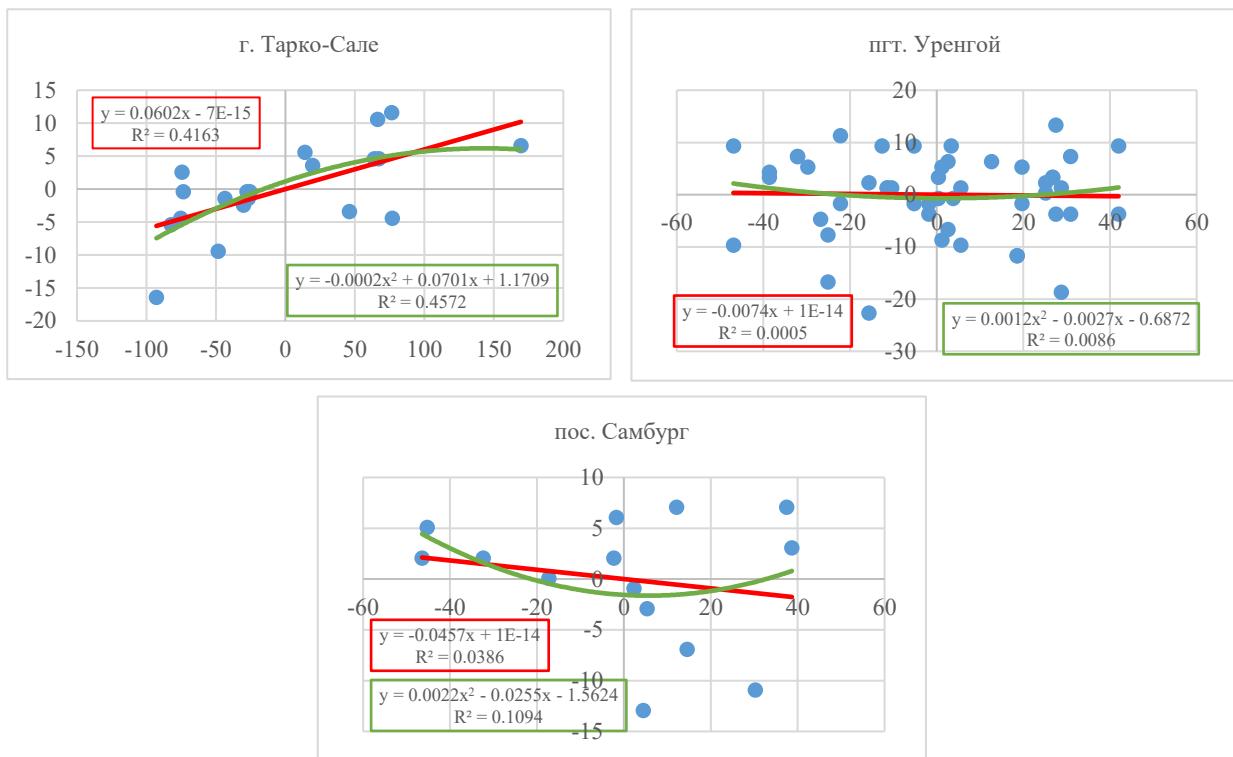


Рисунок 20 – графики связи $\Delta D_n = f(\Delta \Sigma t)$ (линейная связь отмечена зеленым, полином – красным)

Таблица 5 – Коэффициенты детерминации для каждого уравнения связи в весенний период

Зависимость	пост	связь	R^2
$\Delta D_n = f(\Delta D_n)$	г. Тарко-Сале	Линейная	0,0468
		Полином	0,1115
	пгт. Уренгой	Линейная	0,5804
		Полином	0,584
	пос. Самбург	Линейная	0,6565
		Полином	0,6581
$\Delta D_n = f(\Delta \Sigma t)$	г. Тарко-Сале	Линейная	0,4163
		Полином	0,4572
	пгт. Уренгой	Линейная	0,0005
		Полином	0,0086
	пос. Самбург	Линейная	0,0386
		Полином	0,1094

Удовлетворяющими требование ($R^2 \geq 0,49$) являются линейные связи и полином второго порядка для зависимости $\Delta D_n = f(\Delta D_n)$ для пгт. Уренгой и пос.

Самбург. Для зависимости $\Delta D_{ш} = f(\Delta \Sigma t)$ удовлетворительных связей нет. Для г. Тарко-Сале не подходит ни одна зависимость.

Для пгт. Уренгой и пос. Самбург был произведен ряд поверочных прогнозов на независимом материале. Количество прогнозов: 25 для пгт. Уренгой и 5 для пос. Самбург. Результаты прогнозов представлены в виде хронологических графиков отклонений от нормы фактических и прогностических дат наступления шугохода (Рисунок 21).

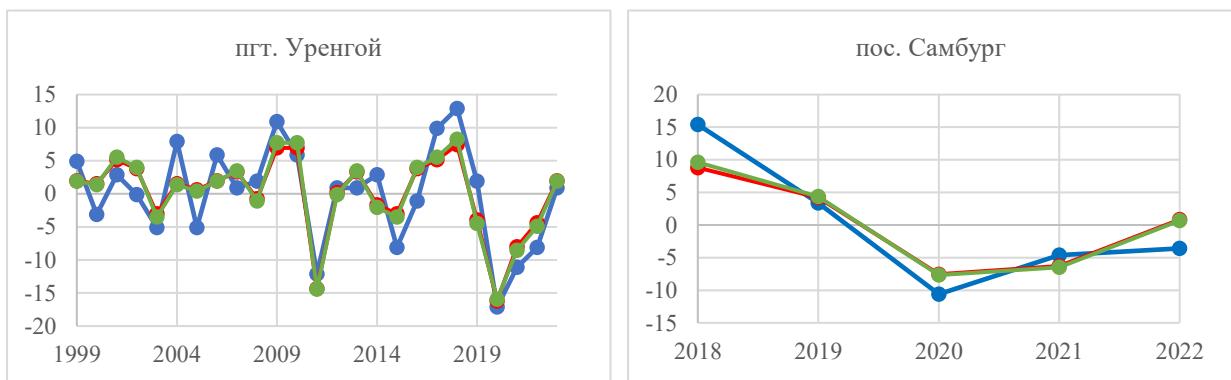


Рисунок 21 – Хронологические графики отклонений от нормы дат наступления шугохода (фактические значения отмечены синим, спрогнозированные по линейной связи значения – красным, спрогнозированные по полиному второго порядка значения – зеленым)

4.2 Осенний период

Для осеннеого периода использовались следующие связи гидрологический пост – метеостанция (с длиной ряда):

г. Тарко-Сале - г. Тарко-Сале (76 лет);

пгт. Уренгой - пгт. Уренгой (24 года);

пос. Самбург - пгт. Уренгой (15 лет).

Были построены хронологические графики дат наступления шугохода (Рисунок 22), устойчивого перехода через 0 °C (Рисунок 23) и сумм температур после устойчивого перехода через 0 °C (Рисунок 24).

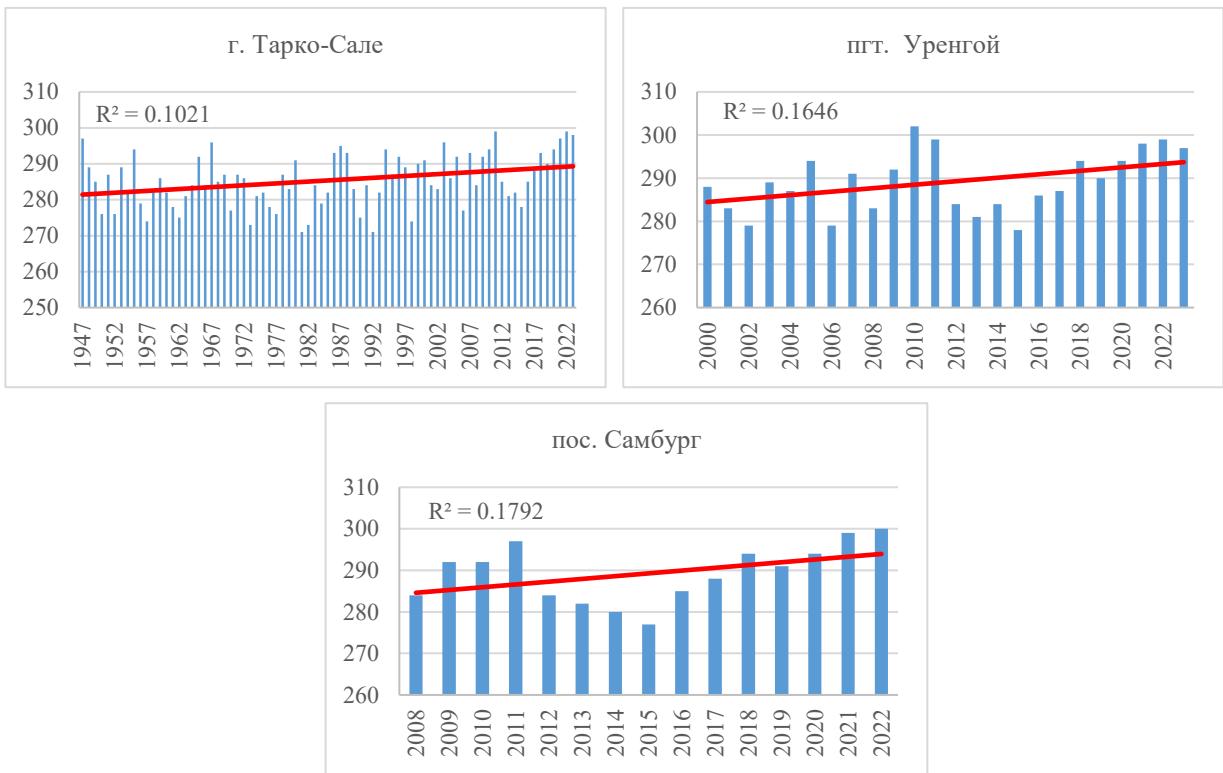


Рисунок 22 – Хронологические графики дат наступления шугохода (по оси абсцисс – год, по оси ординат – даты наступления шугохода)

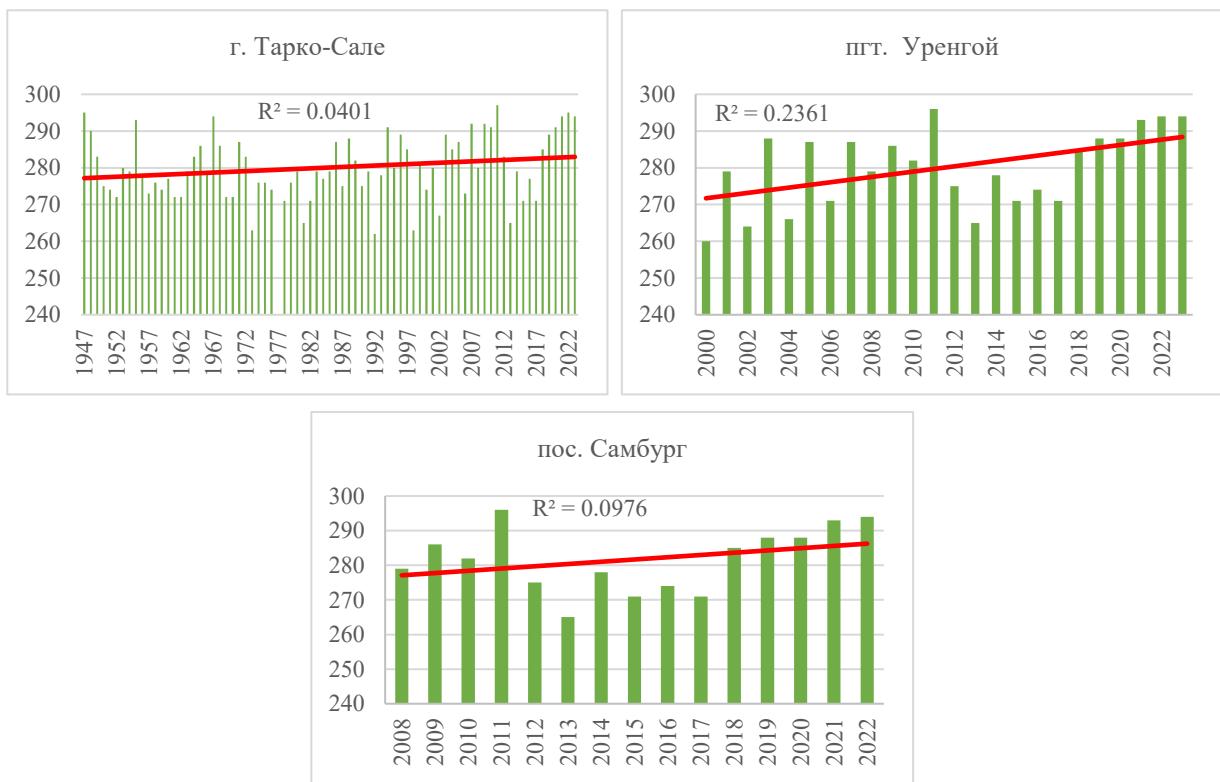


Рисунок 23 – Хронологические графики дат устойчивого перехода через 0°C
(по оси абсцисс – год, по оси ординат – даты устойчивого перехода)



Рисунок 24 – Хронологические графики сумм температур после устойчивого перехода через 0°C (по оси абсцисс – год, по оси ординат – суммы температур)

Наблюдается общий тренд на более позднее наступление дат осеннего шугохода и дат устойчивого перехрда через 0 °C в осенний период. В связке с трендом на более раннее наступление дат весеннего шугохода и дат устойчивого перехрда через 0 °C в весенний период, можно сделать вывод об уменьшении продолжительности холодного периода.

Были построены зависимости $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{то})$ (Рисунок 25) и $\Delta D_{ш} = f(\Delta \Sigma t)$ (Рисунок 26). Количество лет для зависимости: 50 для г. Тарко-Сале, 19 для пгт. Уренгой и 10 для пос. Самбург. В качестве прогностических уравнений, для сравнения, были выбраны линейная зависимость и полином второго порядка. Коэффициенты детерминации для каждой связи приведены в таблице 6.

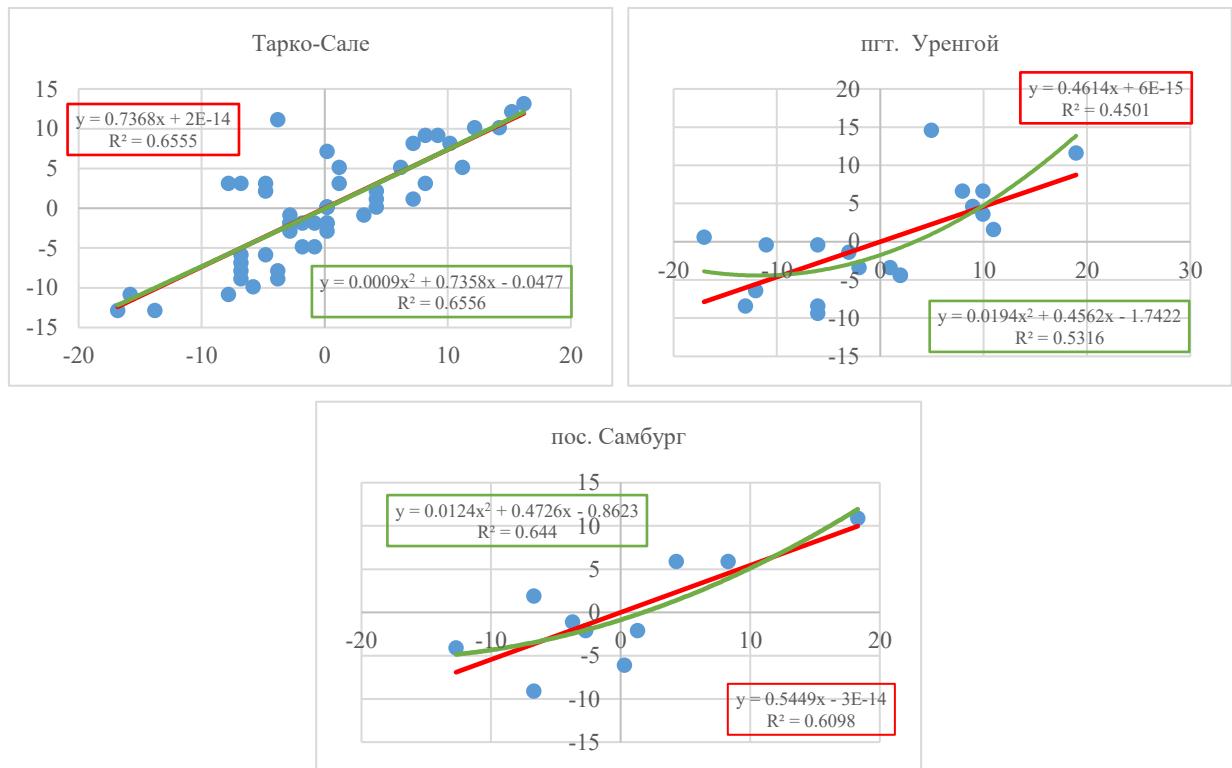


Рисунок 25 – графики связи $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{то})$ (линейная связь отмечена зеленым, полином – красным)

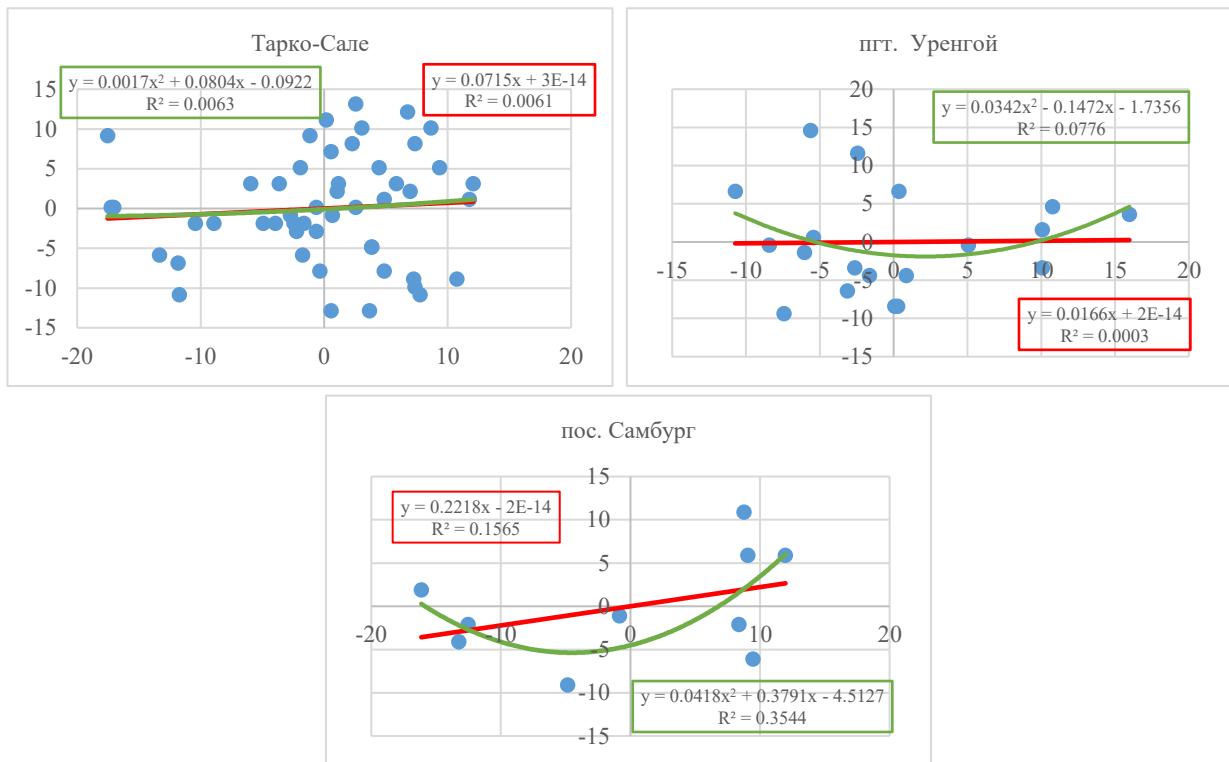


Рисунок 26 – графики связи $\Delta D_{ш}=f(\Delta \Sigma t)$ (линейная связь отмечена зеленым, полином – красным)

Таблица 6 – Коэффициенты детерминации для каждого уравнения связи в осенний период

Зависимость	пост	связь	R^2
$\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{п})$	г. Тарко-Сале	Линейная	0,6555
		Полином	0,6556
	пгт. Уренгой	Линейная	0,4501
		Полином	0,5316
	пос. Самбург	Линейная	0,6098
		Полином	0,644
$\Delta D_{ш} = f(\Delta \Sigma t)$	г. Тарко-Сале	Линейная	0,0061
		Полином	0,0063
	пгт. Уренгой	Линейная	0,0003
		Полином	0,0776
	пос. Самбург	Линейная	0,1565
		Полином	0,3544

Удовлетворяющими требование ($R^2 \geq 0,49$) являются линейные связи для г. Тарко-Сале и пос. Самбург и полином второго порядка для всех трех постов

для зависимости $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{\Pi})$. Для зависимости $\Delta D_{ш} = f(\Delta \Sigma t)$ удовлетворительных связей нет.

Был произведен ряд поверочных прогнозов на независимом материале. Количество прогнозов: 26 для г. Тарко-Сале, 5 для пгт. Уренгой и 5 для пос. Самбург. Результаты прогнозов представлены в виде хронологических графиков отклонений от нормы фактических и прогностических дат наступления шугохода (Рисунок 27).

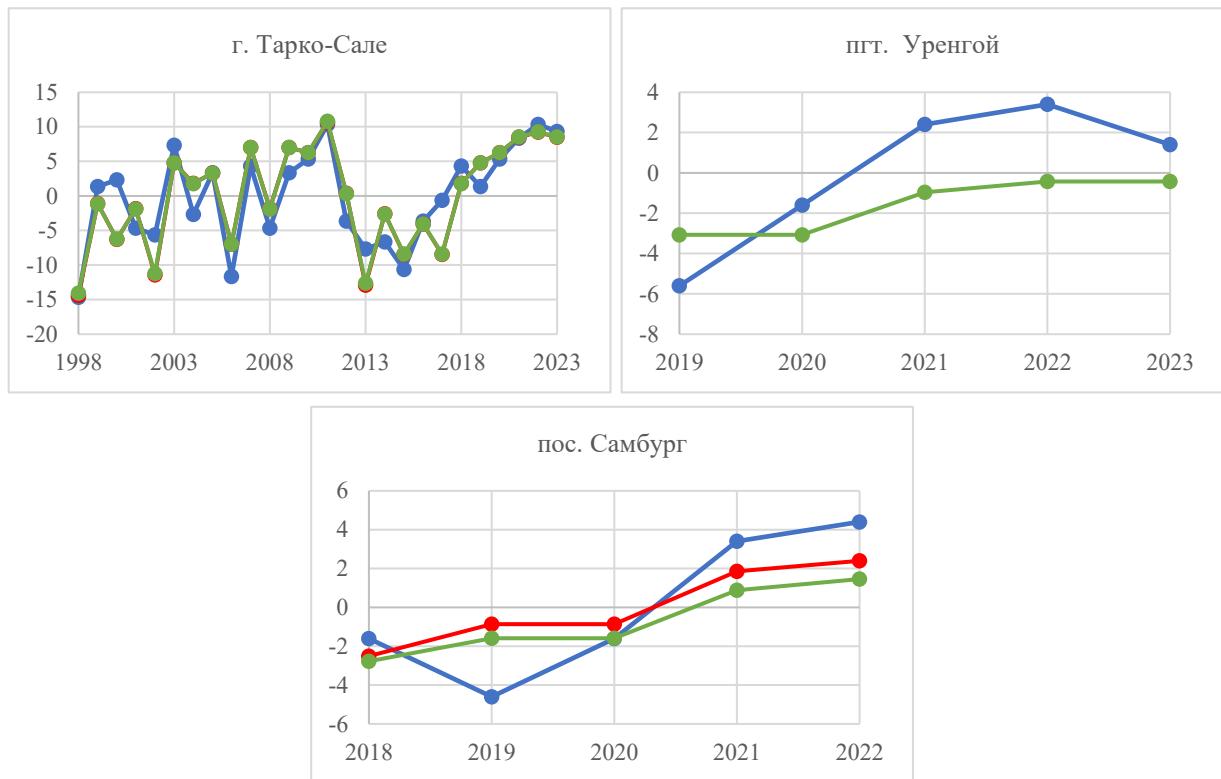


Рисунок 27 – Хронологические графики отклонений от нормы дат наступления шугохода (фактические значения отмечены синим, спрогнозированные по линейной связи значения – красным, спрогнозированные по полиному второго порядка значения – зеленым)

Заключение

Оценка поверочных прогнозов производилась с учетом допустимых погрешностей (Таблица 4), число оправдавшихся прогнозов приводилось к общему числу прогнозов в процентах. Результаты оценки для весеннего и осеннего периодов представлены в таблице 7 и таблице 8.

Таблица 7 – Оценка отдельных поверочных прогнозов в весенний период

Пост	Связь	
	Линейная	Полином
пгт. Уренгой	76%	76%
пос. Самбург	80%	80%

Таблица 8 – Оценка отдельных поверочных прогнозов в осенний период

Пост	Связь	
	Линейная	Полином
г. Тарко-Сале	54%	54%
пгт. Уренгой	80%	-
пос. Самбург	75%	75%

Зависимость $\Delta D_{ш}=f(\Delta \Sigma t)$ не дала никаких результатов, в отличии от зависимости $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{п})$. Для этого зависимости линейная связь и полином второго порядка дали одинаковые результаты при оценке поверочных прогнозов. Для г. Тарко-Сале в весенний период значимых связей не обнаружилось, а в осенний число оправдавшихся прогнозов составило чуть больше 50%. Для пгт. Уренгой, как и для пос. Самбург, число оправдавшихся прогнозов составило 75-80%.

Результаты оценки методики прогноза по критерию S/σ для весеннего и осеннего периодов представлены в таблице 9 и таблице 10.

Таблица 9 – Оценка методики прогнозов по критерию S/σ в весенний период

Пост	Связь	
	Линейная	Полином
пгт. Уренгой	0,53	0,52
пос. Самбург	0,44	0,41

Таблица 10 – Оценка методики прогнозов по критерию S/σ в осенний период

Пост	Связь	
	Линейная	Полином
г, Тарко-Сале	0,53	0,53
пгт, Уренгой	0,67	-
пос, Самбург	0,62	0,67

Все значения критерия S/σ оказались меньше допустимых значений, из чего можно сделать вывод об оправдываемости выбранной методики.

Для прогнозирования дат появления плавучего льда в осенний и весенний период для выбранного региона лучше всего подходит зависимость $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{п})$.

В ходе работы были выполнены все поставленные цели и задачи, а именно:

- Собраны и обработаны гидрологические и метеорологические данные;
- Были построены графики зависимостей $\Delta D_{ш} = f(\Delta D_{п})$ и $\Delta D_{ш}=f(\Delta \Sigma t)$;
- Был составлен ряд поверочных прогнозов;
- Поверочные прогнозы и методика были оценены;
- Была найдена зависимость для прогнозов.

Список использованных источников

1. АИС ГМВО. [Электронный источник]. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/>
2. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. [Электронный источник]. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – URL: <http://meteo.ru/>
3. Гайдукова Е.В., Викторова Н.В. Гидрологические прогнозы. Конспект лекций. / Санкт-Петербург: «РГГМУ», 2021
4. Георгиевский Ю. М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Учебное пособие. / Ленинград: «Ленинградский ордена Ленина Политехнический институт», 1982 г.
5. Георгиевский Ю. М. Краткосрочные и долгосрочные прогнозы ледовых явлений на реках, озерах и водохранилищах. Учебное пособие. / Ленинград: «Ленинградский ордена Ленина Политехнический институт», 1986 г.
6. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. / Ленинград: «Гидрометеоиздат», 1987 г.
7. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 6 Выпуск 4-6,8,9 Бассейн Карского моря (западная часть) / Омск: «Гидрометеоиздат», 1980 г.
8. Пур. [Электронный источник]. Все реки. Информационный сайт о реках России. – URL: <https://vsereki.ru/severnyj-ledovityj-okean/bassejn-karskogo-morya/pur>
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15 Алтай и Западная Сибирь Выпуск 3 Нижний Иртыш и нижняя Обь. / Ленинград: «Гидрометеоиздат», 1973 г.
10. Хаустов В. А., Ромашова К. В., Хренов А. А. Оценка многолетних изменений максимальных снегозапасов и водоотдачи Северного края

России. / Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. РГГМУ.2019. – С. 294 – 296.