ИВП РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»

ИПЧР РАН

Российская Академия Наук

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАМСКОЕ БАССЕЙНОВОЕ ВОДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОСВОДРЕСУРСЫ

МИНЭКОЛОГИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

НИЖНИЙ НОВГОРОД
8-14 СЕНТЯБРЯ 2019 ГОДА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Всероссийская научная конференция
с международным участием

г. Нижний Новгород, 08-14 сентября 2019 г.

Сборник научных трудов

Москва, 2019

УДК 556.18
ББК 26.222я5
Н 34

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЗДОРОВЛЕНИЯ РОССИЙСКИХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.
– Сборник научных трудов.– Москва: Студия Ф1, 2019. – 572 с.
ISBN 978-5-6043268-8-6

В настоящий сборник вошли доклады, представленные на Всероссийскую научную конференцию с международным участием «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения» (г. Нижний Новгород, 08-14 сентября 2019 г.), организованную Научным советом РАН «Водные ресурсы суши», Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Российской академии наук, Федерального агентства водных ресурсов, Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области.

Редакционная группа:
к.г.н. О.П. Авандеева, д.б.н. Е.Н. Бакаева, Р.И. Бедная, д.г.н. А.П. Демин,
к.ф.-м.н. Ю.Е. Казаков, к.г.н. Калугин, к.г.н. Н.В. Кирпичникова,
к.г.н. М.А. Козлова, к.г.н. И.Н. Крыленко, к.г.н. М.В. Михайлова,
д.г.н. Н.М. Новикова, к.г.н. Е.П. Рец, к.т.н. М.И. Степанова, к.г.н. Т.Б. Фащевская

ISBN 978-5-6043268-8-6

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, 2019

© Авторы докладов, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 9

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ 11

Данилов-Данильян В.И. Национальный приоритетный проект «Оздоровление Волги»: первый шаг к нормализации экологического состояния бассейна великой реки.....12

Баринов А.Н. История четвертой ступени Волжского каскада и эксплуатация Чебоксарского водохранилища на непроектной отметке 17

Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Повалишникова Е.С., Семин В.Н. Комплексное исследование и картографирование современного водного режима рек Европейской территории России 21

Поздняков Ш.Р., Мартинсон К.Д. Исследование характеристик субмикронных частиц в реках для современного решения проблем их оздоровления 26

Матишов Г.Г., Клещенков А.В., Булышева Н.И, Кренева К.В., Семин В.Л., Глущенко Г.Ю. Современные проблемы развития природно-территориальных систем Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона 30

Беляев С.Д. Прохорова Н.Б. Проблемы целеполагания при государственном планировании водоохранных мероприятий в речных бассейнах 35

Кучмент Л.С. Влияние леса на годовой сток рек..... 40

Добровольский С.Г., Истомина М.Н., Лебедева И.П., Соломонова И.В. Основные регионы засух и наводнений мира: природные параметры, характеристики ущербов, особенности динамики, идентификация с помощью индекса SPEI 46

Веницианов Е.В. Правовые и экономические проблемы регулирования качества природных вод 52

Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Сидорова М.В., Ясинский С.В. Анализ антропогенного воздействия на водные ресурсы и эффективности их использования в России и мире 56

Гусев Е.М., Насонова О.Н., Ковалев Е.Э., Айзель Г.В. Расчеты стока и его естественной неопределенности для речных бассейнов, расположенных в различных регионах земного шара 62

Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Трофимчук М.М., Решетняк О.С., Мягкова К.Г., Власов К.Г. Среднемноголетние особенности формирования химического состава и качество вод бассейна Волги 68

Болгов М.В., Коробкина Е.А. Филиппова И.А. Учет климатических изменений стока на основе байесовского подхода 74

Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Разработка модели оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоем-водосбор 79

Секция 1: ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ 85

Агафонова С.А., Магрицкий Д.В., Романенко Ф.А., Банщикова Л.С. Наводнения на реках и побережьях Арктической зоны России 86

Васильева Е.С., Алексюк А.И., Беликов В.В. Численное моделирование развития проранов в плотинах, сложенных неоднородными грунтами 91

Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Лупаков С.Ю., Орляковский А.В., Тарбеева А.М., Шамов В.В., Шекман Е.А. Формы линейной организации склонового стока в среднегорье (на примере Сихотэ-Алиня) 97

Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Бородин О.О. Особенности многолетних изменений водности рек в бассейне Волги в XIX-XXI веках 102

НАВОДНЕНИЯ НА РЕКАХ И ПОБЕРЕЖЬЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Агафонова С.А.[1], Магрицкий Д.В.[1], Романенко Ф.А.[1], Банщикова Л.С.[2]
[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,
[2] Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург
sv_andreevna@mail.ru

В настоящее время интерес к Арктике очень большой. Причин несколько. Во-первых, это глобальное потепление и создаваемые им серьезные региональные изменения гидроклиматической обстановки, например, увеличение температуры воздуха и стока рек, деградация многолетнемерзлых пород, таяние арктических льдов и др. Во-вторых, новые перспективы в освоении природных ресурсов Арктики и уже реализуемые крупномасштабные проекты. В-третьих, изменения степени воздействия природопользования на арктические экосистемы или, наоборот, влияния меняющихся природных условий, опасных природных явлений на социально-хозяйственный комплекс. Задачей настоящего исследования было изучение ситуации с наводнениями на реках Арктической зоны России (АЗР), в их морских устьях и на морских побережьях. При выполнении работы использованы, главным образом авторские обширные базы гидрологических данных и сведений по наводнениям.

Общие сведения. Арктическая зона России включает материковую сушу и острова в российском секторе СЛО. Южная граница АЗР регулируется Президентским указом № 296 от 2 мая 2014 г. «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» с последними изменениями от 27 июня 2017 г. Климат территории характеризуется суровой продолжительной зимой и коротким прохладным летом; характерно распространение многолетней мерзлоты: островной на Кольском п-ове, преимущественно прерывистой от п-ова Канин до Урала, сплошной – в азиатской части. Основные реки АЗР – Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Пур, Таз, Енисей, Пясина, Нижняя Таймыра, Хатанга, Оленек, Лена, Яна, Индигирка и Колыма – относятся к водосборному бассейну Северного Ледовитого океана, Анадырь – Берингова моря Тихого океана.

Речные наводнения и их ледовые факторы. Весеннее половодье на северных реках отличает относительный быстрый и высокий подъем уровня воды: в среднем – на 3–8 м, максимальный – от 20–25 м в низовьях Енисея и Лены до 33 м на Нижней Тунгуске. Половодье охватывает в том числе летние месяцы – особенно с продвижением на восток и север и с увеличением размера реки. Помимо огромных расходов воды подъему уровня способствуют почти ежегодно образующиеся и повсеместно встречающиеся мощные заторы льда. Они образуются на участках с недостаточной ледопропускной способностью русла, и нередко заторные уровни превышают максимальные стоковые уровни половодья. Почти каждое половодье сопровождается затоплением речной поймы, речных дельт и при экстремальных условиях – населенных пунктов, производственных объектов и дорог. При этом глубина затопления может превышать 3,0–3,5 м на средних водотоках и достигать бóльших величин на главных реках. А интенсивный ледоход, навалы льда на берегах, воздействие ледяных масс на сооружения, опасные переформирования русла и берегов создают дополнительный ущерб.

На реках Кольского п-ова и Карелии заторы наблюдаются не каждый год и преимущественно в устьях рек. Подъем уровня воды при образовании заторов в большинстве случаев не превышает 0,5–1 м. Исключение составляет участок р. Варзуги у с. Варзуга, на котором заторные подъемы уровня воды достигают 3 м и более (например, в 1999 и 2013 гг.) и приводят к наводнениям. Для рек Беломоро-Кулойском плато и низовьев р. Онеги весенний ледоход проходит при относительно низком стоянии уровней воды, поэтому, как правило, без образования заторов.

Мощные заторы с затоплениями образуются в низовьях рр. Сев. Двина, Мезень и Печора, их притоков. Город Архангельск с пригородами давно и серьезно страдает от речных (стоково-заторных) наводнений. В период с 1900 по 2015 гг. наблюдалось 71 наводнение разной интенсивности [1]. На долю умеренно-опасных затоплений (с незначительным ущербом) пришлось 68% событий, опасных (уже с существенным ущербом, но без человеческих жертв) – 18%, особо опасных и катастрофических – 14%; установлены их сезонность и продолжительность. Стоковые и ледовые условия их возникновения иллюстрирует рис. 1. Но наиболее масштабные речные наводнения происходили в районе Архангельска в XVII–XIX вв. [2].

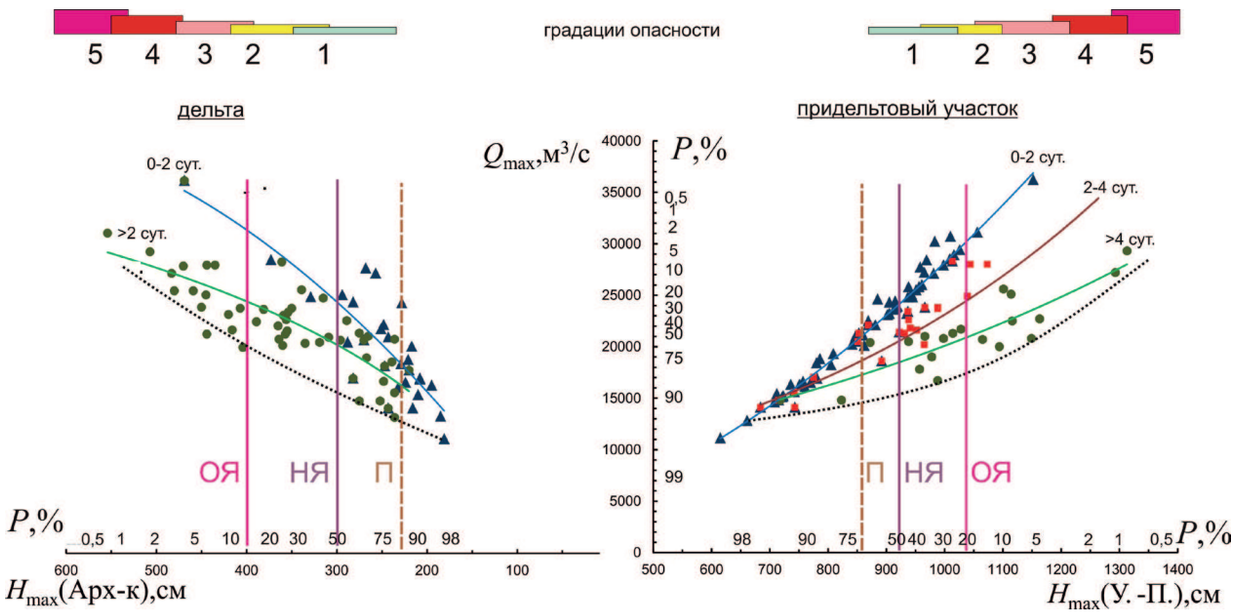

Рисунок 1. Зависимости между максимальными расходами на г/п Усть-Пинега и уровнями на постах Усть-Пинега (У.-П.) и Соломбала (Архангельск) при разной мощности заторов льда на нижних участках. П – отметка начала затопления поймы, НЯ и ОЯ – отметки неблагоприятного и опасного явлений (для правого графика НЯ и ОЯ указаны по отношению к с.Холмогоры); Р% – теоретические обеспеченности максимальных уровней и расходов воды; черным пунктиром – нижняя огибающая

Места и причины образования заторов льда в устье Северной Двины известны. С заторообразованием на этих примерно 20 участках борются с 1915 г. (активно с 1960-х гг.). Основные меры – радиационно-химическое, механическое, пиротехническое ослабление и разрушение ледяного покрова, самих заторов льда. Дополнительный эффект от «обогрева» речных вод теплыми стоками, сбрасываемыми предприятиями. Бомбометание, практиковавшиеся с 1922 г., прекращено с 1970 г. Борьба с заторами помогла остановить гибель людей, уменьшить частоту и длительность заторов льда, как следствие, повторяемость и магнитуду наводнений (после 1966 г. – на 25%; в дельте особо опасных и катастрофических наводнений уже нет). В настоящее время в г. Архангельске чаще всего затопляются низинные части районов Бакарица, Динамо, Соломбала, Левый берег, о-вов Краснофлотский, Хабарка, Кего, а также в ряде других территорий. Тем не менее, в 1995-2004 гг. прямой ущерб для Архангельской обл. и Архангельска составил ~6 млн долл., косвенный ~4,1–4,5 млн долл. [3]; ущерб в с.Холмогоры достиг в 2003 г. ~2,4 млн долл. К косвенному ущербу относят, в том числе, затраты на борьбу с заторами, которые в 2003 г. составляли ~135 тыс. долл.

В устье Печоры с 1912 по 2015 г. отмечено около 34 речных наводнений (3 особо опасных и 11 опасных) [4]. Повторяемость и интенсивность наводнений, а также максимальных уровней ($H_{макс}$) соответствуют ходу максимальных расходов воды ($Q_{макс}$) и опять же случаям и мощности заторов льда. Основной ущерб в устье Печоры возникает при

затоплении г. Нарьян-Мара. Масштабные наводнения здесь отмечались в 1912, 1952, 1998 (затопило 65–85% города), 2008 (25–30%) и 2014 гг. Между уровнями воды на посту Андег и площадью затопления в дельте существует тесная связь вида $F(км^2)=0{,}0036H^2+1{,}2H+661$; известны границы затопляемых территорий в Нарьян-Маре.

В сибирском секторе АЗР речные наводнения могут быть приурочены как к весенне-летнему половодью снегового происхождения, сопровождаемому заторами льда (это конец мая, июнь и начало июля), так и к летне-осенним паводкам на реках Яно-Индигирского района. Дополнительную и порой основную угрозу представляют размывы берегов (с постройками, скотомогильниками и кладбищами) и навалы льда, экологические (попадание токсичных и загрязняющих веществ, мусора в водные объекты) и коммуникационные последствия таких событий.

Реки Западной Сибири отличает продолжительный период подготовки ледяного покрова к вскрытию и, как следствие, непродолжительный ледоход и относительно невысокие заторные подъемы уровней воды (1–2 м). Из-за особенностей рельефа местности повторяемость выхода воды на пойму в период весеннего ледохода и образования заторов составляет 90–100%. На нижнем (арктическом) участке р. Оби масштабы затопления речными водами и ущербы значительно увеличиваются в экстремальные по водности половодья и во время заторов льда, которые здесь не достигают большой мощности. К приобским населенным пунктам, частично подверженным затоплению, относятся: пос. Аксарка, Горки, с. Мужи и г. Салехард. В пос. Салемал затопление происходит не каждый год – 46% случаев с 1978 по 1990 гг.; в пос. Аксарка, Яр-Сале и г. Салехард (совсем небольшая территория) – каждый год. Однако наблюдается снижение опасности затоплений за счет убывающего тренда в многолетних колебаниях максимальных уровней воды и продолжительности затопления поймы (рис. 2).

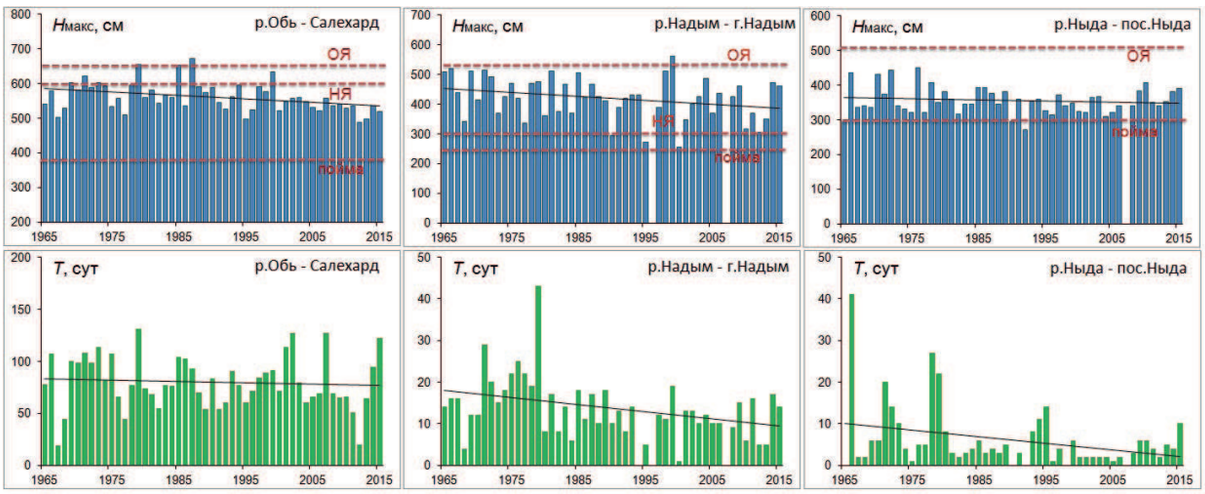

Рисунок 2. Многолетняя динамика максимальных уровней воды и их превышения над критическими отметками (левый ряд) и продолжительности затопления речной поймы (правый ряд) в период с 1965 по 2015 гг.

На других реках Обского Севера подвержен затоплениям, в первую очередь, г. Надым (за 1965–2015 гг. случаев превышения максимальным уровнем отметок неблагоприятного (НЯ) и опасного (ОЯ) явлений соответственно 46 и 2, средней продолжительностью 10 и 1–2 сут.), в незначительной степени – пгт. Уренгой (3 случая с $H_{макс}$>ОЯ), г. Тарко-Сале и с. Тазовский (по однму событию). Есть и другие населенные пункты, где отмечено затопление освоенной территории (рис. 3). Причем обнаружена относительная стабильность основных характеристик затоплений, и даже некоторое снижение опасности (см. рис. 2). Последнее наводнение в период весеннего ледохода произошло весной

2014 г. – в пгт. Уренгой на р. Пур: 31 мая 2014 г. уровень воды поднялся выше критической отметки, были частично затоплены 29 жилых домов и 5 производственных зданий, около тысячи человек были эвакуированы.

Реки Средней и Восточной Сибири характеризуются значительными заторными подъемами (до 5 м и более) и глубиной затопления поймы при весеннем ледоходе и образовании заторов. На арктическом участке р. Енисей опасно подвержены наводнениям города Дудинка и Игарка, р. Лены – ее дельта. Глубина затопления поймы в районе г. Дудинка при формировании мощных заторов достигает 6 м, в районе г. Игарка – 4 м. Последнее превышение критических отметок уровня вод при заторах для г. Дудинка наблюдалось в 1999 г.

Дельта р. Лены практически не заселена: здесь расположено 4 поселения, небольших по размеру и защищенных от затопления своим высотным положением, проживает ~0,5 тыс. чел. Тем не менее, при $Q_{макс}$ обеспеченности <7,5–15% и на подъеме половодья пос. Тит-Ары может почти полностью покрываться водой и частично заваливается льдом [5]. Особенно значительным было затопление поселка в 1958 г. В привершинной части дельты Лены, между Быковской и Трофимовской протоками, зависимость площади затопления от уровня на посту Хабарово описывается уравнением: $F(км^2)=0,71H+70$.

Рисунок 3. Опасность речных наводнений в российской Арктике и населенные пункты, подверженные затоплениям речными водами и размыву берегов

Сильно страдают от наводнений населенные пункты и дороги северо-восточных улусов Якутии. Последнее масштабное наводнение было в 2018 г. Ситуацию осложняет деградация вечной мерзлоты и, как следствие, ослабление и опускание суши под населенными пунктами, изменение гидрографической сети на равнинах и приморских низменностях (пример – с. Андрюшкино на р. Алазея). Опасны заторы и на р. Колыма. Для г. Среднеколымск критические отметки за последние 20 лет были превышены в 1999, 2012, 2013 и 2018 гг.

Всего ~80 арктических населенных пунктов подвержены затоплениям и требуют

защиты (рис. 3). Ежегодные разливы речных вод не приводят к ущербам на мало освоенных или совсем неосвоенных территориях. Таких территорий в Российской Арктике все же исключительное большинство.

Нагонные наводнения. Штормовые нагоны случаются обычно осенью, в устьях рек и на морских побережьях, но нагонные колебания уровня распространяются по реке далеко от моря (рис. 4). Мировой рекорд принадлежит Енисею – 870 км [6]. Величина нагонов редко превышает 3 м, тогда как максимальная величина сизигийных приливов может быть в 1,5–3 раза больше. Самая большая (8–9 м) – в устье реки Мезень. Нагонные наводнения кратковременны, территориально локализованы, но не менее опасны, особенно на приливных побережьях и с учетом сопровождающих нагоны штормового волнения и ветров, сильных течений, переформирования дна в судоходных каналах, проникновения морских вод к водозаборным сооружениям.

Рисунок 4. Установленные катастрофические штормовые нагоны на арктическом побережье России (с указанием места и года с событием)

В устье Сев. Двины морские воды во время штормовых нагонов заливают низменные приморские части островов дельты, а подпертые речные воды – низменные прибрежные участки вдоль дельтовых рукавов. С 1900 г. по 2015 г. здесь отмечено около 83-х штормовых нагонов (80% из них умеренно опасные), приведших к тем или иным ущербам. Особо опасные и катастрофические нагоны были в 1910, 1922, 1957, 1962, 1965, 1985 и 2011 гг. Последний крупный нагон 14–16 ноября 2011 г. имел 1% обеспеченность, длился 1,5 сут, затопил до 50 км суши максимальной глубиной 1–1,5 м и нанес ущерб городам Северодвинску и Архангельску в 1,5–2 млн долл. [4]. В 78% случаев умеренно опасные ($Нс,_{макс}$>220 см) и опасные ($Нс,_{макс}$≥250 см) нагонные повышения уровня воды наблюдались в устье осенью, 20% – в декабре–январе. Шесть из семи особо опасных ($Нс,_{макс}$≥275 см) и катастрофических ($Нс,_{макс}$≥300 см) нагонов происходили в октябре–ноябре. В течение года может быть несколько штормовых нагонов, причем иногда следующих один за другим. В устье Печоры приливные и сгонно-нагонные явления оказывают влияние на многие устьевые гидрологические процессы, но в качестве опасных явлений не фиксируются.

Ситуация с опасными нагонами в Арктике, как и на других побережьях (см. рис. 5б), ухудшается. Здесь это происходит благодаря росту уровня и уменьшению ледовитости арктических морей, усилению синоптической неустойчивости, отсутствию эффективных мер защиты. Так, максимальные нагонные уровни в устье Сев. Двины неуклонно повышаются со скоростью 2,2 см/10 лет на посту Соломбала (1901–2013 гг.) и 2,3 см/10 лет на посту Мудьюг [1]; скорость сокращения площади зимнего ледяного покрова и продолжительности с ним для Белого моря составило в 1982–2011 гг. $\Delta F_{ЛЕД}$= –209 км^2/год и $\Delta T_{ЛЕД}$= –2,2 сут./год [7].

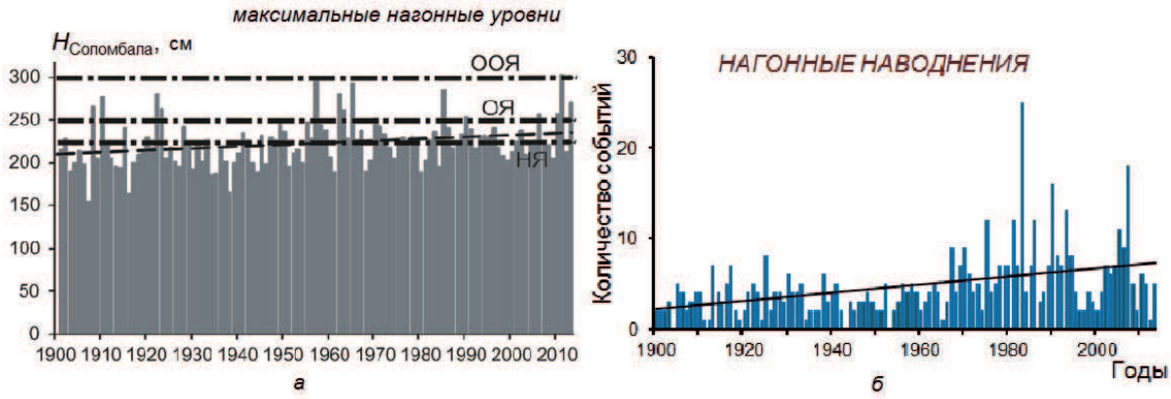

Рисунок 5. Многолетняя динамика максимальных нагонных уровней на посту Соломбала (дельта Сев. Двины) – (а) и общего числа опасных нагонных затоплений в устьях основных рек Европейской части России в период с 1900 по 2015 гг. – (б)

Работы выполнены по грантам РНФ №14-37-00038 (штормовые нагоны) и РФФИ №18-05-60021 (речные наводнения).

Литература

1. Магрицкий Д.В., Скрипник Е.Н. Опасные гидрологические в устье Северной Двины и факторы их многолетней изменчивости // Вестник МГУ. Сер. 5. 2016. №6. С.59–70.
2. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л., 1954. 135 с.
3. Васильев Л.Ю. Весеннее наводнение и противозаторные мероприятия в устьевой области Северной Двины // Доклады VI Всероссийского гидрол. съезда. М., 2006. С. 223–229.
4. Magritsky D., Lebedeva S. & Skripnik E. Hydrological hazards at mouths of the Northern Dvina and the Pechora rivers, Russian Federation // Nat Hazards. 2016. Vol. 3. Pp.1–22.
5. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Айбулатов Д.Н. Особенности и оценки пространственно временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. Т. 2. М.: Лига-Вент 2016. С.65–95.
6. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС. 1997. 413 с.
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. М., 2014. 1017 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОРАНОВ В ПЛОТИНАХ, СЛОЖЕННЫХ НЕОДНОРОДНЫМИ ГРУНТАМИ

Васильева Е.С., Алексюк А.И., Беликов В.В.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
vasilevaes@yandex.ru

Введение. Существует множество методик по моделированию развития проранов в грунтовых плотинах. Некоторые из них применимы только к плотинам из однородного несвязного грунта. В работе проводилось сравнение результатов моделирования, выполненных по трем методикам: