

2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ HYDROLOGICAL REGIME AND EXTREME HYDROLOGICAL SITUATIONS IN THE ARCTIC

ЗАТОРНЫЕ НАВОДНЕНИЯ НА Р. СУХОНА В РАЙОНЕ г. ВЕЛИКИЙ УСТЬЮГ ICE JAM FLOODS AT THE SUKHONA RIVER NEAR VELIKY USTYUG

Агафонова С.А., Фролова Н.Л.
(*Agafonova S.A., Frolova N.L.*)

Заторы льда и наводнения на реках севера европейской части России – достаточно распространенное явление, приносящее большой ущерб населению и хозяйству. Рассмотрены условия прохождения весеннего ледохода и образования заторов льда на рр. Сухона и Малая Северная Двина в районе г. Великий Устюг. Проведен анализ наблюдаемых изменений природных и антропогенных условий заторообразования на данном участке. Дана характеристика катастрофического весеннего ледохода весной 2016 г.

Abstract

Ice jams are common on rivers in northern European Russia. They often cause floods and damages. Specific features of ice run and ice jam on the rivers Sukhona and Northern Dvina are analyzed. These features were observed due to expected climate change and economic activity. Characteristics are presented for the catastrophic ice jam at the Velikiy Ustyug in the spring of 2016.

Введение

Заторы льда – скопление льда в русле реки, стесняющее его и вызывающее резкий подъем уровня воды в месте скопления и выше по течению. Заторообразование характерно для начальной стадии вскрытия рек, когда энергия волны половодья еще невелика, лед не мятый, среди плавающего льда много крупных льдин, являющихся «лидерами» заторообразования. Нередко заторные уровни воды превышают максимальные уровни половодья. Заторные наводнения особо опасны тем, что происходят в холодное время года и сопровождаются выходом на берег льда, который разрушает расположенные в пределах зоны затопления сооружения. Хотя заторные наводнения и кратковременны (до 10 сут.), причиняемый ими ущерб, как прави-

ло, намного превышает ущерб от наводнений в период свободной ото льда реки [Бузин, 2004].

Заторы – важная особенность ледового режима рек, текущих с юга на север. Если процесс вскрытия распространяется от верхнего течения к нижнему, то заторы в период вскрытия формируются ежегодно, но не всегда ведут к значительному ущербу. Задерживая лед и давая тем самым возможность рассредоточиться ледовым массам ниже по течению, они в какой-то мере нормализуют ледоход. При большом количестве ледового материала в бассейне после суровой зимы заторы образуются в верховьях рек и при благоприятных погодных условиях задерживают процесс вскрытия, пока реки не освободятся ото льда на достаточном протяжении. При малом количестве льда остановка ледяных полей происходит значительно ниже по течению. Распределение мест образования заторов по длине реки зависит также от водности в период вскрытия. Мощная волна половодья проталкивает лед на большее расстояние, и заторы образуются ниже по течению, чем в годы с низкой водностью [Опасные ледовые..., 2015].

Участок рр. Сухона и Малая Северная Двина от г. Великий Устюг до г. Котлас является самым проблемным с точки зрения заторных наводнений в пределах европейской территории России (рис. 1).

Жителям г. Великий Устюг регулярно приходилось «расплачиваться» за выгодное географическое и экономическое расположение относительно основной транспортной артерии средних веков – реки. Город Великий Устюг был основан ростово-суздальскими князьями в середине XII в. на правом берегу р. Сухона примерно в районе современной д. Морозовицы и Троицко-Гледенского монастыря. Поселение просуществовало до 1438 г., но уже в XIII в. жители перебираются на левый берег р. Сухона, где возник современный город [Ильина и др., 1987].

По летописным сведениям и различным описаниям, за 377 лет (1500–1877 гг.) в районе г. Великий Устюг зафиксировано 14 «исключительных» затоплений, превышавших или достигавших 7-метровой отметки и среди них 2 (или три, так как отметку катастрофического наводнения 1517 г. невозможно определить), превышавших 10 м над меженным уровнем воды. Почти все они были связаны с заторами льда.

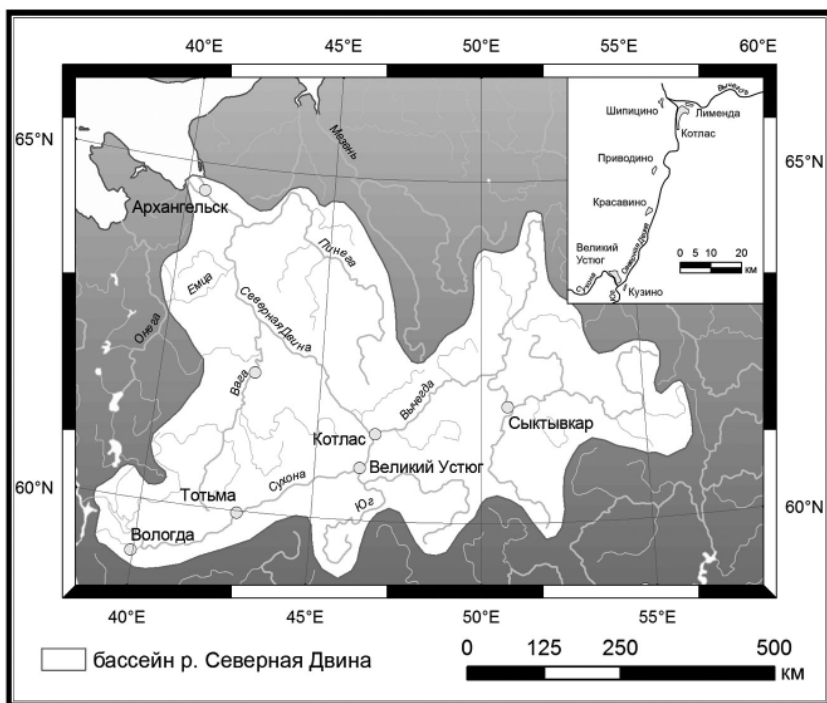


Рис. 1. Бассейн р. Северная Двина

По данным гидрологического поста (гп) Великий Устюг, с 1877 по 2016 гг. в узле слияния рек Сухона и Юг произошло 7 наводнений, превысивших 8-метровую отметку (1903, 1906, 1929, 1942, 1946, 1979, 1991 гг.) и 5 наводнений (1936, 1953, 1998, 2013 и 2016 гг.), превысивших 9 м над «нулем» поста. Они сопровождались значительными разрушениями, иногда – жертвами. Еще 10 раз максимальные уровни воды в половодье колебались между отметками 7 и 8 м. Таким образом, за 135 лет регулярных инструментальных наблюдений г. Великий Устюг подвергался наводнениям 22 раза. Максимальные уровни воды р. Сухона, установленные по косвенным данным, могут достигать 10,2–10,4 м над современным меженным уровнем (59,9–60,1 м БС). Между тем, только пятая часть нынешней городской территории не подвержена затоплению. Таким образом, при экстремальных половодьях под водой оказывается две трети площади города (рис. 2, см. вклейку).

Вопросами заторообразования на этом участке и возможности снижения негативного влияния высоких уровней воды в период весеннего ледохода начали заниматься в 60-х гг. XX в. На протяжении десятилетий проводились превентивные мероприятия по облегчению прохождения весеннего половодья, а при формировании крупных заторов применялись различные методы их разрушения. Во многом благодаря проводимым для нужд судоходства дноуглубительным работам во второй половине XX в. удалось несколько снизить повторяемость опасных заторов (рис. 2). Для участка р. Сухона в районе г. Великий Устюг существует большое количество публикаций, посвященных условиям образования заторов, разработке методик прогноза максимальных заторных уровней воды, рекомендациям по предотвращению и борьбе с заторами льда [Коновалов и др., 1962; Васильев, 2006; Агафонова и др., 2007; Бузин и др., 2010, 2014; Опасные..., 2015]. Несмотря на большой объем проведенных исследований и разработанных рекомендаций, ни один из проектов защиты г. Великий Устюг от заторных наводнений реализован не был. В современных меняющихся условиях, в том числе и климатических, проблема заторных наводнений в районе г. Великий Устюг актуальна как никогда.

Условия прохождения весеннего ледохода и образования заторов на реках Сухона и Малая Северная Двина

Исследуемый участок – нижнее течение р. Сухона от гп Каликино и р. Малая Северная Двина на всем протяжении до г. Котлас. Заторы, влияющие на максимальные уровни воды у города, обычно формируются на протяженном перекатном участке ниже узла слияния рек Сухона и Юг, в отдельные годы заторы образуются выше города на самой р. Сухона (рис. 1).

В пределах исследуемого участка появление льда в среднем за последний 30-летний период (1981–2010 гг.) наблюдается в конце октября – первых числах ноября. Осенний ледоход и шугоход часто прерывистый, средняя его продолжительность составляет 10–15 сут. В третьей декаде ноября устанавливается ледостав. Средняя продолжительность ледостава – 145 сут.

В последние годы наблюдается статистически значимое смещение сроков установления ледостава к более поздним (рис. 3, см. вклейку), чаще наблюдаются зимние вскрытия, при этом сроки по-

явления льда меняются мало. Это связано с низкими расходами воды в период начала ледовых явлений и неустойчивым температурным режимом в ноябре, а иногда и в зимние месяцы (возвращением положительных значений температуры), который обуславливает формирование снегодождевых паводков. В таких условиях наблюдается торошение льда, образуются заторы и зажоры, ледостав устанавливается при высоких уровнях воды. В настоящее время можно говорить о значительно возросшей значимости влияния зажорных явлений в предледоставный период на формирование ледовых заторов в период вскрытия рек и, соответственно, на максимальные уровни воды при прохождении весеннего ледохода.

Смещение сроков первой подвижки, начала ледохода и очищения для р. Малая Северная Двина составляет 1–3 сут. в сторону более ранних и эти изменения статистически не значимы. Важные тенденции изменения ледового режима в период прохождения весеннего ледохода в пределах исследуемого участка связаны с все чаще повторяющимися случаями экстремально раннего начала весенних процессов и с экстремально низкими расходами воды в период половодья. При экстремально раннем начале весенних процессов температура воздуха редко окончательно переходит через 0°C в сторону положительных значений. Возврат отрицательных температур воздуха приводит к росту прочности льда, стабилизации образовавшихся заторов, период очищения ото льда в такие годы растягивается. В годы с низкими расходами воды в весенний период сроки очищения могут сдвигаться к более поздним, сокращая и без того непродолжительный период навигации [Агафонова, 2009].

Весенний ледоход в пределах исследуемого участка начинается в среднем 20 апреля. Из-за субширотного расположения р. Сухона на всем протяжении вскрывается практически одновременно. Морфологические особенности – крутой поворот русла реки в районе г. Великий Устюг и протяженный перекатный участок р. Малая Северная Двина (перекаты Аристовские, Бобровниковские и Голодаевские) – способствуют практически ежегодному образованию заторов льда. Место образования затора зависит от соотношения расходов воды в период вскрытия и количества льда. Чем больше льда в бассейне и ниже расходы воды, тем выше по течению образуется затор. После суровой малоснежной зимы заторы образуются в нижнем

течении р. Сухона, выше г. Великий Устюг. В годы с высокими расходами воды – лед останавливается на перекатах р. Малая Северная Двина.

За период с 1881 по 2016 гг. повторяемость заторов в районе г. Великий Устюг составила около 70%. Из 50 заторов, наблюдавшихся с 1936 по 2016 гг. 16 имели заторный подъем уровня воды более 3 м (рис. 4, см. вклейку). За последние 30 лет максимальные заторные уровни воды на данном участке превысили отметку неблагоприятного явления (720 см над нулем поста) 7 раз: в 1991, 1992, 1998, 2005, 2010, 2013 и 2016 гг.

Общая величина повышения уровня воды зависит от местоположения и мощности затора и водоносности рек Сухона и Юг. Вклад заторной составляющей в опасное повышение уровней воды у г. Великий Устюг часто становится решающим, именно заторами обусловлены катастрофические повышения уровней воды до 9–10 м над меженными уровнями.

Как уже было отмечено, противозаторные мероприятия в районе г. Великий Устюг ежегодно проводились в середине XX в. и заключались в разрушении льда и дноуглубительных работах. В 90-х гг. XX в. противозаторные мероприятия были прекращены и возобновились только после катастрофического наводнения 1998 г. В последние годы ежегодно проводятся ледорезные работы по р. Малая Северная Двина от г. Великий Устюг до г. Котлас протяженностью 141,5 км, а также взрывные работы, объем которых меняется год от года в зависимости от наблюдаемых к началу весны ледовых условий [Отчет..., 2013, 2014, 2015].

Заторное наводнение 2016 г.

Прошедшее наводнение 15–20 апреля 2016 г. в г. Великий Устюг было неординарным — и по причинам, его вызвавшим, и по силе природной стихии, высоте подъема уровня воды в реке и масштабам затопления. Осенне-зимний период 2015–2016 гг. на территории европейского севера России характеризовался неустойчивой, с преобладанием теплой, погодой. Зимний сезон сопровождался рядом природных явлений, сочетание которых является редким в истории наблюдений: осенним вскрытием, снегодождевыми паводками и ледоходом в ноябре–декабре на р. Сухона и отдельных участках р. Северная Двина (рис. 5, см. вклейку).

Все это привело к образованию протяженных наторошенных участков и наличию большого количества шуги подо льдом на этих реках. Одной из особенностей зимнего ледохода в нижнем течении р. Сухона осенью 2015 г. было неоднократное образование заторов льда. 23 декабря 2015 года у г. Великий Устюг был зафиксирован самый высокий уровень воды для декабря за весь период наблюдений с 1881 по 2015 гг. – 674 см над нулем поста. Ледостав установился при высоких уровнях воды, которые сохранялись и на начало февраля и были сопоставимы со средними уровнями воды в период весеннего ледохода.

Опасность предстоящего весеннего ледохода была очевидна, Вологодским ЦГМС заблаговременно был выпущен прогноз максимальных заторных уровней воды, сопоставимых с историческими максимумами. Перед началом вскрытия в марте проводились, ставшие ежегодными, ледорезные и взрывные работы. Кроме того, в 2016 г. для задержки весеннего ледохода в 30 км вверх по р. Сухона от г. Великий Устюг путем забивки свайного ряда была построена льдоулавливающая плотина.

В первой декаде апреля (6–7 числа) уровни воды р. Сухона в среднем и нижнем течении начали расти. К 9–10 апреля лед потемнел, наблюдались закраины и 13 апреля начался весенний ледоход у гп Березовая Слободка. 14 апреля лед остановился у льдоулавливающей плотины в заторе, начался резкий рост уровней воды. Задержка льда дамбой была кратковременной и неполной. Начало ледохода в нижнем течении проходило на высоких уровнях воды и повсеместно сопровождалось навалами льда. Днем 14 апреля начался стремительный рост уровней воды у гп Каликино, к моменту остановки льда в заторе ниже п. Подсосенье они достигли отметки 1099 см над нулем поста, превысив исторический максимум 1953 г. За 6 часов уровни воды выросли на 4 м. Резкий рост уровней воды обеспечил прорыв затора к 11 утра 15 апреля. Волна прорыва затора привела к подвижкам и мощному ледоходу в районе г. Великий Устюг. Высокие уровни воды привели к выходу льда на набережную города, гидрологический пост сразу оказался завален льдом, и был расчищен уже после образования затора (рис. 6, см. вклейку).

Ледоход в городе был непродолжителен, к 19 часам 15 апреля лед уперся в осенний затор на р. Малая Северная Двина и остановился

в 40 км ниже города (рис. 7, см. вклейку). Вода пошла в обход заторных скоплений, затопив правый берег, в том числе д. Дымково. Этот сценарий во многом обеспечил устойчивость образовавшегося затора, который простоял 90 ч. Уровни за этот период практически не менялись (рис. 6).

С 14 апреля в Великоустюжском районе Вологодской области был введен режим ЧС. Проводились попытки разрушения затора взрывными работами, а также бомбометанием силами ВКВ, с помощью СУ-34. Обоснованность применения таких объемов взрывчатых веществ, а тем более бомбардировщика вызывает вопросы с экологической точки зрения. Но после применения авиации начались подвижки льда и ледоход. После разрушения затора уровни в районе города упали на 0,5 м за 1 час. После 20 апреля в г. Великий Устюг начались аварийно-восстановительные работы, воду с затопленных территорий удалось откачать только к 20-м числам мая.

Заключение

Участок рр. Сухона и Малая Северная Двина от г. Великий Устюг до г. Котлас является самым проблемным с точки зрения заторных наводнений в пределах европейской территории России. За период с 1881 по 2016 г. в 70 % случаев максимальный годовой уровень воды был обусловлен заторными явлениями. За эти 136 лет регулярных инструментальных наблюдений г. Великий Устюг подвергался наводнениям 22 раза. За последние 30 лет максимальные заторные уровни воды на данном участке превысили отметку неблагоприятного явления (720 см над нулем поста) 7 раз: в 1991, 1992, 1998, 2005, 2010, 2013 и 2016 гг. Повторяемость заторов льда, в том числе опасных, в районе г. Великий Устюг, несмотря на ежегодно проводимые противозаторные мероприятия, в последние годы не снижается.

В последние годы наблюдается статистически значимое смещение сроков установления ледостава к более поздним, чаще наблюдаются зимние вскрытия, для периода начала ледовых явлений характерен неустойчивый температурный режим, который часто приводит к формированию снегодождевых паводков. В таких условиях наблюдается торошение льда, образуются заторы и зажоры, ледостав устанавливается при высоких уровнях воды. Именно такая ситуация сло-

жилась осенью 2015 г., которая в итоге привела к одному из самых катастрофических наводнений за весь период наблюдений.

Проблема заторных наводнений для г. Великий Устюг актуальна как никогда. Ежегодно проводимые противозаторные мероприятия не приводят к сокращению повторяемости опасных заторов льда. Прошедшее наводнение 15–20 апреля 2016 г. в г. Великий Устюг было неординарным – и по причинам, его вызвавшим, и по силе природной стихии, высоте подъема уровня воды в реке и масштабам затопления. Затор простоял 90 часов, восстановительные работы были начаты после 20 апреля, а воду с затопленных территорий удалось откачать только к 20-м числам мая.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-37-00038).

Литература

- Агафонова С. А., Фролова Н. Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины // Водные ресурсы. 2007. №2. С. 141–149.
- Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Влияние ледового режима рек севера Европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. № 4. С. 55–61.
- Бужин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. 203 с.
- Бужин В.А. Факторы образования и прогноз заторов льда на реках севера европейской территории России // Метеорология и гидрология, 2010. № 4. С. 63–74.
- Бужин В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Палкина Д.А. Зависимости для прогнозов максимальных заторных уровней воды Сухоны, Юга и Малой Северной Двины и влияние на них климатических и антропогенных факторов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2014, № 36. С. 12–21.
- Васильев Л. Ю. Весеннее наводнение и противозаторные мероприятия в устьевой области Северной Двины // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 2. Наводнения и другие опасные гидрологические явления: оценка, прогноз и смягчение негативных последствий. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. С. 223–229.
- Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. 246 с.
- Ильина Л.Л., Грахов А.Н. Реки Севера – Л.: Гидрометеиздат, 1987. 127 с.
- Информация о ликвидации последствий паводка [Электронный ресурс] URL:http://okuvshinnikov.ru/onlajn_reportazhi/operativnaya_informaciya_po_pavodkovoj_obstanovke_v_nyuksenskom_rajone/ (дата обращения 30.05.2016).

- Коновалов И. М., Баланин В. В., Щербакова Р. И.* Затопы льда на рр. Сухоне и Северной Двине, мероприятия по предупреждению и борьба с ними // Труды ЛИВТа, Вып. XXX, 1962. С.46–55.
- Методические рекомендации по предотвращению образования ледовых затопов на реках Российской Федерации и борьбе с ними. М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2004, 234 с.
- Одрова Т. В.* Гидрофизика водоемов суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. 312 с.
- Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России. – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 348 с.
- Отчет о прохождении половодья и паводков по зоне деятельности Двинско-Печорского БВУ в 2013 году. – Архангельск, 2013. 98 с.
- Отчет о прохождении половодья по зоне деятельности Двинско-Печорского БВУ в 2014 г. Архангельск, 2014. 94 с.
- Отчет о прохождении половодья по зоне деятельности Двинско-Печорского БВУ в 2015 г. Архангельск, 2015. 101 с.

Иллюстрации к разделу
**ЗАТОРНЫЕ НАВОДНЕНИЯ НА Р. СУХОНА В РАЙОНЕ
 Г. ВЕЛИКИЙ УСТЬЮГ**

Агафонова С.А., Фролова Н.Л.

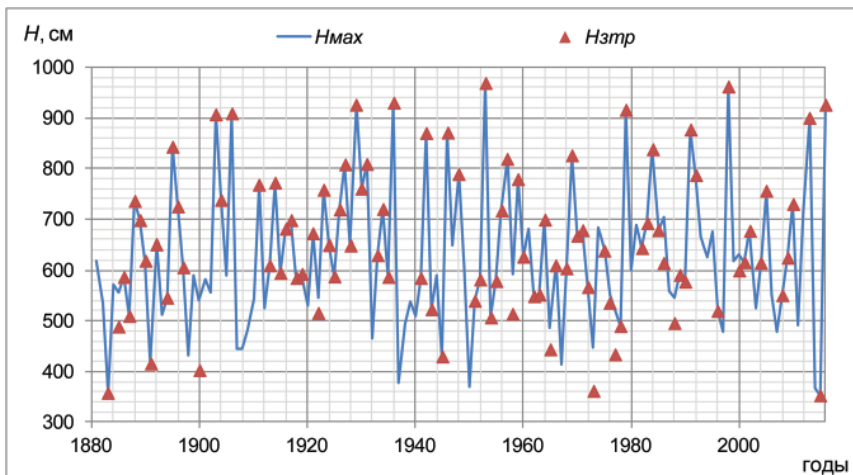


Рис. 2. Изменение максимальных годовых ($H_{\max}$) и максимальных заторных ($H_{\text{зпр}}$) уровней воды р. Сухона в районе г. Великий Устюг. Отметка нуля поста 49,34 м БС

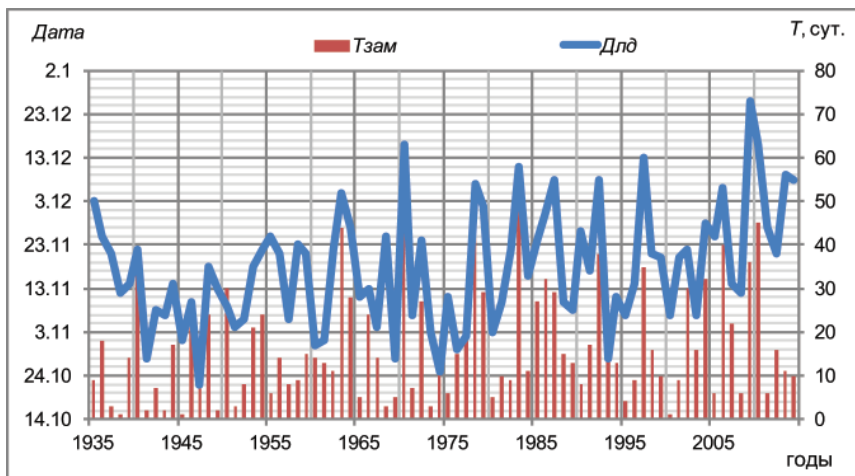


Рис. 3. Изменение даты начала ледостава ($D_{\text{лд}}$) и продолжительности периода замерзания ($T_{\text{зам}}$) р. Сухона в районе г. Великий Устюг

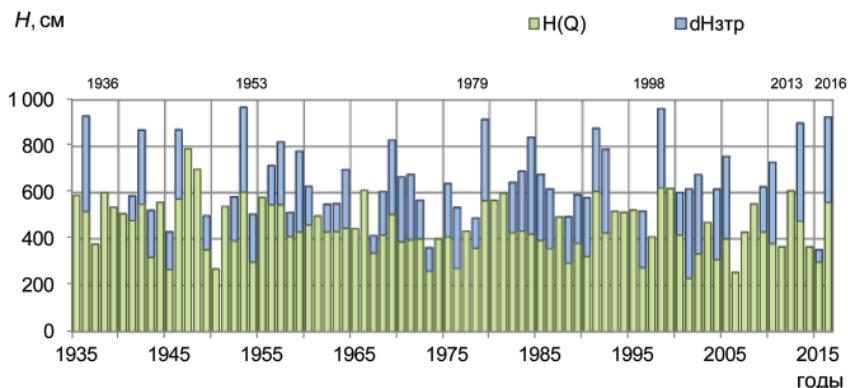


Рис. 4. Стоковая ($H(Q)$) и заторная ($dH_{зтр}$) составляющая максимального заторного уровня воды р. Сухона в районе г. Великий Устюг. Отметка нуля поста 49,34 м БС

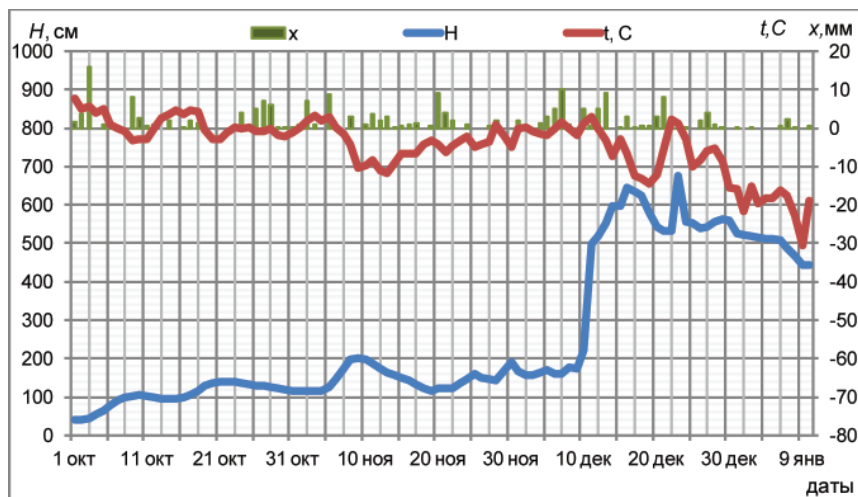


Рис. 5. График изменения температуры воздуха, осадков по м/с Великий Устюг и уровня воды р. Сухона в период осенне-зимнего периода 2015–2016 гг.

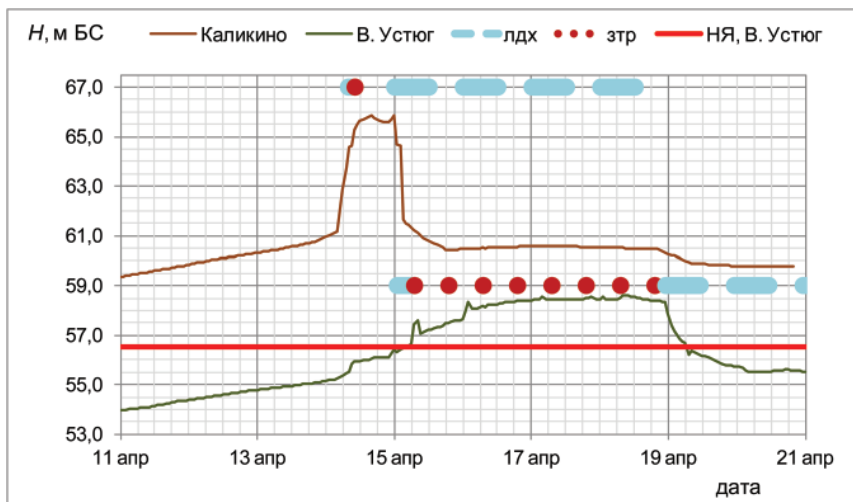


Рис. 6. Ход уровней воды и ледовой обстановки на р. Сухона, гп Каликино и гп Великий Устюг



Рис. 7. Затоп лѣда на р. Сухона у г. Великий Устюг в апреле 2016 г.