



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 **Оценка оправдываемости**
прогнозов ледовых явлений

Исполнитель Ульченко Дарья Васильевна
(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)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

17 мая 2024г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

	Стр.
Введение	4
1 Физико-географическое и климатическое описание района исследования	6
1.1 Географическое положение	6
1.2 Рельеф и геологическое строение	7
1.3 Почвенный покров	8
1.4 Растительность	9
1.5 Гидрографическая сеть	10
1.6 Климат	12
1.7 Исходные данные, описание гидрологических и метеорологических постов	14
1.7.1 Река Северная Двина – город Котлас	14
1.7.2 Река Северная Двина – д. Абрамково	15
1.7.3 Река Северная Двина – село Нижняя Тойма	15
1.7.4 Река Северная Двина – деревня Сидоровская	16
1.7.5 Река северная Двина – поселок Березник	17
1.7.6 Река Северная Двина – деревня Звоз	17
1.7.7 Река Северная Двина – село Усть-Пинега	18
1.7.8 Данные о температуре воздуха и описание метеорологических станций	19
1.8 Ледовые явления	20
1.9 Толщина льда	20
1.10 Толщина снежного покрова	21
2 Математический аппарат	22
2.1 Определение дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С	22
2.2 Регрессионный анализ	23
2.3 Оценка прогнозов S/σ	24
3 Расчеты и прогнозы ледовых явлений	27
3.1 Определение связей	27
3.1.1 Начало ледовых явлений	27
3.1.2 Начало ледостава	29
3.1.3 Окончание ледостава	31
3.1.4 Окончание ледовых явлений	32
3.1.5 Толщина льда	34
3.2 Поверочный прогноз	37
Заключение	40
Список используемых источников	42

Приложение А – Комплексные хронологические графики температуры воздуха и ледовых явлений за период 2008 – 2020 гг.	44
Приложение Б – Графики определения связи ледовых явлений и толщины льда за период 2008 – 2020 гг.	72
Приложение В – Графики связи и сравнений толщины льда для оценки прогноза	86

Введение

Ледовые образования на реках возникают при понижении температуры воды до 0 °С. Существуют три характерные фазы ледового режима: замерзание, ледостав и вскрытие.

При промерзании во всей массе водного потока начинают возникать кристаллы льда. Всплывший на поверхность и находящийся в глубине потока внутриводный лед в виде комьев, называют шугой, а движение шуги на поверхности и внутри водного потока – шугоходом. Шуга от соприкосновения с холодным воздухом смерзается и переходит в плотное кристаллическое состояние, способствуя образованию зажора. Понижение температуры воздуха способствует возникновению сплошного ледяного покрова – ледостава. Процесс нарастания толщины льда зависит от температуры воздуха, теплопроводности льда и снега и их начальной толщины, и скорости течения воды. Однако главным фактором, определяющим толщину льда, является сумма отрицательных температур воздуха.

Ледяной покров разрушается под влиянием положительных температур воздуха и под влиянием динамического воздействия водного и воздушного потоков. Перед вскрытием рек происходят подвижки льда. На многих реках во время весеннего ледохода возникают заторы льда и из-за этого происходит резкий подъем уровня воды.

Изменение климата оказывает глобальное влияние на гидрологические циклы. Из-за того, что холодный период с каждым годом уменьшается, а теплый увеличивается, толщина льда будет сокращаться. Для этого каждый раз нужно обновлять и уточнять связь между ледовыми явлениями и климатом, чтобы прогнозы были оправдываемые.

Постановка цели и задачи исследования

Целями ВКР являются: прогнозирование изменений ледовых явлений и толщины ледяного покрова на основе исторических данных и текущих

климатических условий; определение возможных рисков и угроз, то есть прогнозирование продолжительности ледового явления и климатических значений, которые могут привести к образованиям заторов, а в последствие к наводнениям на изучаемой территории.

Задачами ВКР являются: сбор и обработка информации о погодных условиях, географии региона, характеристики рек; применение статистических методов и моделей для прогнозирования ледовых явлений на северных реках; определение факторов, влияющих на ледовое образование, таких как температура воздуха, толщина ледяного покрова и продолжительность стояния льда на реке, которые влияют на ледовые явления.

В данной ВКР в качестве объекта исследования рассматривается река Северная Двина.

1 Физико-географическое и климатическое описание района исследования

1.1 Географическое положение

Архангельская область расположена на севере Европейской части России. Территория области омывается Белым, Баренцевым, и Карским морями. Граничит на западе с Карелией, на севере с Мурманской областью (граница проходит через Белое море), на юге с Вологодской и Кировской областями, на востоке и северо-востоке с Республикой Коми, на северо-востоке с Ненецким автономным округом.

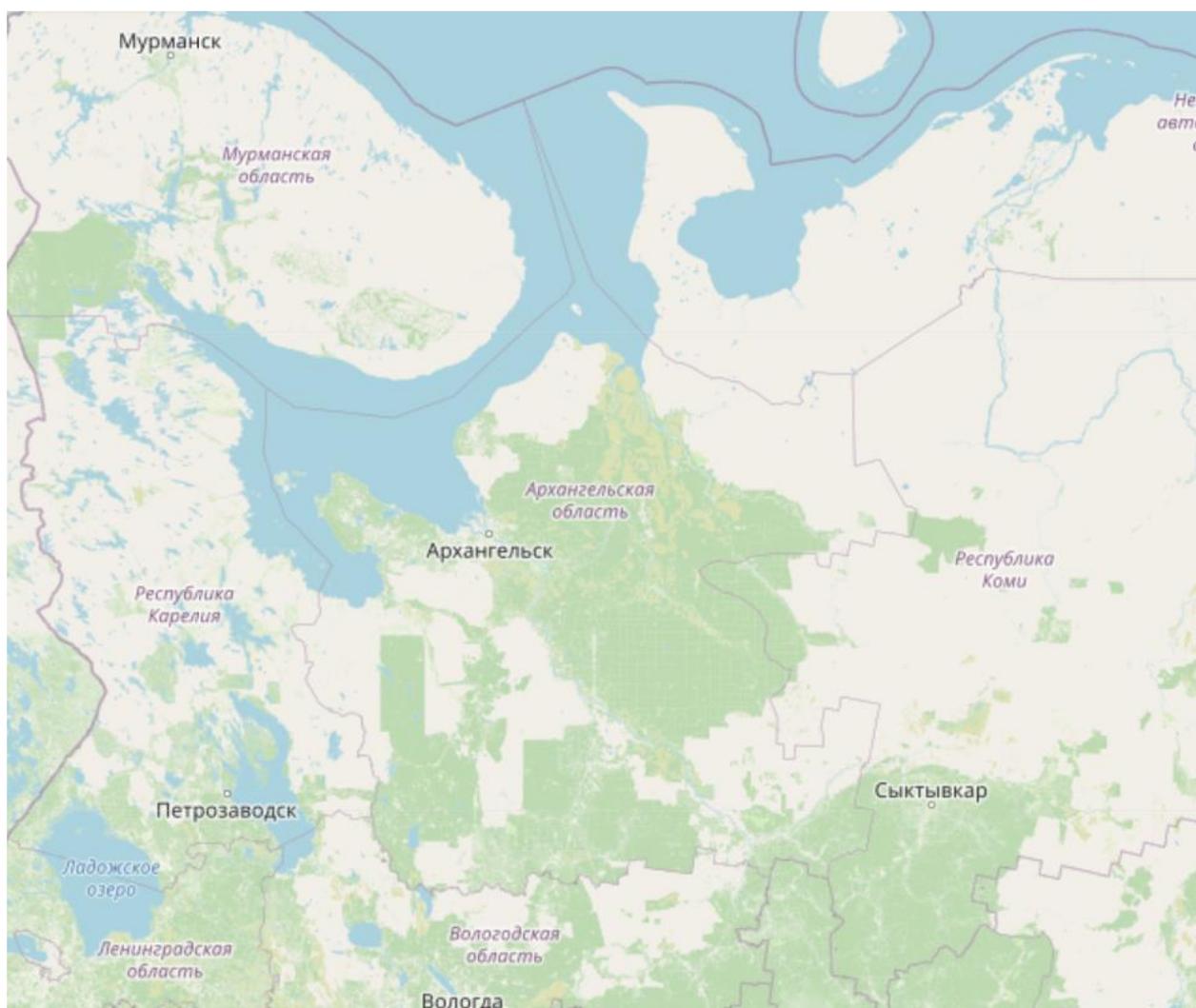


Рисунок 1.1 – Карта района исследования

1.2 Рельеф и геологическое строение

По геологическому строению Архангельская область почти полностью расположена на Восточно-Европейской платформе, в пределах которой на территории области выделяются крупные геологические структуры: Балтийский щит (его юго-восточная окраина), Русская плита, Печорская плита и разделяющий их Канино-Тиманский щит.

Рельеф материковой части области в пределах Русской и Печорской плит преимущественно равнинный с общим наклоном поверхности с юга на север (равнины занимают около 500 тыс. км²).

Двум геологическим структурам в рельефе соответствуют Онего-Двинская и Печорская равнины.

Первая из них занимает центральные районы Архангельской области. В западной части этой равнины и в районе Беломорско-Кулойского плато получили широкое развитие карстовые формы рельефа (карстовые воронки и котловины, пещеры и пр.).

Печорская равнина занимает большую часть территории Ненецкого автономного округа. Широкой долиной р. Печоры она разделена на две части — Малоземельскую тундру на западе и Большеземельскую тундру на востоке. Осадочный чехол Печорской плиты насыщен нефтью и газом.

Крайний северо-восток территории области выходит за пределы Восточно-Европейской платформы и относится к структурам Уральского складчатого пояса, включавшего Новую Землю, остров Вайгач и хребет Пай-Хой. На Новой Земле преобладает горный рельеф, нередко альпийского характера.

Земли Франца-Иосифа имеют низкогорье, большая часть гор скрыта здесь под ледниками, которые спускаются к морю и образуют айсберги.

В течение последнего миллиона лет на всей территории Архангельской области имело место неоднократное наступление и отступление ледников. Последнее оледенение, получившее название Валдайское, происходило 70 – 11 тыс. лет назад. После него во многих местах области остались холмы и

гряды: Коношская, Няндомская возвышенности, Кенозерская гряда и др. В результате таяния ледника в понижениях рельефа образовались многочисленные озера. С ледниковыми отложениями связано большое количество валунов на Соловецких островах, особенно на мелководьях и прибрежных участках [1].

1.3 Почвенный покров

В размещении почв данной области четко выражена зональность, на фоне которой часто наблюдается большая пестрота почвенного покрова, связанная с характером материнских пород, формами рельефа, условиями увлажнения. На арктических островах распространены маломощные, слаборазвитые арктические почвы, в горах преобладают каменистые россыпи. Южнее, в арктической тундре, почвы арктотундровые глеевые, сочетающиеся с полигональными болотами. Для типичной тундры характерны тундровые глеевые почвы (на песках — тундровые иллювиально-гумусовые), образующие сложные комплексы и сочетания с заболоченными и болотными мерзлотными почвами. В лесотундре сочетаются тундровые поверхностно-глеевые оподзоленные почвы, различные варианты заболоченных и болотных почв, а также глеев-подзолистые почвы.

В таежной зоне основной тип почвообразования — подзолистый, причем здесь выделяются две подзоны — северная и средняя. В северной тайге на суглинках формируются глеев-подзолистые почвы, на песках — подзолы железисто-гумусовые. Однако те и другие встречаются лишь на хорошо дренированных участках — по склонам холмов, в приречных полосах. На плоских водоразделах преобладают болотно-подзолистые почвы и обширные торфяники (преимущественно верховые). На хорошо дренированных повышениях карстового Беломорско-Кулойского плато встречаются подзолистые остаточно-карбонатные и перегнойно-карбонатные почвы. В средней тайге дренированные суглинистые участки заняты типичными сильноподзолистыми почвами, на песках распространены железистые подзолы. Плоские низины и центральные части повышенных водоразделов заняты

болотно-подзолистыми и болотными почвами. Каргопольская суша и Онего-Двинское междуречье благодаря близости известняков лучше дренированы и характеризуются наиболее плодородными почвами; под влиянием окультуривания типичные подзолистые почвы переходят в дерново-подзолистые; местами здесь встречаются дерново-карбонатные почвы (на известняках) [2].

1.4 Растительность

Здесь расположена самая большая в России тайга с темнохвойным лесом, особенно популярная своими соснами и елями. В ельнике почти не бывает подлесков, зато у корней деревьев активно растёт мох — идеальная «почва» для ягод. Помимо сосен и елей, в Архангельской области обитают лиственница и пихтовые деревья (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Флора Архангельской области

В величественной и богатой тайге растёт огромное количество растений — это съедобные ягоды, известные на всю Россию: малина, смородина чёрная и красная, морошка, земляника, брусника, черника и голубика, рябина, клюква и шиповник (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Ягоды Архангельской области

На юге области, где потеплее, активно и обильно растут съедобные грибы — рыжики, белые грибы, грузди, подберёзовики и подосиновики. В долине Северной Двины, где раскинулись болота и луга, обитают лисохвост, пырей, красный клевер и осока. Здесь растут ольха и берёза, остролистный клён, вяз и липа. А ещё Архангельская область — родной дом для одиннадцати видов орхидей, занесённых в Красную книгу, здесь обитают необыкновенные виды кувшинок, папоротники, плауны и мхи, сибирская пихта [3].

1.5 Гидрографическая сеть

Большинство рек Архангельской области относятся к бассейну Белого моря. Здесь протекают такие крупные реки, как Северная Двина, Онега, Кулой и Мезень.

Речная сеть в этом регионе густая и развита сравнительно равномерно. Всего насчитывается около 2 тыс. водотоков длиной более 10 км. Главные реки области берут начало близ южных границ и текут в северо-западном направлении.

Водоразделы между бассейнами рек в рельефе выражены слабо. Для большинства равнинных рек характерны широкие пойменные долины с террасированными склонами. Течение рек спокойное, длинные плесы чередуются с песчаными перекатами, в верховьях рек перекаты гравийно-галечные, кое-где встречаются небольшие пороги, образуемые выходами твердых коренных пород (известняков, доломитов и др.) или скоплением в русле валунов, вымытых из ледниковых отложений. Порожистых рек в пределах равнинной территории мало, в основном они находятся в западной ее окраине, где кристаллический фундамент залегает у самой поверхности земли, а также на Тиманском кряже.

Большие реки — Онега, Северная Двина, Вага, Пинега, Мезень, как правило, не имеют большого числа излучин, однако по выходе в пределы поморских низменных равнин их русла начинают делать многочисленные изгибы. На участках без изгибов русла много крупных островов, и русловая многорукавность здесь обычное явление.

В районах сосредоточения озер реки образуют озеро-речные системы. Такова Онега в верховьях, ее левобережные притоки — Кена с Ундошей, Икса и др. Значительное количество озер сосредоточено в районе так называемого Озерного Прионежья, расположенном между средним и верхним течением Онеги и юго-западной границей области. Именно здесь сконцентрированы все основные озера Архангельской области, в том числе и крупнейшие водоемы с площадью водного зеркала в сотни квадратных километров (Лача, Кенозеро, Кожозеро, Ундозеро и другие). Озера, как правило, располагаются группами и приурочены к нагромождениям ледниковых отложений.

Преобладающее большинство озер ледникового происхождения. В местах развития карста (Беломорско-Кулойское плато и Онего-Двинский водораздел) встречаются мелкие озера провального происхождения. Время от времени они исчезают. Многие из них интенсивно зарастают и превращаются в болота. В поймах крупных рек лежат мелкие озера – старицы.

Болота имеют большое распространение в северной части области и в бассейнах Мезени и Северной Двины. Высокой заболоченностью (до 25 %) отличаются низменные побережья Белого моря и бассейн Онеги. Многочисленны верховые болота, питающиеся атмосферными осадками.

Реки области питаются в основном талыми снеговыми водами. Весеннее половодье обычно высокое, зимой понижение уровня (зимняя межень). Летом и осенью нередко проходят дождевые паводки. Ледостав устойчивый, исключения составляют отдельные участки сильно порожистых рек и истоки тех, что вытекают из озер. Замерзание воды осенью сопровождается ледоходом. Толщина льда может достигать 1,2 – 2 м. Весенний ледоход проходит мощно и сопровождается заторами.

Судоходны Онега, Северная Двина, Вычегда, Вага, Емца и Мезень. На большом протяжении и почти вне зависимости от водности года судоходство обеспечивается только на Северной Двине. На остальных реках судоходство возможно только на наиболее многоводных участках протяжением от нескольких десятков до 100 – 200 км. Судоходство возможно в течение 5 – 6 месяцев, с мая по октябрь [1].

1.6 Климат

Архангельская область настолько велика, что на ее территории представлены три климатических пояса — арктический (Северный остров Новой Земли и Земля Франца-Иосифа), субарктический (Ненецкий автономный округ, Южный остров Новой Земли, острова Колгуев и Вайгач) и умеренный (остальная, большая часть Архангельской области). Почти повсюду хорошо выражены все четыре сезона года: умеренно холодная снежная и продолжительная зима, малооблачная весна, умеренно теплое лето, облачная и дождливая осень. Самый холодный месяц года — январь, а самый теплый — июль.

Архангельскую область не случайно называют "краем белых ночей". С середины мая и почти до конца июля солнце к северу от полярного круга вообще не заходит за горизонт, а к югу от него дни значительно длиннее, чем ночи, которые в этот период, скорее, напоминают сумерки. Зимой картина обратная: территория за полярным кругом погружается в полярную ночь, на юге области солнце появляется лишь низко над горизонтом, а долгота дня сокращается до 5 часов.

Ветры в зимний период преимущественно южные и юго-восточные, летом число дней с ветрами северных направлений существенно увеличивается.

Годовое количество осадков увеличивается с севера на юг: на острове Рудольфа на Земле Франца-Иосифа их выпадает от 150 мм., а в районе города Няндомы - до 700 мм. На возвышенных местах сумма осадков может возрастать до 788 мм. В среднем за год около 27% всех осадков выпадает в виде снега, 55 % в виде дождя и 12% приходится на смешанные осадки (мокрый снег, снег с дождем) [1].

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °С	5	5,2	12,1	25,3	32,1	33	34,4	33,4	27,7	18,3	10	5,8	34,4
Средний максимум, °С	-9,2	-7,7	-1,2	5,4	12,5	18,7	21,8	18	12,2	4,8	-2,5	-6,4	5,5
Средняя температура, °С	-12,7	-11,4	-5,5	0,4	6,9	13	16,3	13,1	8,2	2,3	-5,1	-9,7	1,3
Средний минимум, °С	-16,5	-15,2	-9,4	-3,9	2,2	7,7	11,3	8,9	5,1	0,1	-7,7	-13,4	-2,6
Абсолютный минимум, °С	-45,2	-41,2	-37,1	-27,3	-13,7	-3,9	-0,5	-4,1	-7,5	-21,1	-36,5	-43,2	-45,2
Среднее число дней с осадками	27	24	23	18	20	18	19	20	21	26	28	29	273
Норма осадков, мм	38	29	30	30	49	61	73	70	61	67	53	46	607
Средняя влажность, %	85	84	80	72	68	69	75	81	85	88	89	87	80

Рисунок 1.4 – Данные о климатических характеристиках Архангельской области

1.7 Исходные данные, описание гидрологических и метеорологических постов

Таблица 1.1 – Наименование гидрологических постов

Код поста	Название
70061	р. Северная Двина – г. Котлас
70066	р. Северная Двина – д. Абрамково
70067	р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма
70069	р. Северная Двина – д. Сидоровская
70070	р. Северная Двина – п. Березник
70072	р. Северная Двина – д. Звоз
70801	р. Северная Двина – с. Усть-Пинега

Таблица 1.2 – Наименование метеорологических постов

Станция	Название
22887	Котлас
22768	Шенкурск
22676	Сура

1.7.1 Река Северная Двина – город Котлас

Пост расположен в городе, 1,8 км выше впадения в р. Вычегды.

Прилегающая к долине реки местность – преимущественно залесённая, слабозаболоченная, плоская равнина. Долина реки трапецеидальная, шириной 7 – 8 км. Склоны долины крутые, высотой 12 – 15 м. Дно долины пересечено тремя рукавами: основное русло реки и рукава – Шипицинский и Забельский. Шипицинский используется для установки запани.

Пойма левобережная, луговая с кустарником, шириной 5,2 – 6,0 км. Затопление поймы происходит при уровнях 550-580 см над нулем графика. На пойме имеются отдельные повышения, где расположены селения и пашни.

Русло реки слабоизвилистое, песчаное, деформирующееся, периодически углубляется землеснарядами. Правым берегом является склон долины, выше поста – обнажённый. Левый берег основного русла пологий, песчаный, высотой 1 – 3 м, в отдельные места до 5 м.

Железнодорожный мост, расположенный в 5 км выше водпоста, изменил условия формирования ледяного покрова: увеличились периоды времени с заберегами и полынями, уменьшилось число дней с устойчивым ледоставом. Ниже водпоста почти ежегодно наблюдаются заторы льда.

Гидрологический пост находится на правом берегу, в 240 м ниже здания речного вокзала [4].

1.7.2 Река Северная Двина – деревня Абрамково

Пост расположен у деревни, в 1,5 км выше впадения р. Ерги.

Прилегающая к долине местность заболоченная и залесённая равнина. Долина реки трапецидальная, шириной до 7 км, в створе водпоста 1,5 – 2 км. На посту пойма отсутствует. В 2 км от гидрологического поста пойма правобережная, шириной 1 – 5 км; в 0,5 км ниже поста левобережная пойма шириной 0,2 – 0,8 км.

Русло реки прямолинейное, песчаное, сильно деформирующееся. Правый берег в районе водпоста крутой, высотой 10 – 12 м; левый – пологий, высотой 8 – 10 м. Берега сложены суглинками, покрыты луговой растительностью.

В створе водпоста расположен остров длиной более 1 км, шириной 100 – 300 м. Остров делит русло реки на 2 притоки, левая является основным руслом, правая – мелководная, сток через которую в глубокую межень и при сильном увеличении ледяного покрова отсутствует.

В 4 км ниже гидрологического поста расположен пережат. Почти ежегодно в 15 – 20 км ниже поста наблюдения образуются заторы льда.

Гидрологический пост находится на левом берегу реки [4].

1.7.3 Река Северная Двина – село Нижняя Тойма

Пост расположен у д. Бурцевской, в 0,5 км выше устья р. Нижняя Тойма.

Прилегающая к долине реки местность – плоская равнина преимущественно залесённая, частично заболочена, пересечённая долинами речек и ручьёв. Долин реки трапецеидальная, шириной 3 – 4,5 км. Склоны долины высокие и крутые.

Пойма двухсторонняя: правобережная – луговая, шириной от 200 м до 1,5 км, левобережная – луговая с кустарниками, шириной 2 – 2,5 км, пересечена озёрами – старицами. Подтопление поймы происходит при уровне воды 700 – 750 см над нулем графика.

Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующиеся. Правый берег пологий, сложен суглинками; левый – крутой, песчаный, покрыт кустарником, высота берегов местами достигает до 7 м.

Весной во время ледохода, выше и ниже водпоста, наблюдаются заторы льда.

Гидрологический пост находится на правом берегу [4].

1.7.4 Река Северная Двина – деревня Сидоровская

Пост расположен у деревни, в 6 км ниже впадения р. Шужеги.

Прилегающая к долине реки местность – залесённая равнина. Долина реки на участке водпоста трапецеидальная, шириной 3 – 5 км, склоны крутые, высотой 20 – 26 м, залесены, частично заняты лугами и пашней. Склоны сложены суглинистыми и песчано-каменистыми грунтами. Пойма на участке наблюдаемого поста левобережная, луговая с кустарником; правобережная – в 2 км ниже водпоста, шириной 2 – 5 км. Подтопление поймы происходит при уровне 600 – 650 см.

Русло прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Правым берегом служат склоны долины, левым – уступ террасы высотой до 10 м.

На участке поста расположен песчаный остров длиной 10 км, шириной 1 – 2 км, покрыт травой и кустарником. Остров делит русло реки на 2 рукава. Основным является правобережный рукав.

В 3 км ниже, в 3,5 и 4,5 км выше поста расположены перекаты.

Гидрологический пост находится на правом берегу [4].

1.7.5 Река северная Двина – поселок Березник

Пост расположен у поселка, в 7,6 км ниже впадения р. Вага.

Прилегающая к долине реки местность – залесённая равнина. Долина реки трапецеидальная, шириной 2,5 – 3 км. Склоны долины умеренно крутые, залесены, частично распаханы. Пойма двухсторонняя, луговая с кустарником, шириной 0,5 – 1,5 км. При уровне воды 750 см над нулем поста происходит частичное подтопление поймы снизу, полностью пойма затопляется при уровне воды 950 см.

Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Берега пологие, высотой 8 – 10 м.

В 4,6 км выше поста наблюдений расположен песчаный остров, в 0,6 км выше расположен перекаат.

Вскрытие реки на участке водпоста ежегодно происходит раньше, чем на вышерасположенных, вследствие более раннего вскрытия р. Ваги.

Гидрологический пост находится на левом берегу [4].

1.7.6 Река Северная Двина – деревня Звоз

Пост расположен у деревни, в 0,8 км выше впадения р. Большой Кироксы.

Прилегающая к долине реки местность – равнинная, представляет собой карстовую область с многочисленными воронкообразными и оврагообразными провалами. Река в районе поста прорезает толщу Пермских гипсов, образуя ящикообразную долину, шириной до 1,5 км. Склоны долины крутые, преимущественно обнажённые, высотой 20 – 25 м, рассечены глубокими оврагами. Пойма на участке поста правобережная, шириной 50 – 100 м, в 2 км

ниже водпоста переходит в левобережную, шириной до 500 м, занята лугом и кустарником, затопляется при уровне воды 700 см над нулем графика.

Русло реки слабоизвилистое, песчаное, у левого берега – каменистое, деформирующееся.

В 5 км выше водпоста расположен Шепиловский перекат, в 2 км ниже перекат Медведский.

Весной при ледоходе наблюдается подпор уровня от заторов льда ниже водпоста с подъемом уровня до 5 м над бесподпорным. В зимний период в районе водпоста ежегодно наблюдается большие скопления шуги.

Гидрологический пост находится на левом берегу [4].

1.7.7 Река Северная Двина – село Усть-Пинега

Пост расположен у села, в 0,7 км ниже впадения р. Пинеги.

Прилегающая к долине реки местность – заболоченная, залесённая равнина. Долина реки на участке трапецеидальная. Склоны долины крутые, высотой 20 – 25 м. Пойма на участке поста незначительная, шириной 20 – 80 м, двухсторонняя.

Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Берега реки сложены глинами, известняками, высотой 12 – 15 м, крутые, местами обрывистые. В 400 м выше наблюдаемого поста расположен песчаный остров, заросший ивняком.

В межень на реке наблюдается подпор уровня от приливов с Белого моря, а также и ветровые нагоны с моря.

Гидрологический пост расположен на правом берегу [4].

1.7.8 Данные о температуре воздуха и описание метеорологических станций

Данные о температуре воздуха были взяты с сайта *meteo.ru* и с сайта *Climate Explore*.

Для дальнейшего расчета были выбраны метеорологические станции: 22887, 22768, 22676 [6].

Станция 22887 расположена в г. Котлас, Архангельской области. Была организована в 1932 г. в 1 км от города Котлас. Были взяты ежедневные данные о температуре воздуха с 2007 по 2020 год для гидрологического поста р. Северная Двина – г. Котлас.

Станция 22768 расположена в городе Шенкурск, Архангельской области. Метеостанция находится на территории аэродрома. Метеорологические наблюдения начали вестись с 1 декабря 1884 года.

Станция 22676 расположена в селе Сура, Архангельской области. Метеоплощадка находится в 100 м от реки Сура. Ведутся метеорологические наблюдения с 1913 года [8].

Ежедневные данные о температуре воздуха в период с 2007 по 2020 год для гидрологических постов в деревне Абрамково и селе Нижняя Тойма на р. Северная Двина, были получены путем осреднения данных о температуре с трех близлежащих метеостанций (22887, 22768, 22676).

Для гидрологических постов в деревне Сидоровская, поселке Березник, деревне Звоз и селе Усть-Пинега на реке Северная Двина, информация о температуре воздуха была взята, как ежедневная температура воздуха с сайта *Climate Explore*, так как рядом с гидрологическими постами отсутствуют или закрыты метеостанции [7].

1.8 Ледовые явления

Данные о начале и окончании ледовых явлений и ледостава были взяты из ежегодников с 1961 по 2007 год и сайта АИС ГМВО с 2008 по 2020 год для гидрологических постов г. Котлас, д. Абрамково, с. Нижняя Тойма, д. Сидоровская, р.п. Березник, д. Звоз и с. Усть-Пинега.

В данной работе рассматривался период с 2007 по 2020 год [5].

1.9 Толщина льда

Данные о толщине льда были взяты с сайта АИС ГМВО в период с 2008 по 2020 год для гидрологических постов г. Котлас, д. Абрамково, с. Нижняя Тойма, д. Сидоровская, р.п. Березник, д. Звоз и с. Усть-Пинега.



Рисунок 1.5 – Хронологические графики температуры воздуха и толщины льда на р. Северная Двина – г. Котлас, 2015 год

На графике можно заметить, что при положительных температурах воздуха, толщина льда не уменьшается, а наоборот возрастает. Это обусловлено тем, что многие северные реки текут с юга на север. Из – за этого лед в верхних

створах реки не успевают растаять и возникает наслоение льдин, называемое затором [5].

1.10 Толщина снежного покрова

Так же с сайта АИС ГМВО были взяты данные о толщине снега на гидрологических постах г. Котлас, д. Абрамково, с. Нижняя Тойма, д. Сидоровская, р.п. Березник, д. Звоз и с. Усть- Пинега в период 2008 – 2020 год. [5].

В данной выпускной работе эти данные не применялись.

В приложение А представлены комплексные хронологические графики температуры воздуха и ледовых явлений для исследуемых постов в период с 2008 по 2020 гг.

2 Математический аппарат

2.1 Определение дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С

Даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0 относятся к важной характеристике погоды, указывающей на климатические особенности конкретного года. Так, весенний переход средней суточной температуры воздуха через 0 °С связан с ранним или поздним сходом снежного покрова, вскрытием рек. В осенний и зимний периоды переход температуры воздуха через 0 °С, связан с ледообразованием и установлением устойчивого ледостава на реке [9].

Благодаря устойчивому переходу можно узнать, при какой сумме отрицательных температур появились первые ледовые явления и когда установился ледостав. При положительной сумме температур, когда ледостав начал таять и когда закончились ледовые явления на реке.

Устойчивый переход через 0 °С был определен с помощью программы *Temperature transition*.

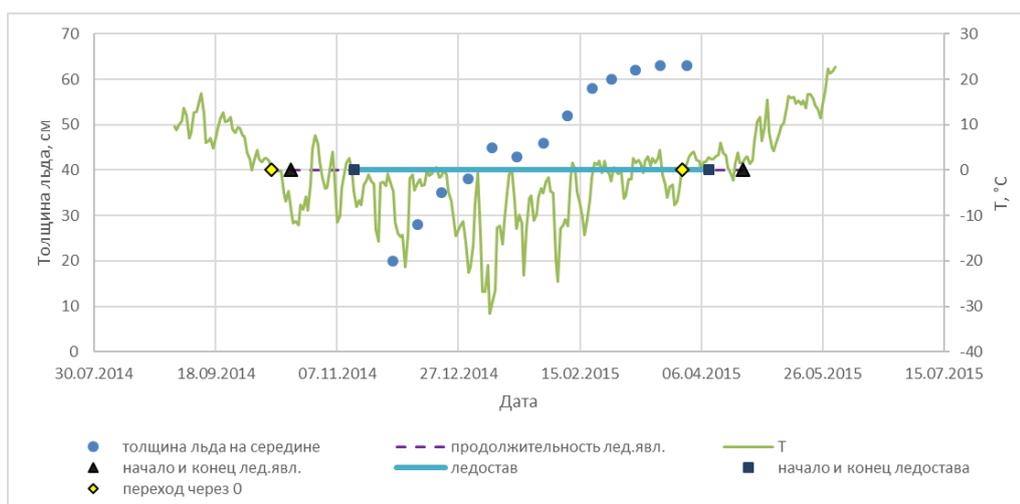


Рисунок 2.1 – Комплексный хронологический график температуры воздуха и ледовых явлений для поста на р. Северная Двина (г. Котлас) за холодный период 2014 – 2015 гг.

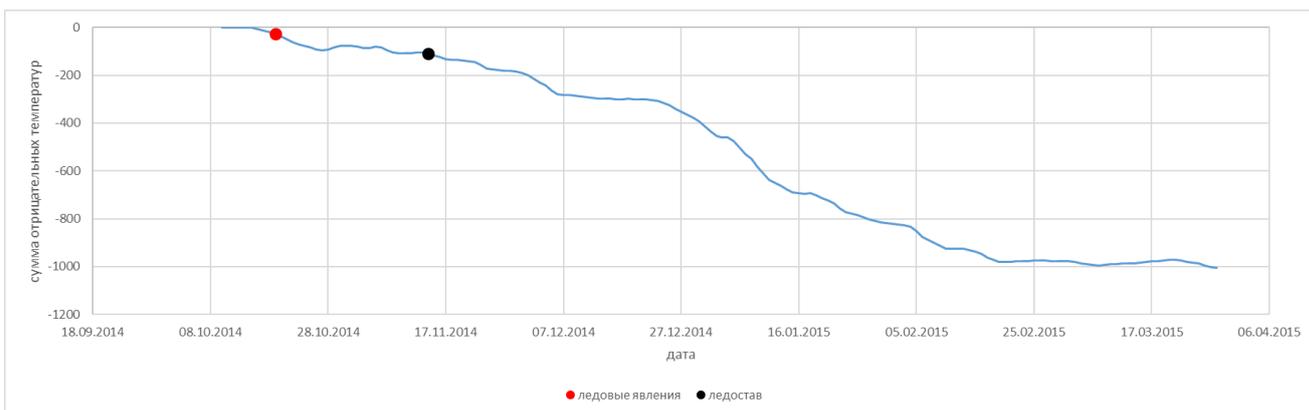


Рисунок 2.2 – График суммы отрицательных температур после перехода температуры воздуха через 0 °C с метеостанции Котлас, 2015 год

2.2 Регрессионный анализ

Искомым уравнением регрессии в случае линейной зависимости является следующее:

$$y = ax + b \quad (2.1)$$

Коэффициент a , который характеризует тангенс угла наклона искомой прямой, принято называть коэффициентом регрессии зависимости $y(x)$. Его можно представить в виде уравнения:

$$a_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (2.2)$$

где σ_y и σ_x – среднеквадратические отклонения выборок из Y и X ;

r – выборочный коэффициент парной корреляции, определяемый по формуле.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.3)$$

Коэффициент r представляет собой эмпирическую меру линейной зависимости между Y и X . Он может принимать значения от -1 до $+1$. Если коэффициент корреляции по модулю равен единице, зависимость является функциональной (точки лежат на прямой без разброса). Знак «плюс» указывает на то, что зависимость прямая, знак «минус» - зависимость обратная. Чем ближе абсолютное значение r к нулю, тем слабее линейная зависимость между Y и X .

Полученное на основе эмпирических данных уравнение линейной регрессии может использоваться в качестве прогностической зависимости или расчетной формулы, однако это является корректным только в случае, если данное уравнение обеспечивает необходимую точность расчета, является надежным.

В качестве меры линейной зависимости между двумя переменными используется коэффициент парной корреляции. В соответствии с действующими в гидрологии нормативными документами зависимость может использоваться для практических расчетов, если $|r| \geq 0,7$.

Смысл этого неравенства будет более понятен, если рассмотреть величину r^2 , которую называют коэффициентом детерминации. Коэффициент детерминации характеризует долю общего разброса относительно среднего значения y , объясняемую регрессией. Если зависимость функциональная и точки относительно линии регрессии лежат без разброса, то весь разброс относительно y объясняется регрессией, т.е. $r^2 = 1$. При $r = 0,7$ коэффициент детерминации $r^2 = 0,49 \approx 0,5$.

Таким образом, в гидрологии зависимость может использоваться для практических расчетов, если регрессия объясняет 50 % или более разброса относительно y [10].

2.3 Оценка прогнозов S/σ

Когда разработана методика прогнозов, то необходимо оценить ее точность и эффективность. Точность методики оценивается по распределению

величин погрешностей поверочных прогнозов или по их обеспеченности, т. е. по величинам вероятности того, что погрешности прогнозов не превысят заданных предельных значений. Эта оценка точности методики исходит из предпосылки, что распределения погрешностей прогнозов, которые будут выпускаться в будущем, являются такими же, как и для поверочных прогнозов. Под поверочными прогнозами понимается совокупность прогнозов, составленных по разработанной методике по данным наблюдений за прошлые годы.

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{\phi} - Y_{\text{пр}})^2}{n-m}} \quad (2.4)$$

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 или S/σ_{Δ} , т. е. отношение среднеквадратической погрешности поверочных прогнозов к среднеквадратическому отклонению предсказываемой величины от среднего значения либо к ее изменению за период заблаговременности.

Где σ и σ_{Δ} находятся как:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad (2.6)$$

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 $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,70$;

при $15 < n \leq 25$ должно быть $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,75$;

при $n > 25$ должно быть $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,80$ [11].

3 Расчеты и прогнозы ледовых явлений

3.1 Определение связей

3.1.1 Начало ледовых явлений

Характерные графики связи порядкового дня с начала календарного года начала ледовых явлений от суммы отрицательных температур с устойчивого перехода их через 0 °С представлены на рисунках 3.1 – 3.3.

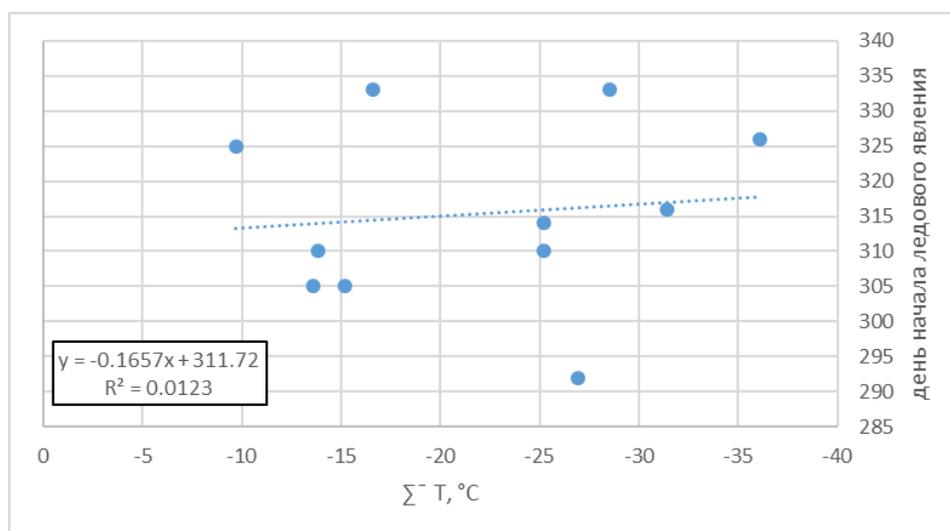


Рисунок 3.1 – График связи ледовых явлений
р. Северная Двина – г. Котлас

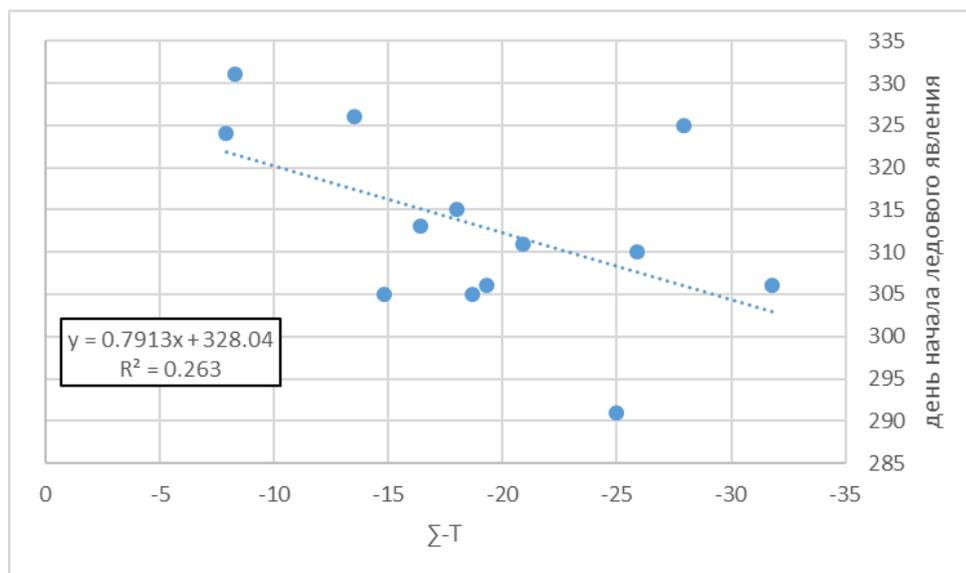


Рисунок 3.2 – График связи ледовых явлений
р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма

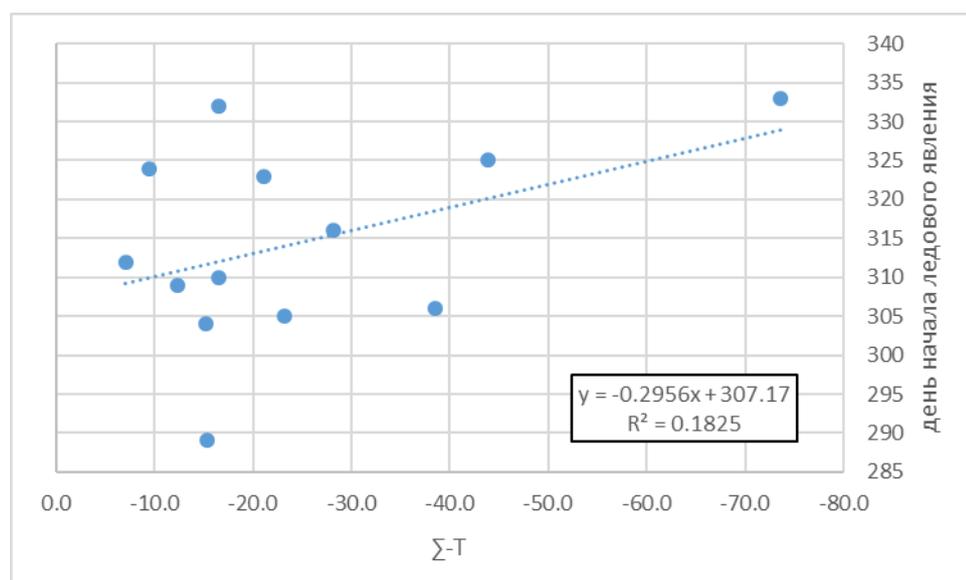


Рисунок 3.3 – График связи ледовых явлений
р. Северная Двина – р.п. Березник

Таблица 3.1 – Значения коэффициента корреляции начала ледовых явлений

створ	коэффициент корреляции, R
6	0,11
8	0,29
9	0,51
10	0,54
11	0,43
12	0,31

створ	коэффициент корреляции, R
13	0,13

Как видно из таблицы 3.1, значения коэффициента парной корреляции не соответствует условию $|r| \geq 0,7$, значит связь на всех створах не устойчивая.

3.1.2 Начало ледостава

Характерные графики связи порядкового дня с начала календарного года начала ледостава от суммы отрицательных температур с устойчивого перехода их через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены на рисунках 3.4 – 3.6.

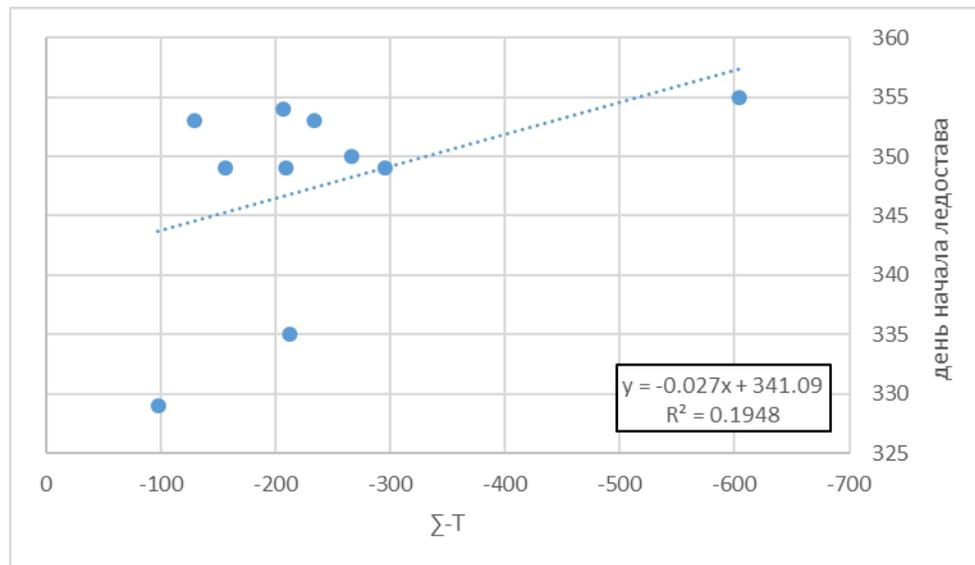


Рисунок 3.4 – График связи начала ледостав
р. Северная Двина – д. Абрамково

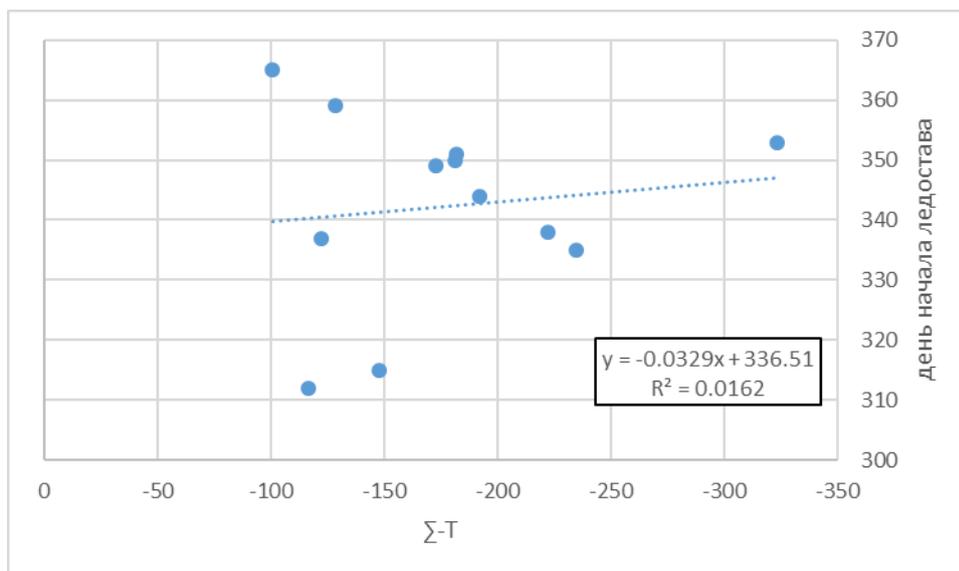


Рисунок 3.5 – График связи начала ледостав
р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма

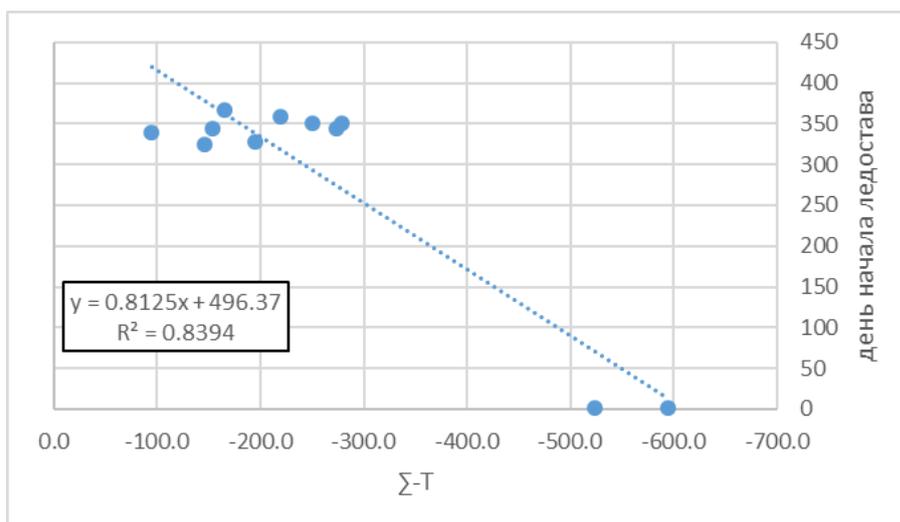


Рисунок 3.6 – График связи начала ледостав
р. Северная Двина – д. Сидоровская

Таблица 3.2 – Значения коэффициента корреляции начала ледостава

створ	коэффициент корреляции, R
6	0,52
8	0,44
9	0,13
10	0,92
11	0,68
12	0,49
13	0,53

Как видно из таблицы 3.2, устойчивая связь на начале ледостава наблюдается на створе 10 (р. Северная Двина – д. Сидоровская). Так как соблюдается условие зависимости $|r| \geq 0,7$.

3.1.3 Окончание ледостава

Характерные графики связи порядкового дня с начала календарного года окончания ледостава от суммы положительных температур с устойчивого перехода их через 0 °С представлены на рисунках 3.7 – 3.9

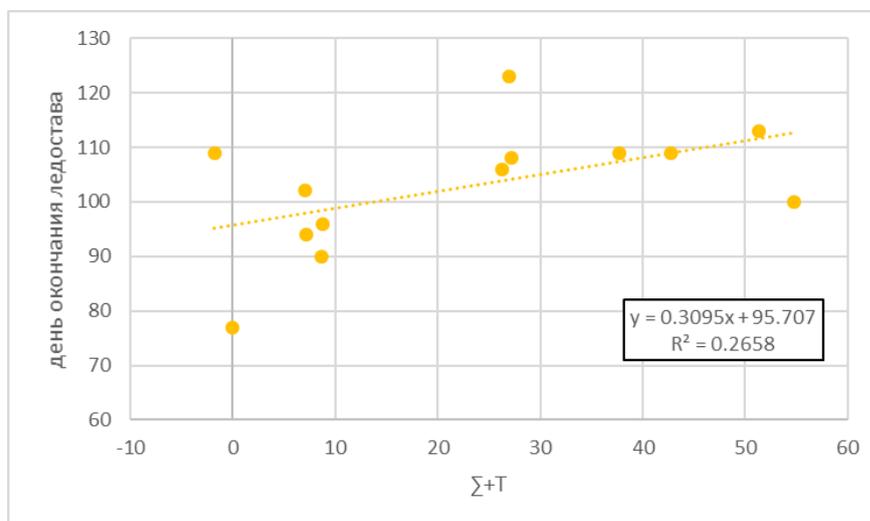


Рисунок 3.7 – График связи окончание ледостава
р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма

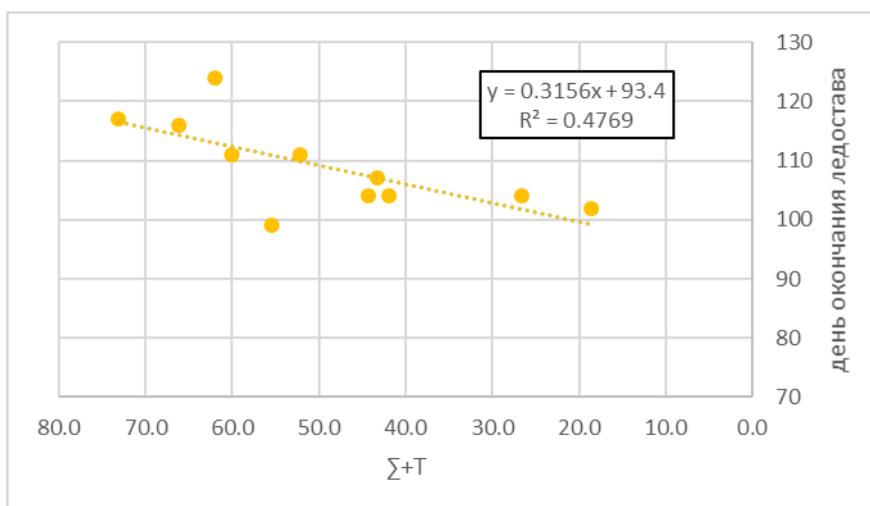


Рисунок 3.8 – График связи окончание ледостава
р. Северная Двина – д. Сидоровская

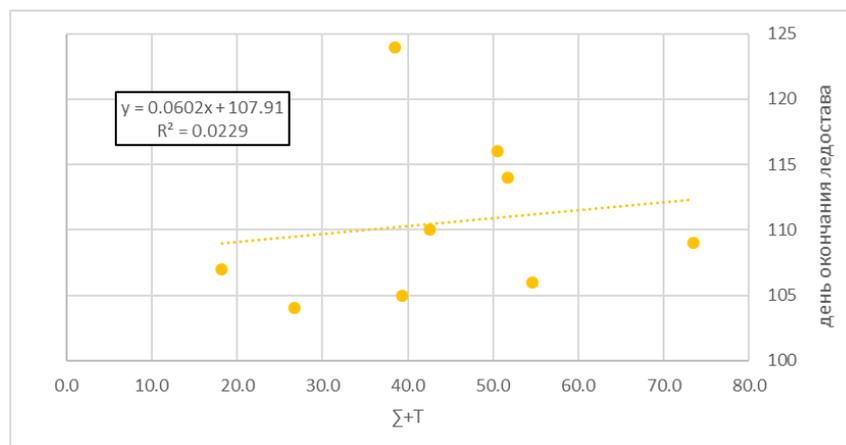


Рисунок 3.9 – График связи окончание ледостава
р. Северная Двина – д. Звоз

Таблица 3.3 – Значения коэффициента корреляции окончания ледостава

створ	коэффициент корреляции, R
6	0,17
8	0,27
9	0,52
10	0,7
11	0,60
12	0,15
13	0,23

Как видно из таблицы 3.3, устойчивая связь на окончание ледостава наблюдается на створе 10 (р. Северная Двина – д. Сидоровская). Так как соблюдается условие зависимости $|r| \geq 0,7$.

3.1.4 Окончание ледовых явлений

Характерные графики связи порядкового дня с начала календарного года окончания ледового явления от суммы положительных температур с устойчивого перехода их через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены на рисунках 3.10 – 3.13.

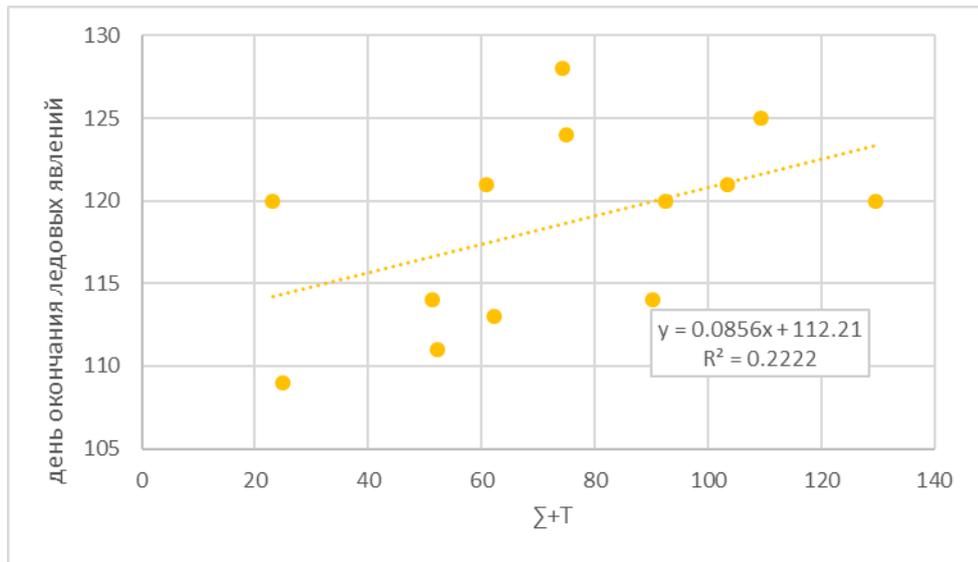


Рисунок 3.10 – График связи окончание ледовых явлений на р. Северная Двина – д. Абрамково

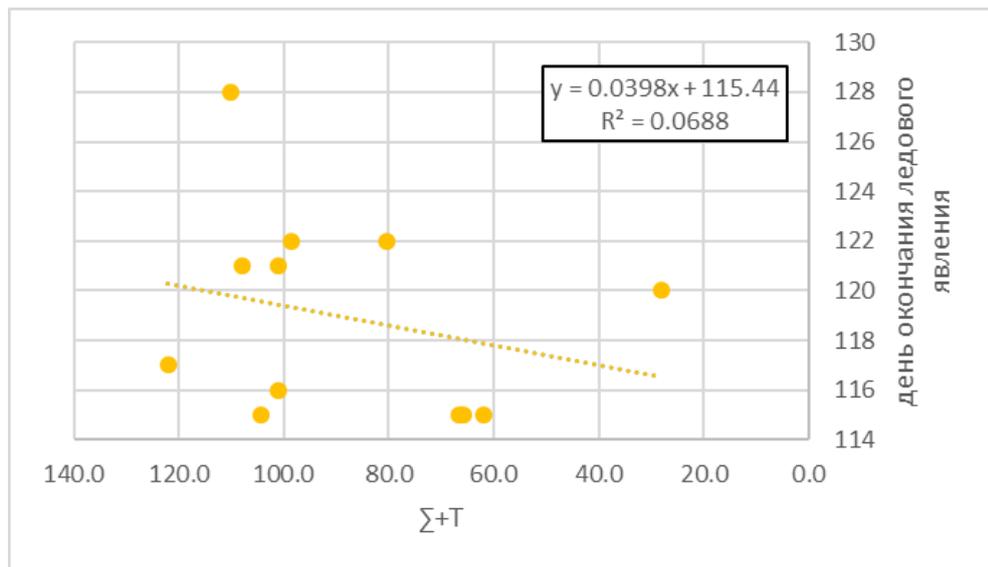


Рисунок 3.11 – График связи окончание ледовых явлений на р. Северная Двина – д. Сидоровская

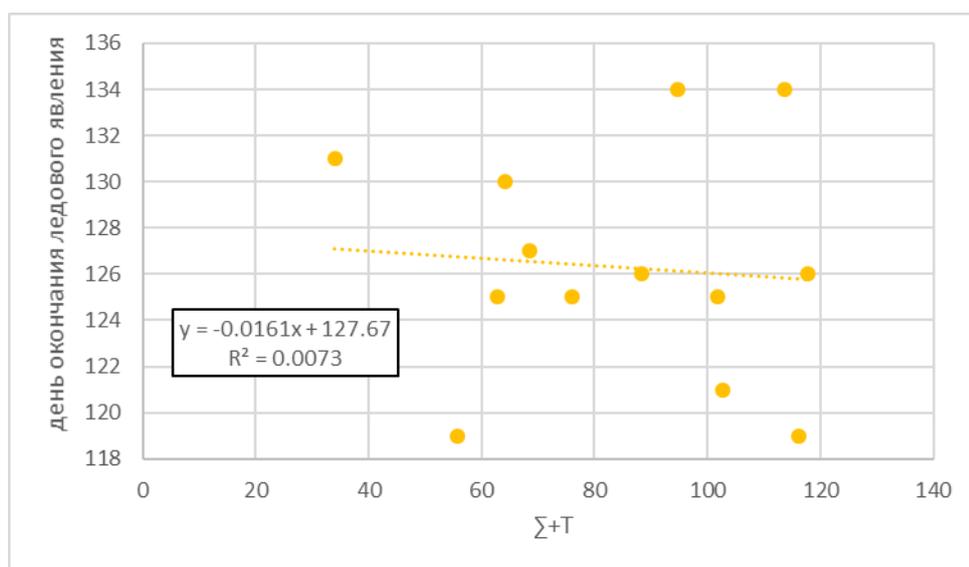


Рисунок 3.12 – График связи окончание ледовых явлений на р. Северная Двина – с. Усть-Пинега

Таблица 3.4 – Значение коэффициента корреляции окончания ледовых явлений

створ	коэффициент корреляции, R
6	0,13
8	0,47
9	0,39
10	0,26
11	0,53
12	0,56
13	0,09

Как видно из таблицы 3.4, значения коэффициента парной корреляции не соответствует условию $|r| \geq 0,7$, значит связь на всех створах не устойчивая.

3.1.5 Толщина льда

Таблица 3.5 – Толщина ледяного покрова створа д. Абрамково за 2008 год.

дата	толщина льда	ΣT
05.01.2008	28	-391,8
10.01.2008	34	-497,6
20.01.2008	36	-534,1

дата	толщина льда	ΣT
31.01.2008	35	-615,8
10.02.2008	35	-664,6
20.02.2008	40	-764,4
29.02.2008	41	-850,9
10.03.2008	42	-939,8
20.03.2008	42	-972,7
31.03.2008	41	7,7
05.04.2008	60	17,4
10.04.2008	59	33,5

В график связи не были включены данные при положительной сумме температур воздуха, так как толщина льда начинает расти. Происходит это из-за того, что Северная Двина течет с юга на север, и ледяной покров не успевает вовремя растаять, вследствие чего возникают заторы. Что наглядно видно в таблице 3.5.

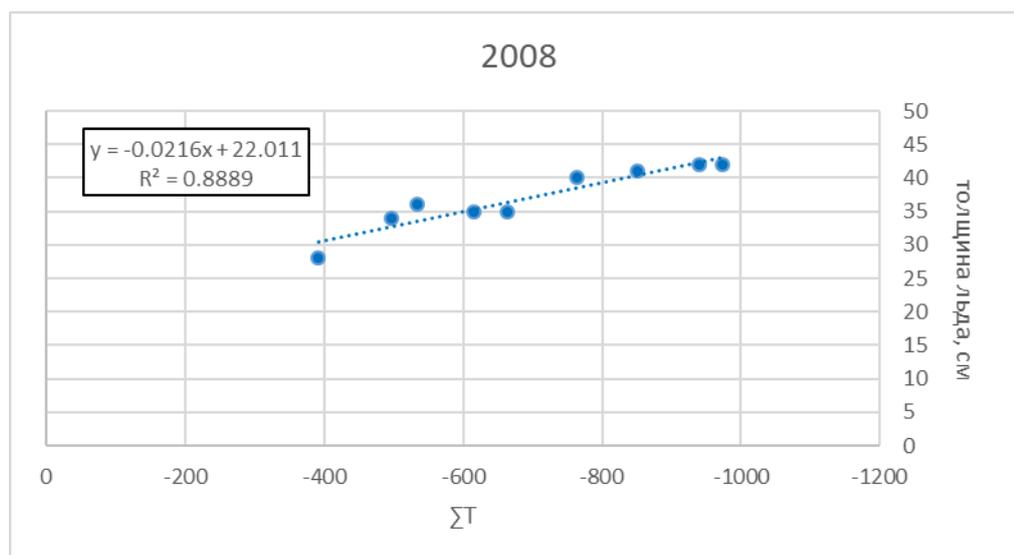


Рисунок 3.13 – График связи толщины льда на р. Северная Двина – д. Абрамково

Таблица 3.6 – Сводная таблица значений коэффициентов корреляции по толщине льда

Код поста	год	R	Код поста	год	R
70061	2008(у берега)	0,21	70069	2008	0,95
	2008 (на середине)	0,52		2009	0,94

Код поста	год	R	Код поста	год	R	
70061	2009(у берега)	0,94	70069	2010	0,81	
	2009 (на середине)	0,95		2011	0,92	
	2010	0,92		2012	0,98	
	2011	0,86		2013	0,88	
	2012	0,94		2014	0,76	
	2013	0,84		2015	0,88	
	2014	0,81		2016	0,93	
	2015	0,96		2017	0,98	
	2016	0,98		2018	0,94	
	2017	0,99		2019	0,98	
	2018	0,95		70072	2008	0,97
	2019	0,99			2009	0,99
	2020	0,87			2010	0,98
70066	2008	0,94	2011		1,00	
	2009	0,97	2012		0,99	
	2010	0,88	2013		0,96	
	2011	0,98	2014		0,88	
	2012	0,98	2015		0,98	
	2013	0,91	2016		0,97	
	2014	0,91	70801		2008	0,93
	2015	0,97			2009	0,97
	2016	0,99			2010	0,93
	2017	0,94			2011	0,98
	2018	0,96		2012	0,97	
	2019	0,99		2013	0,97	
	2020	0,92		2014	0,99	
70067	2008	0,93		2015	0,97	
	2009	0,98		2016	0,98	
	2010	0,96		2017	0,98	
	2011	0,97		2018	0,93	
	2012	0,96		2019	0,97	
	2013	0,97		2020	0,93	
	2014	0,97	70070	2008	0,91	
	2015	0,97		2009	0,92	
	2016	0,99		2010	0,99	
	2017	0,99		2011	0,99	
	2018	0,99		2012	0,84	
	2019	0,97		2013	0,97	
	2020	0,98		2014	0,78	
		2015		0,95		
		2016		0,97		
		2017		0,92		
		2018		0,71		
		2019		0,97		
		2020		0,95		

Т.к. значения коэффициента парной корреляции в таблице 3.6 соответствует условию $|r| \geq 0,7$, значит связь на всем створе устойчивая и можно использовать для практических расчетов.

В приложение Б представлены графики связи начала и окончания ледовых явлений, толщины льда по исследуемым постам.

3.2 Оценка поверочного прогноза

Для оценки поверочного прогноза толщины льда был выбран гидрологический пост р. Северная Двина – г. Котлас. На рисунке 3.14 показан график связи толщины льда при разработке методики (параметризации) за 2008 – 2018 гг. На рисунке 3.15 и 3.16 сравнение прогнозных значений с фактическими за 2019-2020 гг.

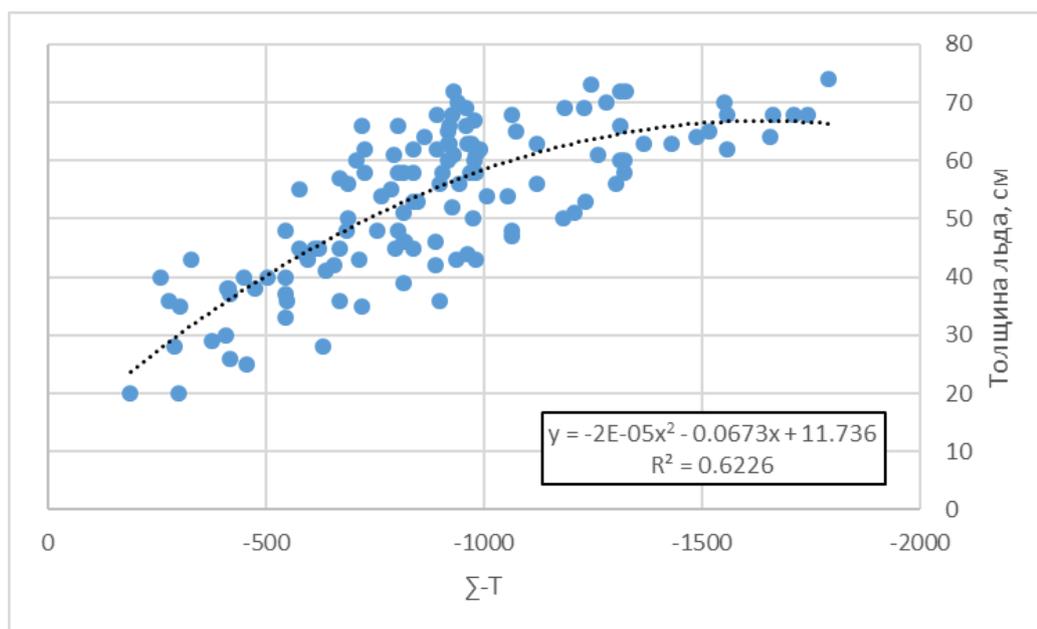


Рисунок 3.14 – График связи толщины льда (параметризация) за период 2008 – 2018 гг. на р. Северная Двина – г. Котлас

Для прогноза использовалось уравнение ax^2+bx+c (полином 2-ой степени), полученное по зависимости $H_{\phi}=f(\Sigma T^-)$. В уравнение вместо x подставляется значение суммы отрицательных температур, соответствующей толщине льда.

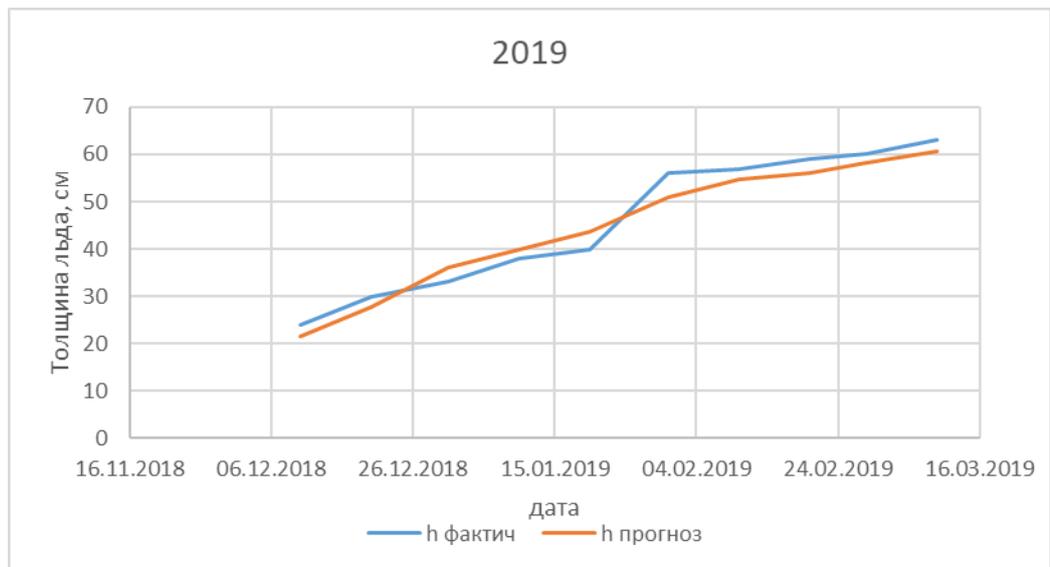


Рисунок 3.15 – Сравнение фактических и прогнозных значений толщины льда на р. Северная Двина – г.Котлас за 2019 г.

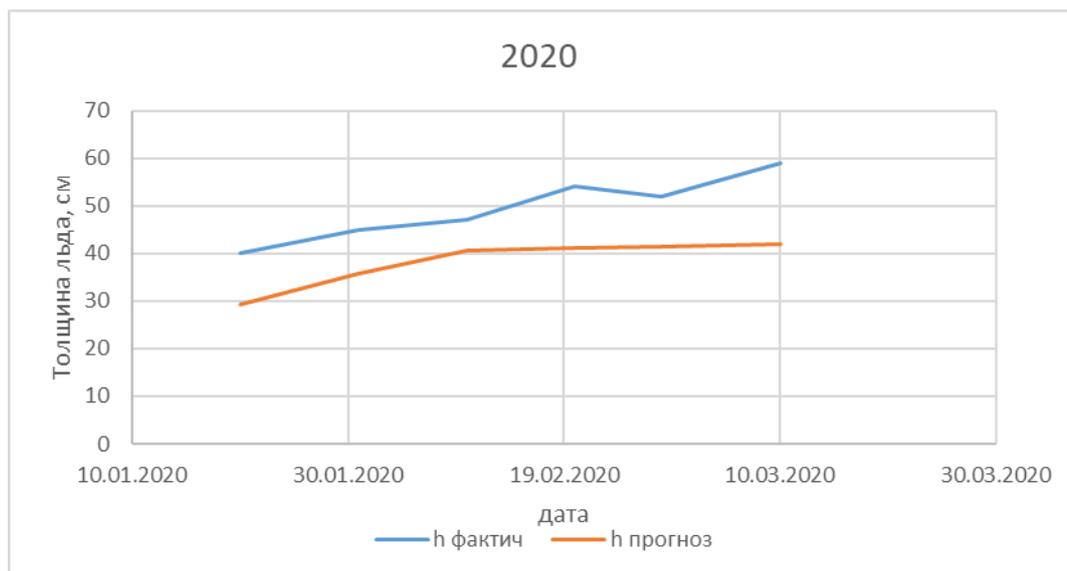


Рисунок 3.16 – Сравнение фактических и прогнозных значений толщины льда на р. Северная Двина – г.Котлас за 2020 г.

С помощью формул 2.4 – 2.6 была рассчитана оценка прогноза S/σ . Данные для оценки прогноза были рассчитаны за 2 прогнозируемых года, т.к. длина ряда каждого года мала и оценка может оказаться не эффективна.

Таблица 3.7 – Данные для оценки прогноза на гидрологическом посту

Котлас

S/σ	0,69
S	8,3
σ	12
n	16

Как видно из таблицы 3.7 при $15 < n \leq 25$, $S/\sigma \leq 0,75$. Значит методика прогноза на гидрологическом посту Котлас эффективна.

Таблица 3.8 – Сводная таблица данных для оценки прогноза

№	Река – Пост	n	S/σ	оценка
1	Северная Двина – д. Абрамково	22	0,44	оправдалась
2	Северная Двина – с. Нижняя Тойма	29	0,48	оправдалась
3	Северная Двина – д. Сидоровская	27	0,50	оправдалась
4	Северная Двина – р.п. Березник	37	0,55	оправдалась
5	Северная Двина – д. Звоз	26	0,41	оправдалась
6	Северная Двина – с. УстьПинега	27	0,74	оправдалась

В приложение В представлены графики связи и графики сравнения фактических значений с прогнозными на створах д. Абрамково, с. Нижняя Тойма, д. Сидоровская, р.п. Березник, д. Звоз, с. Усть-Пинега.

Заключение

В ходе проделанной работы выполнены следующие задачи:

– Собран архив гидрометеорологических данных за период наблюдений с 1961 по 2020 год, который включает в себя ежедневную температуру воздуха, даты начала и окончания ледовых явлений. И были взяты данные по толщине ледяного и снежного покрова, за период наблюдений с 2008 по 2020 год.

– Построены хронологические графики всех исследуемых холодных периодов и выявлены особенности формирования ледовых явлений. (Образование заторных явлений в створе г. Котлас в 2016, 2018, 2019 годах; с. Нижняя Тойма в 2008, 2009, 2010 годах; д. Сидоровская 2009, 2019; р.п. Березник в 2008, 2009, 2013, 2018 годах; с. Усть-Пинега в 2011, 2012, 2018, 2019 годах. Прерывания ледостава в створе д. Абрамково в 2013, 2017 годах. Окончание ледостава раньше перехода температуры воздуха через 0°C в створе д. Сидоровская в 2016 году; р.п. Березник в 2017, 2020 годах; с. Усть- Пинега 2017, 2020 годах)

– Рассмотрены соответствующие зависимости дат начала ледовых явлений и ледостава, а также их окончания от сумм отрицательных и положительных температур. Значимых связей за исследуемый период не выявлено, кроме как в створе д. Сидоровская за начало и окончание ледостава. Значение коэффициента корреляции в начале ледостава составило 0,92, при окончании 0,7.

– Рассмотрены зависимости толщин льда от суммы отрицательных температур. Получены значимые связи, за исключением зависимости толщины льда на гидрологическом посту г. Котлас в 2008 году. Значения коэффициента корреляции на середине реки составило 0,52, у берега 0,21.

– Выполнена параметризация указанной связи за период с 2008 по 2018 гг. и выполнен прогноз на независимом материале периода с 2015 по 2020 гг. в зависимости от рассматриваемого гидрологического створа. Дан

прогноз толщины льда и сделана оценка расчетов по критерию S/σ . Все поверочные прогнозы оправдались и методика для каждого створа эффективна.

Список используемых источников

- 1 География города Архангельска. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://www.arhcity.ru/?page=35/7&ysclid=lpffmx6bet342860628> (Дата обращения 26.11.2023)
- 2 Почвенная карта Архангельской области. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: http://www.etomesto.ru/map-arhangelsk_atlas-1976_pochvennaya (Дата обращения 26.11.2023)
- 3 Климат и растительный мир Архангельской области. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://arhdom.com/articles/klimat-i-rastitelnyy-mir-arkhangelskoj-oblasti?ysclid=lwxbed3xz5171850984> (Дата обращения 26.11.2023)
- 4 Гидрологический ежегодник том 1; выпуск 8; Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени.
- 5 Государственный мониторинг водных объектов. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (Дата обращения 12.12.2023)
- 6 Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <http://meteo.ru/> (Дата обращения 30.01.2024)
- 7 Climate Explore [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://climexp.knmi.nl/start.cgi> (Дата обращения 04.02.2024)
- 8 Сеть станций Северного УГМС. [Электронный ресурс] // Web page Source user guide. – URL: <https://www.sevmeteo.ru/company/stations.php> (Дата обращения 10.02.2024)
- 9 Садоков В.П. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5 °С, их прогноз и оценка. [Текст] / В.П. Садоков, В.Ф. Козельцева, Н.Н. Кузнецова. 2012. – 9 с.

10 Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. [Текст] / А.В. Сикан – СПб, изд. РГГМУ, 2007. – 278 с.

11 Георгиевский Ю.М. Гидрологические прогнозы. [Текст] / Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин. – СПб, изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.

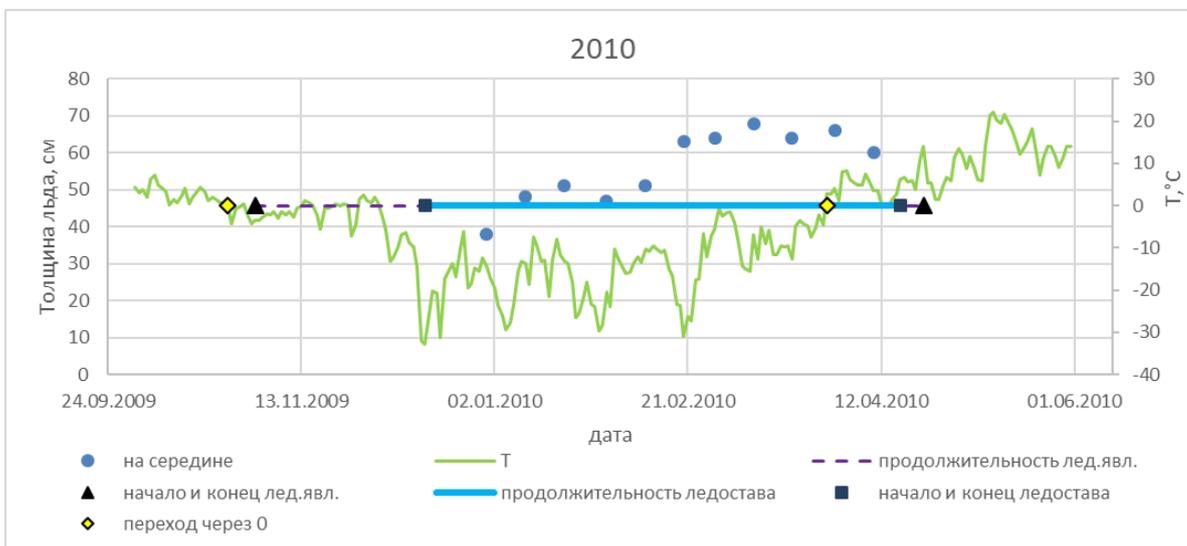
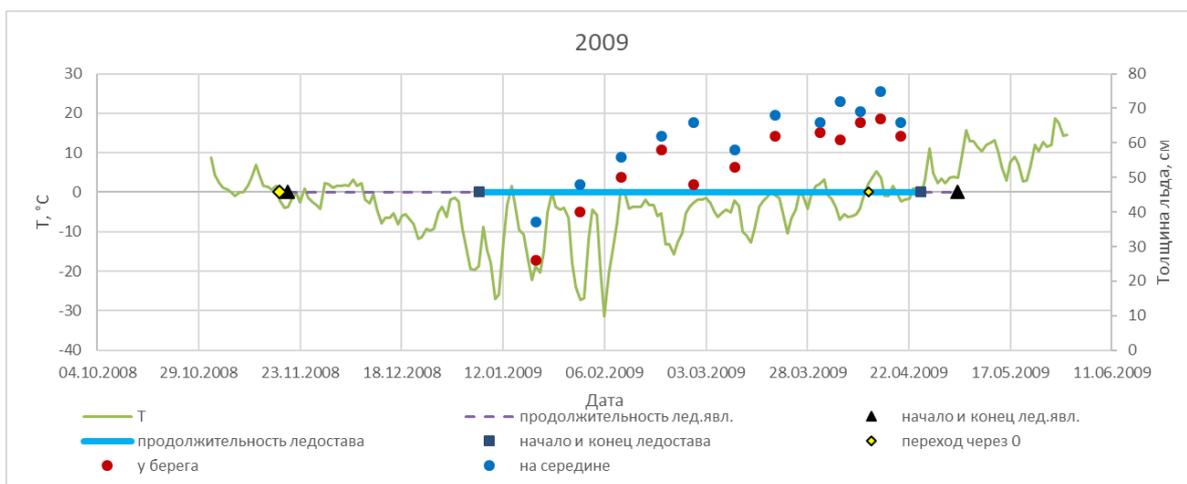
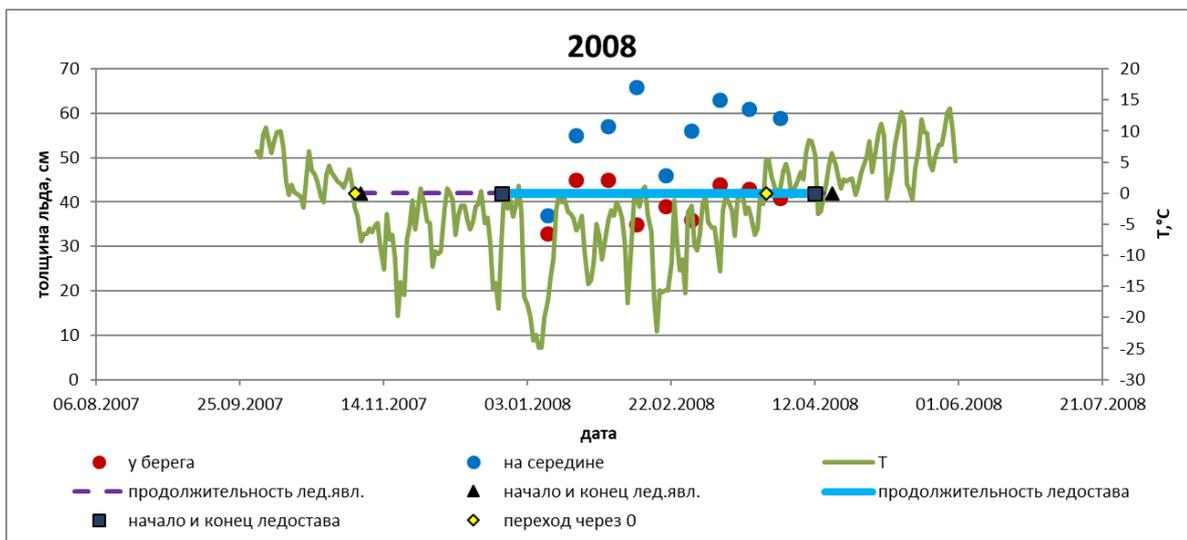
12 Бузин В.А. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. [Текст] / В.А. Бузин, А.Т. Зиновьев. – Барнаул, 2009. – 169 с.

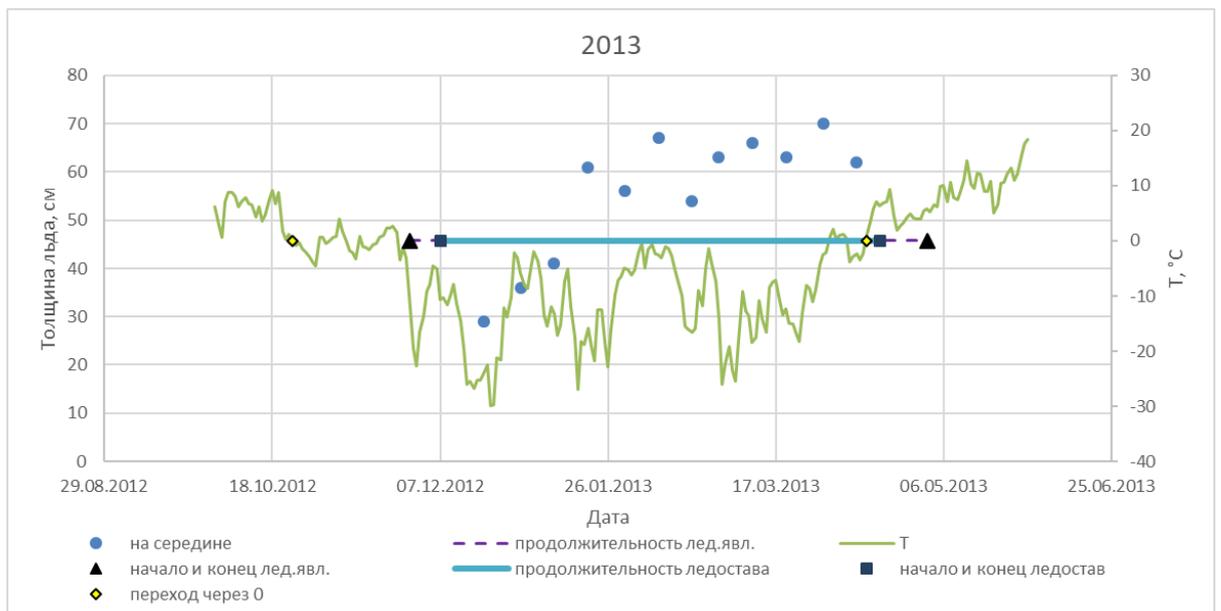
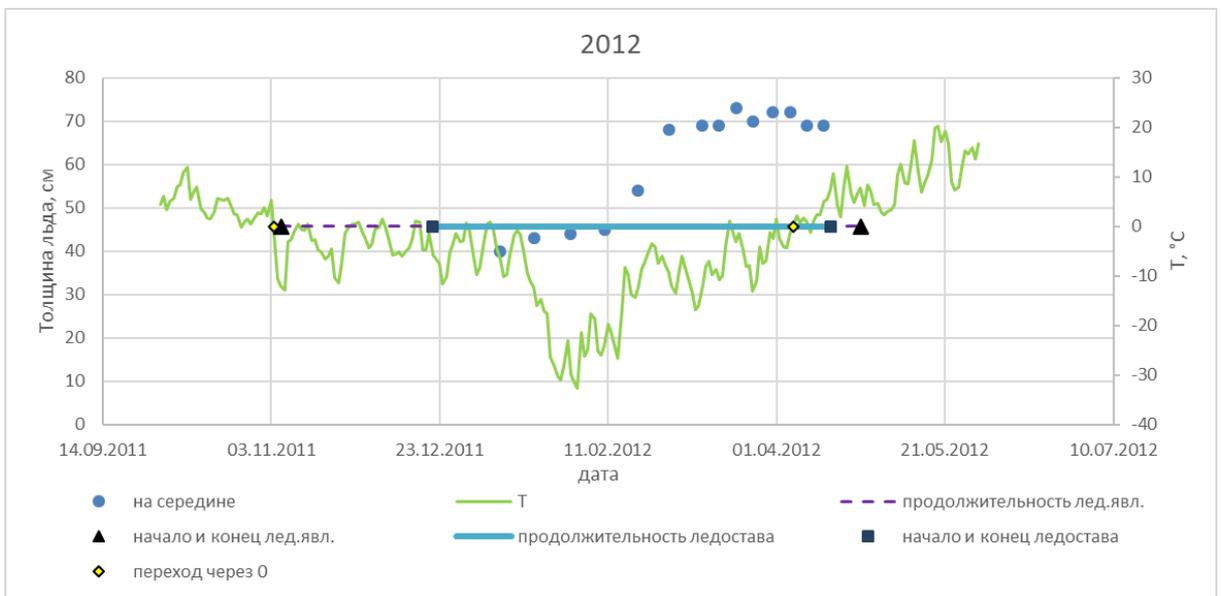
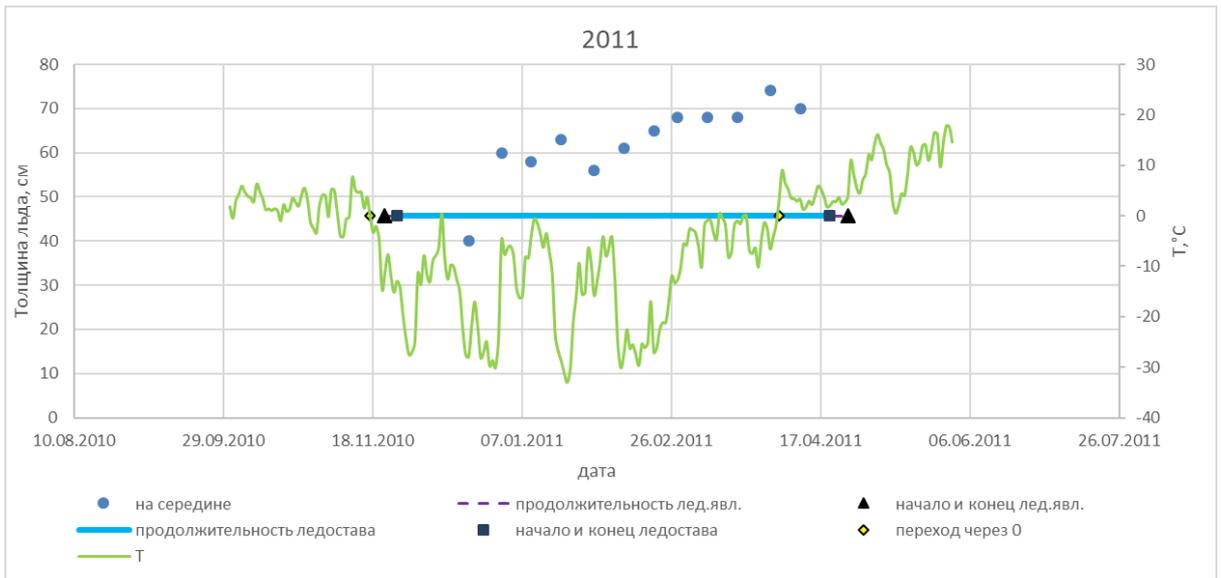
13 Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 3. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. [Текст] / Б.М. Гинзбург. – Ленинград, изд. Гидрометео, 1989. – 169 с.

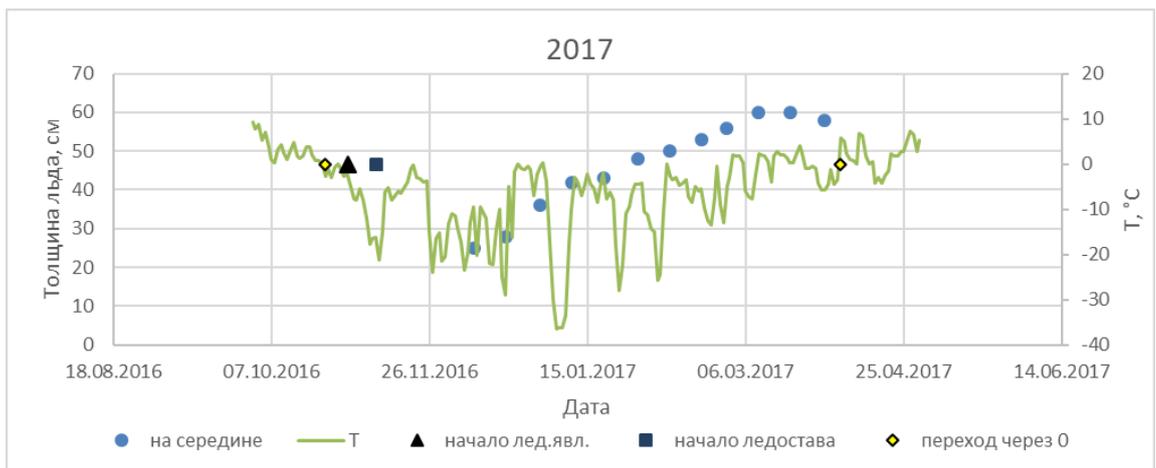
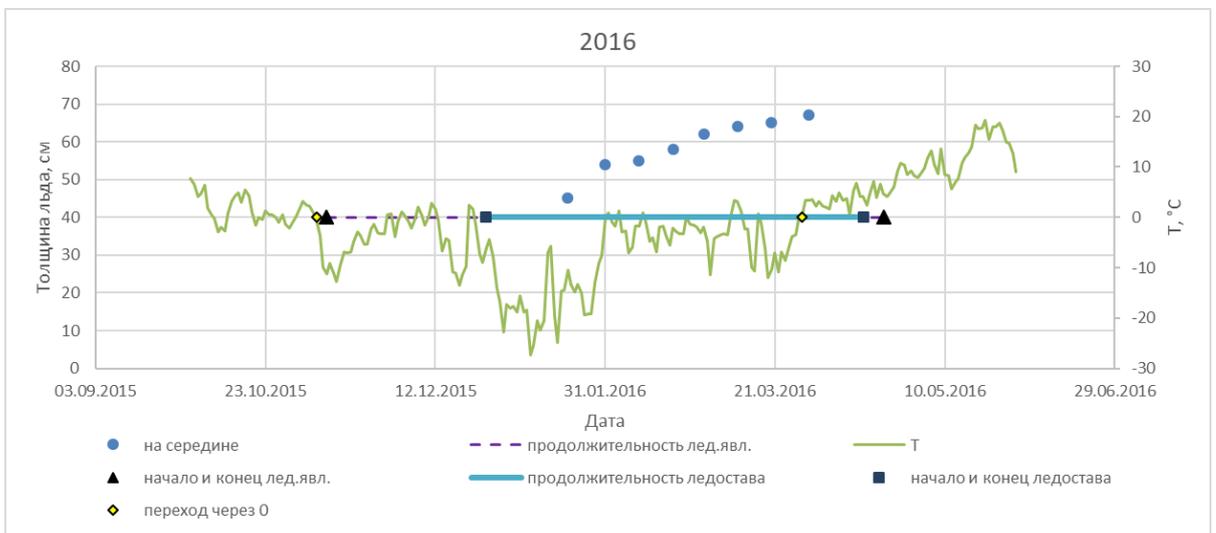
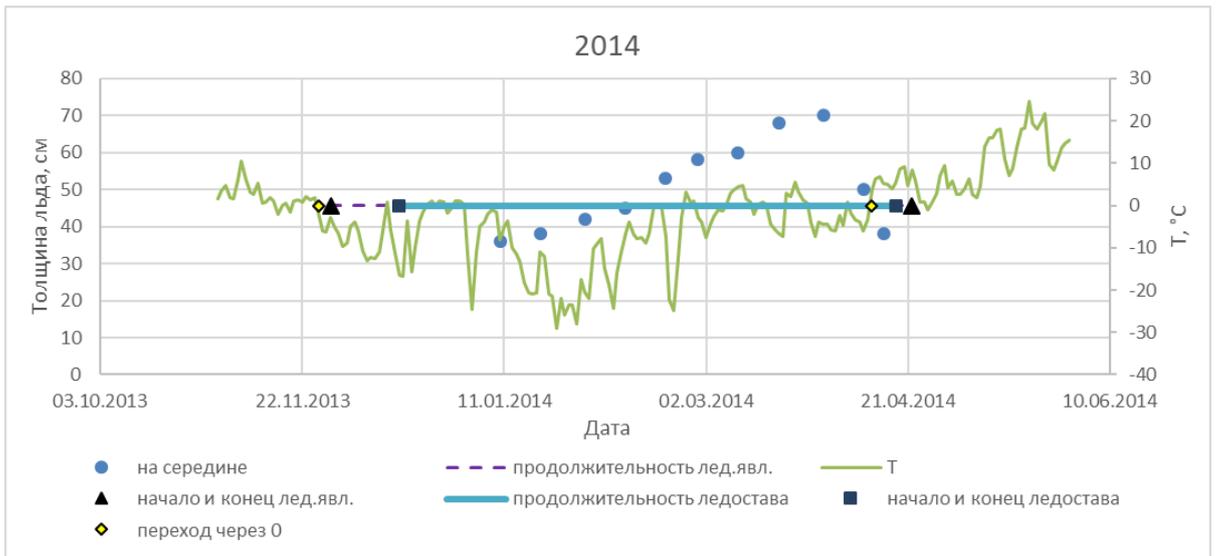
14 Агафонова С.А. Ледовый режим и опасные гидрологические явления на реках арктической зоны европейской территории России. [Текст] / С.А. Агафонова, Н.Л. Фролова, А.Н. Василенко. 2016. – 8 с.

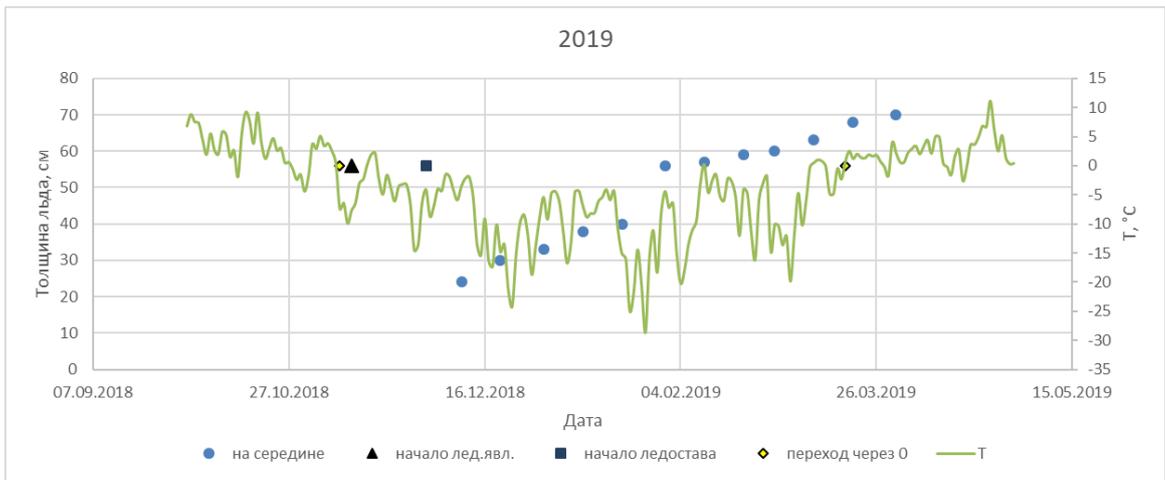
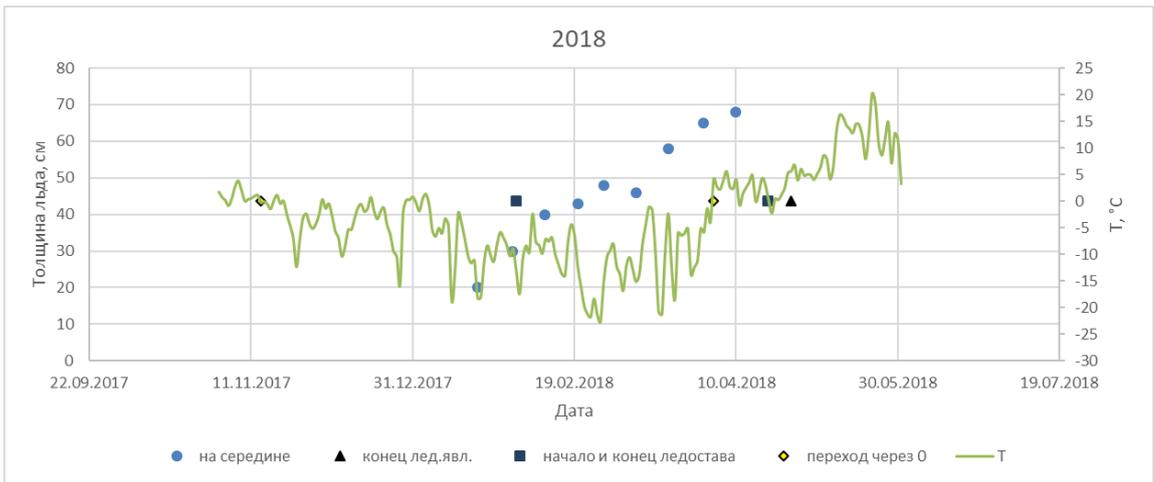
Приложение А – Комплексные хронологические графики температуры воздуха и ледовых явлений за период 2008 – 2020 гг.

1) Гидрологический пост р. Северная Двина – г. Котлас 2008 – 2020 гг.

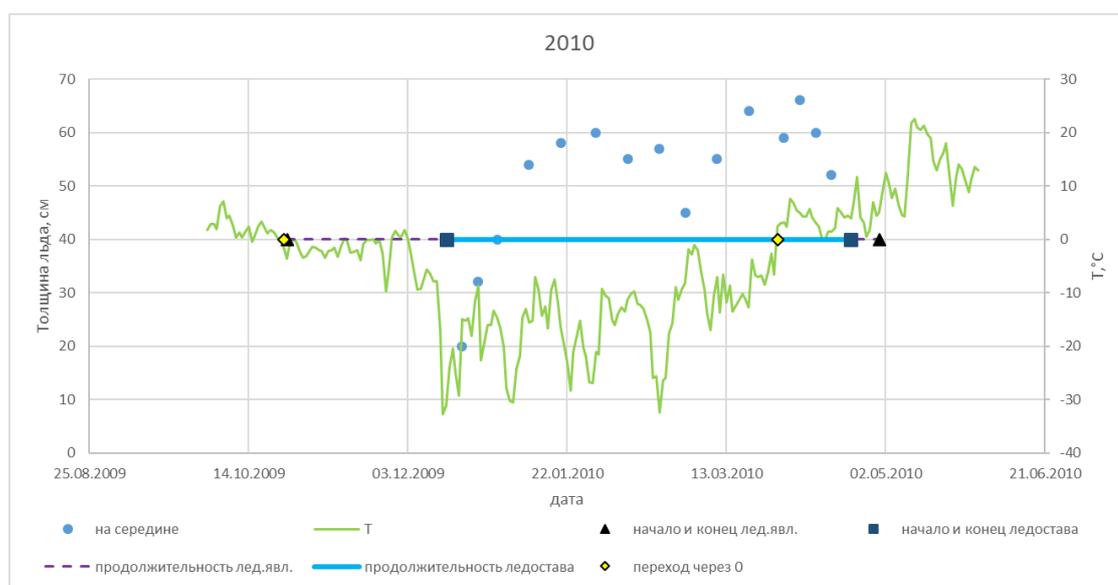
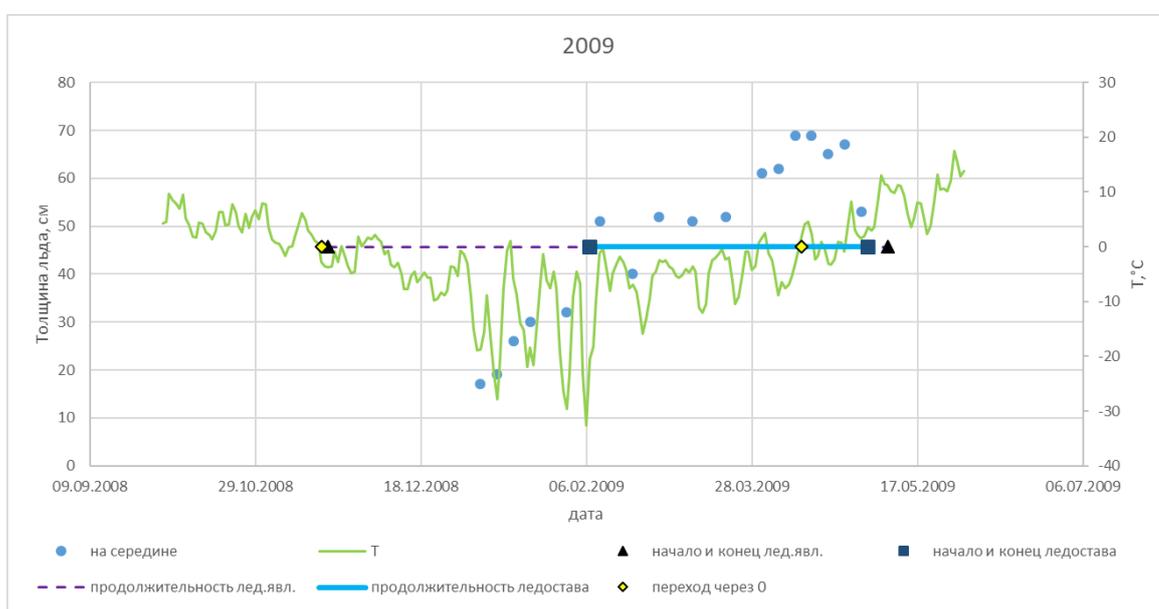
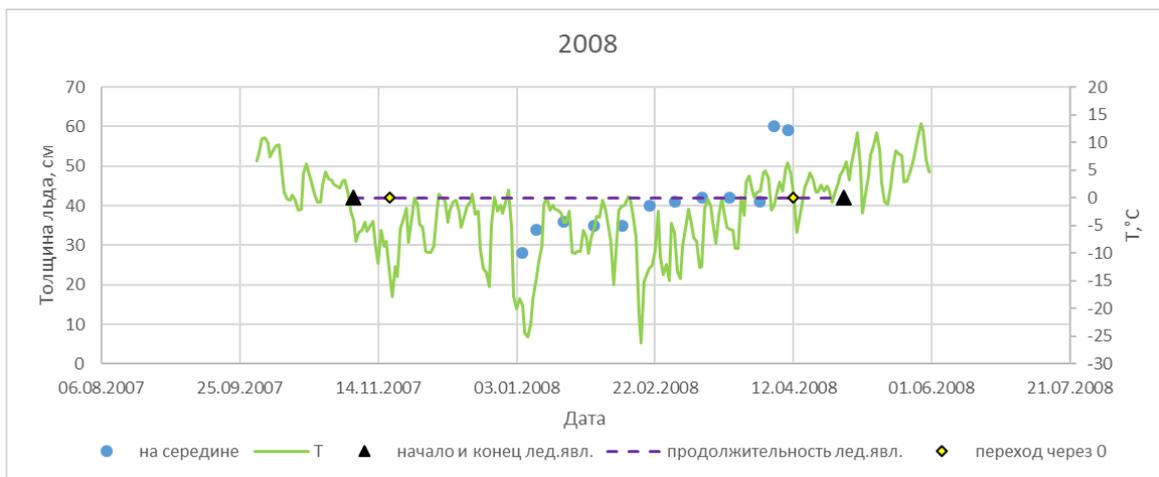


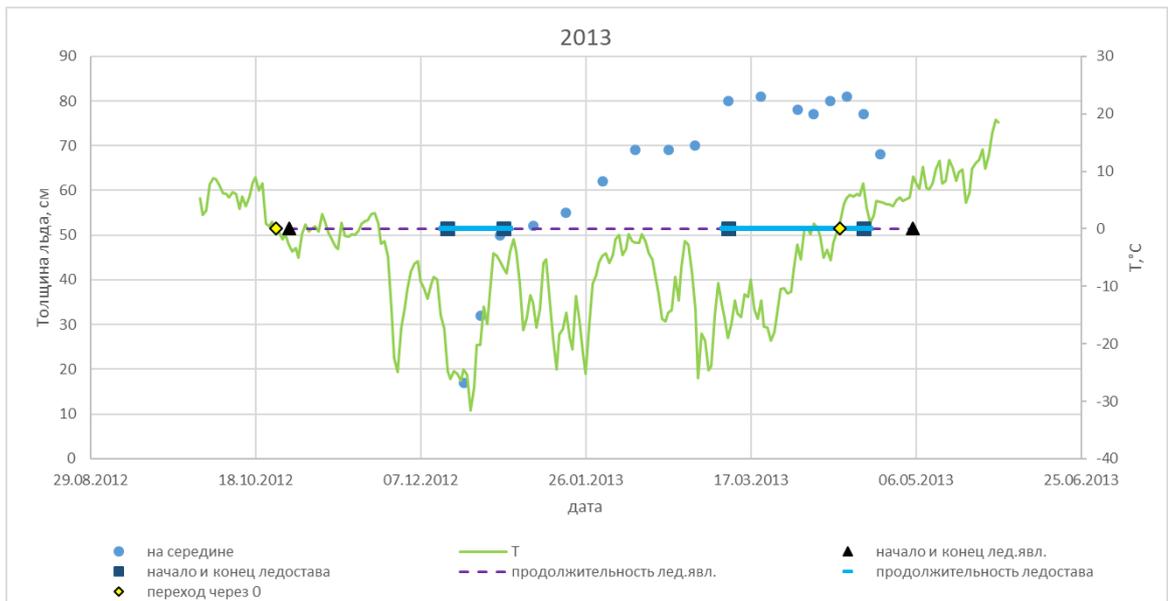
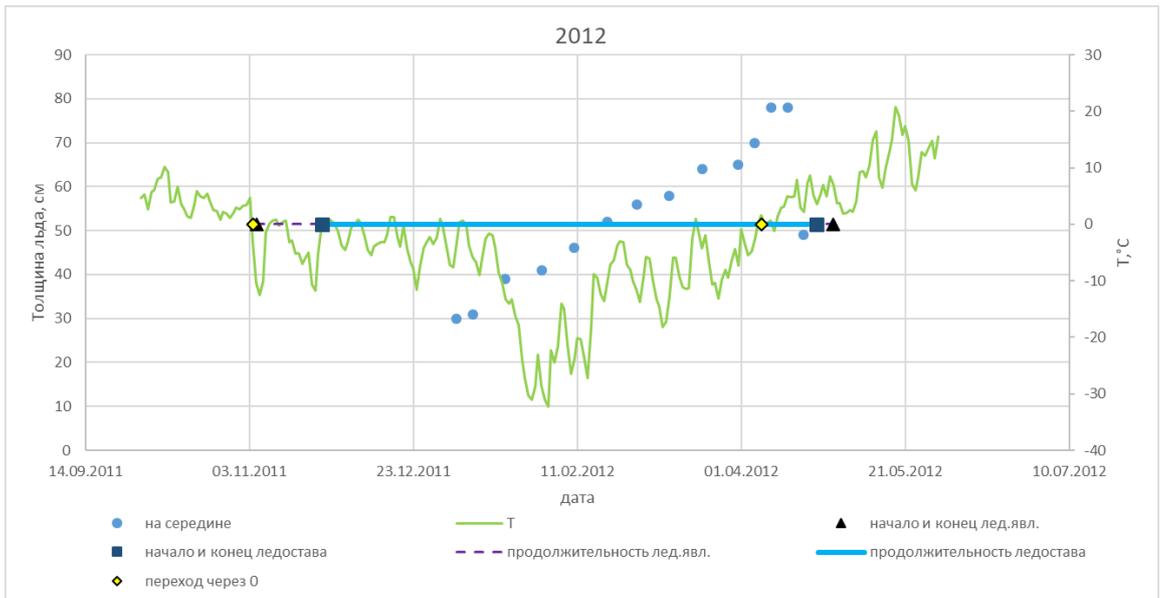
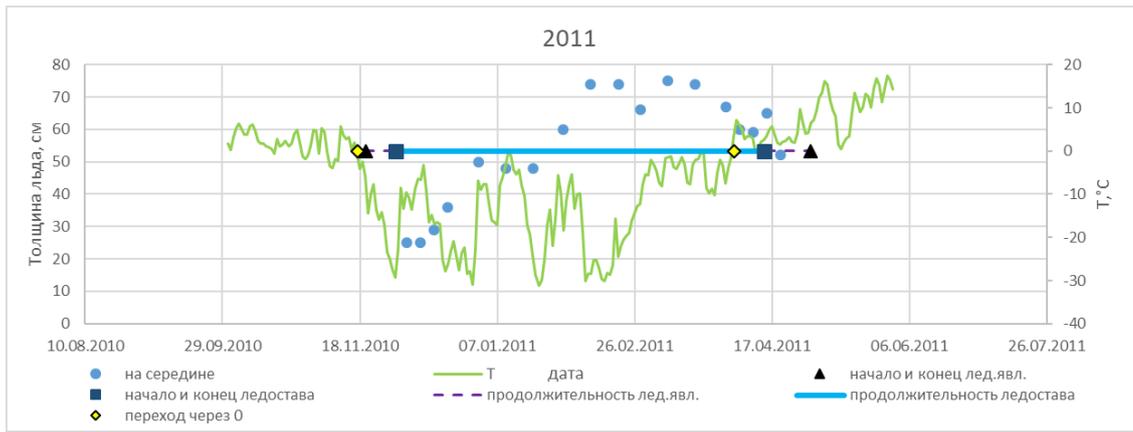


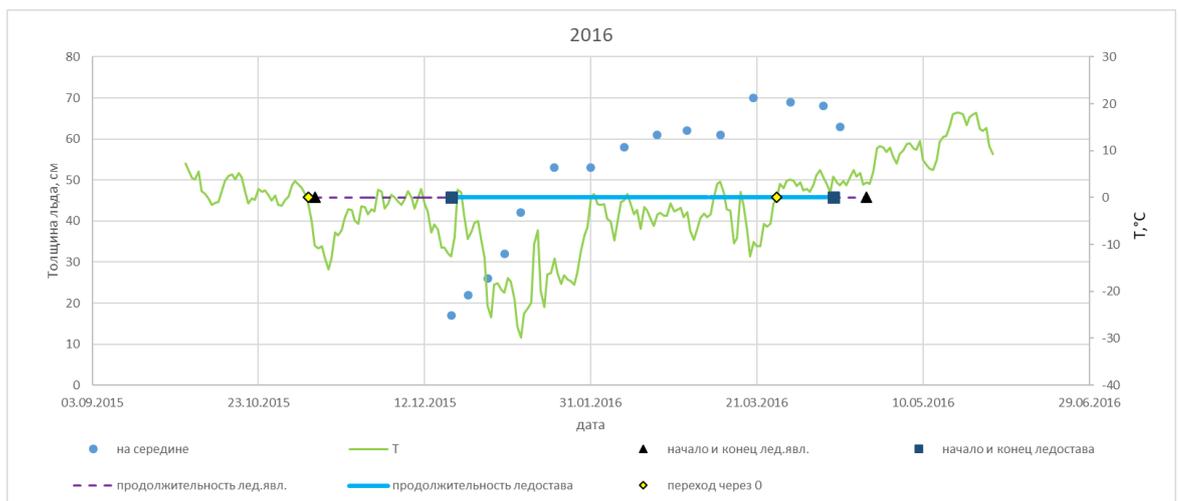
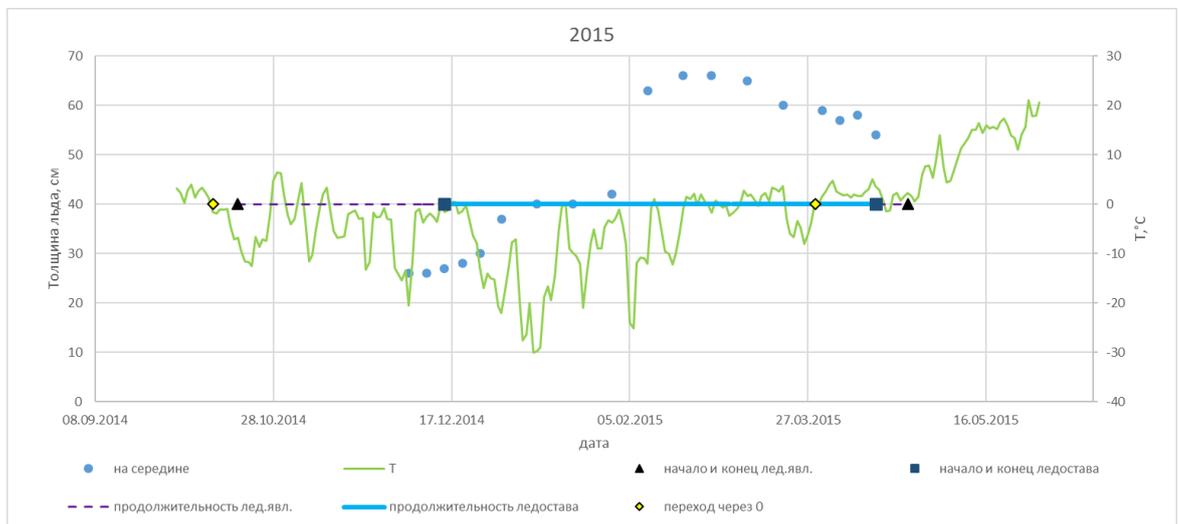
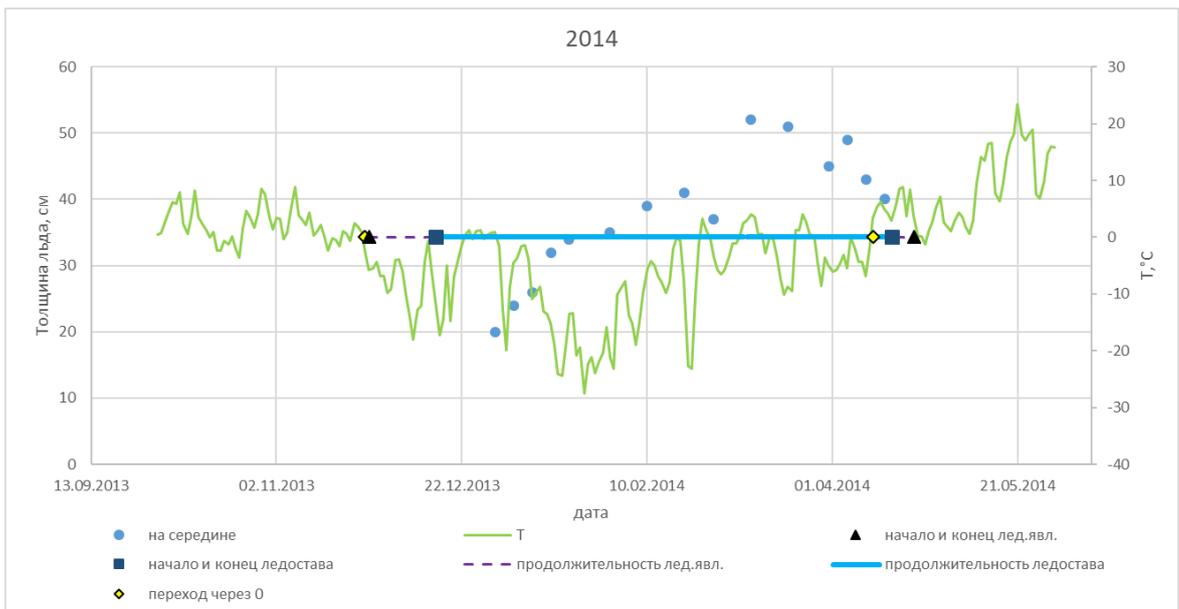


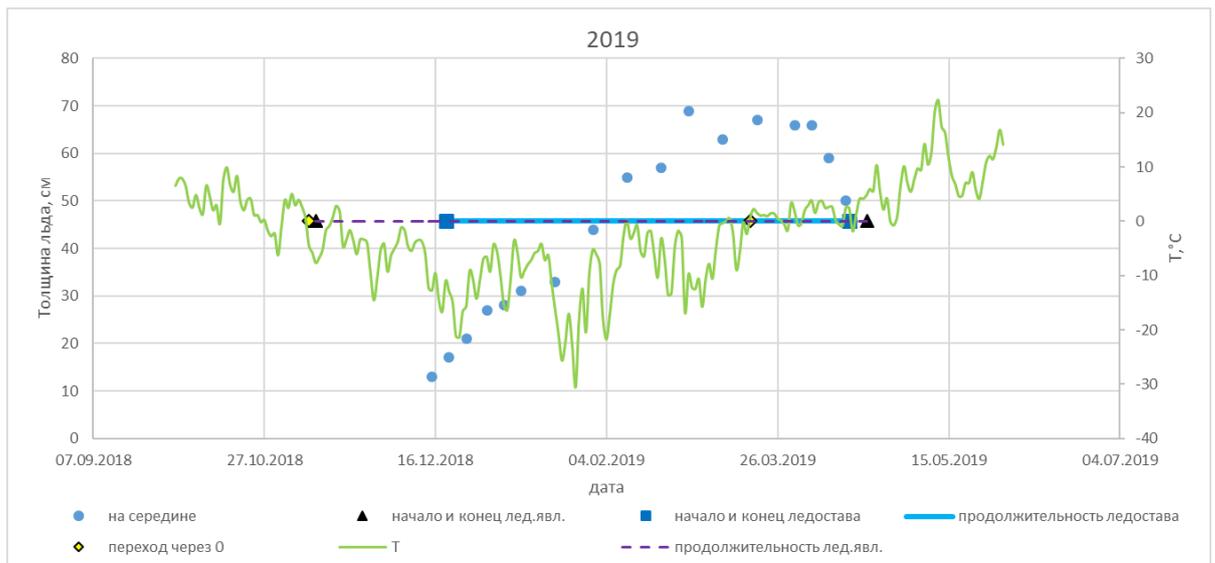
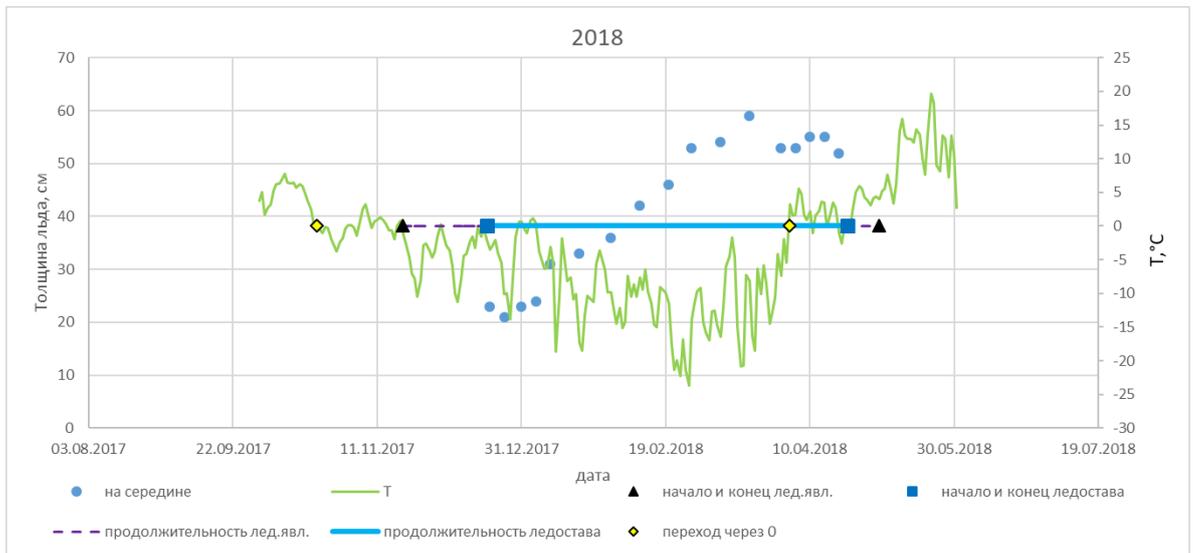
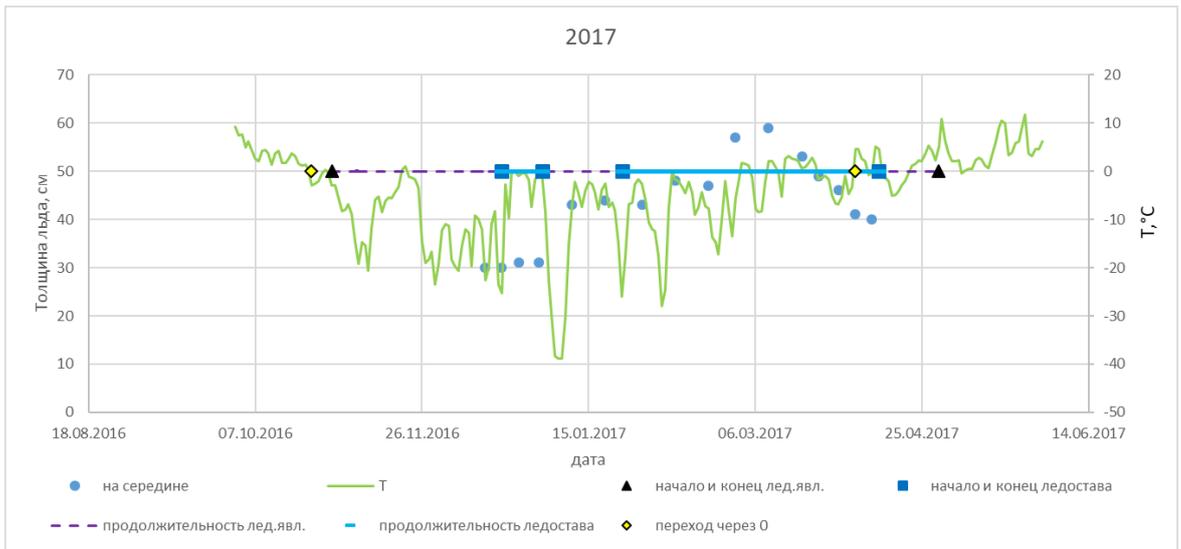


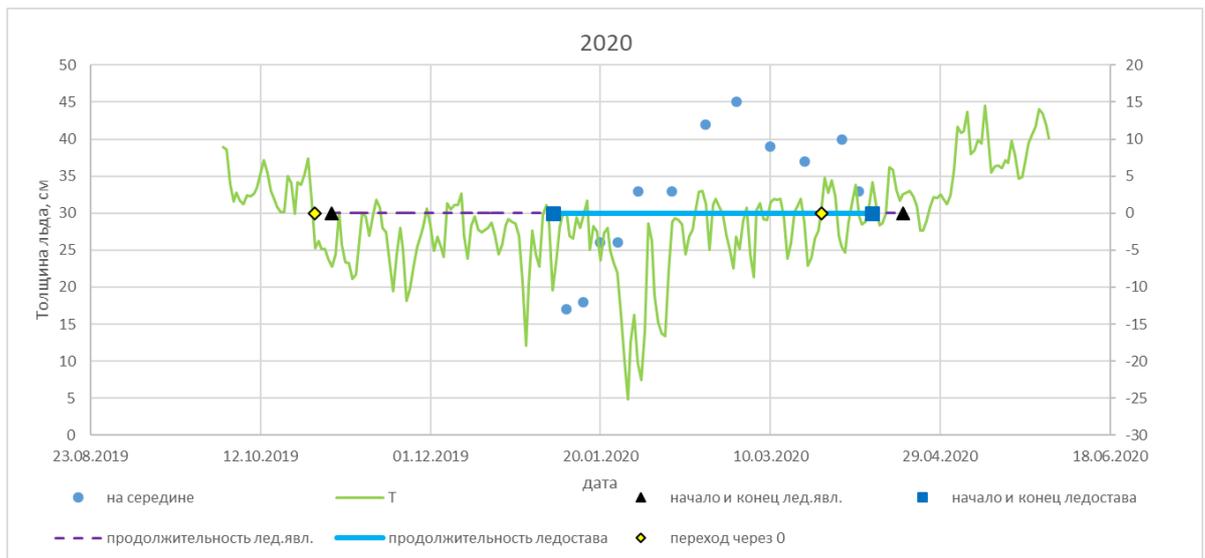
2) Гидрологический пост р. Северная Двина – д. Абрамково 2008 – 2020 гг.



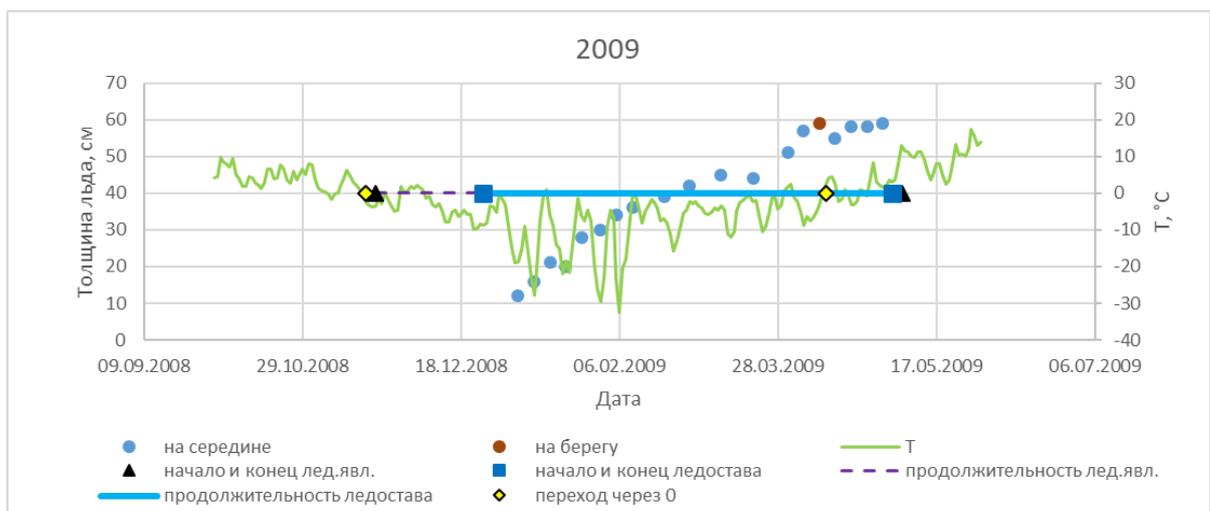
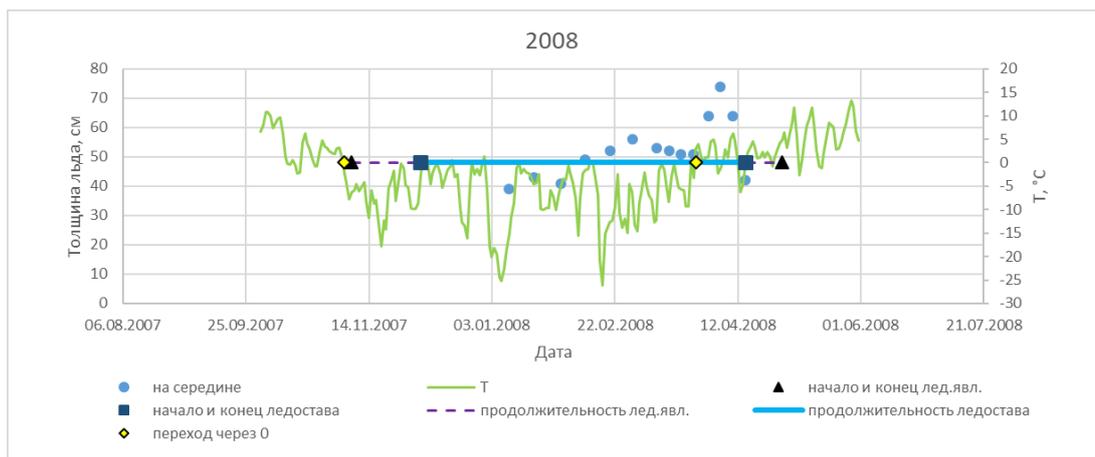


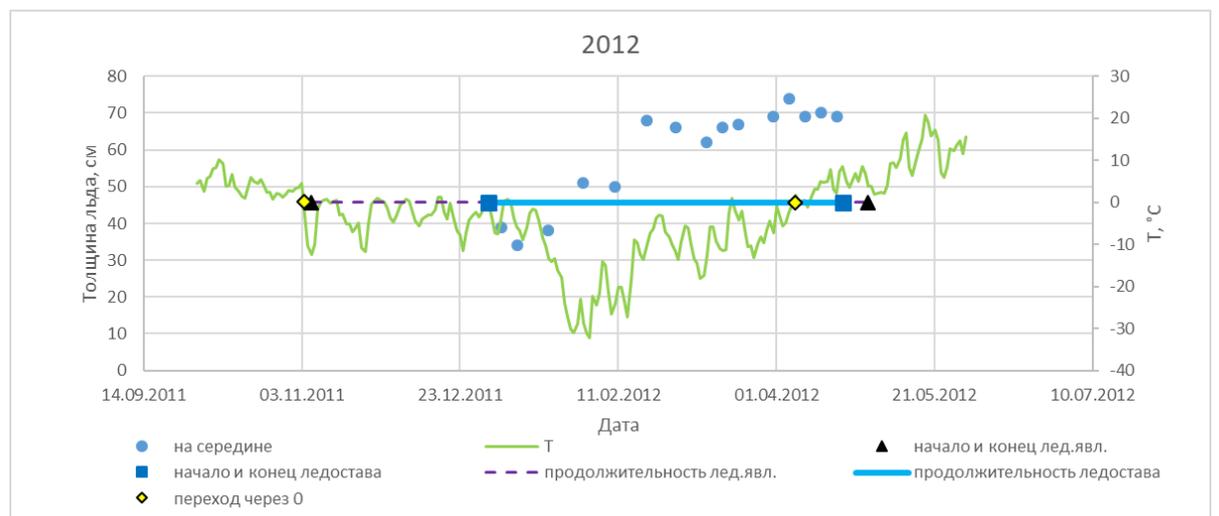
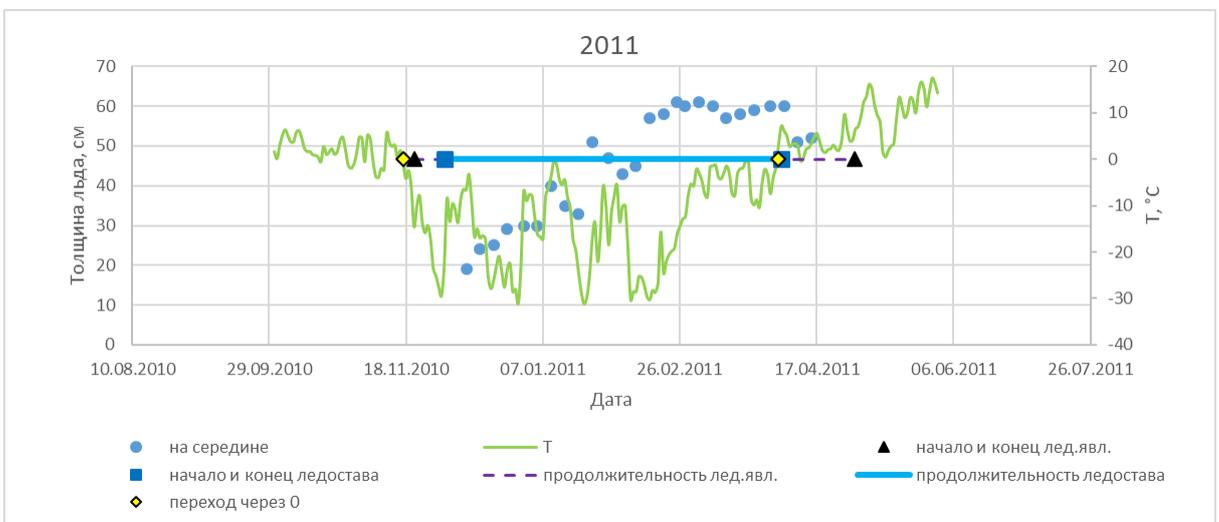
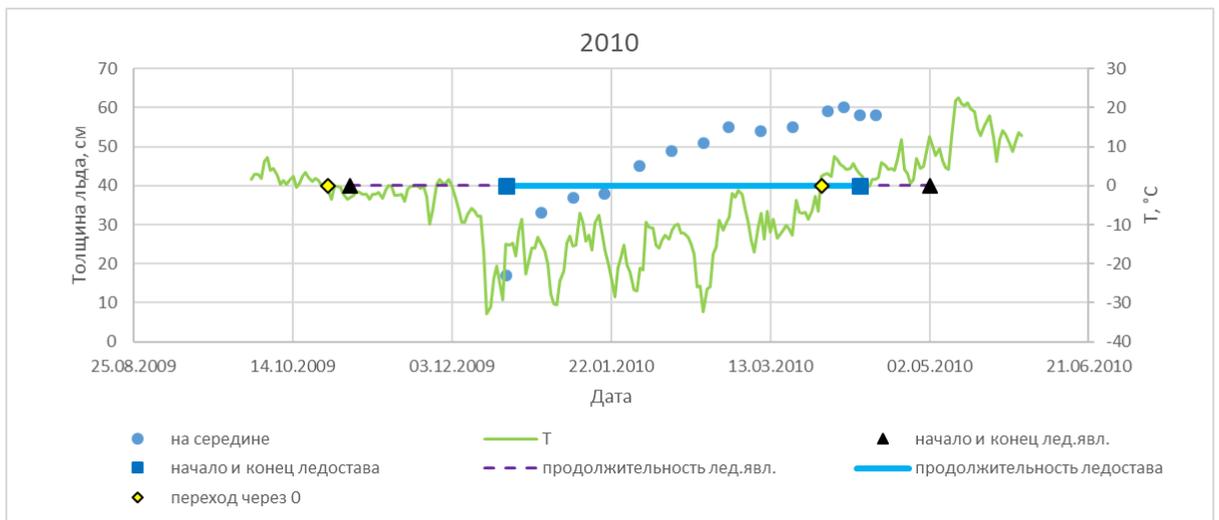


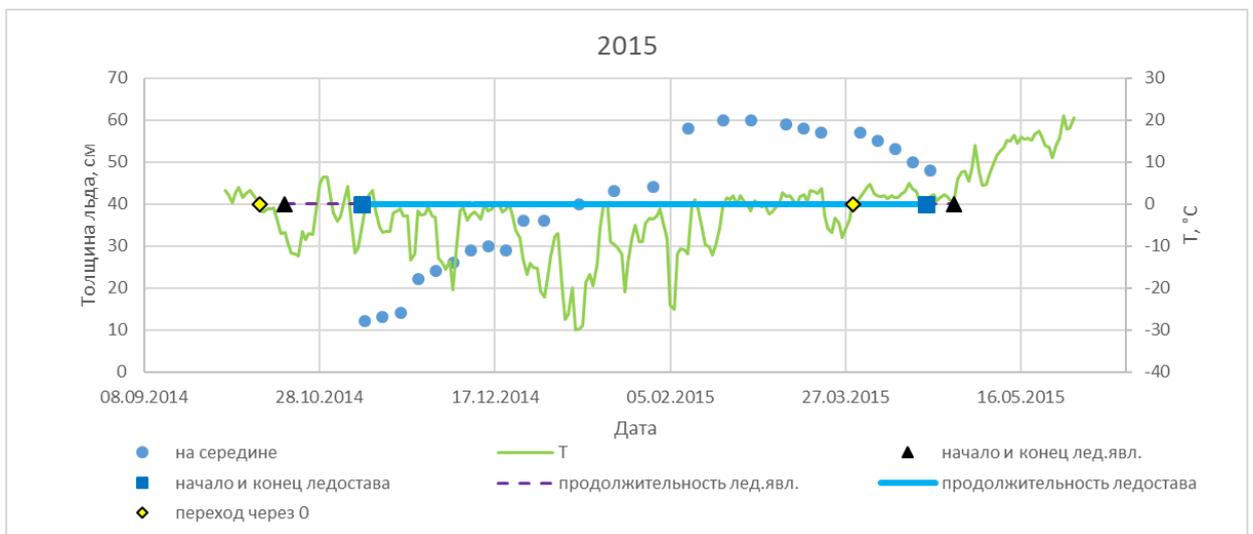
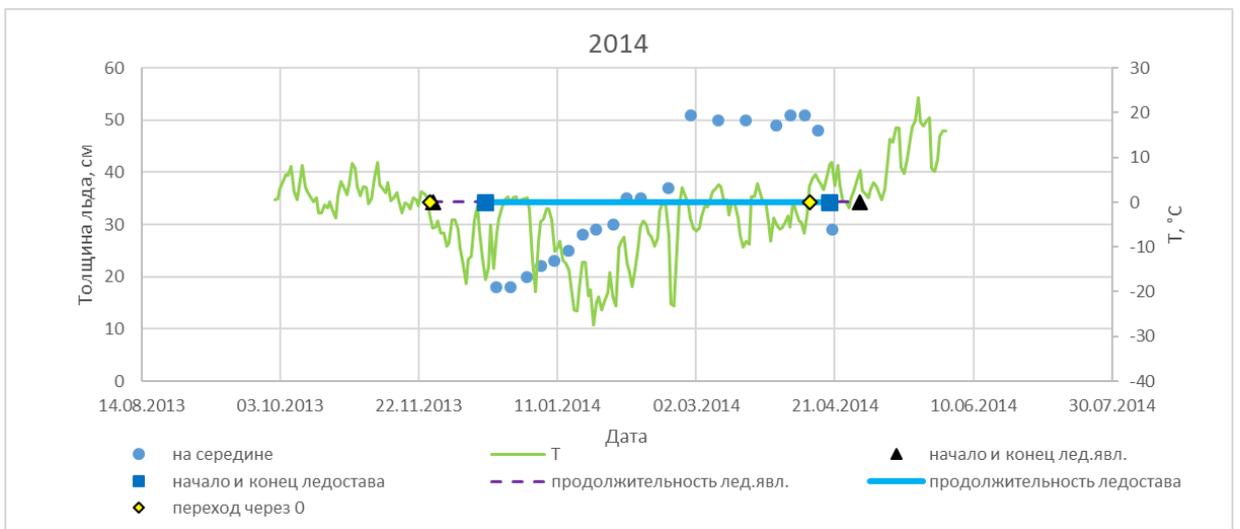
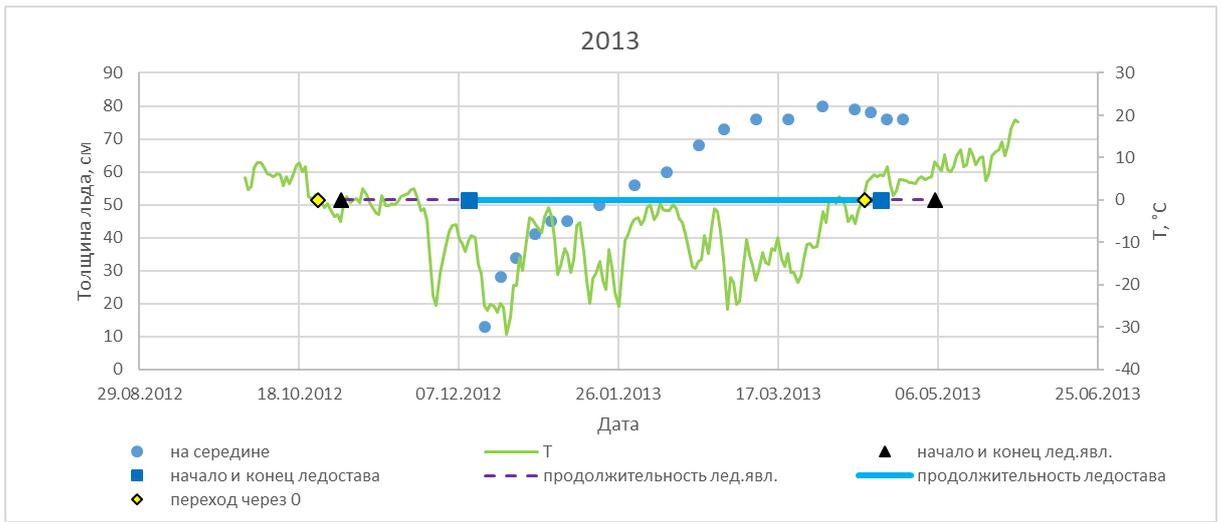


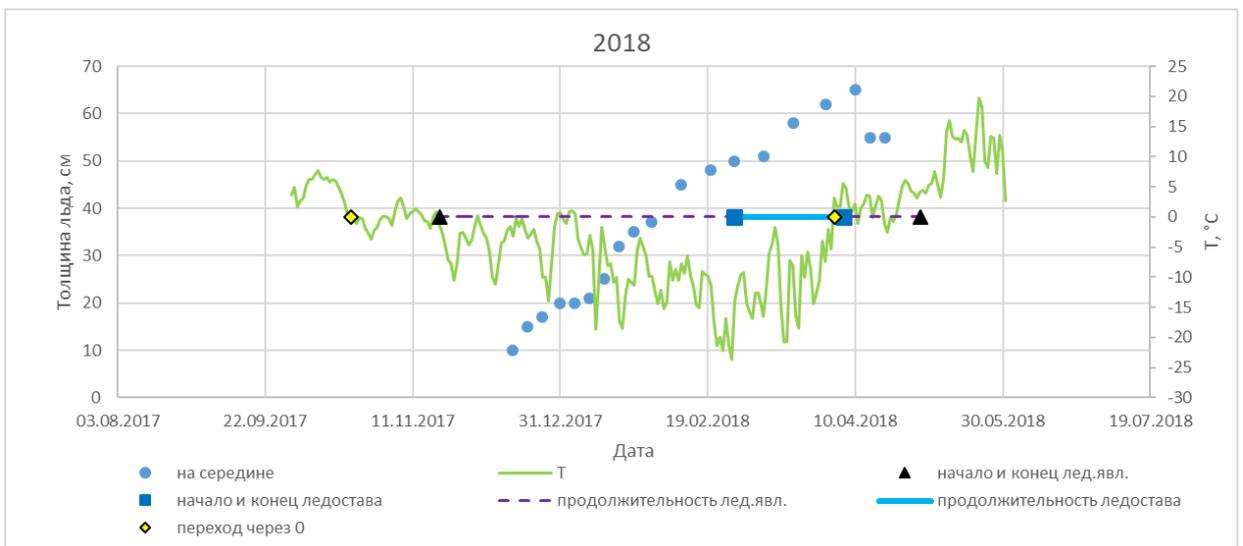
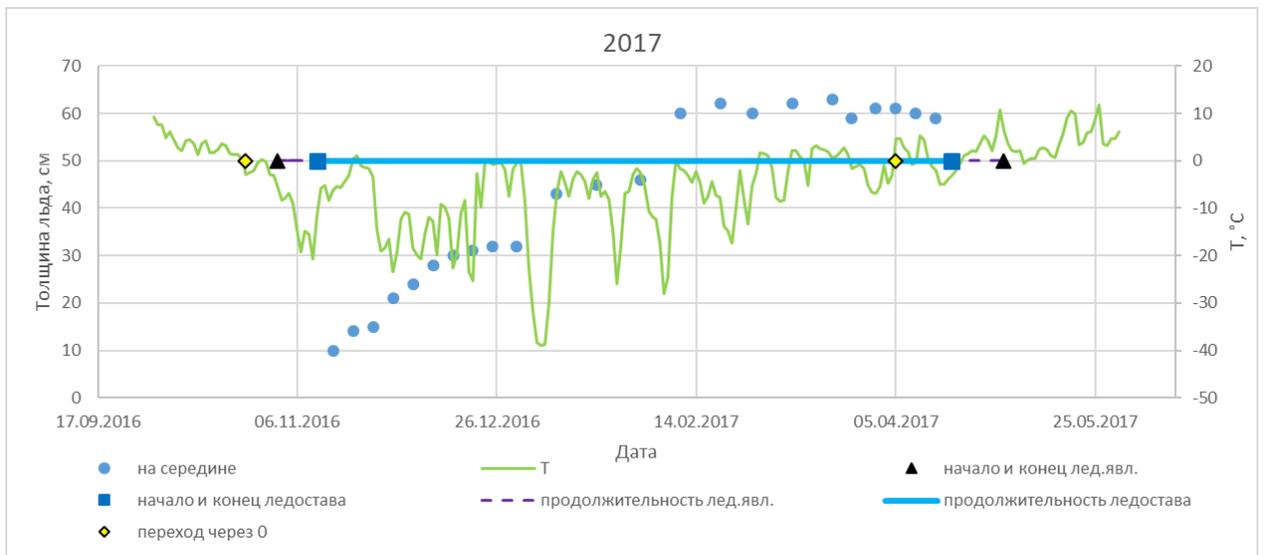
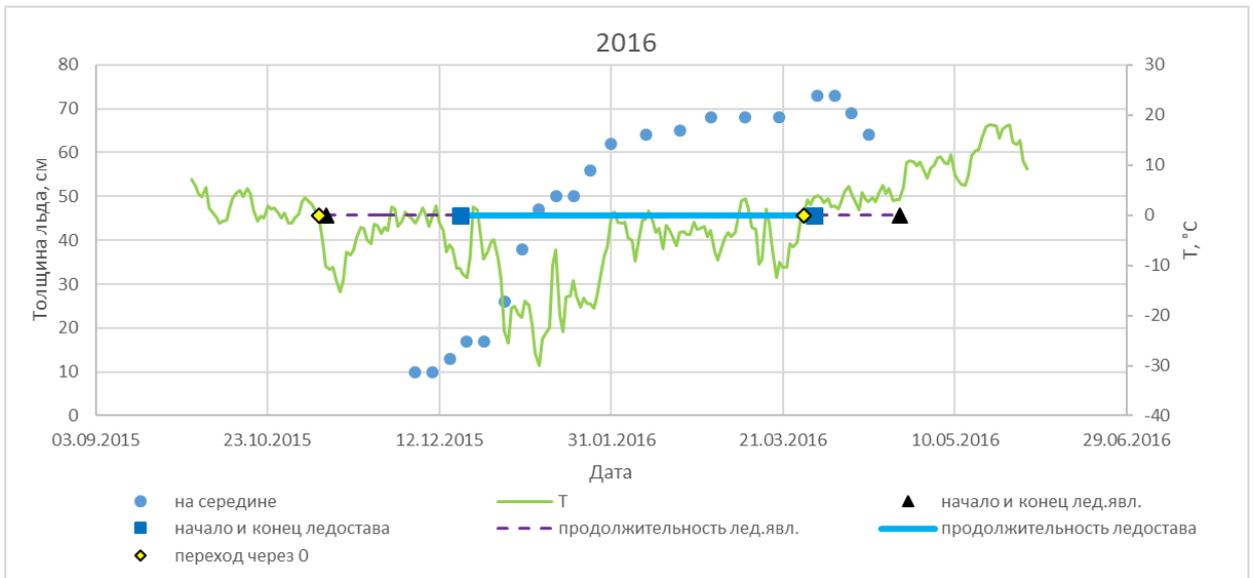


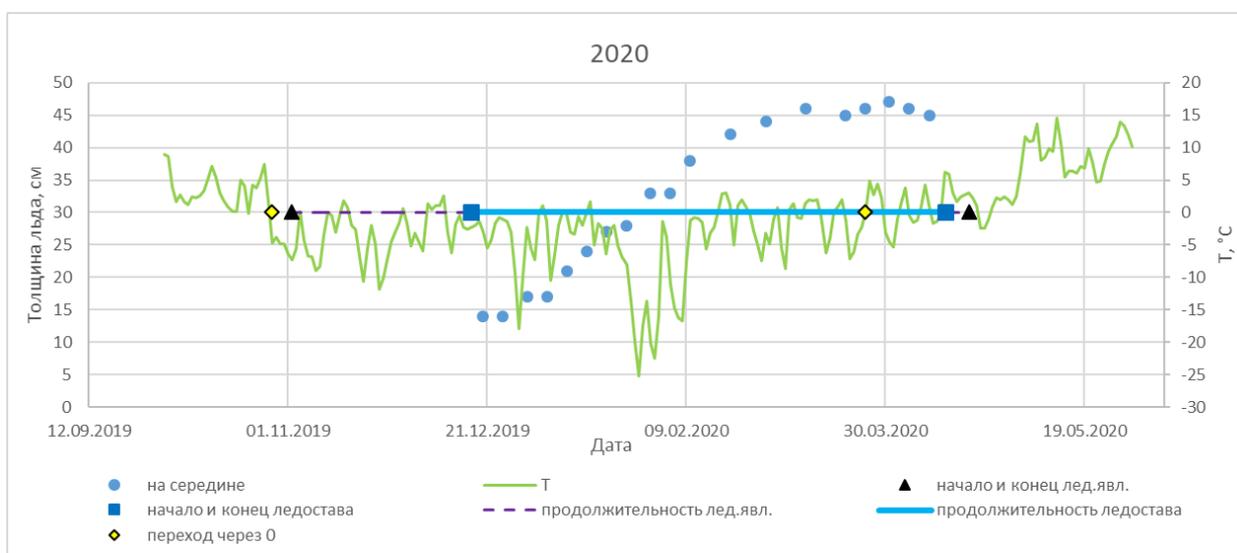
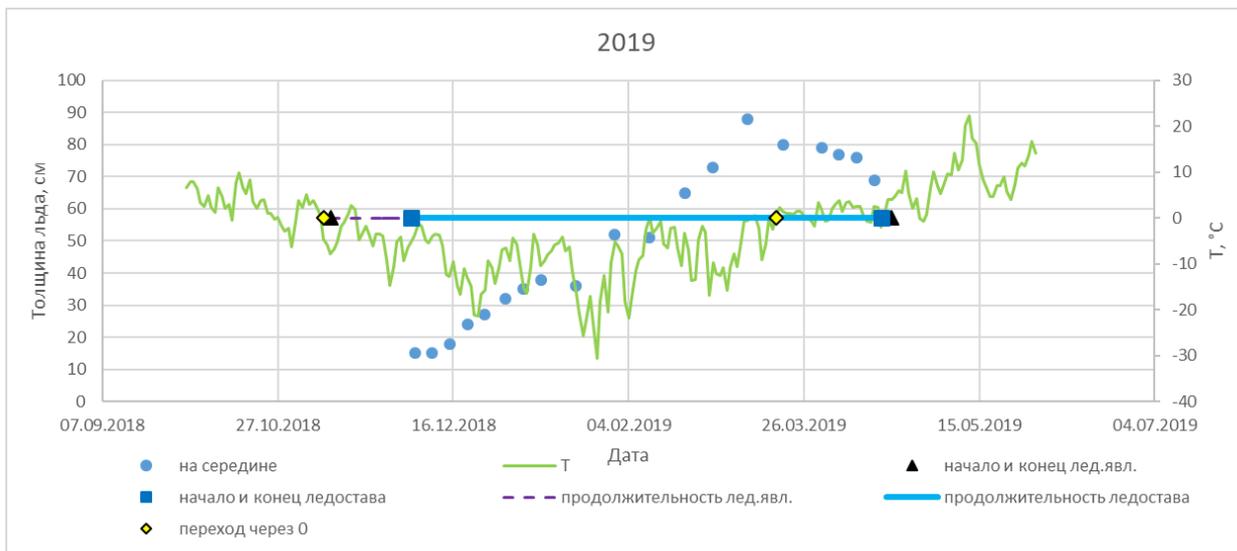
3) Гидрологический пост р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма
2008 – 2020 гг.



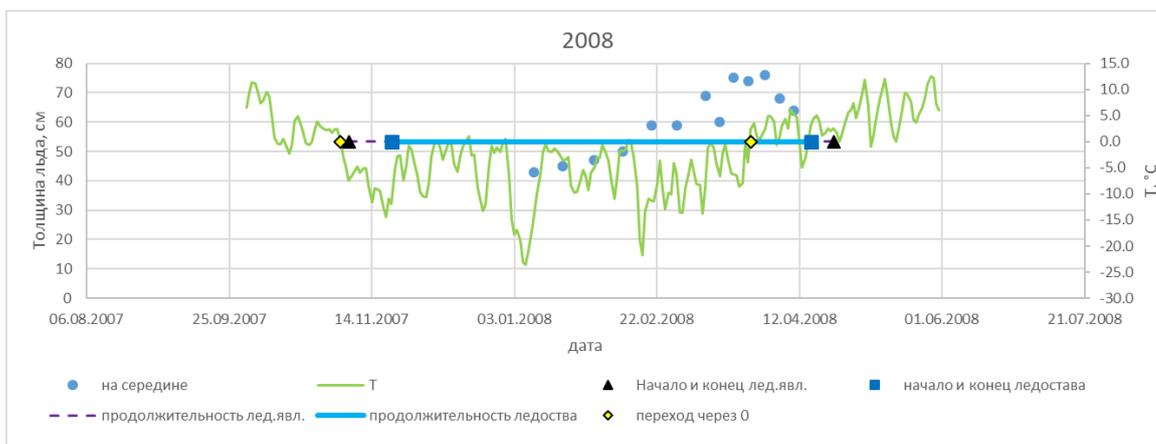


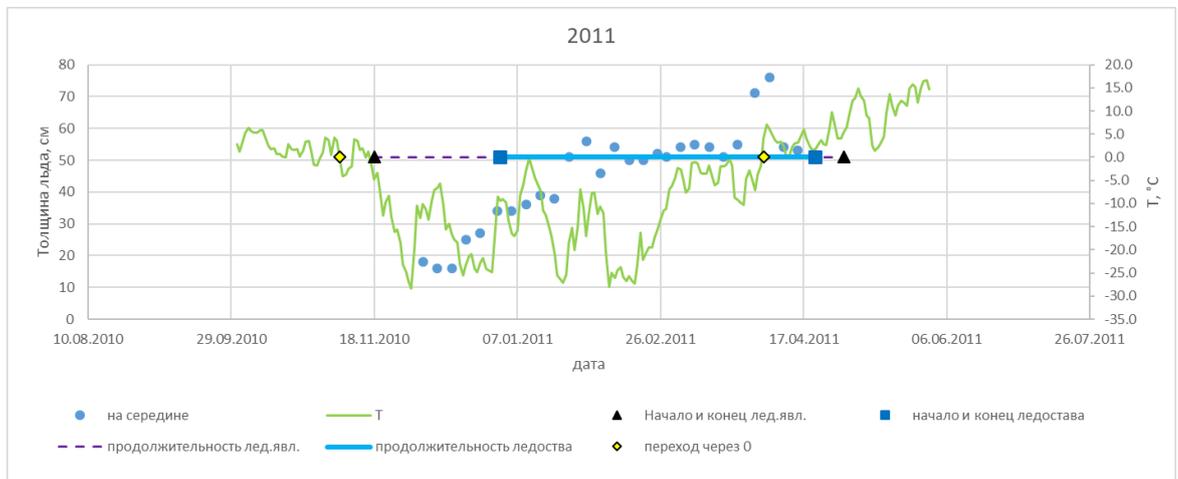
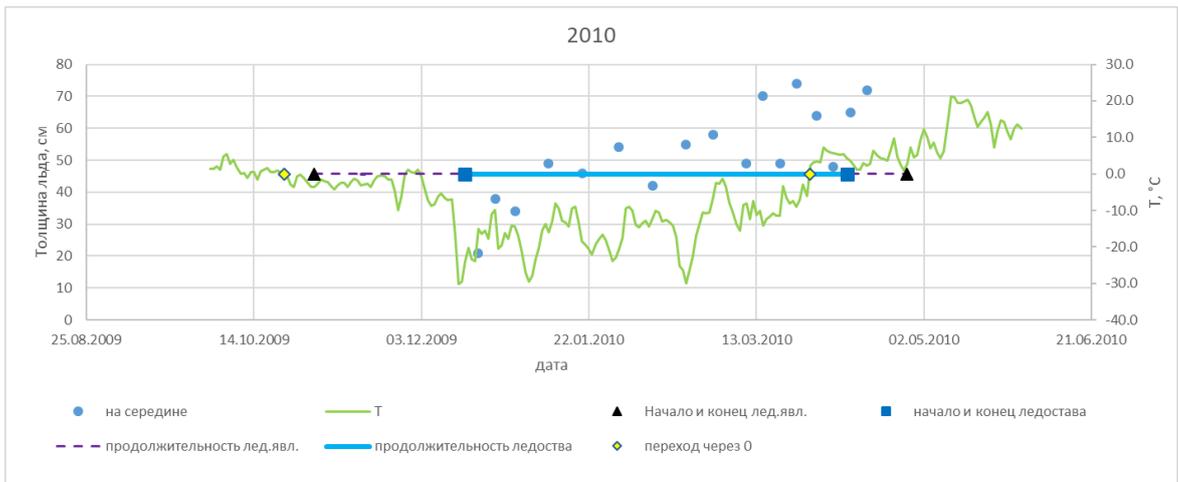
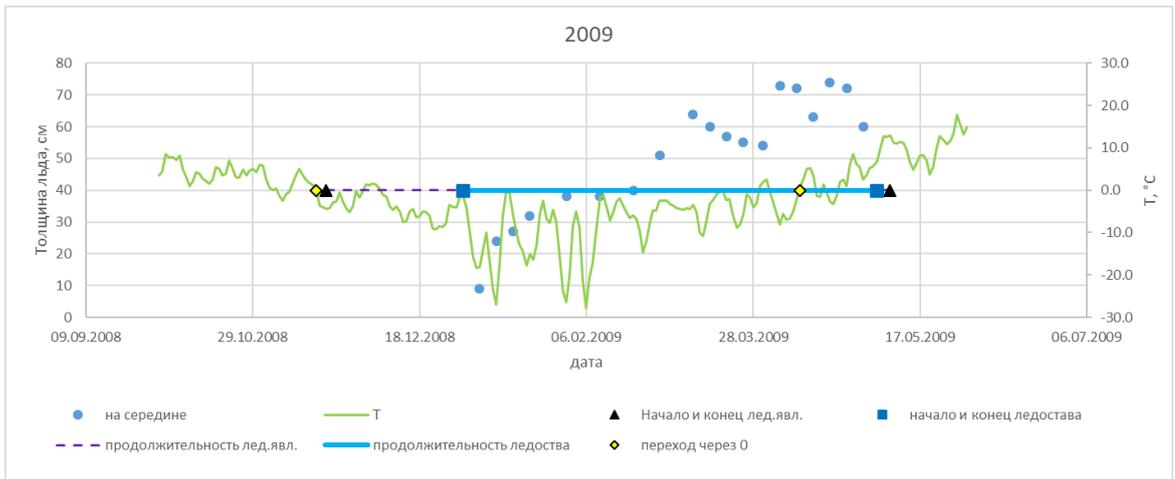


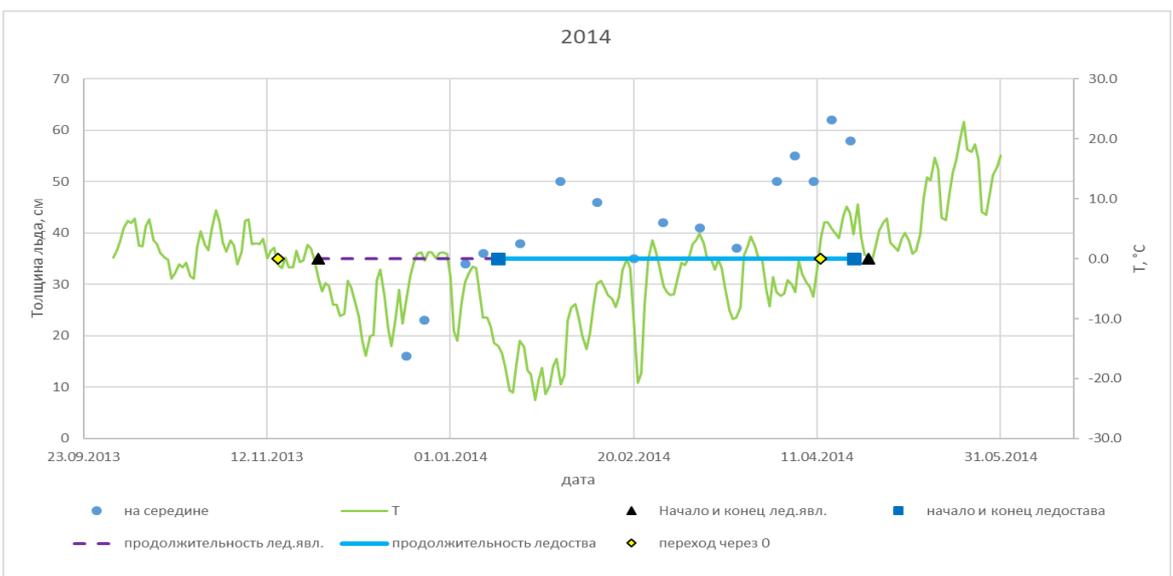
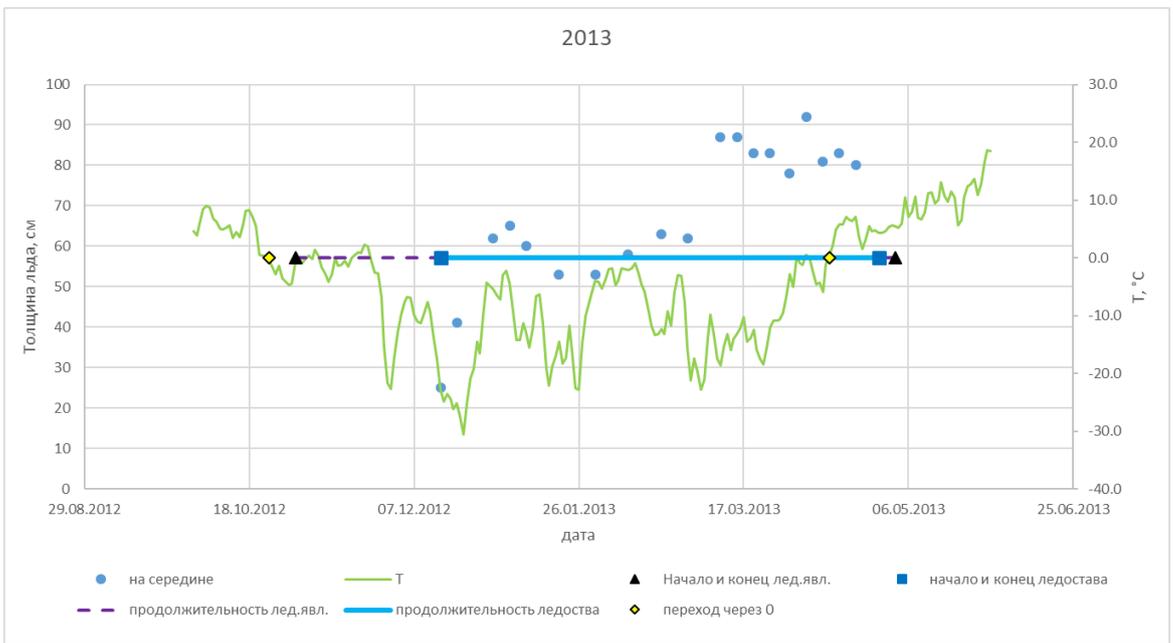
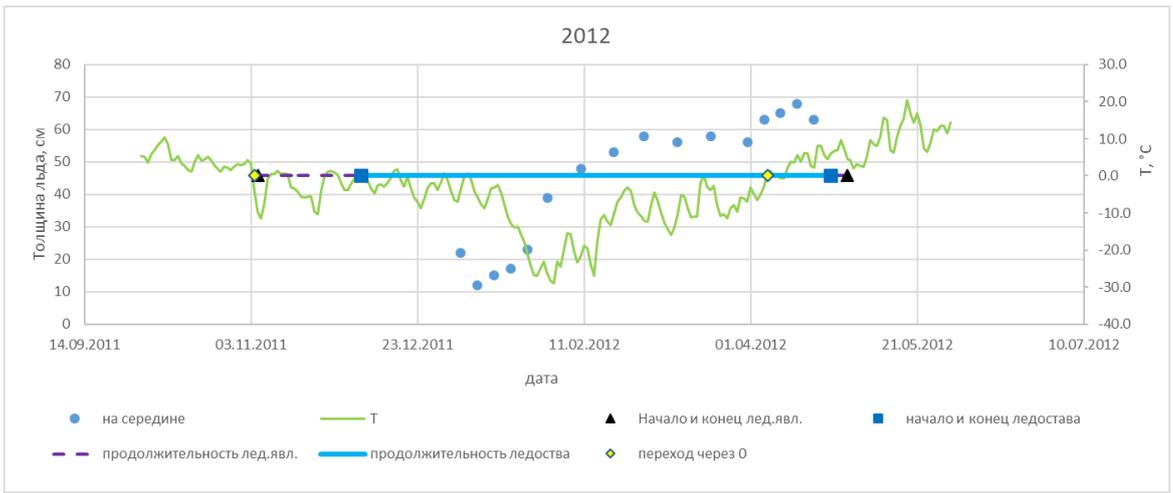


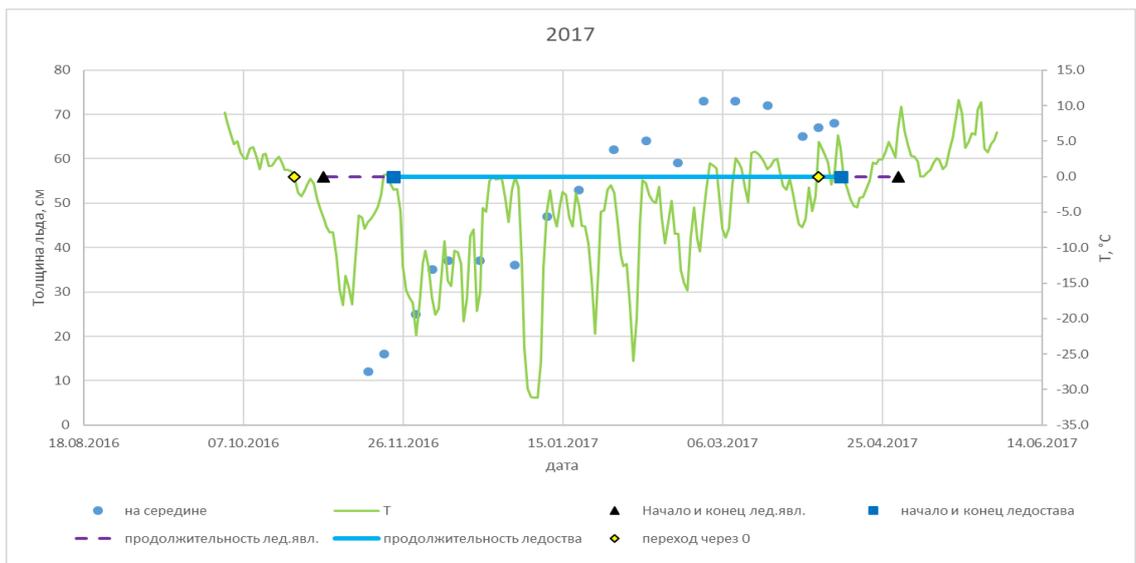
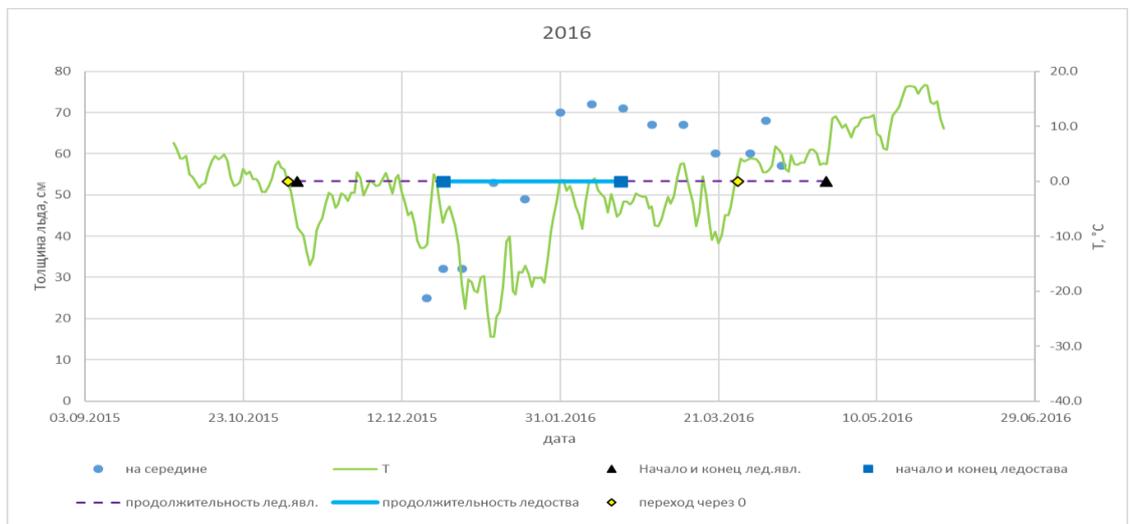
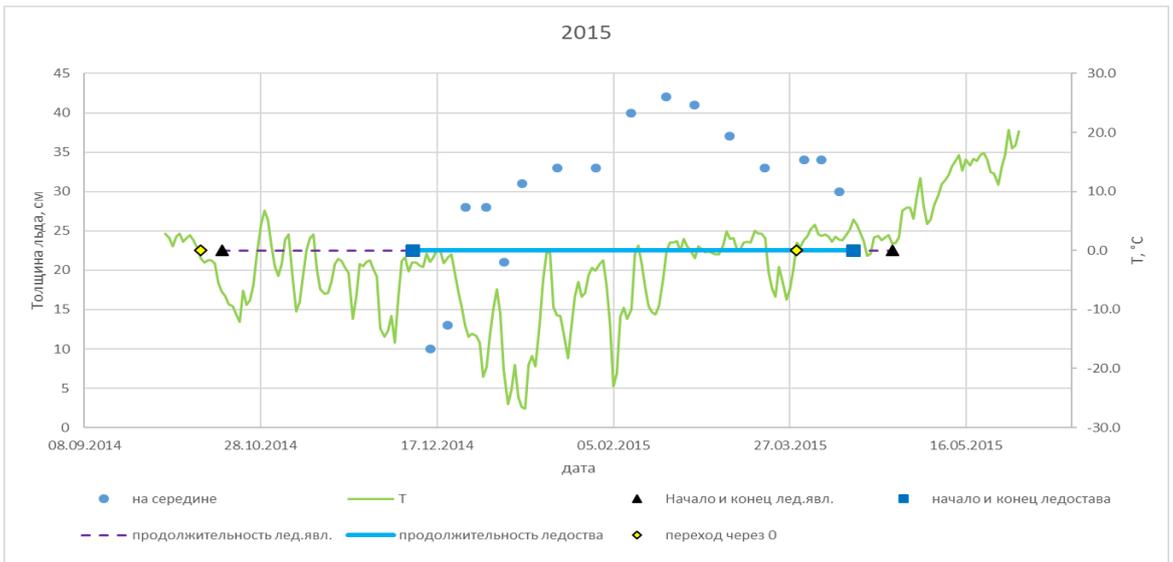


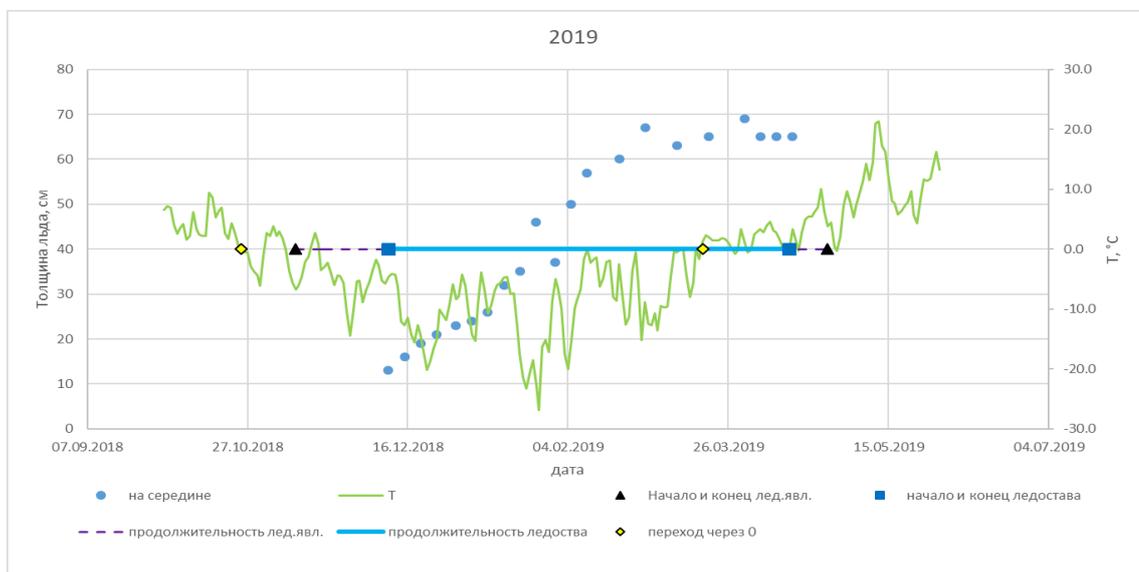
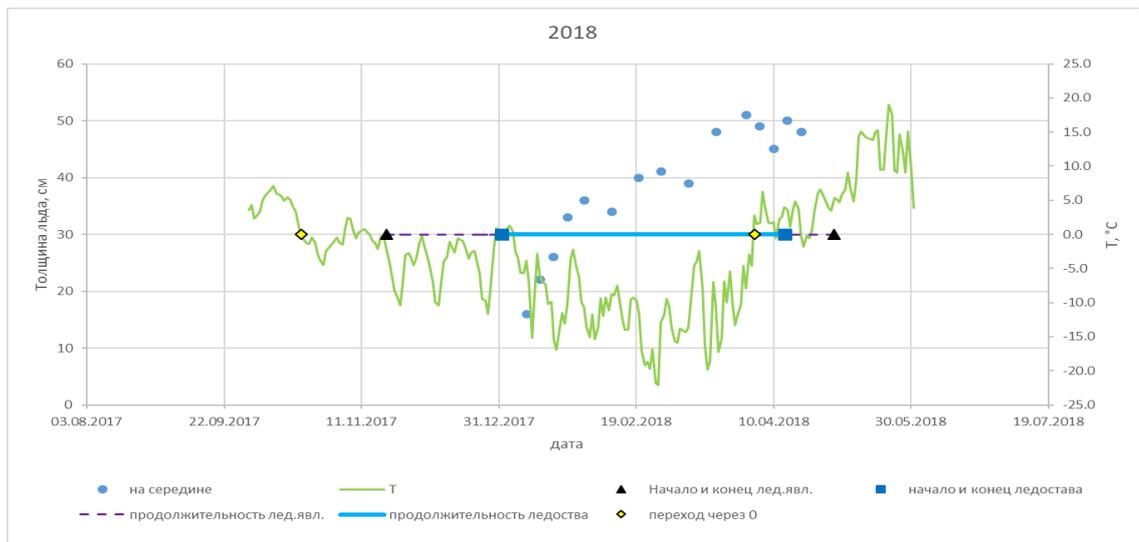
4) Гидрологический пост р. Северная Двина – д. Сидоровская
2008 – 2019 гг.



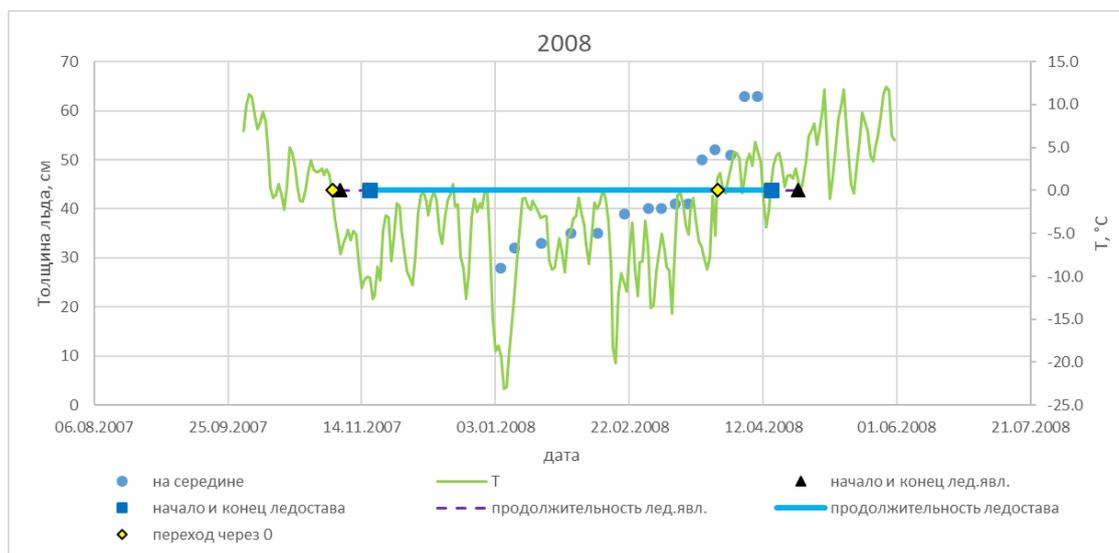


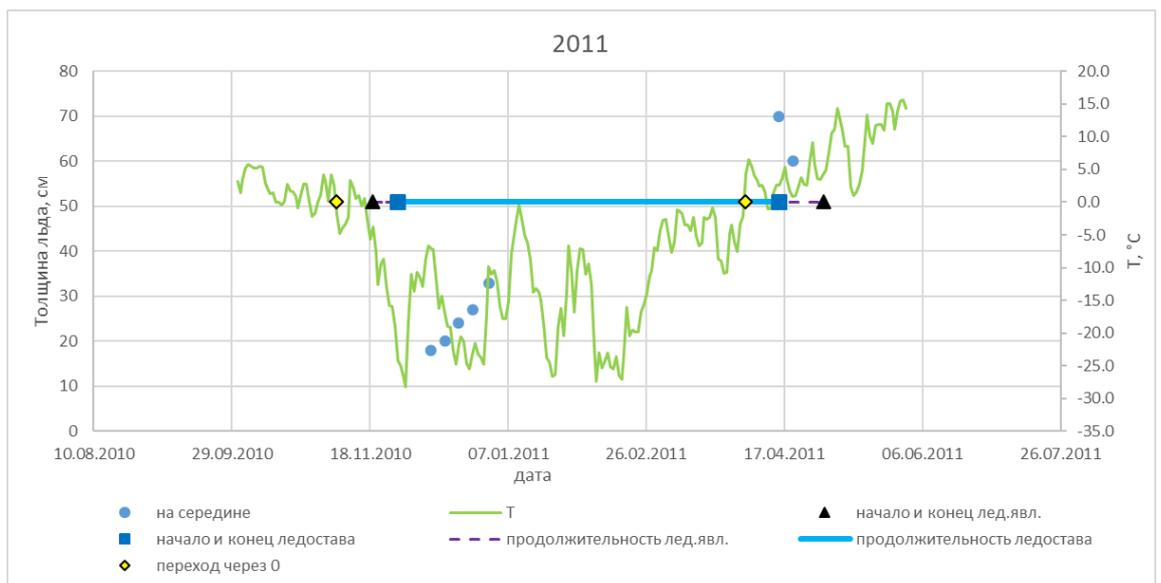
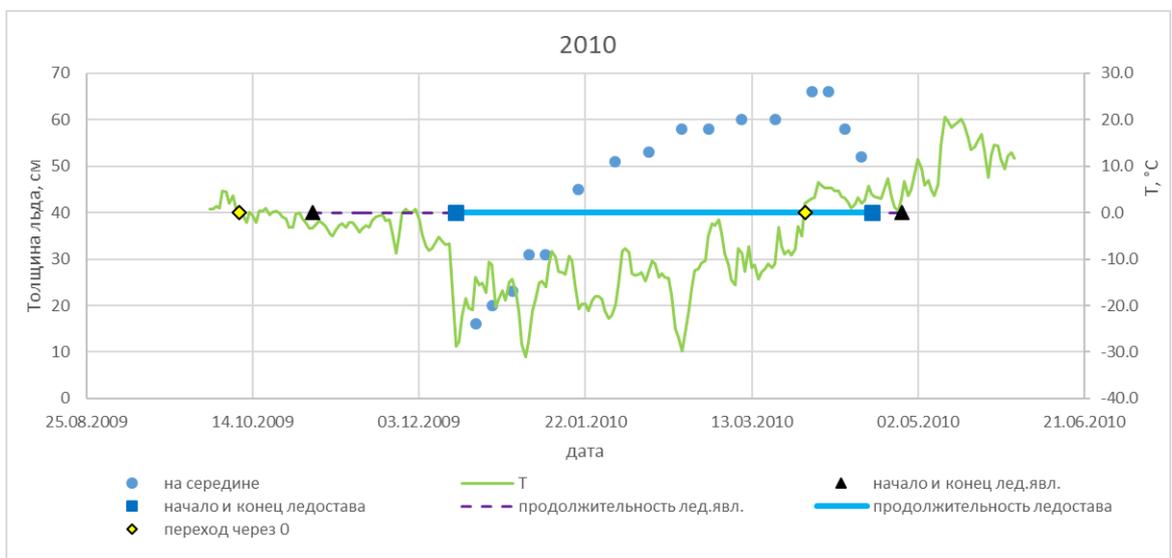
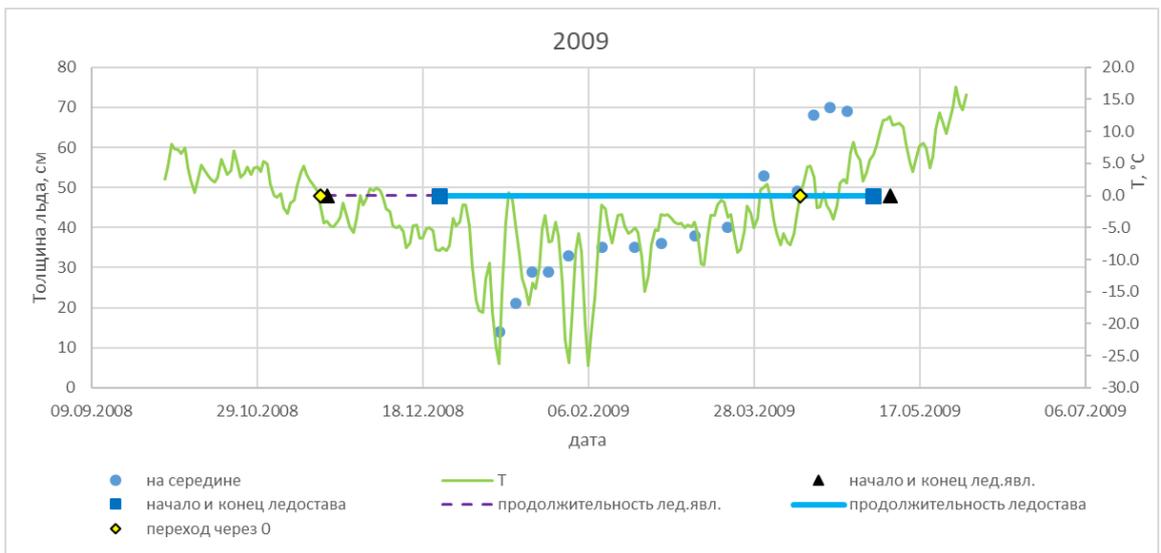


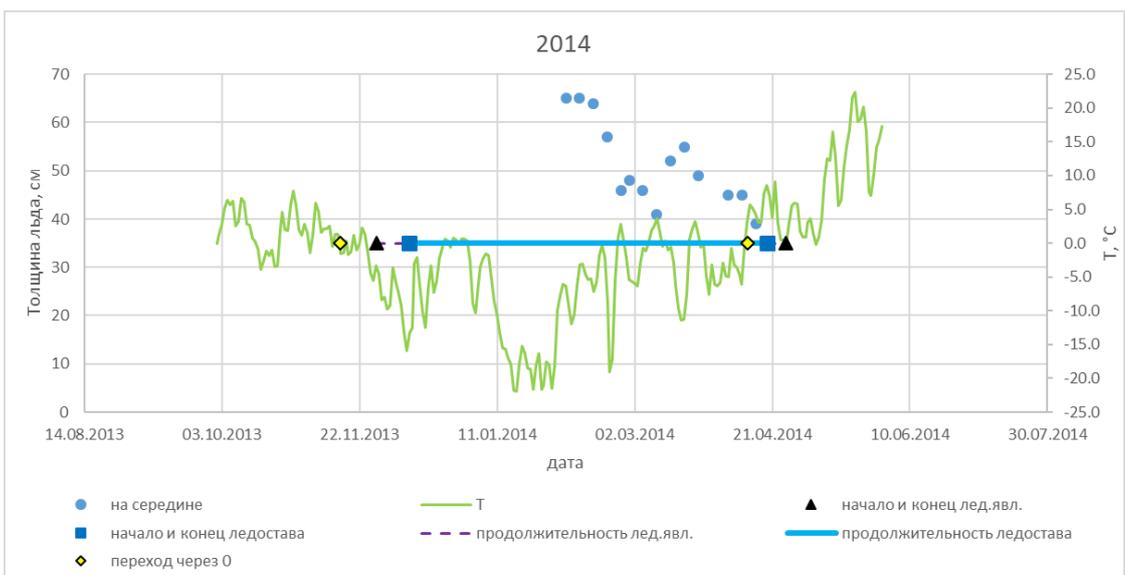
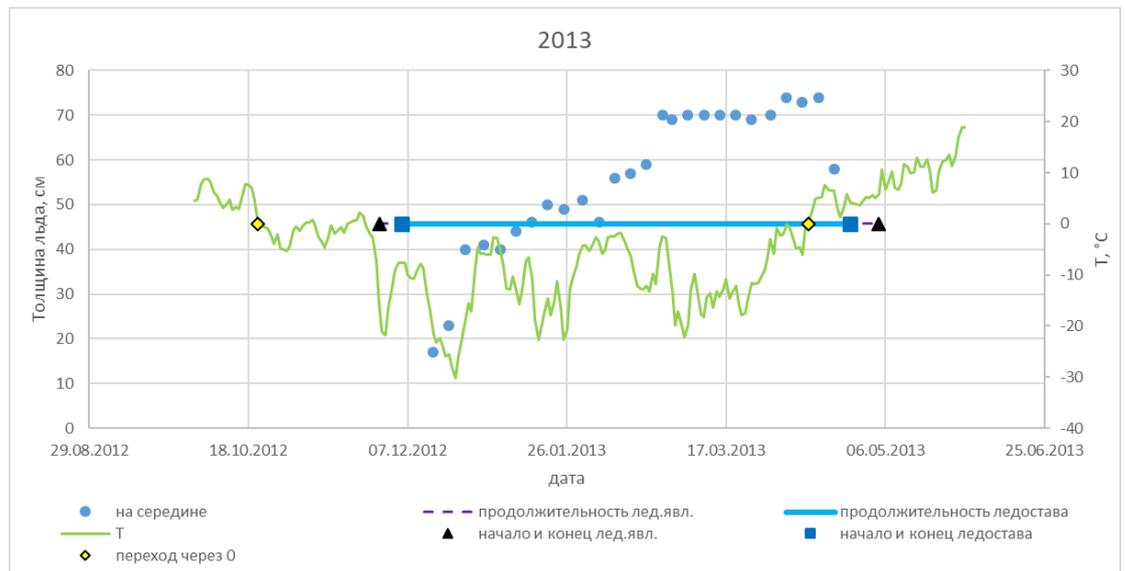
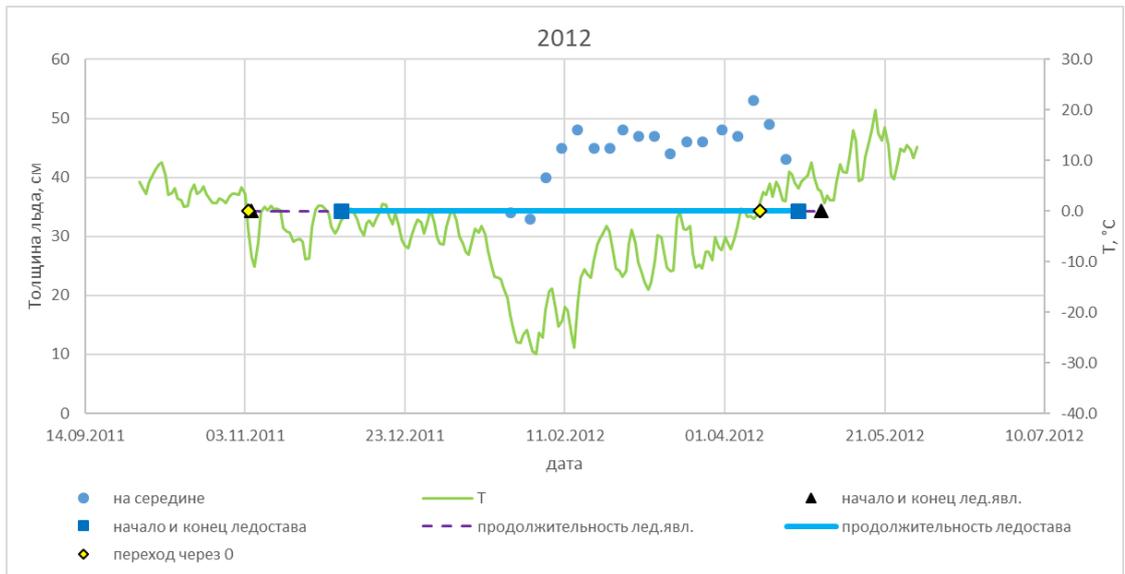


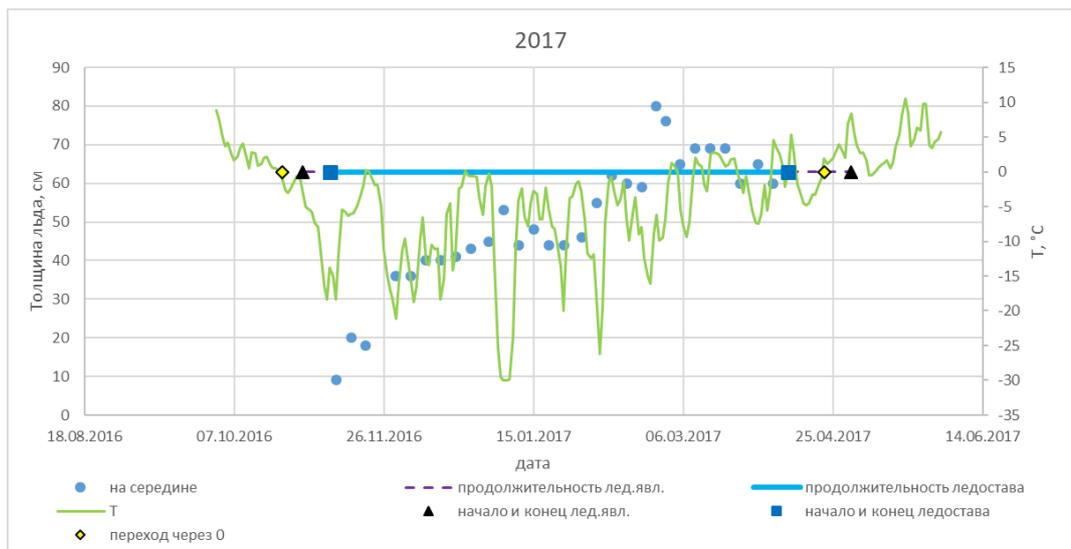
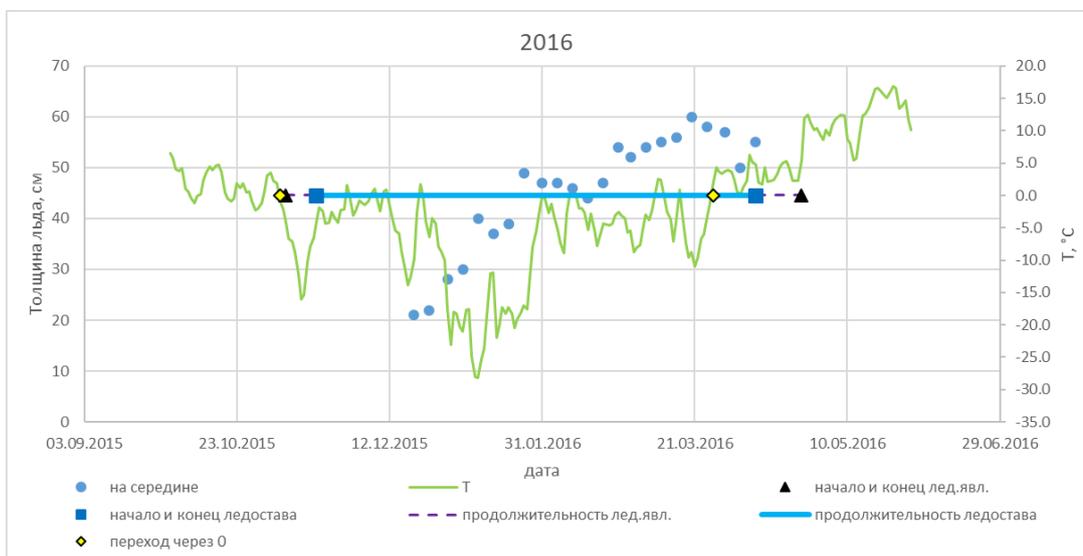
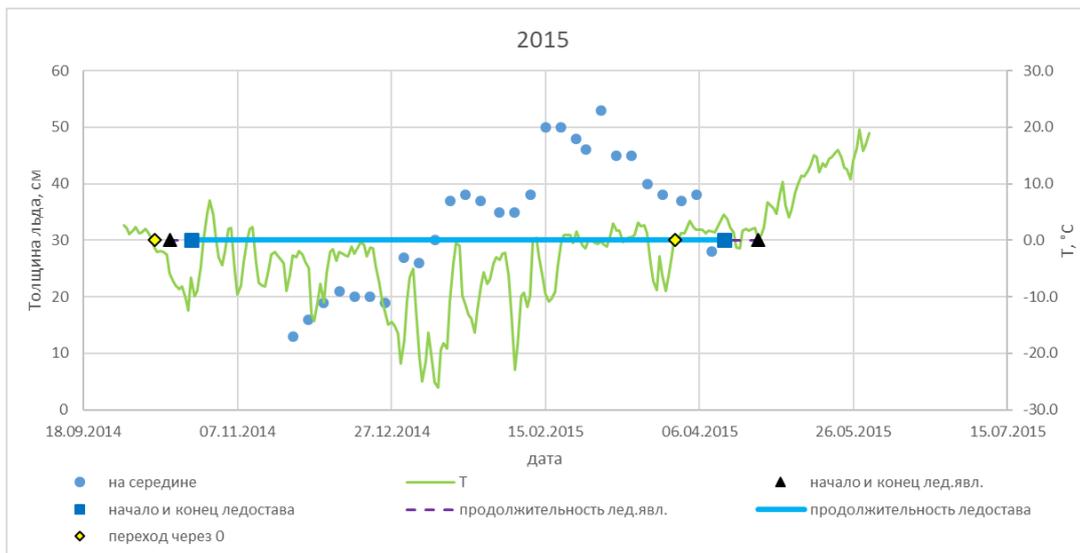


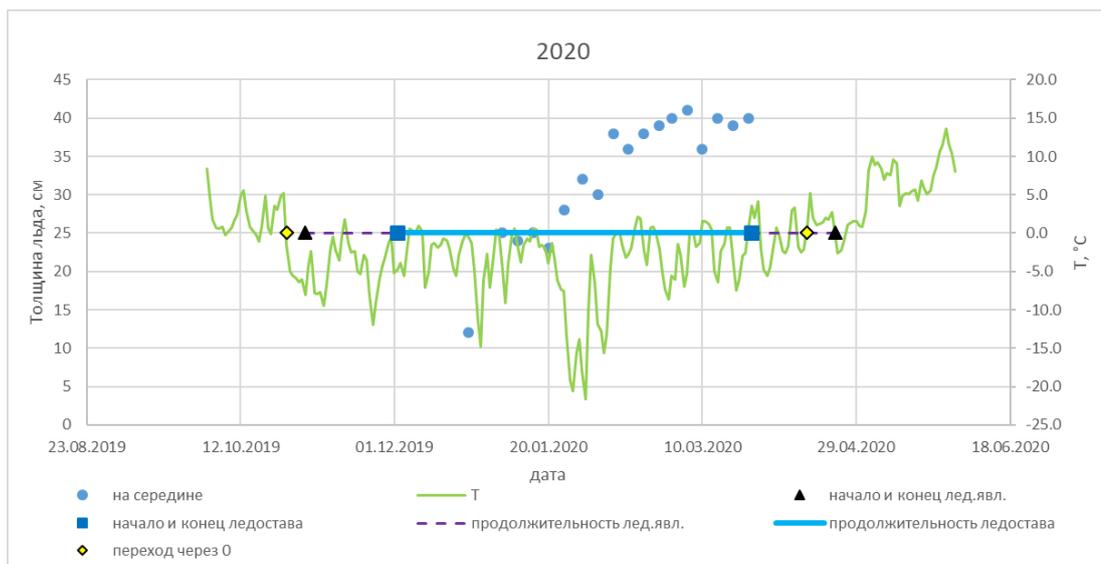
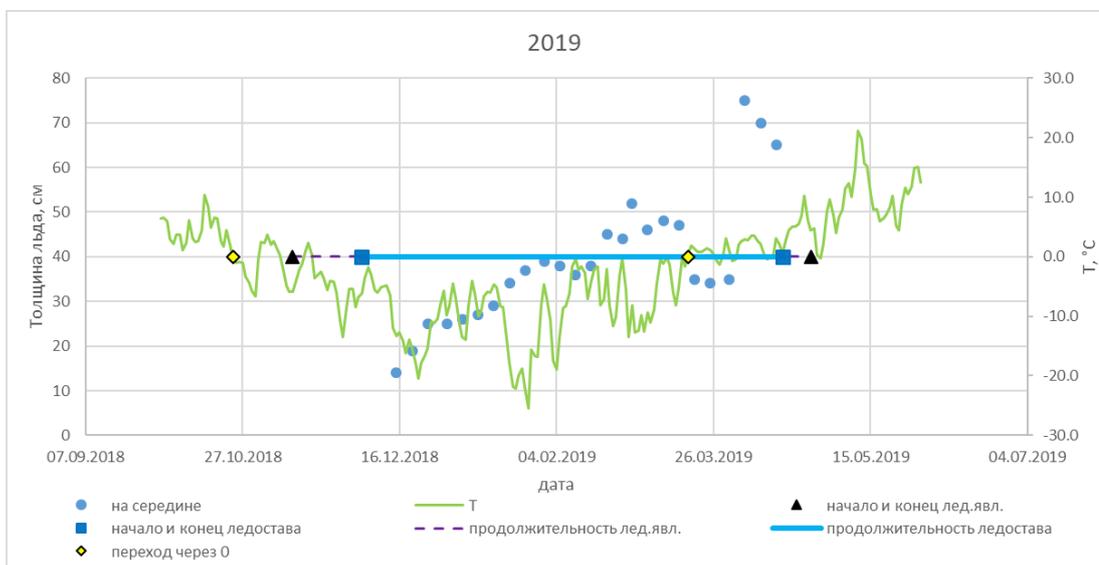
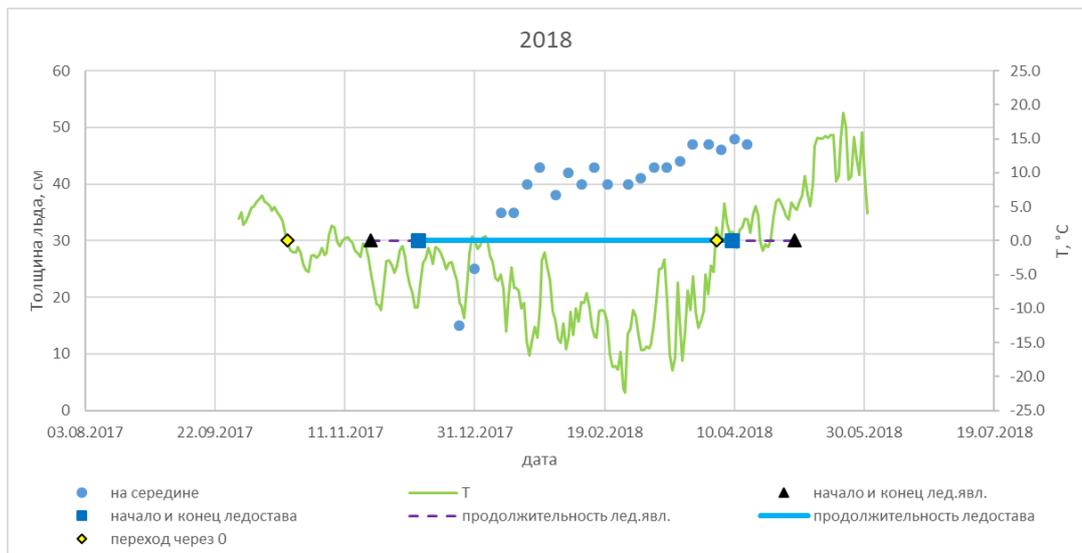
5) Гидрологический пост р. Северная Двина – р.п. Березник 2008 – 2020 гг.



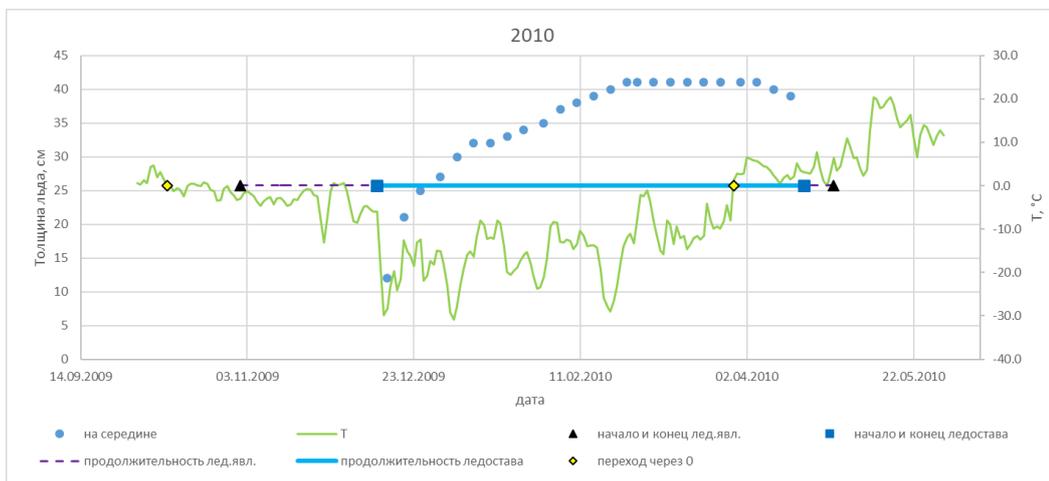
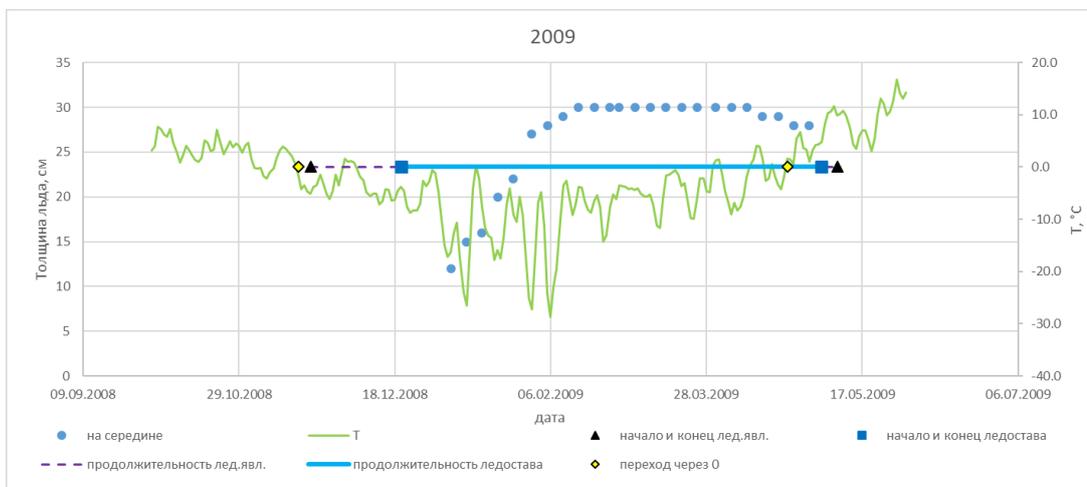
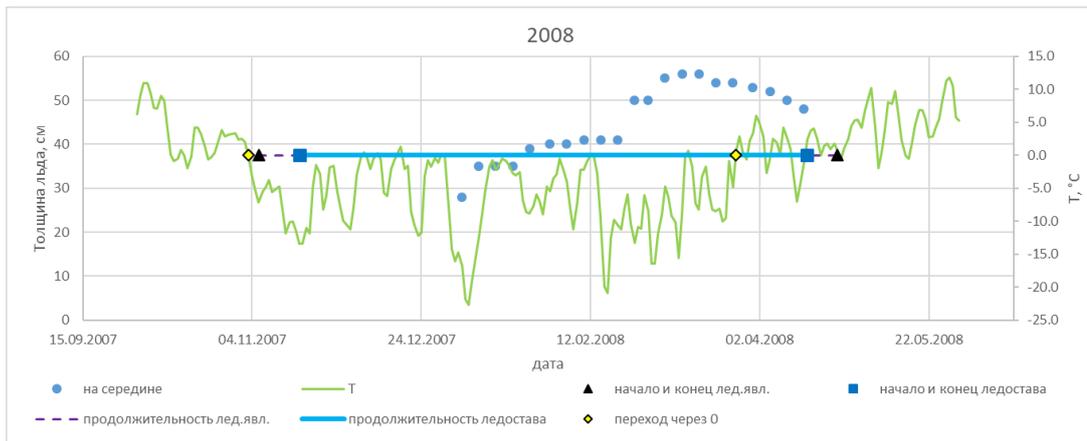


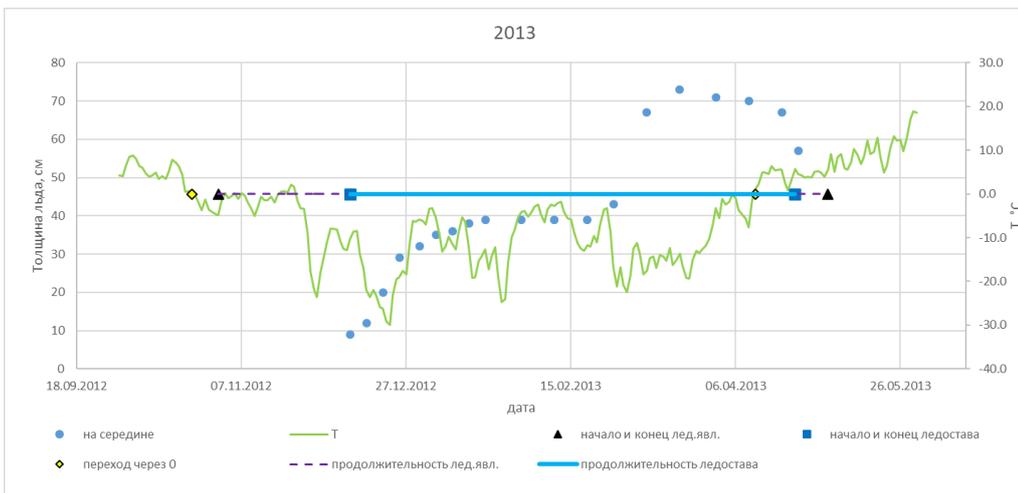
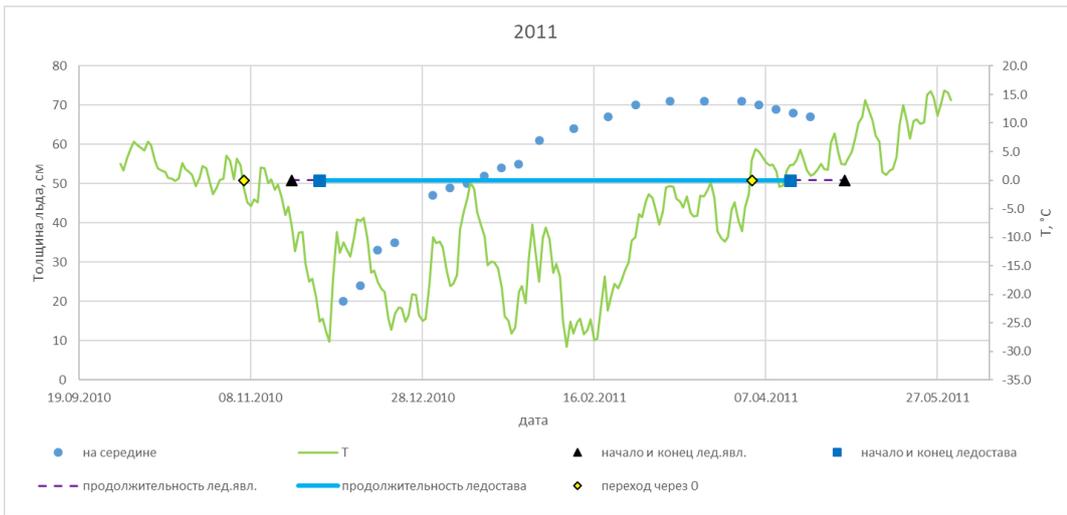


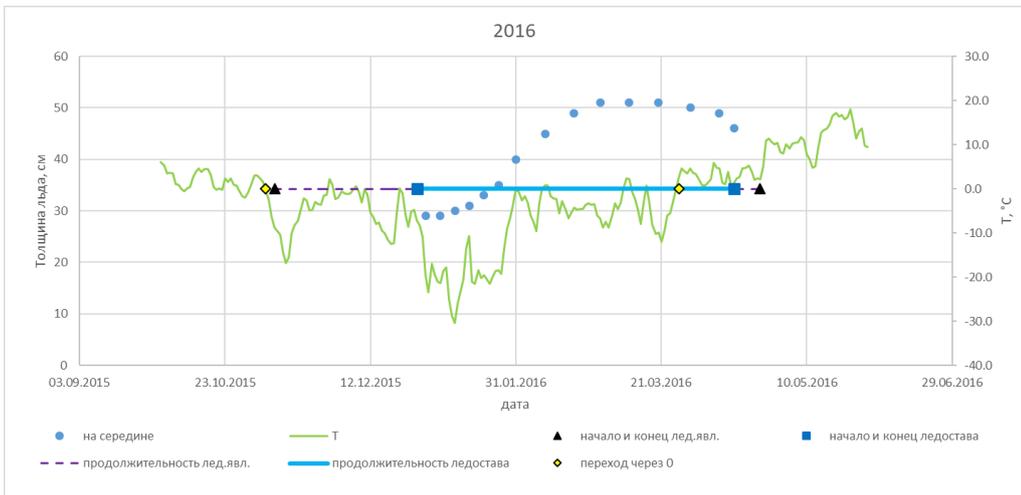
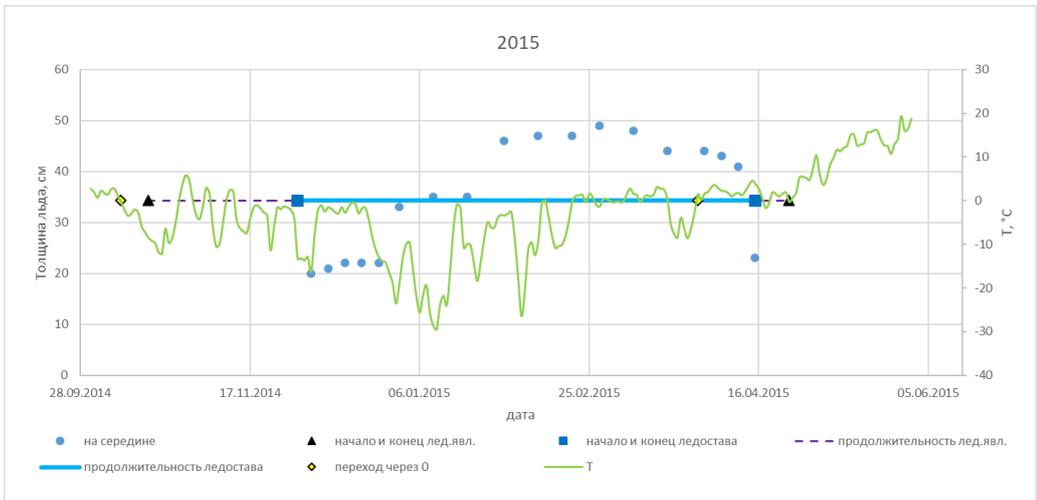
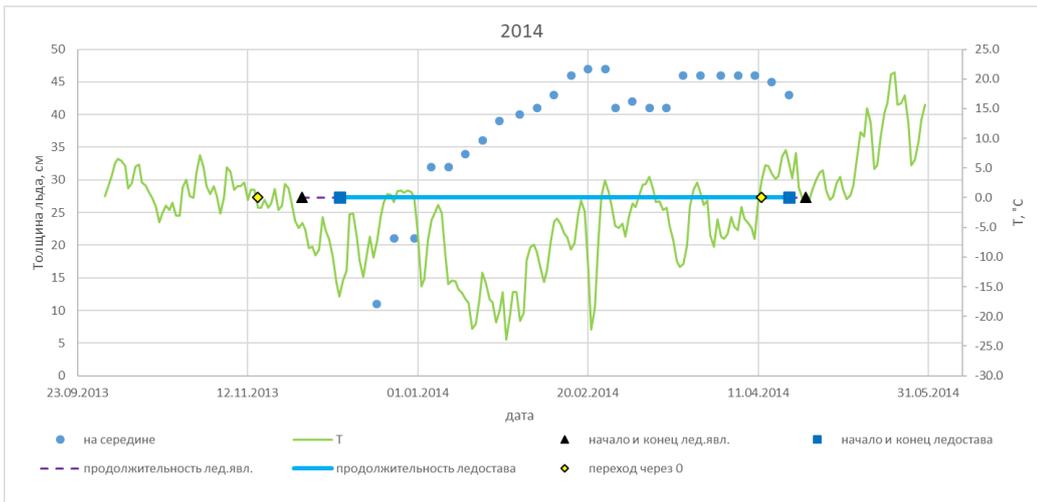




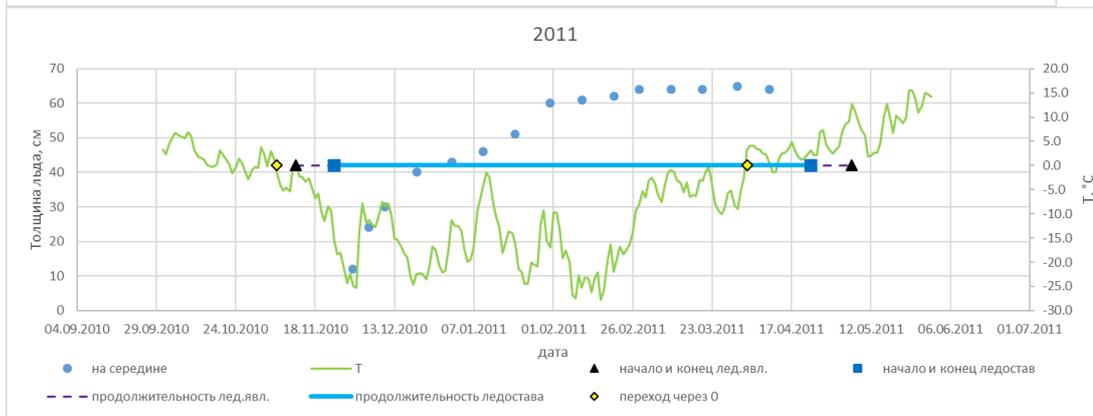
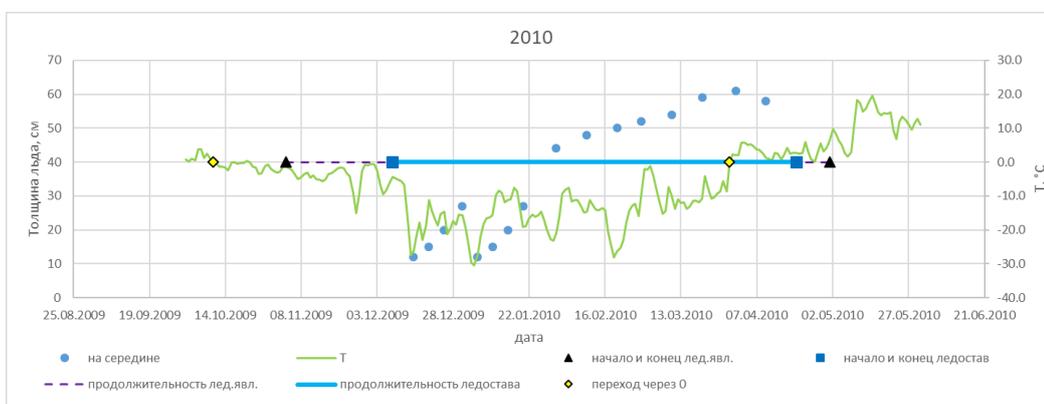
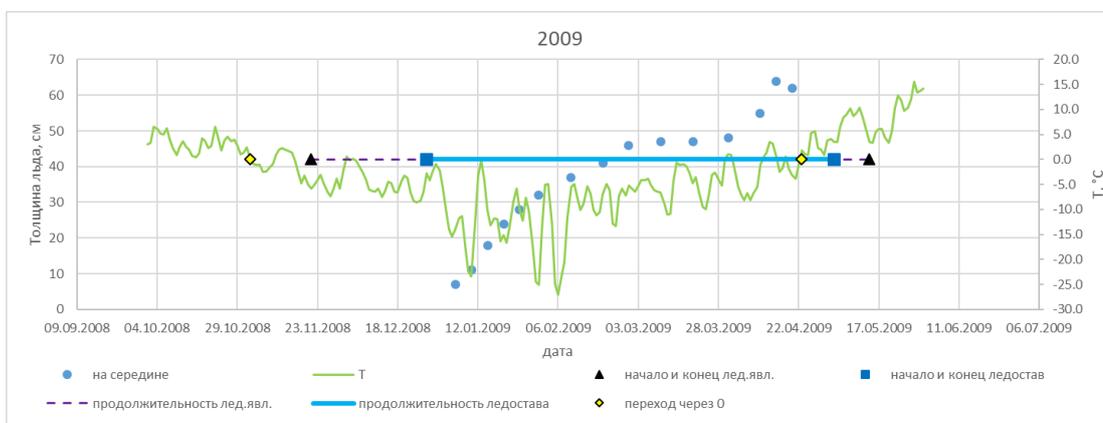
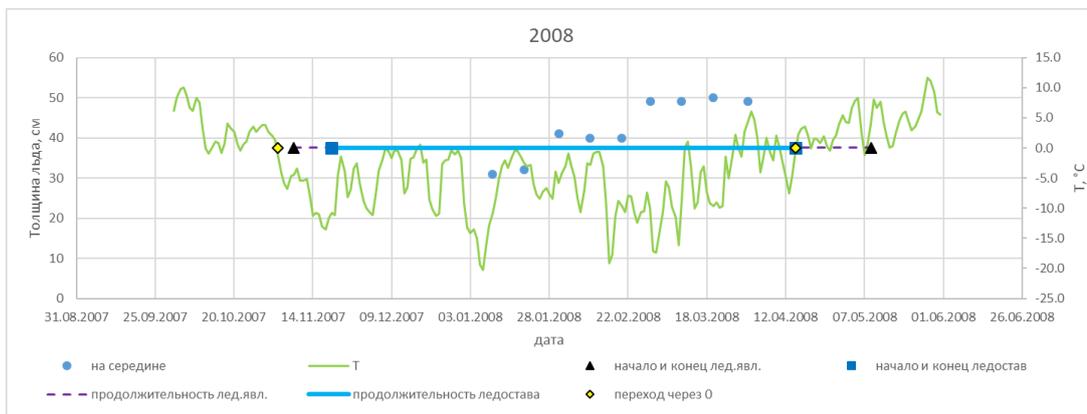
б) Гидрологический пост р. Северная Двина – д. Звон 2008 – 2016 гг.

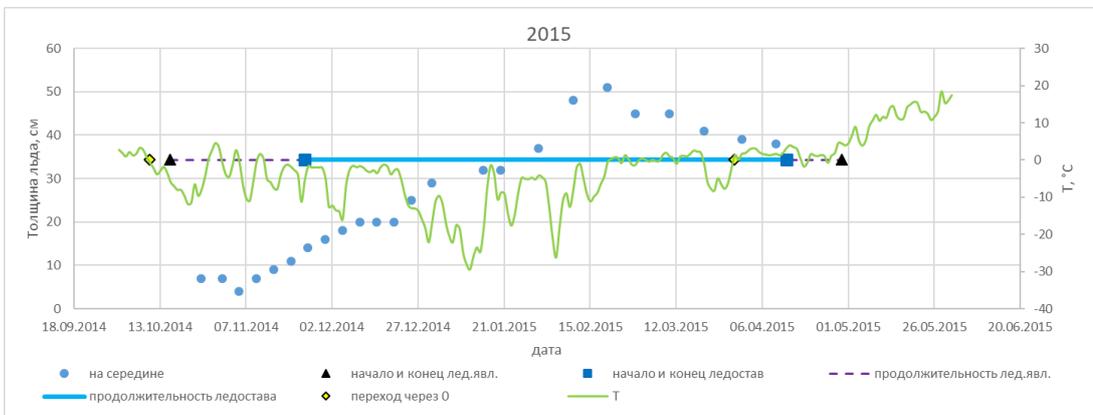
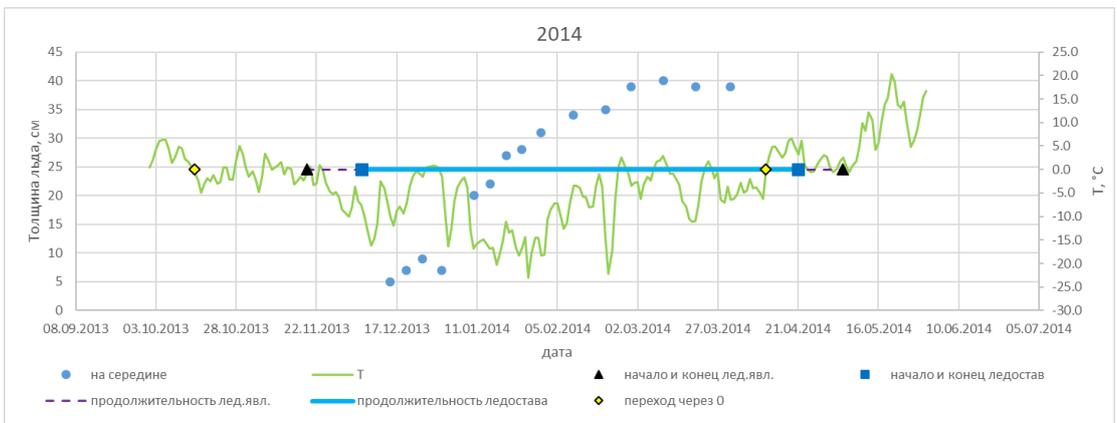
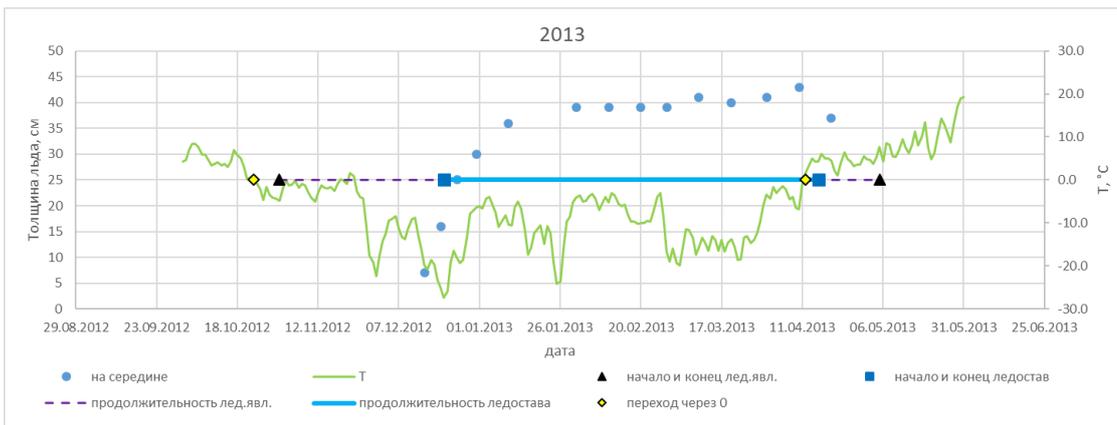
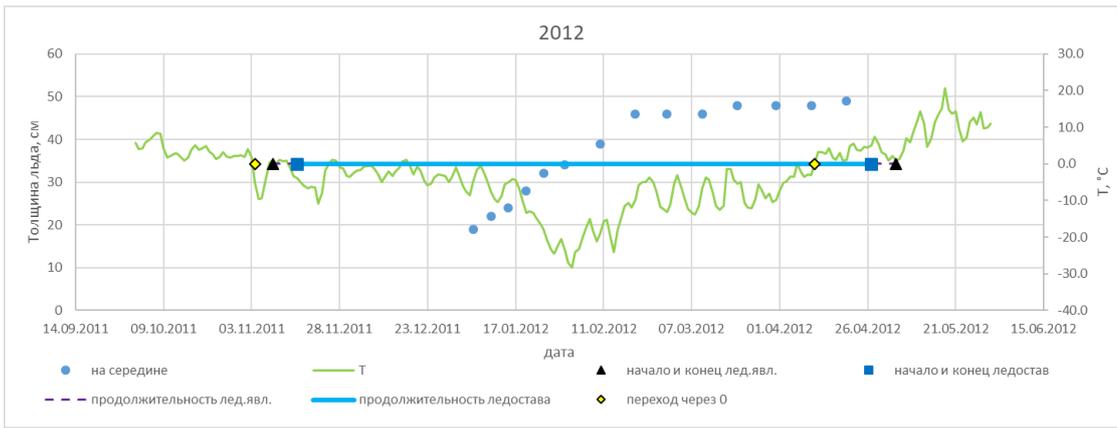


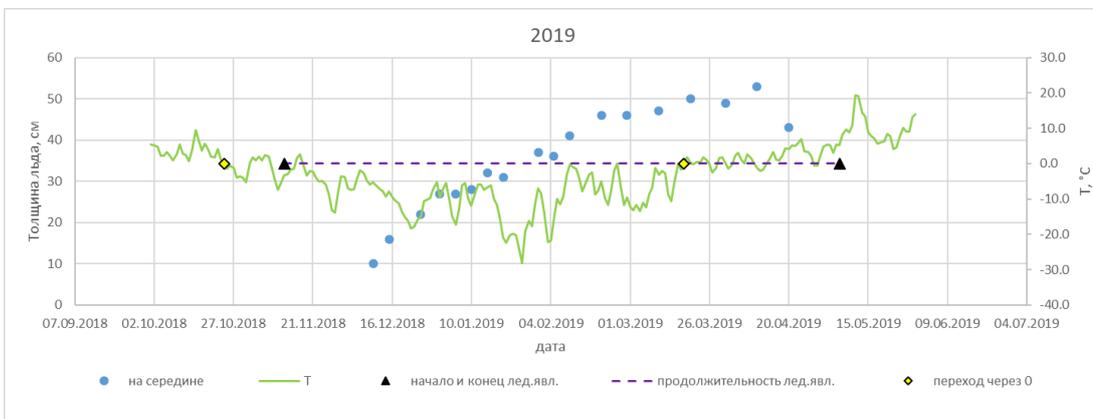
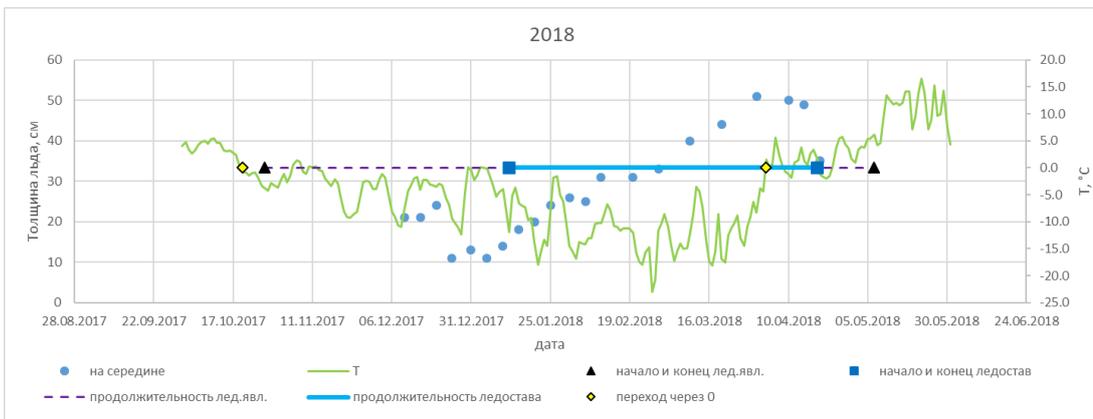
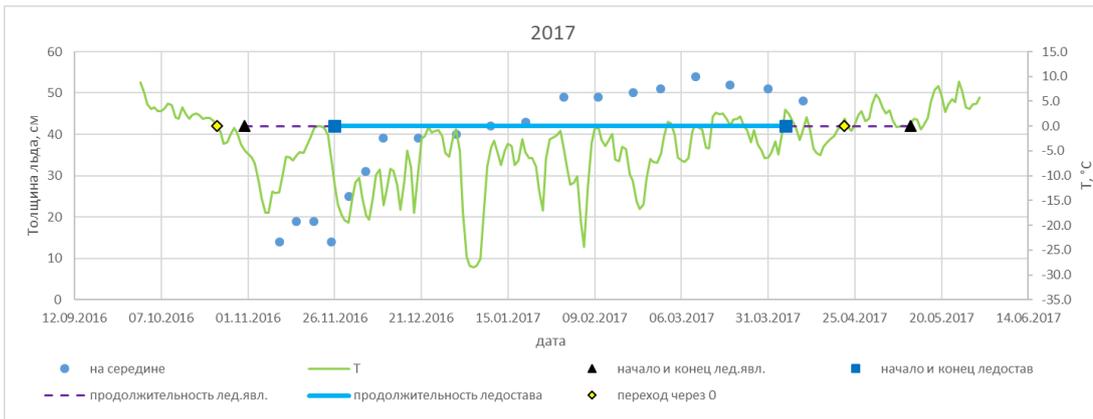
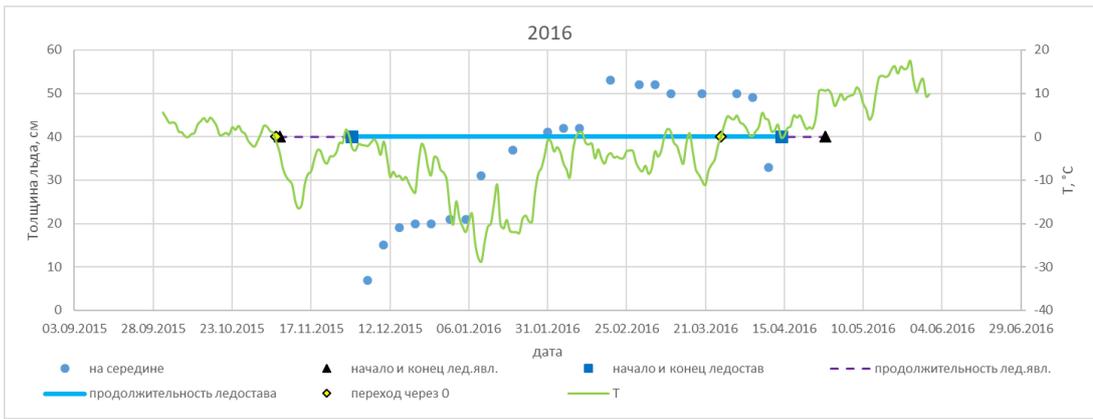


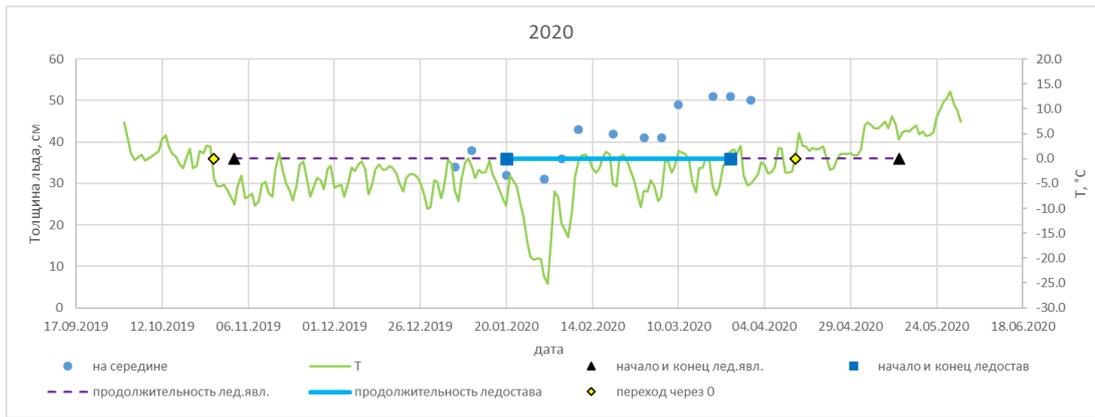


7) Гидрологический пост р. Северная Двина – с. Усть-Пинега
2008 – 2020 гг.





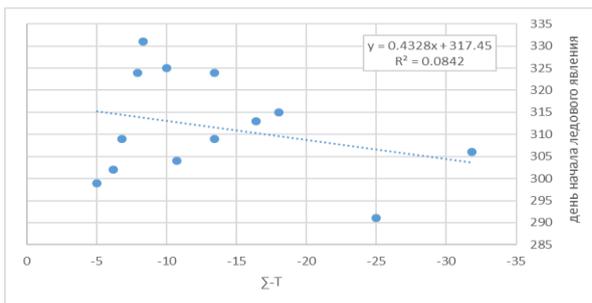




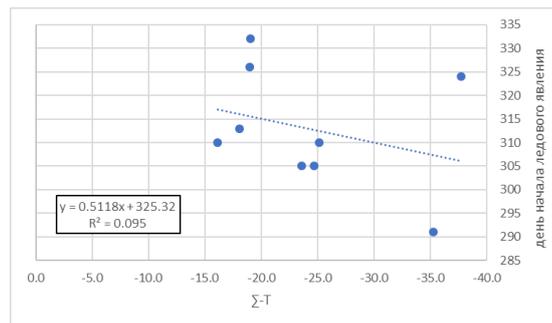
Приложение Б – Графики определения связи ледовых явлений и толщины льда за период 2008 – 2020 гг.

1) Начало ледовых явлений

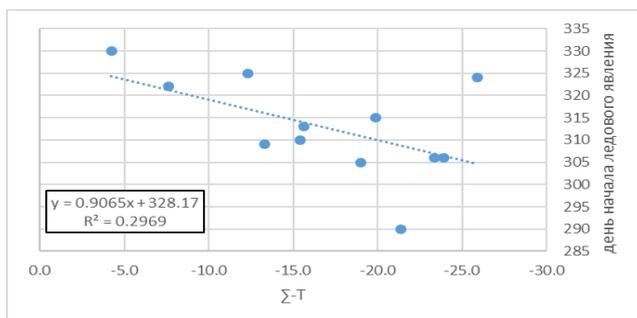
а) В посту деревни Абрамково



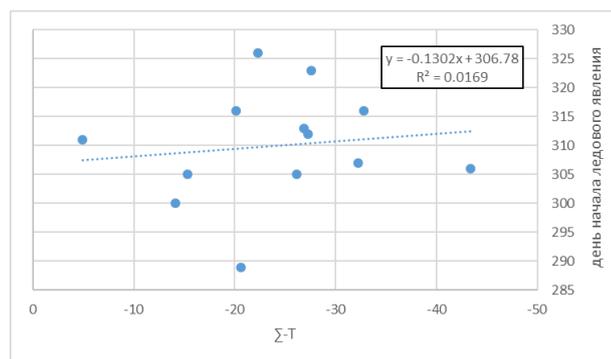
в) В посту деревни Звоз



б) В посту деревни Сидоровская

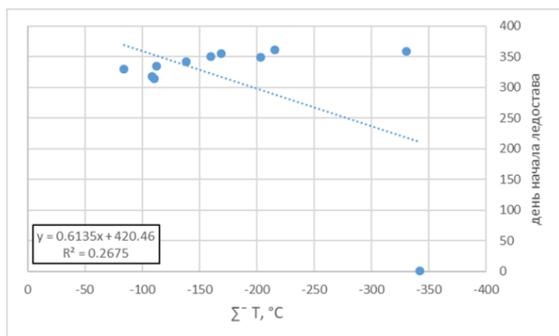


г) В посту села Усть-Пинега

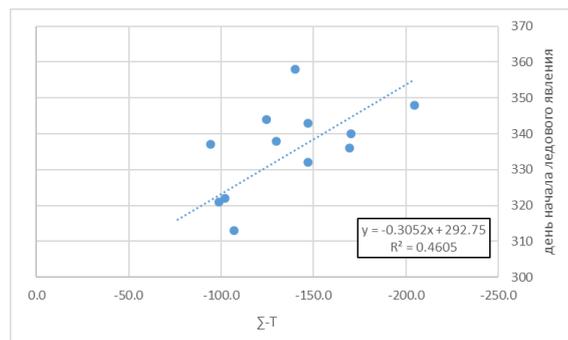


2) Начало ледостава

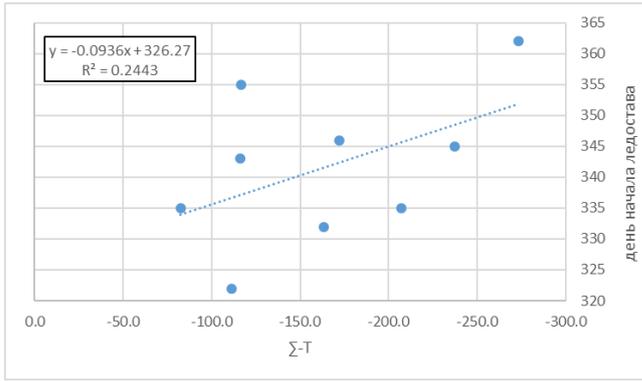
а) В посту г. Котлас



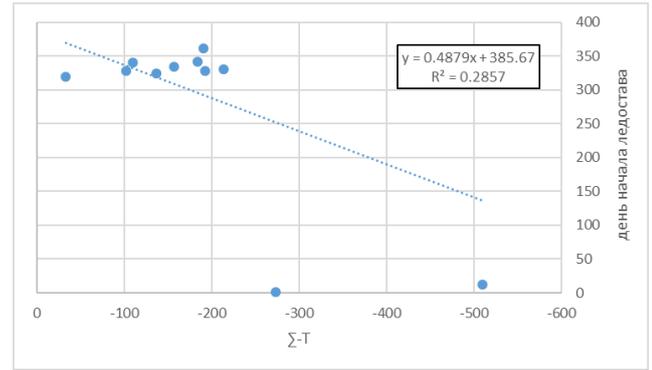
б) В посту поселка Березник



в) В посту деревни Звоз

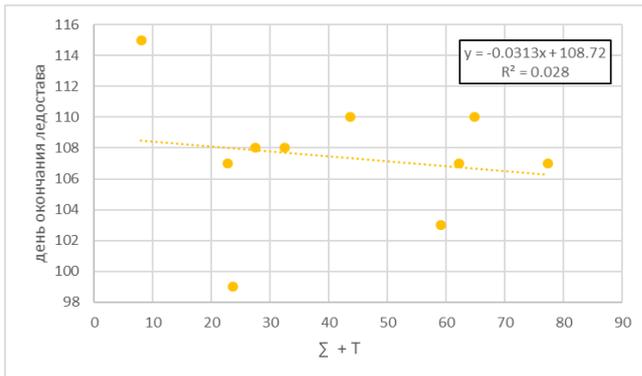


г) В посту села Усть-Пинега

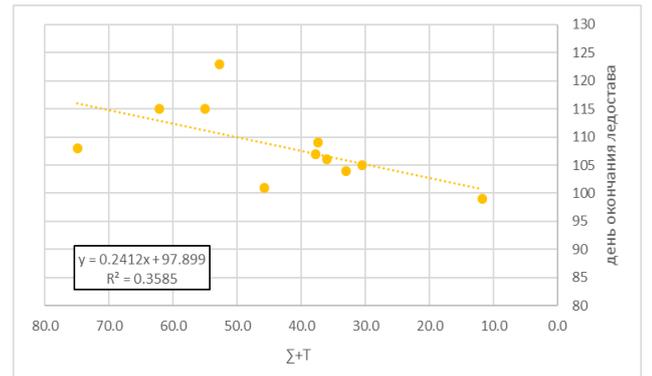


3) Окончание ледостава

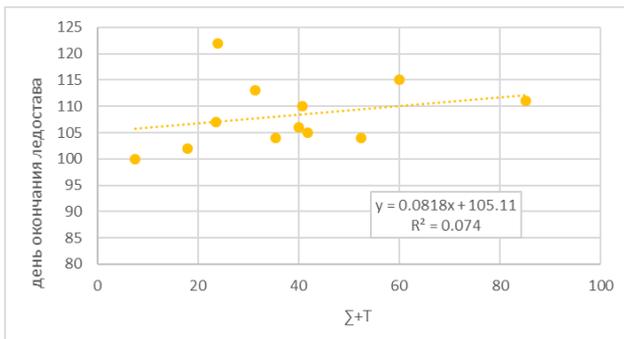
а) В посту города Котлас



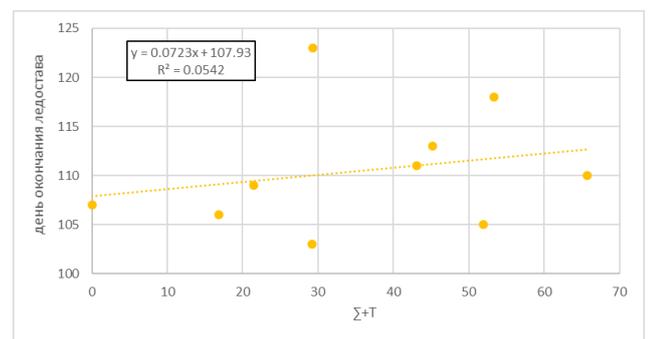
в) В посту поселка Березник



б) В посту деревни Абрамково

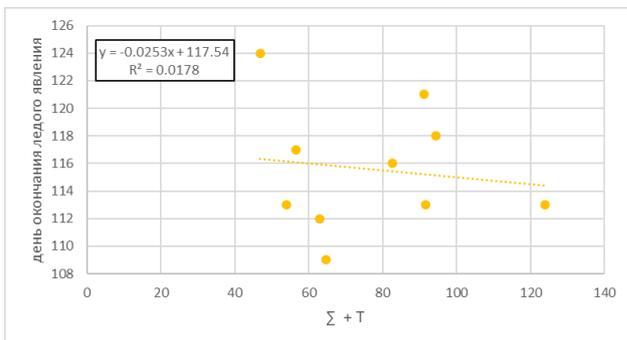


г) В посту села Усть-Пинега

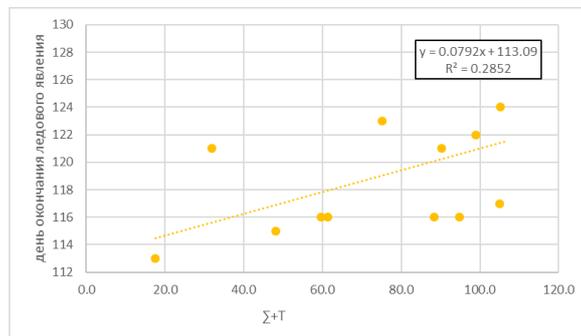


4) Окончание ледовых явлений

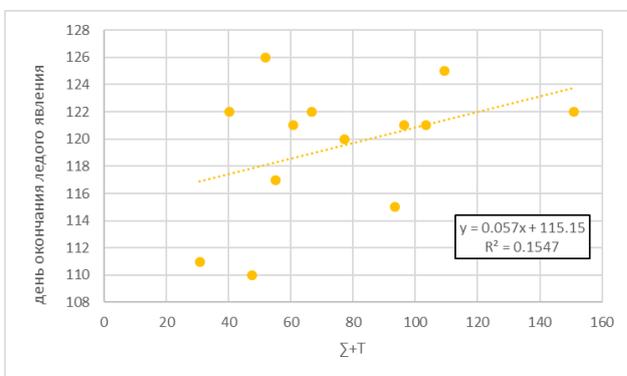
а) В посту города Котлас



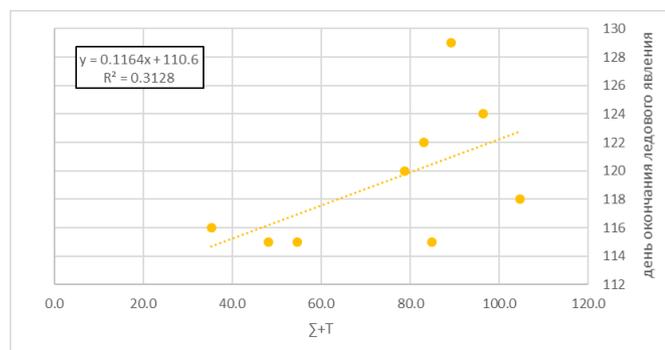
в) В посту поселка Березник



б) В посту села Нижняя Тойма

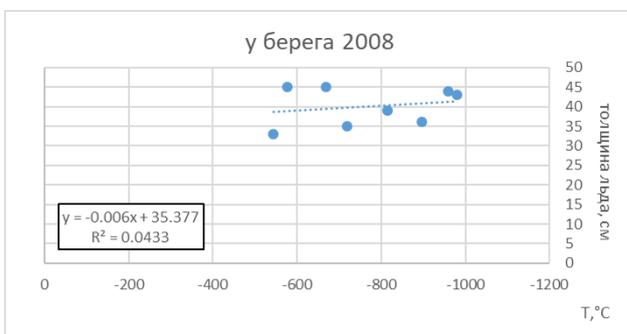


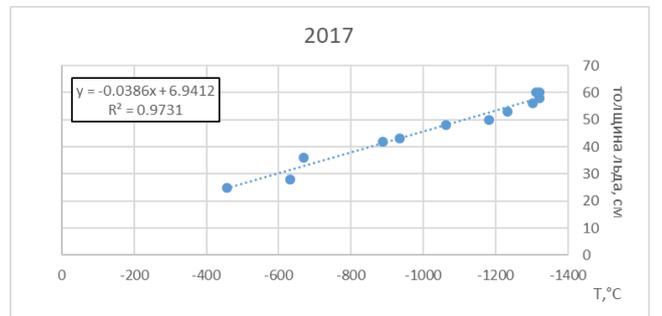
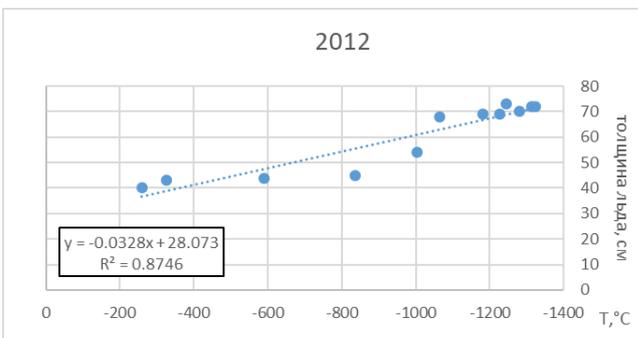
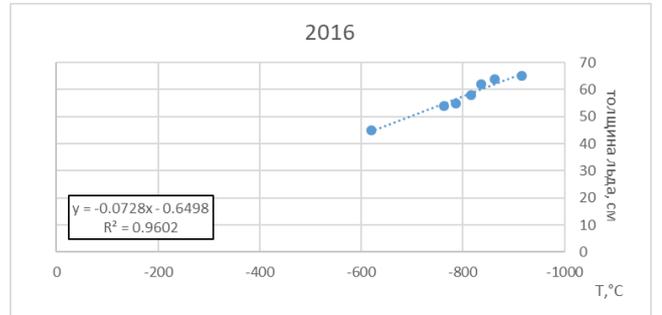
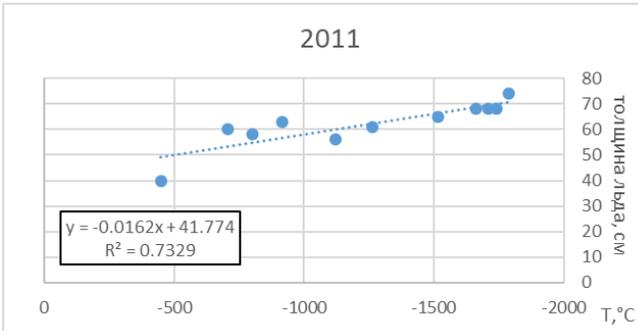
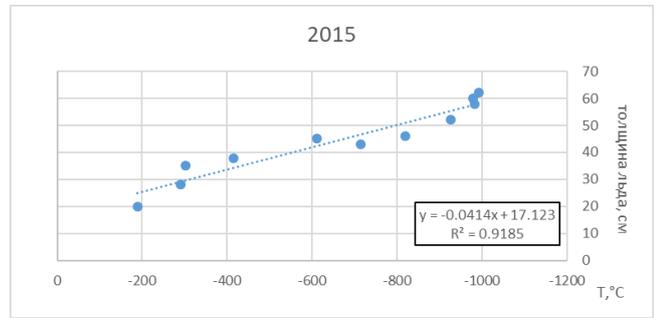
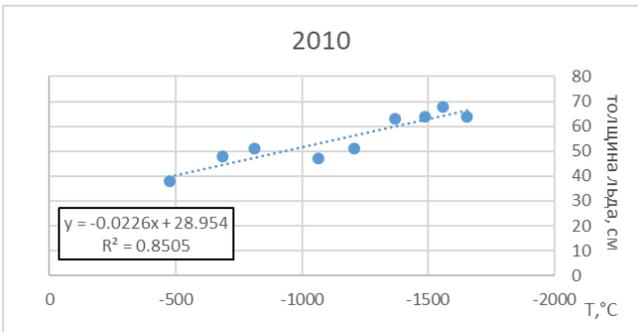
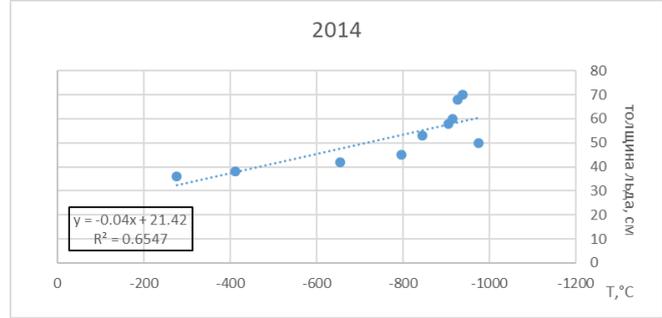
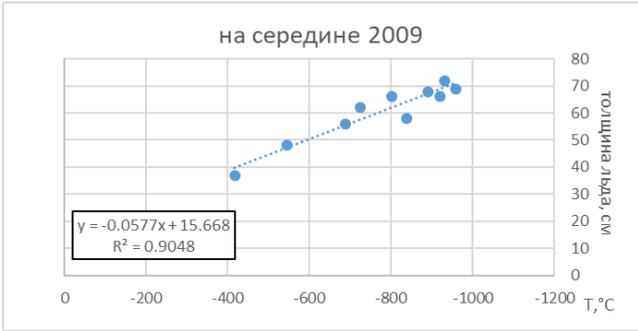
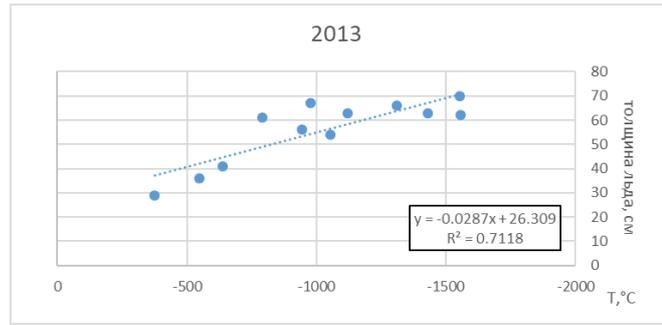
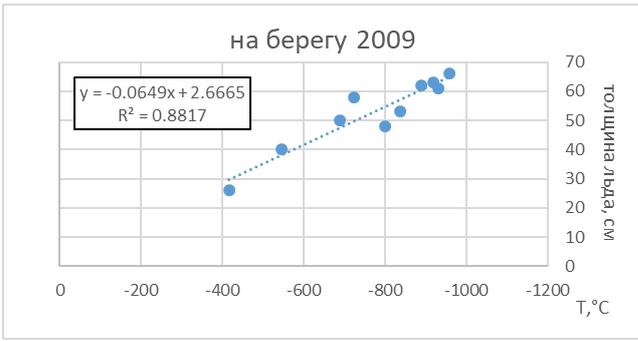
г) В посту деревни Звоз

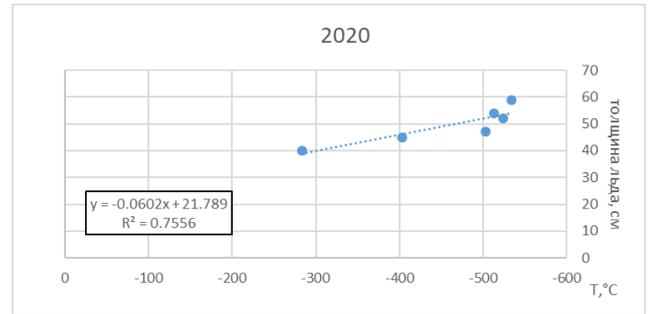
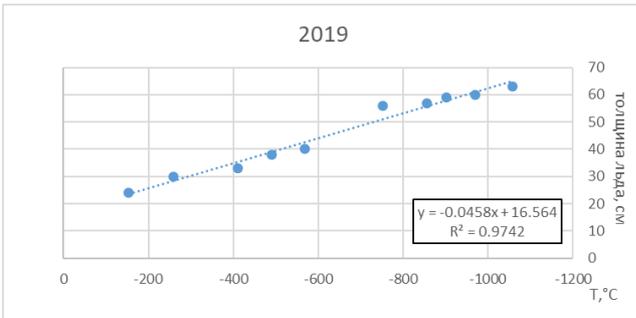
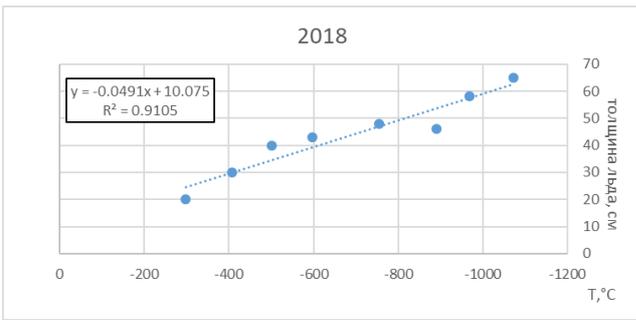


5) Толщина льда

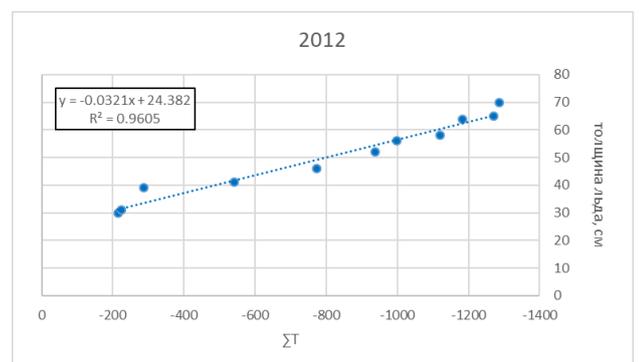
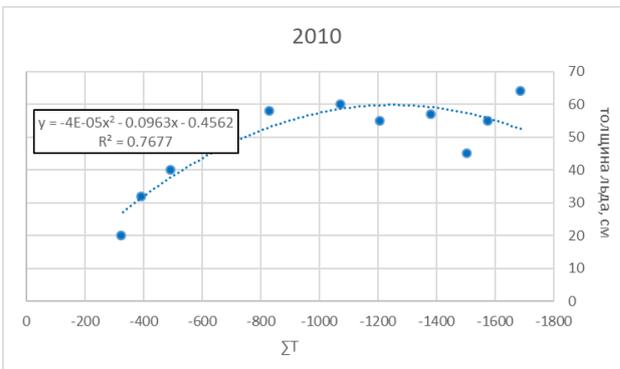
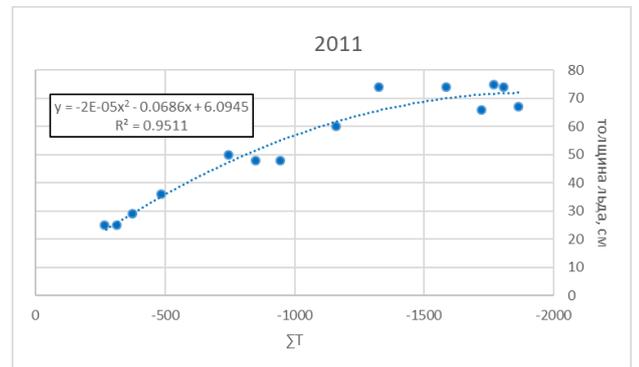
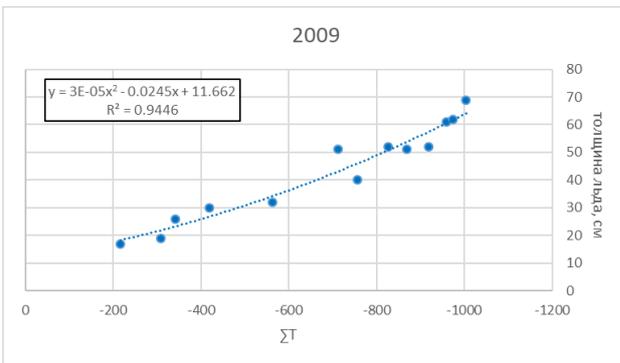
а) График связи толщина льда на р. Северная Двина – г. Котлас 2008 – 2020 гг.

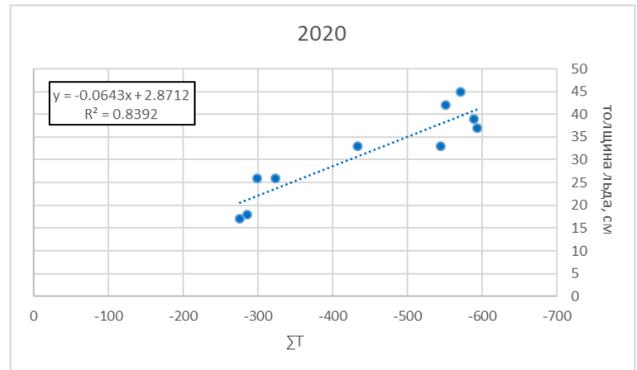
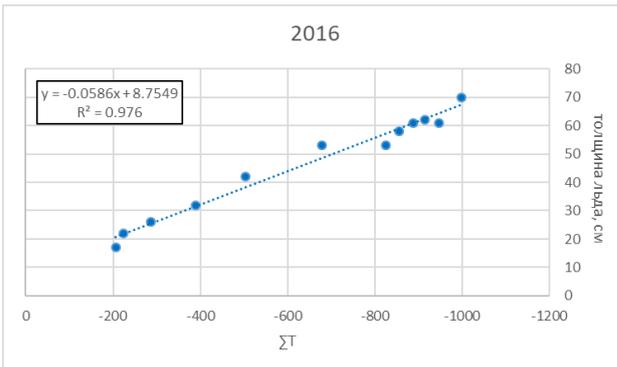
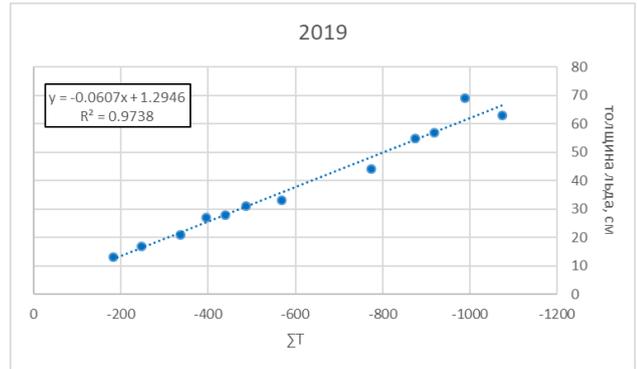
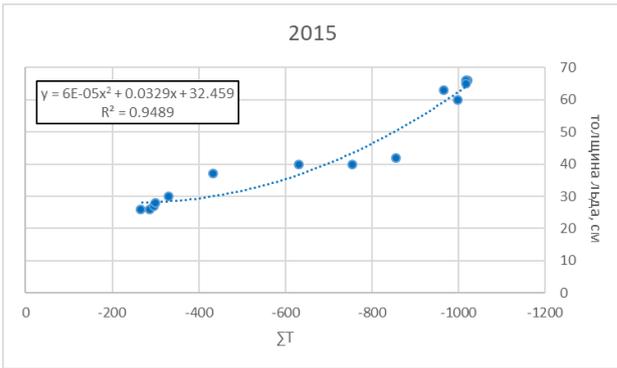
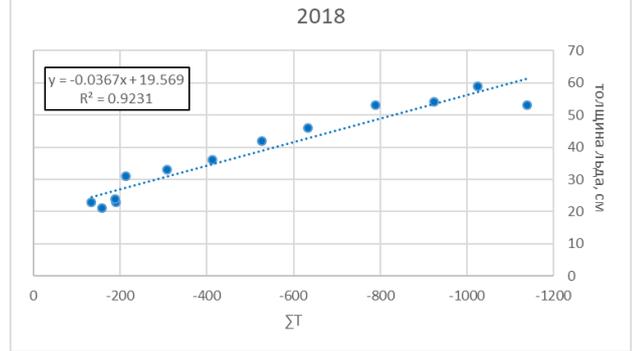
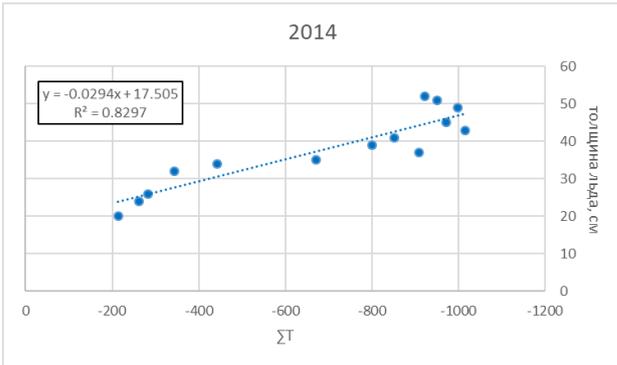
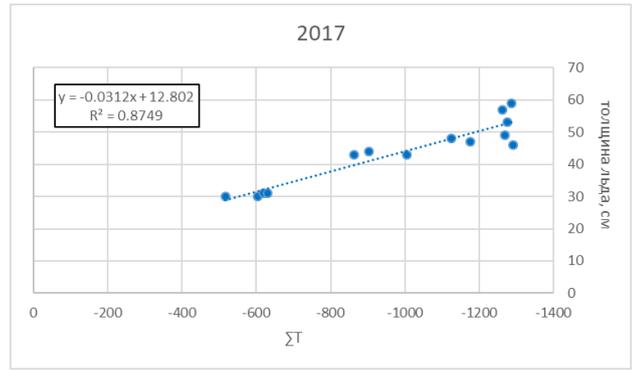
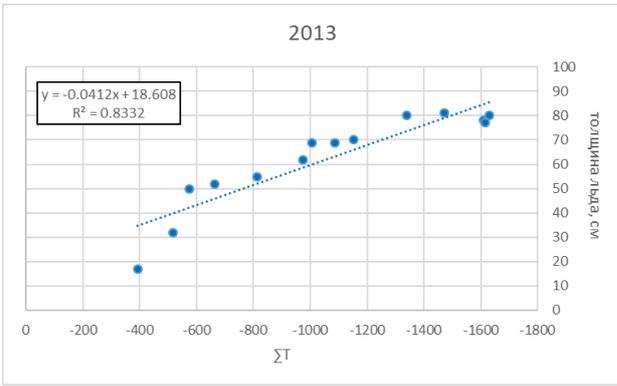




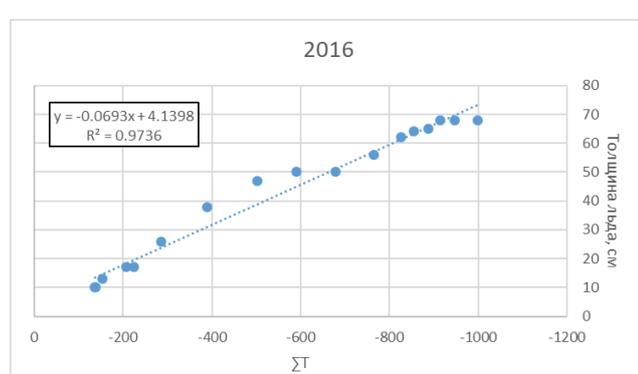
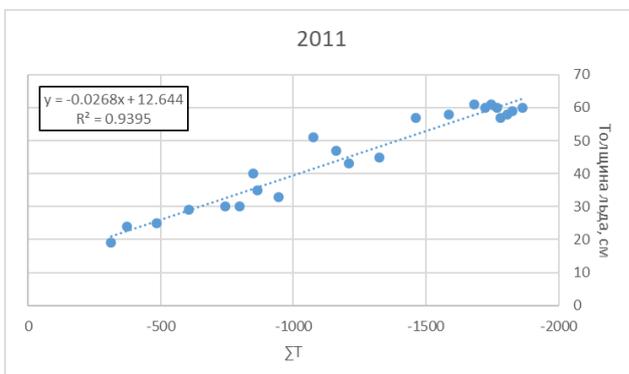
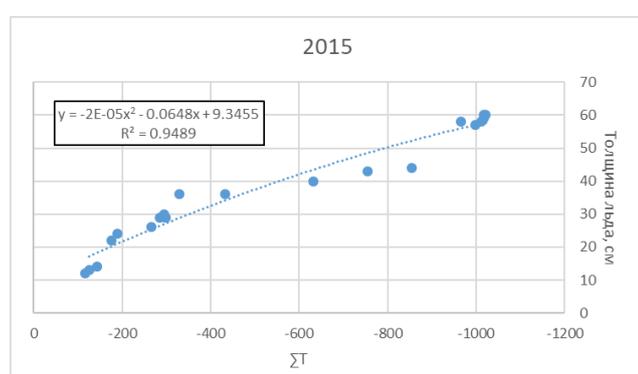
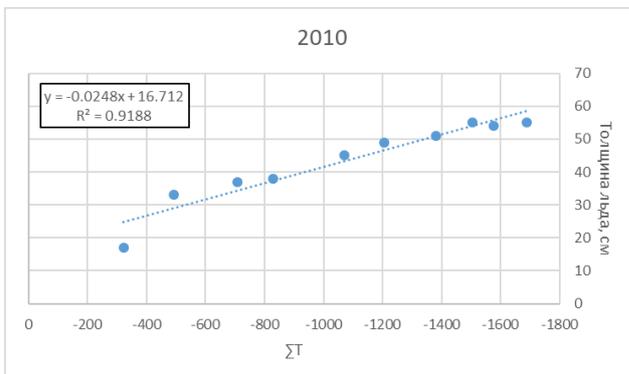
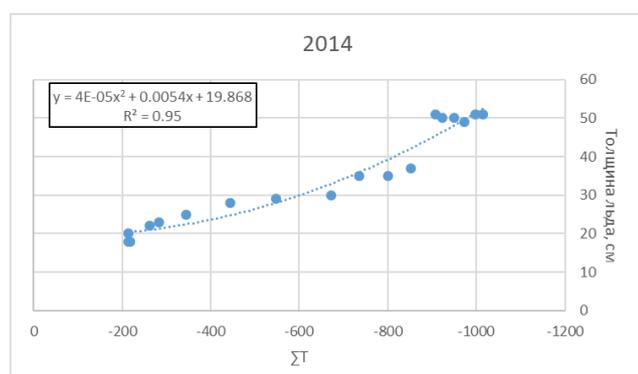
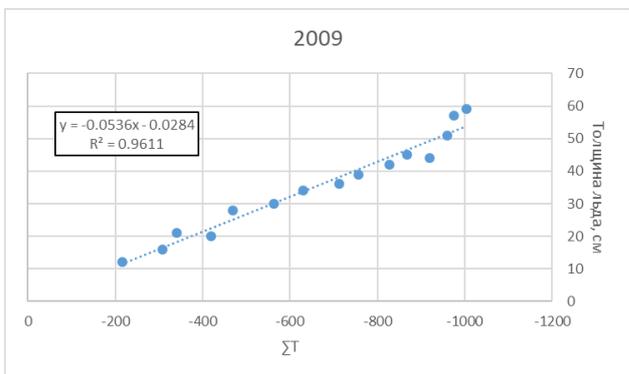
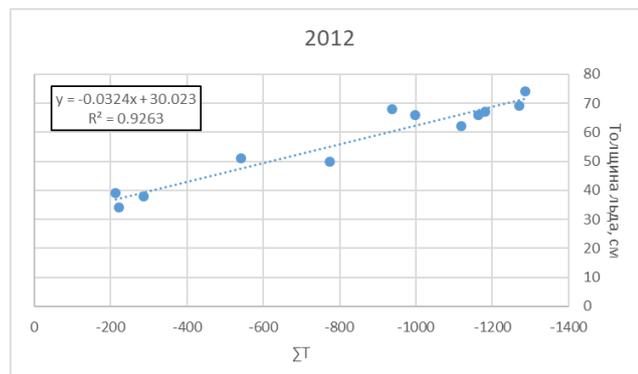
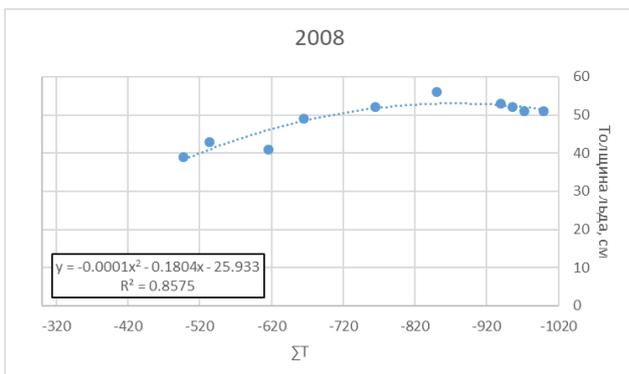


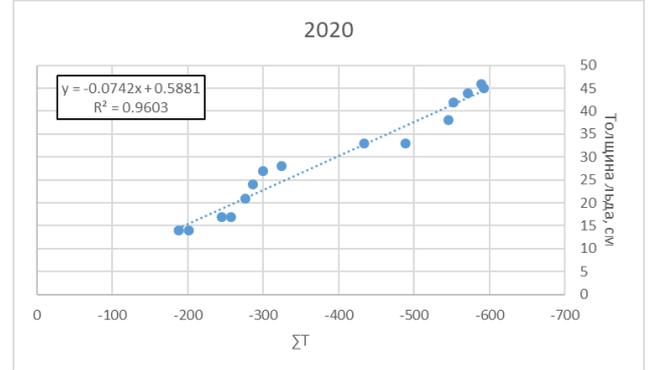
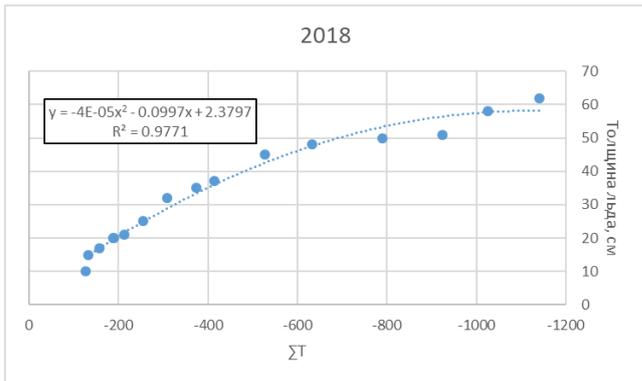
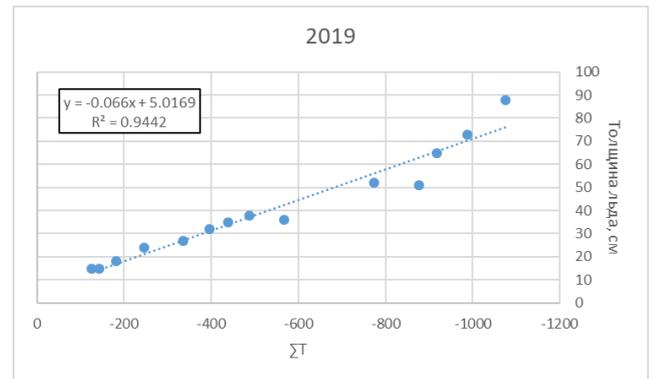
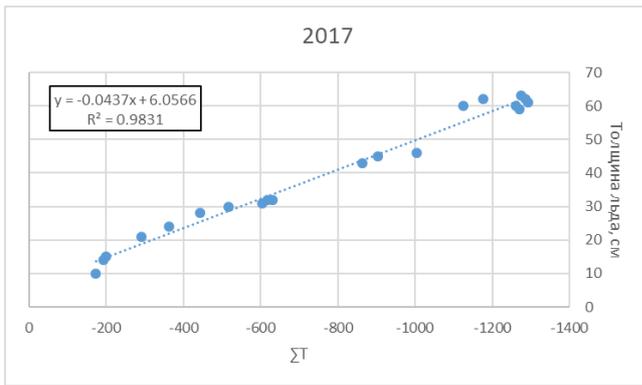
б) График связи толщина льда на р. Северная Двина – д. Абрамково 2009 – 2020 гг.



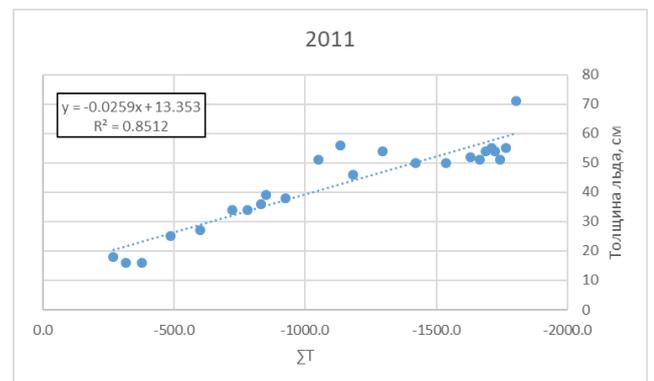
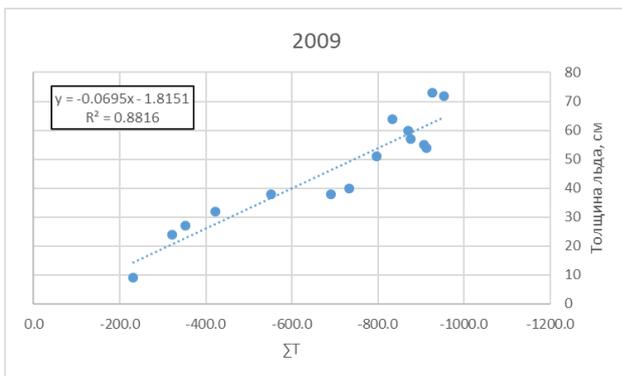
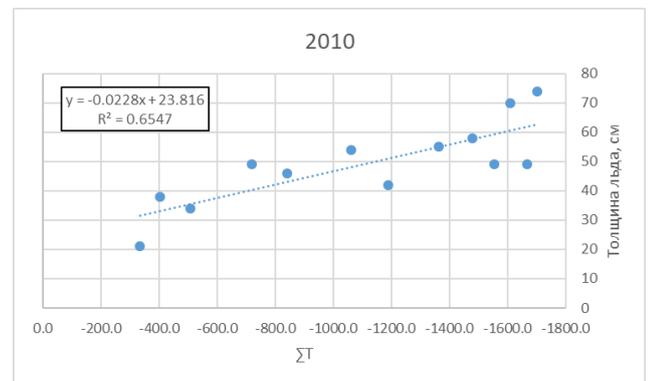
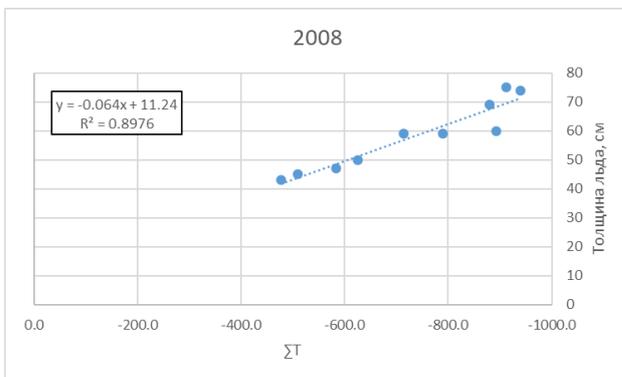


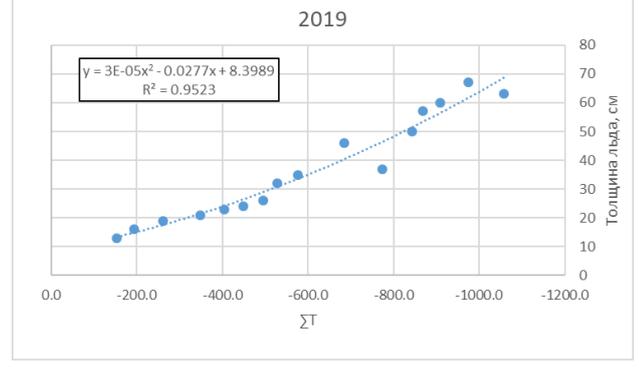
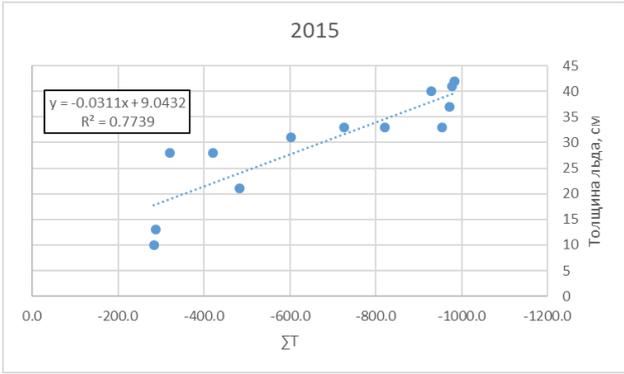
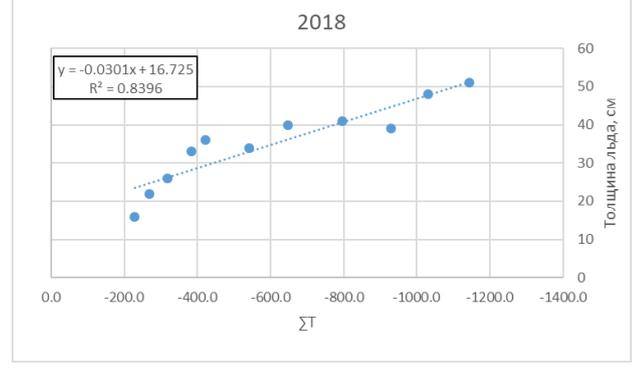
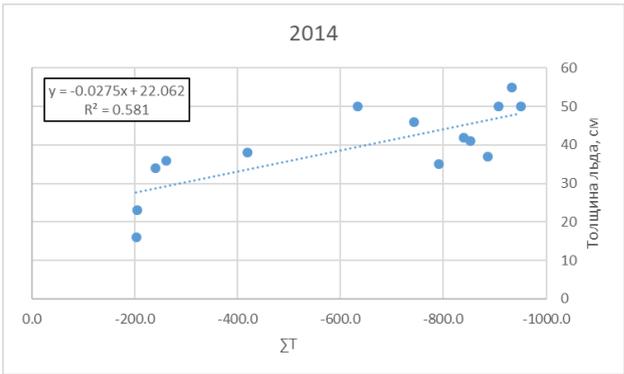
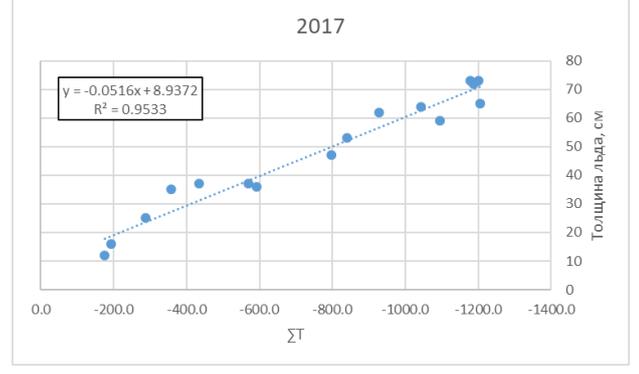
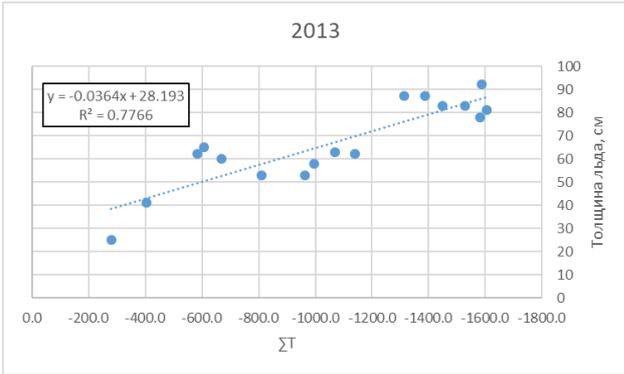
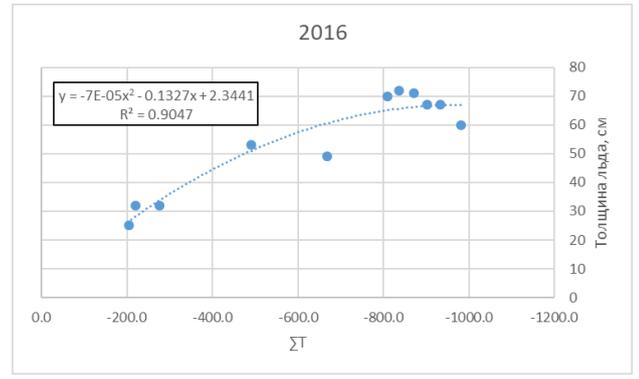
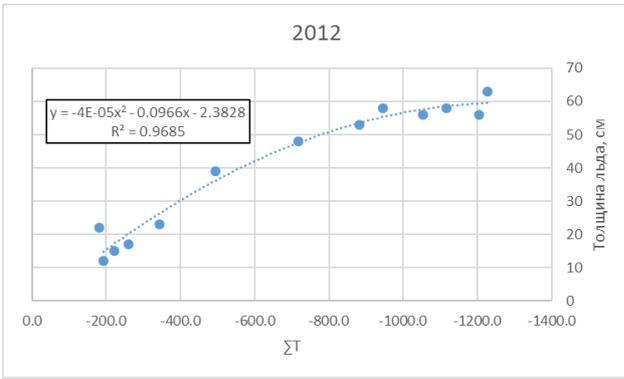
в) График связи толщина льда на р. Северная Двина – с. Нижняя Тойма
2008 – 2020 гг.



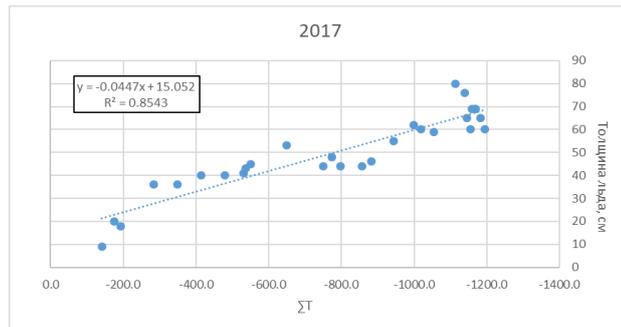
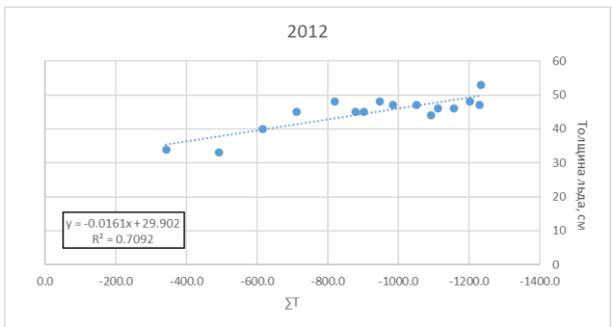
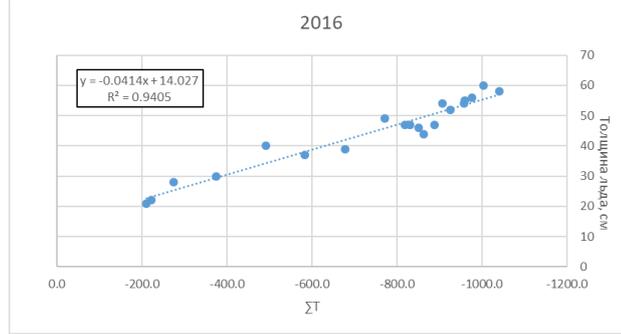
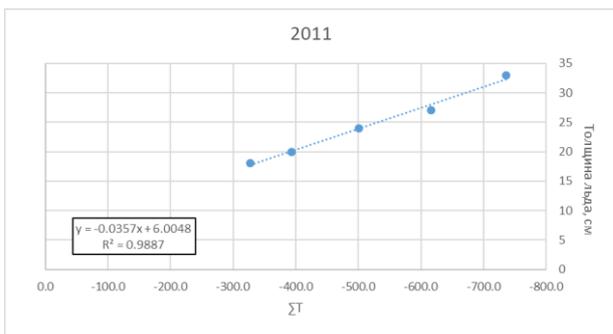
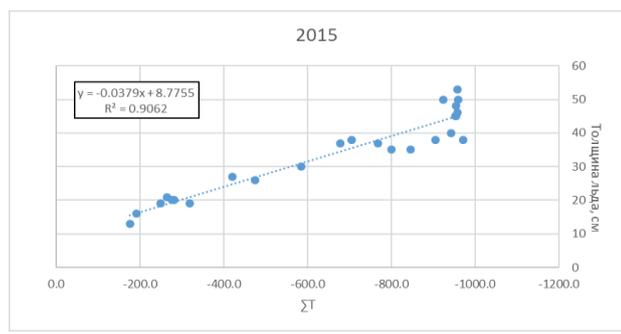
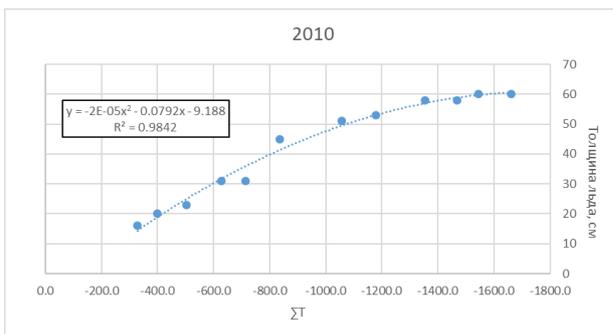
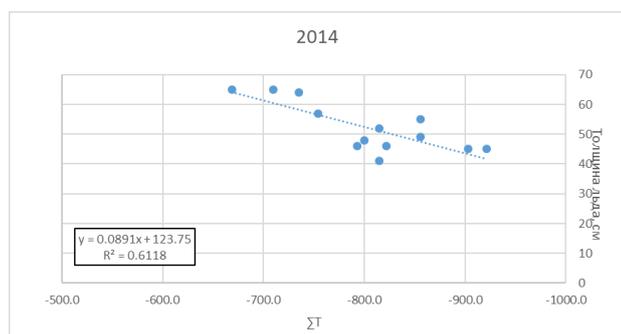
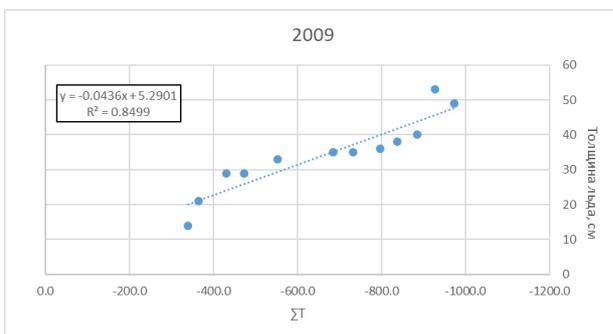
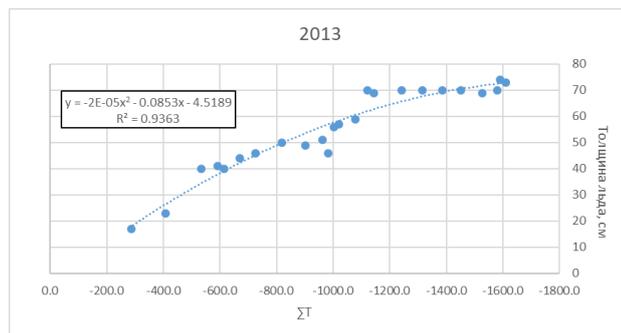
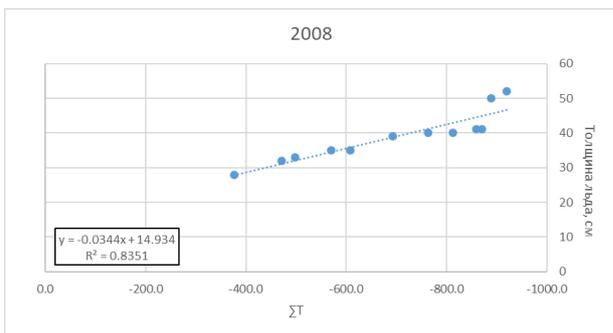


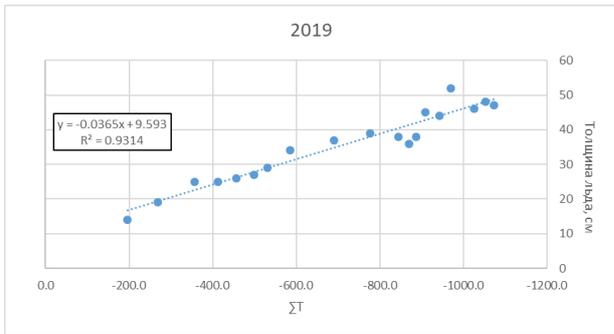
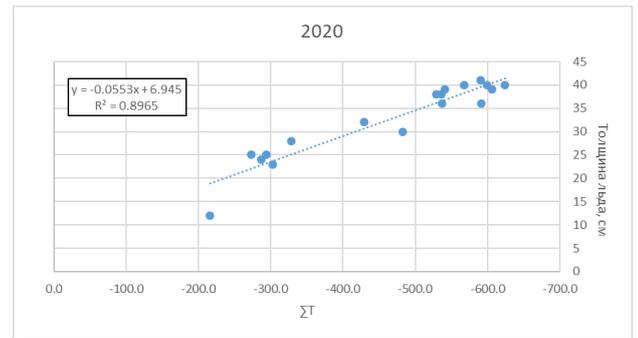
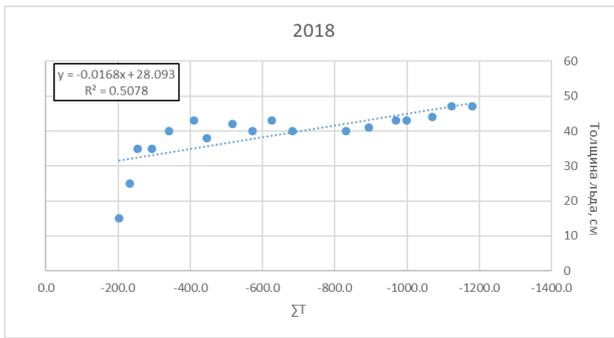
г) График связи толщина льда на р. Северная Двина –д. Сидоровская 2008 – 2019 гг.



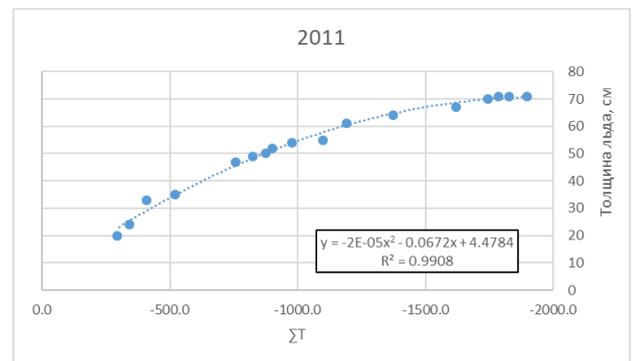
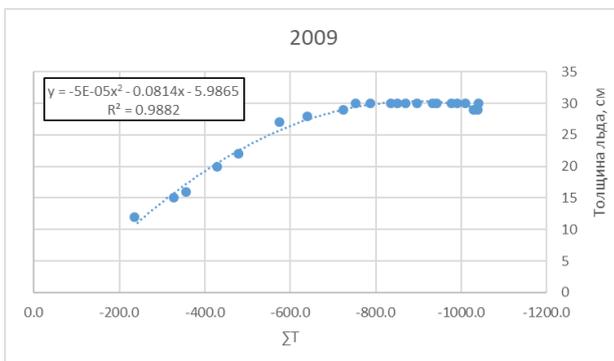
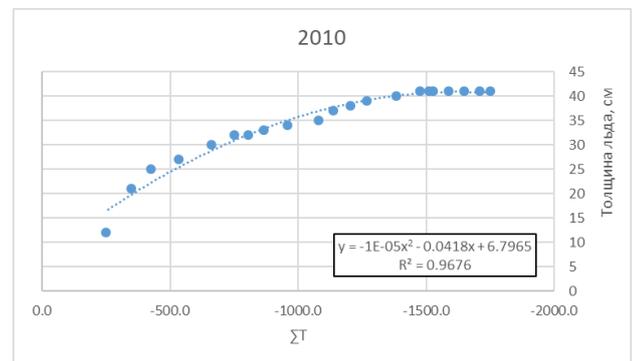
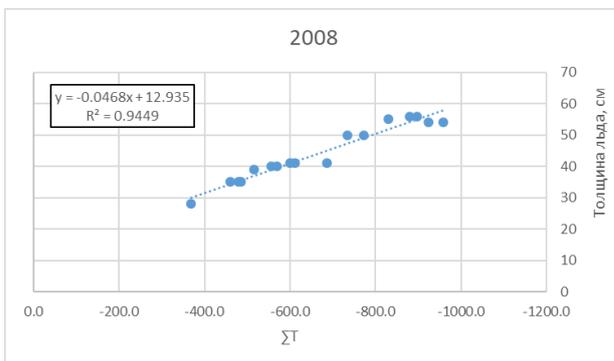


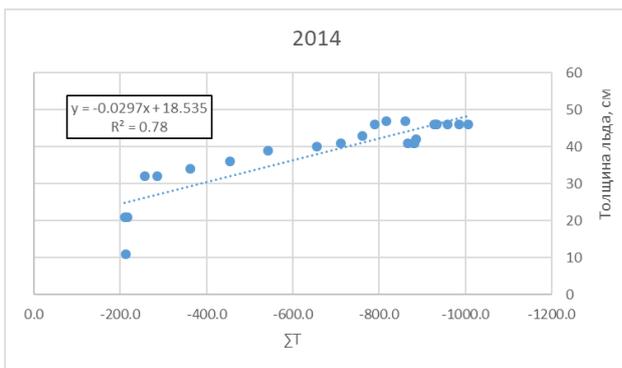
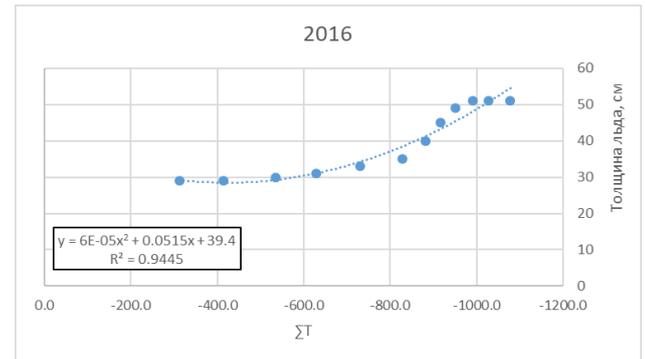
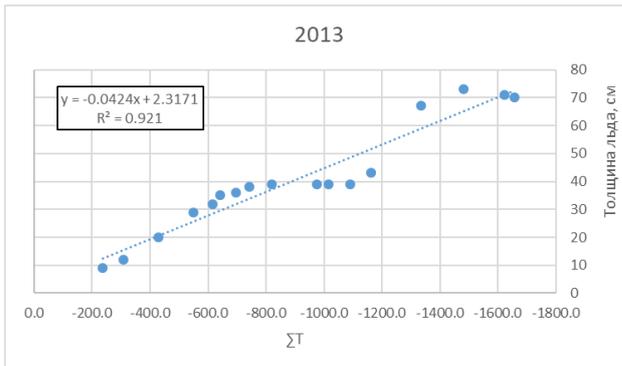
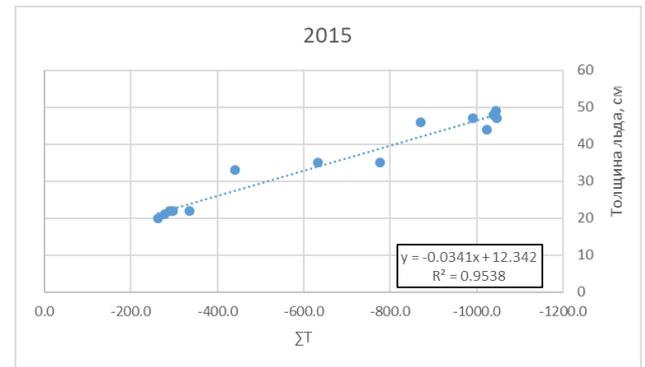
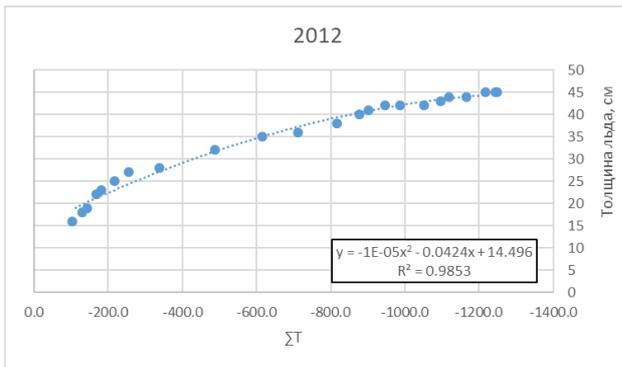
д) График связи толщина льда на р. Северная Двина –р.п. Березник
2008 – 2020 гг.



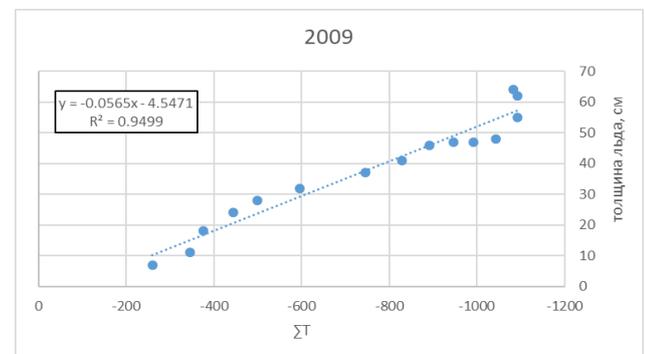
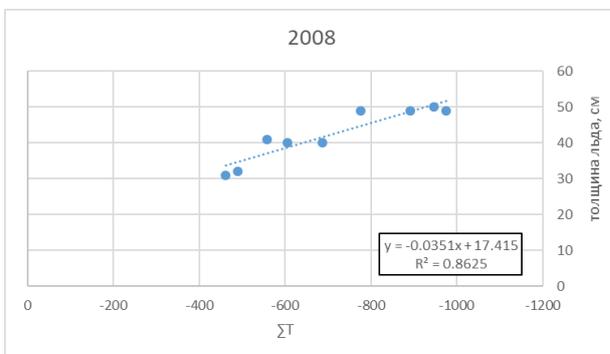


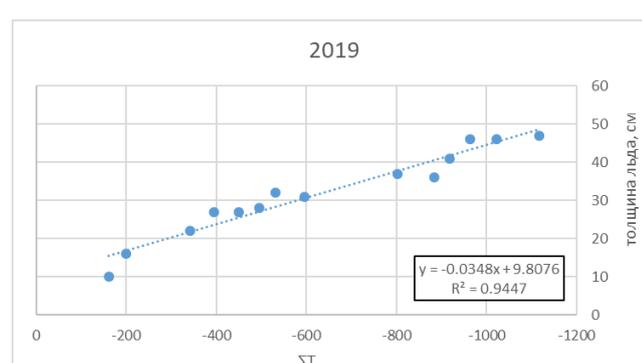
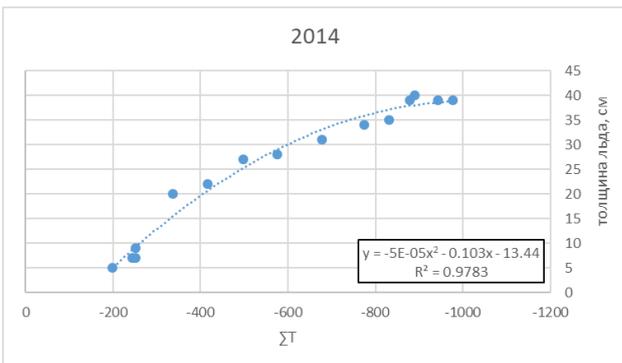
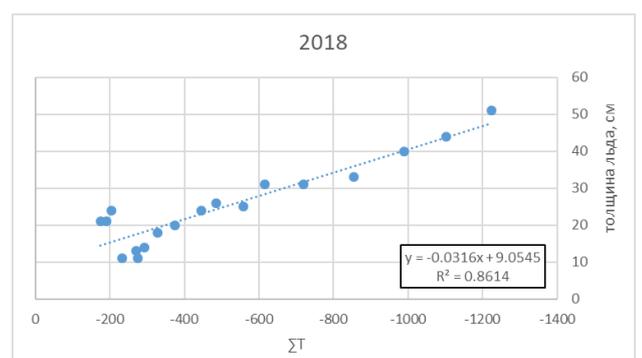
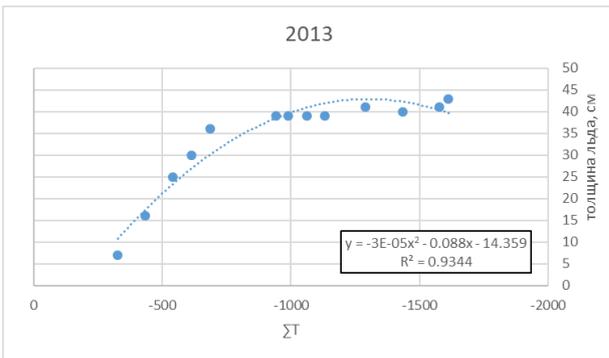
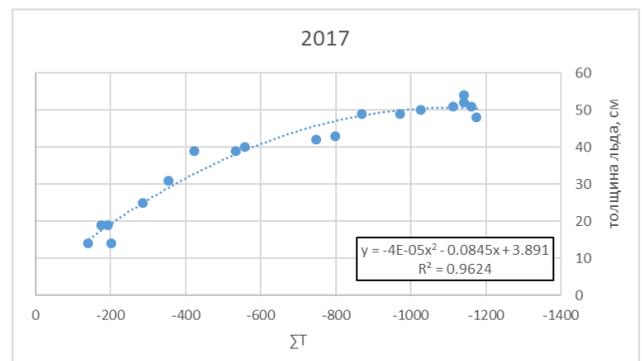
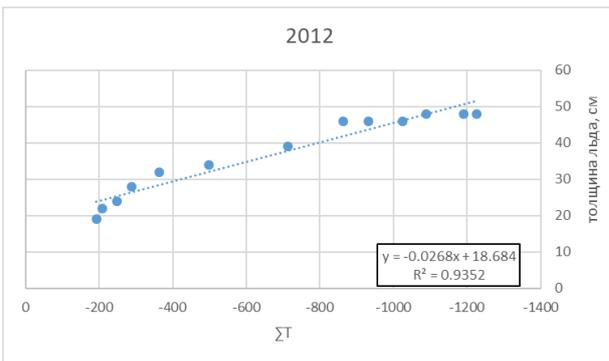
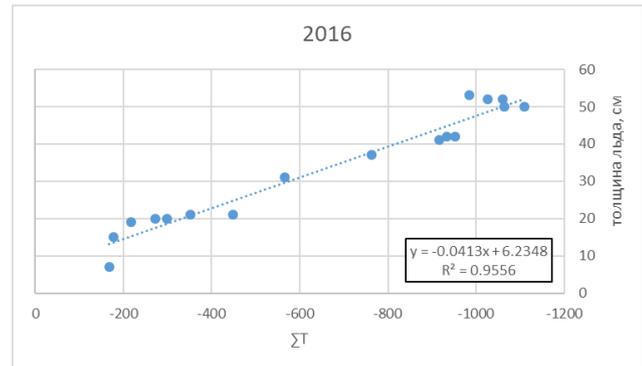
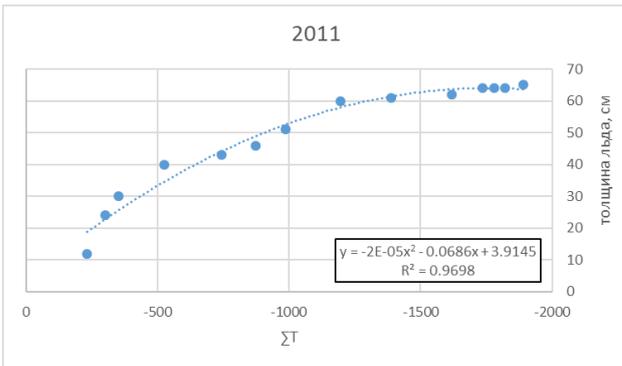
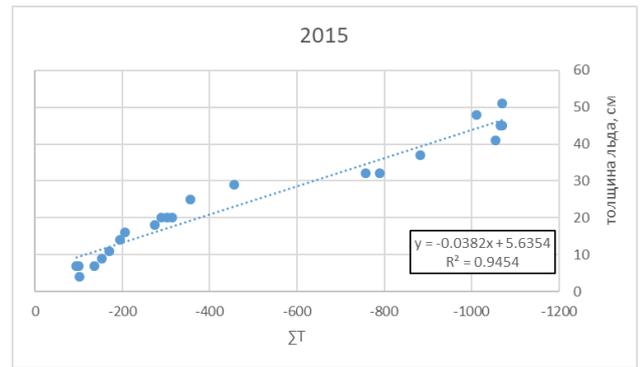
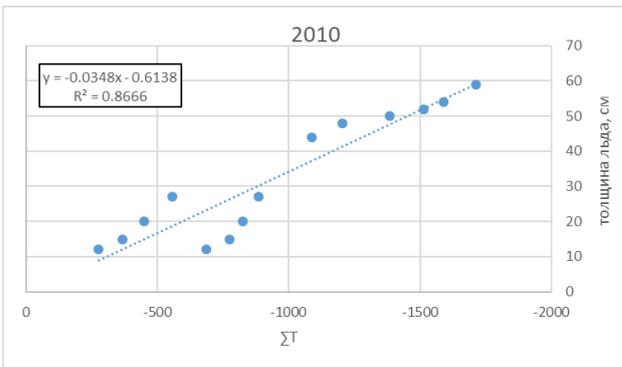
е) График связи толщина льда на р. Северная Двина – д. Звезд 2008 – 2016 гг.

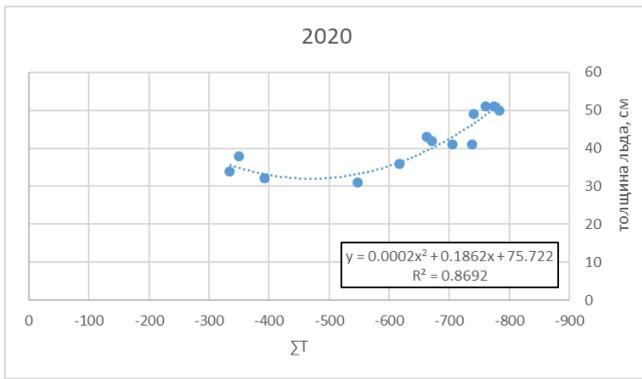




ж) График связи толщина льда на р. Северная Двина –с. Усть-Пинега 2008 – 2020 гг.

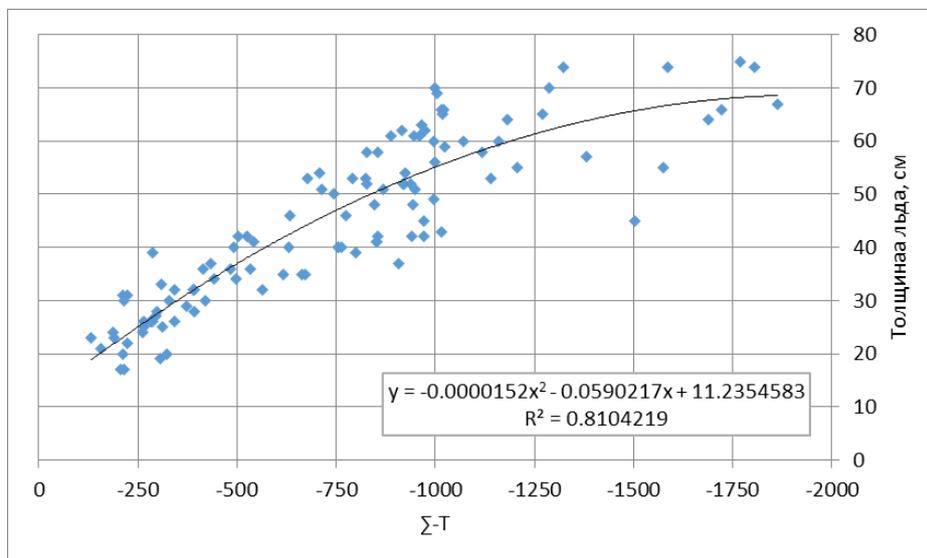






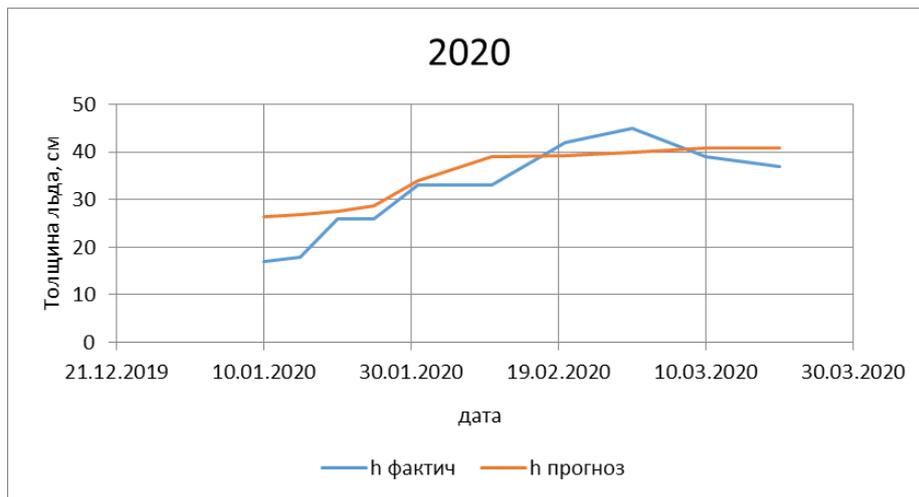
Приложение В – Графики связи и сравнения толщины льда для оценки прогноза.

1) График связи на гидропосту д. Абрамково (2008 – 2018 гг.)

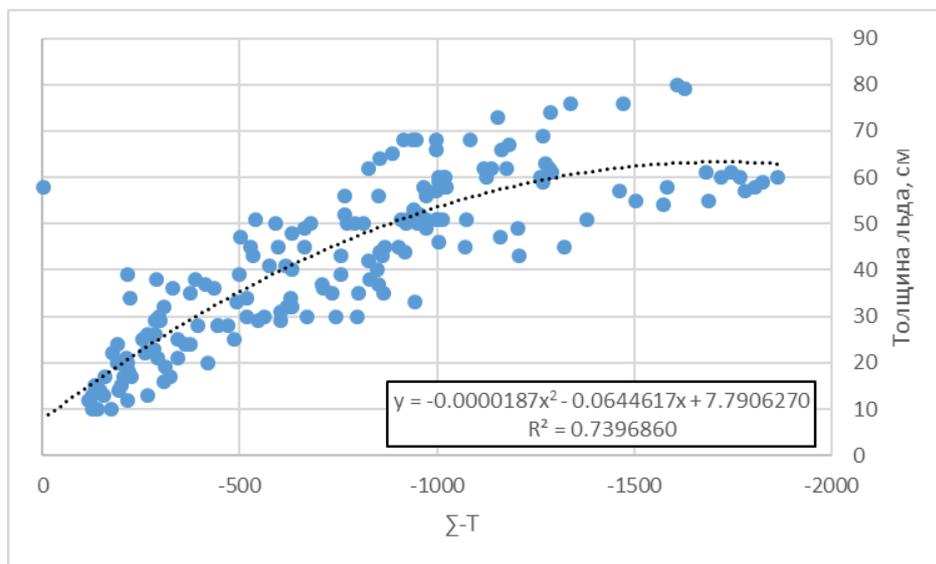


2) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту д. Абрамково (2019 – 2020 гг.)

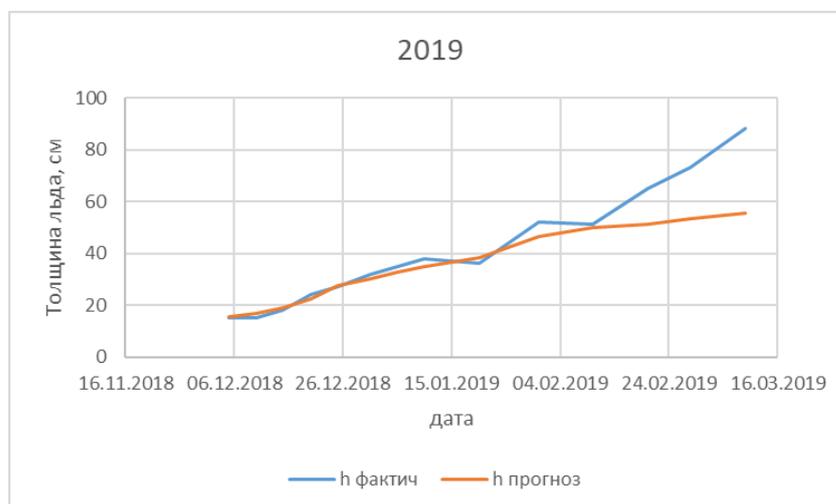


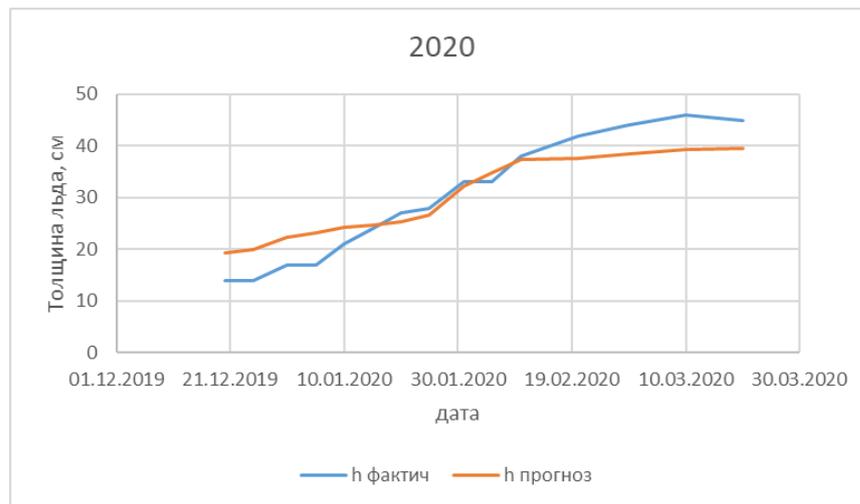


3) График связи на гидропосту с. Нижняя Тойма (2008 – 2018 гг.)

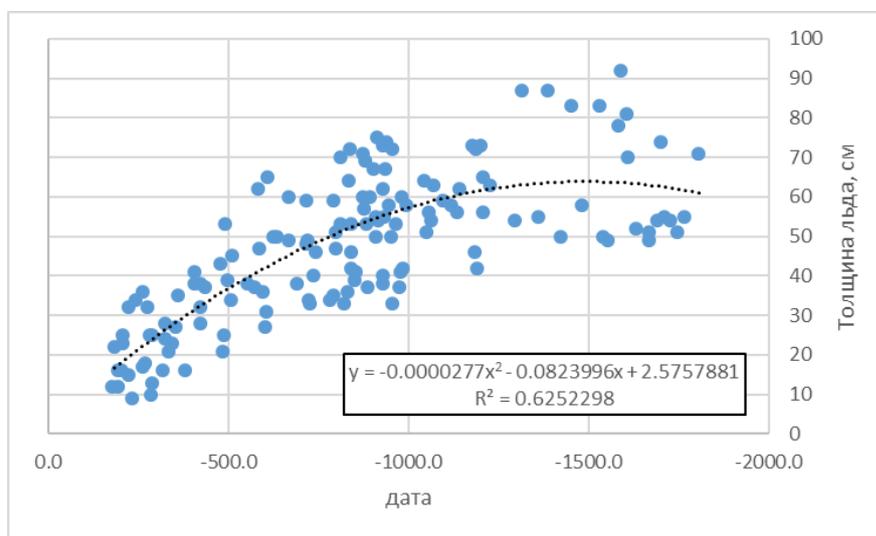


4) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту с. Нижняя Тойма (2019 – 2020 гг.)

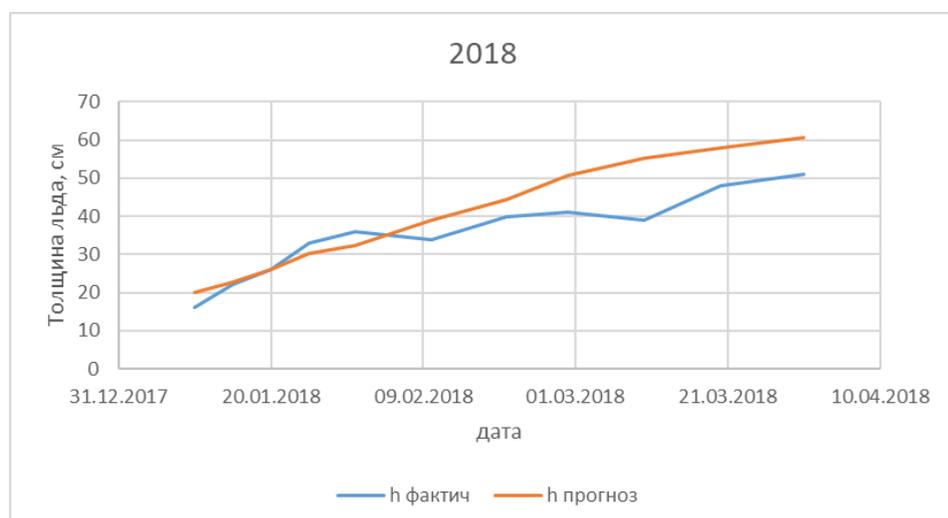


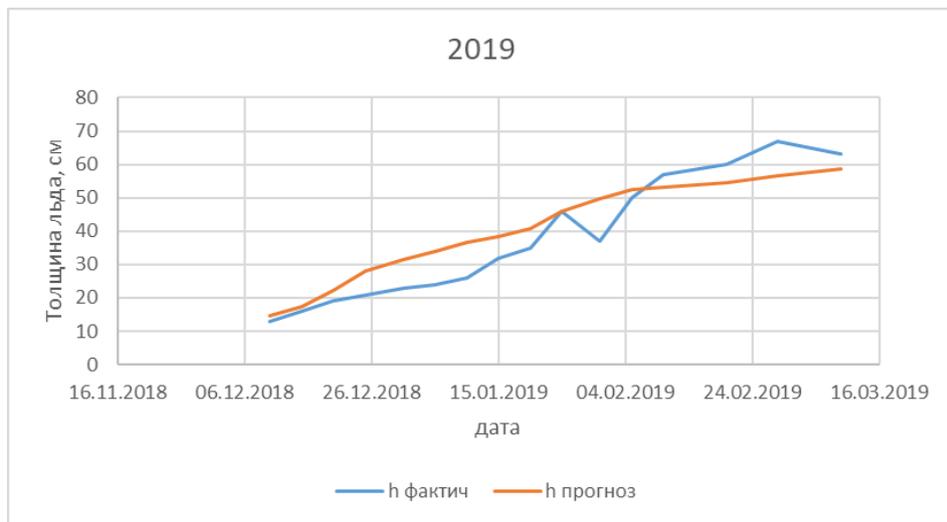


5) График связи на гидропосту д. Сидоровская (2008 – 2017 гг.)

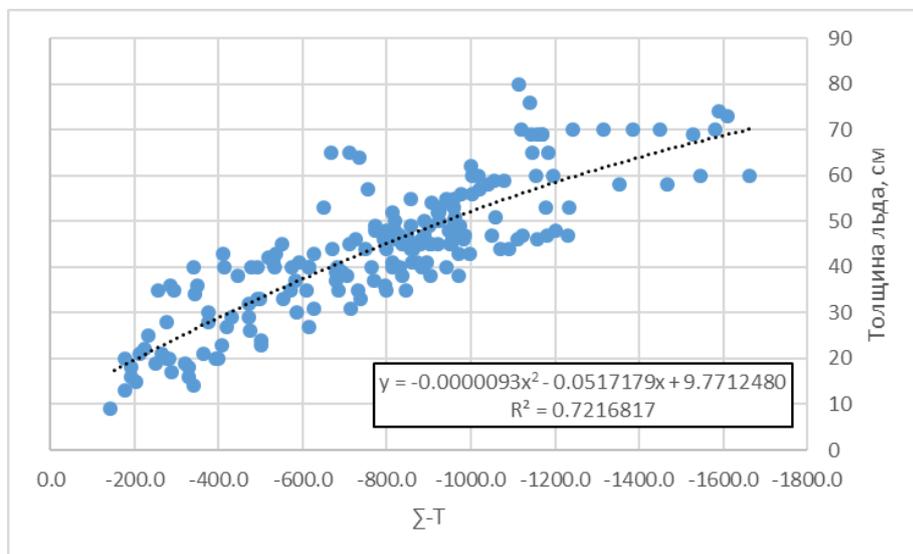


б) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту д. Сидоровская (2018 – 2019 гг.)

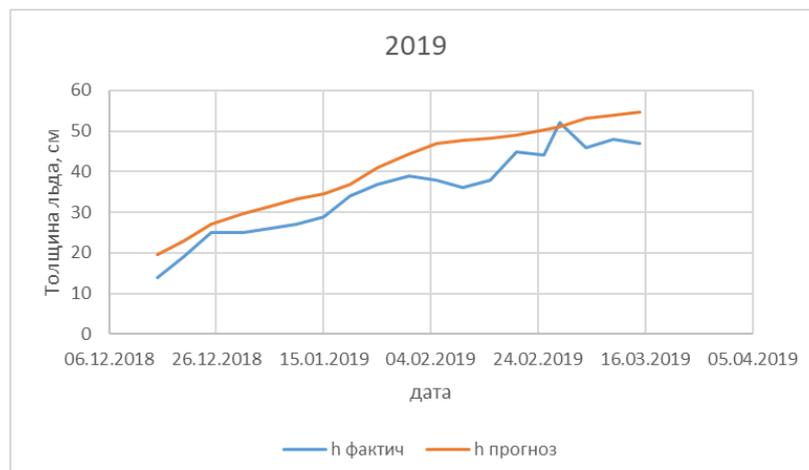


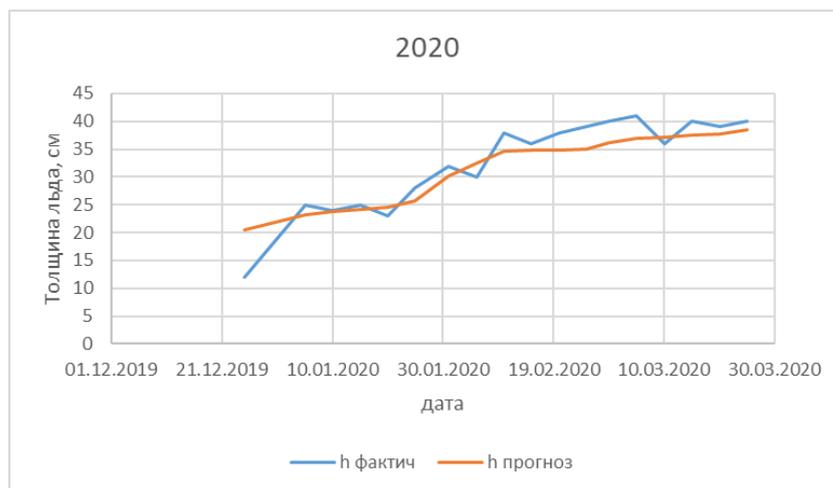


7) График связи на гидропосту р.п. Березник (2008 – 2018 гг.)

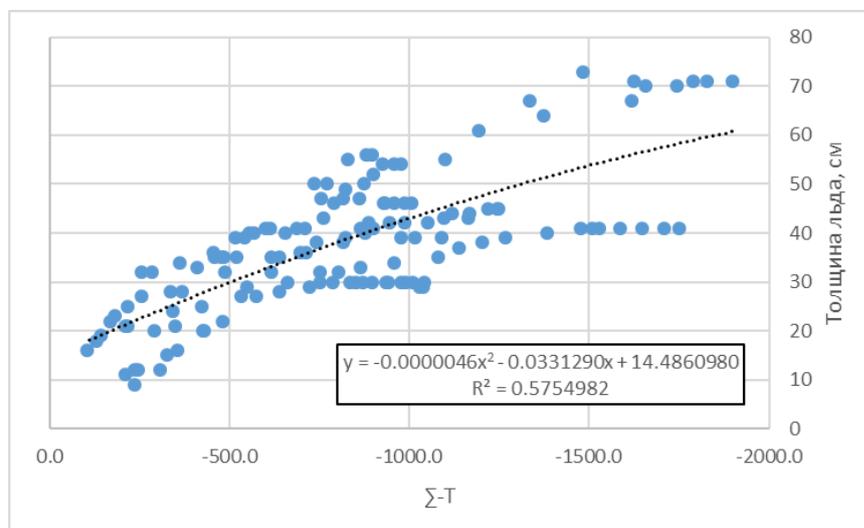


8) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту р.п. Березник (2019 – 2020 гг.)

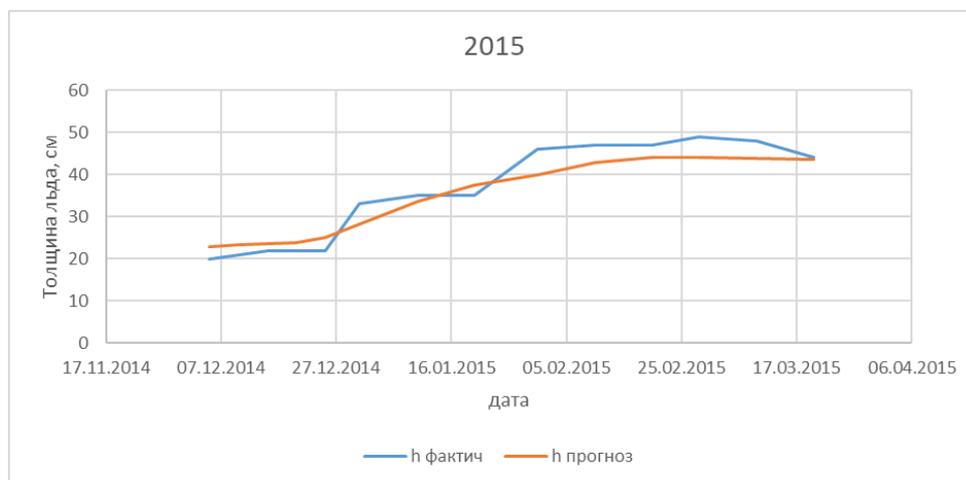


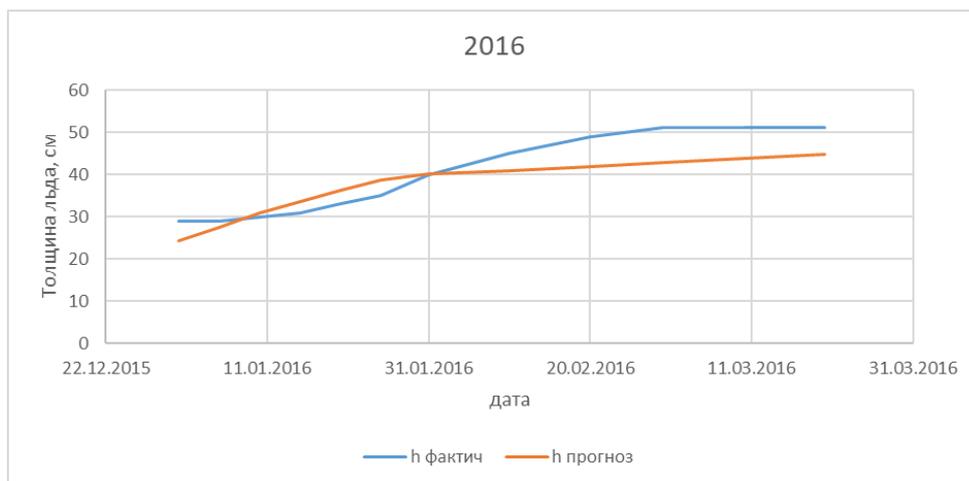


9) График связи на гидропосту д. Звоз (2008 – 2014 гг.)

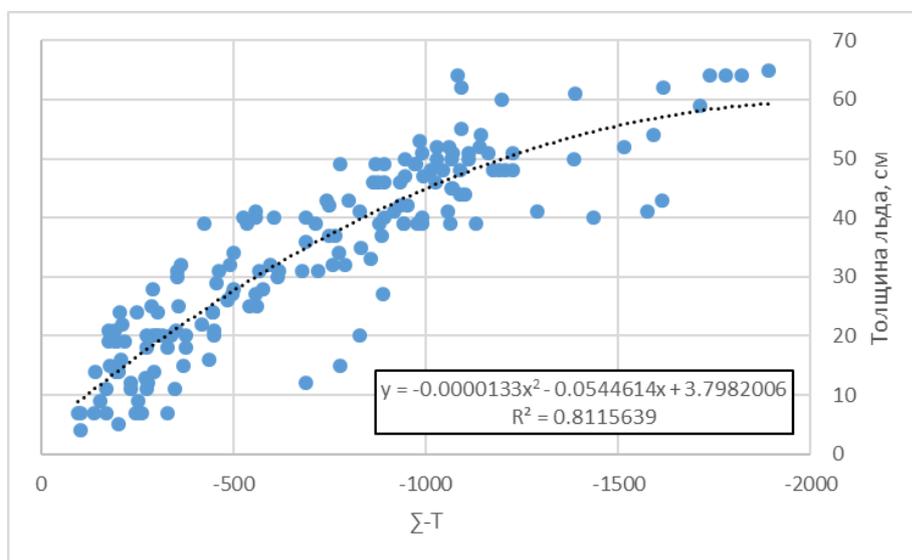


10) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту р.п. Березник (2015 – 2016 гг.)





11) График связи на гидропосту с. Усть-Пинега (2008 – 2018 гг.)



12) График сравнения фактических и прогнозных значений на гидропосту с. Усть-Пинега (2019 – 2020 гг.)

