

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., Повалишников 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. Среднегодовое формирование 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

Гладских Д.С., Сергеев Д.А., Байдаков Г.А., Соустова И.А., Троицкая Ю.И., Иванов А.В., Мортиков Е.В., Степаненко В.М. Моделирование термогидродинамики внутренних водоемов с использованием данных натуральных измерений	106
Глотко А.В., Гайдукевич С.В., Норин С.В., Каргаполова И.Н. Анализ тенденций деформаций ложа водохранилища в зонах технических коридоров подводных переходов магистральных газопроводов с использованием численного моделирования	108
Дебольский В.К., Грицук И.И., Ионов Д.Н., Масликова О.Я. Современные проблемы состояния рек криолитозоны	114
Демидов В.Н. Ассимиляция данных измерений расходов воды ансамблевым фильтром Калмана на примере реки Дон	119
Добровольский С.Г., Лебедева И.П., Истомина М.Н., Соломонова И.В. Параметры водохранилищ и изменений стока регулируемых ими рек: анализ объединенной глобальной базы данных	124
Жуликов Г.А., Алексюк А.И., Беликов В.В. Численное моделирование речных течений в приближении многослойной мелкой воды	131
Зайцева А.В., Харламов М.А. Оценка стока неизученных рек восточной части Южного берега Республики Крым	135
Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Пиманов И.Ю., Пономаренко М.Р. Опыт разработки и тестирования информационных технологий автоматизации комплексного моделирования речных наводнений	140
Зырянов В.Н., Егорова В.М. Вихри в стратифицированной вращающейся жидкости со сложным рельефом дна	144
Зырянов В.Н., Чебанова М.К. Нелинейная задача Стефана о росте льда в пресноводном водоеме	150
Калугин А.С. Единая гидрологическая модель Волжского бассейна	155
Киреева М.Б., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. Изучение современного водного режима рек Европейской территории России с помощью автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа GrWat	160
Китаев Л.М., Аблеева В.А., Коробов Е.Д., Желтухин А.С. Многолетние тенденции и межгодовые колебания характеристик снежного покрова, климата и температуры почвы Восточно-Европейской равнины	166
Кораблёва О.В., Чернов А.В. Современная динамика пойменно-русловых комплексов средней реки Керженец (по мониторинговым наблюдениям 2001-2018 гг.)	172
Крыленко И.Н., Сурков В.В., Беликов В.В., Корнилова Е.Д., Сазонов А.А. Оценка продолжительности затопления пойм на основе методов гидродинамического моделирования и ландшафтной индикации	177
Кузнецова А.М., Байдаков Г.А., Кандауров А.А., Вдовин М.И., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. Натурные измерения и численное моделирование ветро-волнового взаимодействия на внутренних водоемах средних размеров	181
Лапина Л.Э. Параметризация коэффициента эффективной теплопроводности почвы при периодических колебаниях температуры воздуха	187
Махинов А.Н. Негативные тенденции в развитии русловых процессов рек бассейна Амура и их последствия	189
Миллионщикова Т.Д. Моделирование наблюдаемых изменений речного стока в бассейне р. Селенги и их сценариев в XXI веке	195
Миннегалиев А.О. Пространственно-временная изменчивость параметров снеготаяния в пределах бассейна р. Белой	201
Миньковская Р.Я., Иванов В.А. Проблемы природопользования в устьях рек Севастопольского региона и пути их решения	204

Михайлова М.В. Особенности современного гидрологического режима дельт важнейших рек России	209
Мольков А.А., Капустин И.А., Ермаков С.А., Сергиевская И.А., Шомина О.В., Лазарева Т.Н., Даниличева О.А., Лещев Г.В. Гидрофизическая лаборатория ИПФ РАН “Геофизик” как эффективный инструмент лимнологического мониторинга	214
Музылев Е.Л., Старцева З.П., Волкова Е.В., Василенко Е.В. Моделирование водного режима территорий с разной степенью увлажнения при использовании спутниковых данных нескольких спектральных диапазонов	218
Назаренко О.В. Частичное изменение сезонного речного стока бассейна Нижнего Дона	227
Насонова О.Н., Гусев Е.М., Ковалев Е.Э., Айзель Г.В. Влияние возможного изменения климата в XXI веке на сток крупных рек: прогностические оценки и их неопределенности, обусловленные моделями общей циркуляции атмосферы и климатическими сценариями	230
Остякова А.В. Волновое воздействие на береговой склон	235
Попова В.В. Эволюция структуры многолетней изменчивости стока Волги и ее связь с крупномасштабной атмосферной циркуляцией	240
Рец Е.П., Дурманов И.Н., Киреева М.Б. Современные характеристики режима паводкового стока рек Северного Кавказа	248
Румянцев А.Б., Васильева Е.С., Беликов В.В. Интегральный подход к оценке и минимизации рисков затопления селитебных территорий	253
Сазонов А.А., Крыленко И.Н., Завьялова Е.В., Семенова Н.К., Чурюлин Е.В. Катастрофические наводнения на севере Европейской части России: анализ, моделирование и прогноз	259
Соколовский М.А., Кошель К.В., Reinaud J.N. Взаимодействие двухслойных вихрей в стратифицированной жидкости	263
Федорова Т.А., Борисова Н.М., Беликов В.В. Моделирование деформаций речных излучин	270
Фролов Д.М. Расчетная схема толщины намерзания льда и вероятности заторов на основе данных об особенностях снегопадов, накопления снежной толщи и изменения температуры воздуха	275
Секция 2: ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ, ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ	279
Арсланова М.М., Шорникова Е.А. Сезонная динамика и пространственное распределение показателей химического состава воды малых рек Сургутского и Октябрьского районов	280
Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А., Запорожцева А.Ю. Изменение экотоксичности компонентов экосистемы р. Темерник (г. Ростов-на-Дону) в связи с реализацией программы по оздоровлению бассейна реки	286
Бердников С.В., Сорокина В.В., Клещенков А.В., Кулыгин В.В. Система «Цимлянское водохранилище – Нижний Дон» в условиях изменения климата: гидролого-гидрохимические аспекты	291
Бреховских В.Ф., Волкова З.В. Особенности продукционных процессов волжских водохранилищ в зависимости от комплекса различных факторов	295
Бубер А.А., Талызов А.А. Исследование бассейна р. Малый Караман с целью определения поступления загрязнений с сельскохозяйственных земель	300
Бубер А.Л., Исаева С.Д., Добрачев Ю.П. Анализ формирования диффузного загрязнения в бассейне р. Волги, поступающего с мелиорированных земель сельскохозяйственного назначения	304

Бучик С.В., Дмитриева В.А. Гидроэкологические последствия сезонных изменений водности рек в бассейне Верхнего Дона	309
Вавилин В.А., Локшина Л. Я., Рытов С.В. Использование кинетического изотопного эффекта для оценки значения последовательных и параллельных стадий в анаэробных процессах: общее правило и некоторые исключения	313
Гильденков М.Ю. Доказательство деградации естественных водных экосистем как условие возмещения вреда, причиненного окружающей среде	319
Готовцев А.В., Ларина Е.Г. Компьютерное моделирование мощностей источников загрязнения бассейна реки Москвы	322
Гречушников М.Г., Ломова Д.В., Ломов В.А., Кременецкая Е.Р., Ефимова Л.Е., Репина И.А. Эмиссия метана на границах «вода-донные отложения» и «вода-атмосфера» в слабопроточном долинном водохранилище	327
Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Современное состояние, источники загрязнения и возможные пути реабилитации Ивановского водохранилища и его притоков	332
Даниленко А.О., Георгиади А.Г. Неоднородность химического состава воды по поперечному сечению р. Северная Двина на замыкающем створе и её влияние на оценку ионного стока	337
Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Увеличение минерализации воды арктических участков рек Западной Сибири в контексте глобальных изменений климата	342
Даценко Ю.С. Формирование стока органического вещества в реках водосбора Ивановского водохранилища	347
Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Шапоренко С.И. Климатические и антропогенные изменения диффузного выноса азота и фосфора в Чебоксарское водохранилище с боковым притоком (на примере рек Линды и Кудьмы)	351
Домнин Д.А. Оценка биогенной нагрузки валовым азотом и фосфором в бассейне реки Западная Двина с использованием математических моделей	356
Зиновьев А.Т., Папина Т.С., Кудишин А.В., Ловцкая О.В., Дьяченко А.В., Марусин К.В., Носкова Т.В. Экспериментальные исследования и моделирование качества воды для оценки влияния диффузного стока с урбанизированных территорий	359
Зубков Е.А., Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н. Оценка ионного стока подземных вод четвертичного комплекса бассейна Таганрогского залива	365
Иванов Д.В. Региональные нормативы качества донных отложений водных объектов...369	369
Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Сидорова М.В., Нарыков А.Н., Черногубов К.А. Антропогенная нагрузка на водосбор и её учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища)	374
Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д. Оценка диффузного загрязнения биогенными веществами с сельскохозяйственных угодий в бассейне реки Яхромы (Московская область)	379
Кирпичникова Н.В. Методические подходы к оценке и ранжированию источников загрязнения на основе многолетних информационных баз данных	385
Кирпичникова Н.В., Полянин В.О. Особенности организации мониторинга источников диффузного загрязнения природных вод	389
Козлова М.А. Использование информационных технологий для оценки токсичности органических ксенобиотиков и прогноза их возможных метаболитов	395
Кузьмина Ж.В., Черноруцкий С.В. Оценка климатического и гидротехнического воздействия на наземные экосистемы в бассейне Верхней Волги	400

Курбатова И.Е. Использование спутниковой информации для оценки экологического состояния водосборов ряда рек средней полосы России и разработки рекомендаций по их реабилитации	405
Лепихин А.П., Веницианов Е.В. К проблеме статистики гидрохимических показателей качества воды	411
Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Гречушникова М.Г., Ефимова Л.Е. О выходе минерального фосфора из донных отложений в водохранилищах долинного типа	416
Мустафина Л.К., Шурмина Н.В. Богданова О.А., Абдуллина Ф.М., Иванов Д.В. Оценка биогенного и органического загрязнения реки Казанки	420
Немировская И.А. Загрязнение устьевых областей арктических рек нефтью	423
Никаноров А.М., Бакаева Е.Н., Хоружая Т.А., Сухоруков Б.Л. Развитие методов натурального моделирования загрязнения для изучения состояния водных экосистем малых рек Нижнего Дона	429
Разумовский Л.В., Авандеева О.П., Разумовский В.Л. Комплексный мониторинг Иванковского и Рыбинского водохранилищ с применением инновационных методов биоиндикации	434
Рогожникова Е.В. Оценка качества воды малых рек – притоков р. Вятки в ее нижнем течении по состоянию сообществ зообентоса	438
Селезнева А.В., Беспалова К.В., Селезнев В.А. Технология определения антропогенной нагрузки на реки от точечных и диффузных источников загрязнения	444
Сорокина В.В., Бердников С.В., Соьер В.Г. Сезонная динамика растворенного и взвешенного органического углерода в водах Нижнего Дона и Таганрогского залива в 2006-2018 гг.	449
Сучкова К.В. Моделирование и гидрохимическая идентификация составляющих речного стока	453
Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г. Моделирование содержания металлов и качества воды водотоков бассейна Нижнекамского водохранилища на основе модели ЕСОМАГ-НМ	458
Хорошевская В.О., Предеина Л.М. Приоритетные биометаллы водосборных территорий и их влияние на первичную продукцию Нижнего Дона, установленное в результате экспериментов на природной воде	467
Цхай А.А., Кириллов В.В., Агейков В.Ю. Модельная оценка отклика экосистемы водохранилища на изменения в режиме его эксплуатации	472
Чернов А.В., Губарева Е.К. Оценка геоэкологического состояния пограничных рек бассейна Верхнего и Среднего Амура	478
Шмакова М.В. Особенности пространственного распределения максимальной мутности воды в акватории водоемов	482
Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н. Влияние параметров водосбора на характеристики редукации и выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища)	487
Секция 3: УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ, ОХРАНА ВОД	492
Горбатенко Л.В. Оценка водопользования как фактора загрязняющего воздействия на поверхностные воды и их качество на территории Приморского края	493
Данилов-Данильян В.И. Экология, гидрология, цифровизация, цифровые двойники и азбучные истины методологии моделирования	497
Демин А.П. Реализация водохозяйственных программ в субъектах федерации бассейна реки Дон	502

Домнина А.Ю., Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Использование морского пространственного планирования для рационального природопользования акваторий внутренних морских вод Калининградской области и прилегающей прибрежной территории	507
Дунаев А.С. Ярославская область: проблемы устойчивого водопользования и пути их решения на основе общественного участия	510
Кузенбаев К.М. Использование водных ресурсов водохранилищ верхнего течения реки Сырдарьи	515
Левит-Гуревич Л.К., Кузенбаев К.М. Принципы распределения водных ресурсов по участкам водопользования бассейна реки на примере верхней части Сырдарьи ...	520
Мохов А.В. Управление потоками шахтных вод как один из путей оздоровления рек Восточного Донбасса	524
Неров И.О. Участие водопользователей в решении проблем комплексного использования и охраны водных объектов	528
Никонорова И.В., Петров Н.Ф. Проблемы освоения береговой зоны Чебоксарского водохранилища	533
Сивохип Ж.Т. Водные ресурсы российско-казахстанского трансграничного региона и их использование в современных гидроклиматических условиях	539
Строков А.А. Определение допустимой антропогенной нагрузки на бассейн реки Онеги	544
Тетельмин В.В. Сильные воздействия крупных водохранилищ на окружающую среду, не учитываемые при проектировании и эксплуатации гидроузлов	550
Чеснокова И.В., Лихачева Э.А., Петрова Е.П. Урбанизация и водные ресурсы	554
Шапоренко С.И. Водохозяйственная нагрузка на водосборы северных рек России и её влияние на качество вод в устьях	559
Шаталова К.Ю. Проблемы совместного использования трансграничной реки Северский Донец	565

— ПРЕДИСЛОВИЕ —

Всероссийская научная конференция с международным участием «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения» посвящена рассмотрению широкого круга проблем, связанных с исследованием гидрологического цикла речных бассейнов, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических процессов в водных объектах и на их водосборах, динамики водных и наземных экосистем, научным обоснованием управления водными ресурсами и охраной вод, развитием современных методов и технологий противодействия угрозам водной безопасности в условиях роста современных вызовов. В их числе:

- исследования процессов гидрологического цикла суши, режима поверхностных, почвенных и грунтовых вод; разработка новых моделей и технологий гидрологических расчетов и прогнозов;
- исследования процессов изменения показателей качества вод при различных сценариях социально-экономического развития регионов и климатических прогнозов;
- оценки влияния изменений гидрологического режима и качества вод на функционирование водных и наземных экосистем;
- развитие методов и технологий прогнозирования экстремальных природных и антропогенных ситуаций на водных объектах России и мира, оценки рисков их возникновения; обоснование превентивных мер по минимизации негативных социально-экономических и экологических последствий;
- совершенствование методов управления режимом и охраной вод суши с позиций рационального природопользования, повышения надёжности водообеспечения регионов России, решения социальных задач.

Значительное внимание уделено вопросам реализации национального приоритетного проекта «Оздоровление Волги», утверждённого Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам в 2017 г., в частности результатам научных исследований по разделу проекта «Разработка научно-методических основ Концепции по снижению диффузного загрязнения водных объектов в бассейне Волги», включающим:

- количественную оценку диффузного стока загрязняющих веществ с промышленных и сельскохозяйственных территорий разного типа;
- методы расчета динамики миграции и трансформации загрязнений;
- вопросы организации мониторинга источников диффузного загрязнения природных вод;
- разработку рекомендаций по снижению поступления загрязняющих веществ с естественных ландшафтов, селитебных территорий, земель сельскохозяйственного использования и др.

Для более детального обсуждения указанных вопросов в рамках Конференции будет проведен круглый стол «Приоритетный национальный проект «Оздоровление Волги»: перспективы развития для крупных речных бассейнов».

Помимо научной, Конференция имеет образовательную направленность – в ее рамках проводится 3-я Международная школа молодых ученых «Моделирование и прогнозирование речного стока и управление гидрологическими рисками: к новому поколению методов», участниками которой станут студенты, аспиранты, молодые ученые соответствующих специальностей.

Настоящий сборник содержит доклады представителей ведущих научных коллективов Российской академии наук, крупных вузов страны; организаций Федерального агентства водных ресурсов, Росгидромета и других ведомств; специалистов проектных и производственных организаций. Представленные доклады сгруппированы по 3-м

основным направлениям (секциям):

- Гидрологические и гидрофизические процессы, экстремальные гидрологические явления;
- Гидрохимические и гидробиологические процессы; динамика экосистем;
- Управление водными ресурсами, охрана вод

Тексты докладов пленарного заседания размещены в порядке выступления докладчиков в рамках программы конференции, секционных заседаний в алфавитном порядке в рамках секций. Все авторские тексты сохранены, в некоторых случаях внесена редакционная правка, не изменяющая сути изложенного.

Оргкомитет конференции выражает благодарность ученому секретарю Научного совета РАН «Водные ресурсы суши» Степановой М.И., ученому секретарю ИВП РАН Авандеевой О.П., главному программисту ИВП РАН Бедной Р.И. и всей редакционной группе за большую работу по подготовке к публикации материалов конференции.

КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ НАВОДНЕНИЯ НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ: АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ

Сазонов А.А.^{1,2,3}, Крыленко И.Н.^{1,2,3}, Завьялова Е.В.^{1,2}, Семенова Н.К.¹, Чурюлин Е.В.¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

² Институт водных проблем РАН, г. Москва

³ Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, г. Санкт-Петербург
z.evdokia@mail.ru

Введение. Данная работа посвящена изучению затопления территории поймы реки Северной Двины от узла слияния рек Сухоны и Юг до г. Котлас. Исследование пространственно-временных закономерностей гидрологических процессов в период весеннего половодья, разработка расчетных и прогнозных методик является достаточно традиционной задачей гидрологических работ [1,2]. Однако в настоящее время существует острая необходимость создания новых и совершенствования существующих методов, моделей и технологий сбора, обработки и интерпретации гидрометеорологической информации в целях совершенствования методов расчетов и прогнозов характеристик весеннего половодья. По данным гидрологического поста (гп) Великий Устюг с 1877 по 2016 гг. в узле слияния рек Сухоны 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. Сухоны, 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 [3].

Цель данного исследования – выявление причин и особенностей катастрофических наводнений во время весеннего половодья на реках севера ЕТР (на примере участка Малой Северной Двины) и оценка возможности их прогнозирования на основе физико-математической модели формирования стока и гидродинамической модели затопления освоенной человеком территории.

Материалы и методы. Для анализа многолетней изменчивости характеристик затопления были собраны и проанализированы ряды среднесуточных расходов и уровней воды за период с 1980 года по 2016 год. Для корректного сравнения в течение каждого года брался временной отрезок с 1 апреля по 30 июня, данный период был выбран в связи с тем, что в независимости от изменения времени начала и конца половодья, оно так или иначе в него попадало. Для каждого года по архивным данным был построен график хода уровня по гидрологическому посту г. Великий Устюг и по гидрологическому посту д. Медведки. На основании графика выделялось время начала и окончания стояния ледового затора и его наличие как такого.

В работе была предпринята попытка совместного использования комплекса моделей: физико-математической модели формирования стока ECOMAG, двумерной гидродинамической модели STREAM-2D, мезомасштабной модели циркуляции COSMO-Ru и динамико-стохастической модели MSFR_WG.

Информационно-моделирующий комплекс (ИМК) ECOMAG (ECOLOGICAL Model for Applied Geophysics), разработанный Ю.Г.Мотовиловым, включает: математическую модель

ECOMAG; специализированную географическую информационную систему (ГИС), с помощью которой производится схематизация бассейна; базы архивных данных характеристик почв, растительности, землепользования, загрязняющих веществ; базы оперативных гидрометеорологических данных; информацию о характеристиках территории; управляющую оболочку, которая связывает ГИС и базы данных, позволяет проводить расчеты [4].

Модель "STREAM-2D" разработана В.В. Беликовым, А.Н. Милитеевым [5]. В её основе лежит решение уравнения Сен-Венана, известного как уравнение мелкой воды, представляющего собой систему гиперболических дифференциальных уравнений в частных производных, которая описывает потоки под поверхностью жидкости. Уравнение получается путем интегрирования по глубине уравнения Навье-Стокса при условии, что горизонтальный масштаб намного больше вертикального.

В качестве начальных условий для моделирования принимаются начальная поверхность дна $Z(x,y,0)$, соответствующие ей мгновенные поля скорости $V(x,y,0)$, глубины $h(x,y,0)$, на жидких границах задаются расходы воды и наносов и/или уровни водной поверхности.

Стохастическая модель пространственно распределенных гидрометеорологических воздействий на водосбор Северной Двины была построена А.Н. Гельфаном на основе ранее разработанного стохастического генератора погоды MSFR_WG (Multi-Site FRagment-based stochastic Weather Generator) [6]. Генератор погоды MSFR_WG предназначен для моделирования методом Монте-Карло многолетних временных рядов «входных» величин гидрологической модели (среднесуточных значений температуры и дефицита влажности воздуха, интенсивности осадков) с учетом взаимной временной и пространственной статистической связности между ними. В основу генератора погоды положен метод пространственных фрагментов, представляющий собой модификацию метода фрагментов Г.Г. Сванидзе.

При выполнении задачи по изучению и представлению гидрологического прогноза максимальных расходов весеннего половодья для обеспечения метеорологической информацией использовались данные:

- 1 - стандартных метеорологических наблюдений, поступающих в синоптическом коде SYNOP по каналам связи Всемирной метеорологической организации;
- 2 – поля метеорологических данных из системы мезомасштабного моделирования COSMO-Ru на основе поступающих данных из системы усвоения Немецкой службы прогноза погоды (DWD).

С 2009 года Росгидромет является полноправным участником Европейского метеорологического консорциума по мезомасштабному моделированию COSMO (<http://www.cosmo-model.org/>). Участие в консорциуме предполагает развитие и совершенствование методов мезомасштабного моделирования. На базе Росгидромета с 2009 г. производится разработка и внедрение системы краткосрочного прогноза погоды на основе негидростатической мезомасштабной модели COSMO, получившей название COSMO-Ru. Модель COSMO-Ru позволяет воспроизводить метеорологические процессы в оперативном режиме с различным пространственным шагом для территории Российской Федерации.

Проведенное исследование состояло из трех блоков: анализ многолетней динамики характеристики затоплений (с 1980 по 2016 год), расчет характеристик затопления 0,1% обеспеченности в районе г. Великий Устюг с помощью генератора погоды и получение прогноза затопления на основе метеорологической информации COSMO-ru.

Идея соединения нескольких моделей в единую цепь может быть весьма перспективной для анализа характеристик наводнения. Схема синтеза моделей подразумевает использование результатов одной модели в качестве входных данных для следующей модели, начиная с получения исходных метеорологических данных на основе глобального и мезомасштабного моделирования циркуляции атмосферы; далее с помощью модели формирования стока с последующим использованием данных о входных расходах воды

для моделирования движения потока на интересующем участке долины.

Такой метод прогнозирования позволяет оценить пространственное распределение характеристик наводнения: глубина потока, скорость течения, значения уровня воды, а также границы затопления прибрежных территорий. Однако использование такого количества моделей может приводить к высокой степени неточностей и погрешностей.

В рамках данной работы производится оценка возможности использования цепи из мезомасштабной модели циркуляции атмосферы COSMO-Ru, модели формирования стока ECOMAG и гидродинамической модели трансформации стока STREAM_2D на примере экстремального наводнения весной 2016 года.

Задача по обеспечению метеорологической информацией водосбора реки Северная Двина по модели COSMO-Ru была реализована для области счета ETP (Европейская территория Российской Федерации) с шагом 7 км между узлами регулярной сетки (наиболее детализированная модельная сетка, доступная для исследуемой территории). Дополнительно, для того чтобы ускорить процесс работы с моделью и выходящими полями данных, было принято решение о создании ограничивающей области (водосбор реки Северная Двина) с центром модельной сетки в городе Великий Устюг [7]. Для поставленной задачи использовались поля с информацией о приземной температуре воздуха, температуре точки росы, относительной влажности и атмосферных осадках. Применение модельных данных позволило значительно увеличить метеорологическую изученность данного региона и создать информационную базу для применения гидрологической модели.

Изучение данного региона только по модельным данным было бы неполным без использования фактических метеорологических станций. Использовались данные с 68 метеорологических станций, располагающихся на водосборе реки или вблизи него. Наибольший интерес представляли данные с информацией о приземной температуре воздуха, температуре поверхности почвы, температуре точки росы, атмосферном давлении, скорости и направлении ветра на высоте 10 метров и атмосферных осадках. Метеорологические данные получены в виде синоптического кода SYNOP с дискретностью 3 часа. Для усвоения метеорологических данных гидрологической моделью полученные данные были усреднены до суточной дискретности.

Применение мезомасштабной модели COSMO-Ru позволило получить поля метеорологических данных не только за текущий день, но и использовать прогнозные поля с заблаговременностью до 72 часов, что позволило запустить гидрологическую модель в прогнозном режиме.

Разработанная динамико-стохастическая модель формирования речного стока р. Северной Двины проверялась по данным наблюдений в замыкающих створах рек Сухона и Юг, в узле слияния которых находится город Великий Устюг, подверженный частым затоплениям в период весеннего половодья. Анализ имеющихся данных наблюдений показал, что наиболее критический сценарий прохождения половодья – это одновременное прохождение пиков по реке Сухона и Юг. Такой сценарий наблюдался, например, во время формирования последнего выдающегося наводнения 2016 года. Аналогичный сценарий был выбран по результатам динамико-стохастического моделирования: для реки Юг максимальное значение составило $5994 \text{ м}^3/\text{с}$, а для реки Сухона – $7860 \text{ м}^3/\text{с}$. Соответствующие гидрографы стока задавались в качестве граничных условий в гидродинамической модели, с помощью которой рассчитывались поля глубин затопления и скоростей потока.

Выводы. На основании метеорологических данных, полученных с помощью модели COSMO-Ru, было составлено три прогноза с различной заблаговременностью - 1, 2 и 3 суток, соответственно. Наилучшее соответствие фактическим данным показали результаты моделирования расходов воды в створе г/п Каликино с заблаговременностью

3 суток, так как именно они показали наилучшее соответствие сложной формы пика волны половодья. Фактический пик приходился на 24 апреля и составил 3390 м³/с, пик смоделированной волны половодья с заблаговременностью 3 суток также приходится на 24 апреля и составляет 3209 м³/с, таким образом, расхождение между фактическим и смоделированным расходом воды на пике половодья составляет 181 м³/с (относительная ошибка 5%). По результатам моделирования с заблаговременностью 1 и 2 суток максимум величины расхода воды за период с 1 апреля по 30 июня 2016 года приходился на 28 апреля и составлял 3020 м³/с и 3040 м³/с соответственно. В то же время результаты моделирования расхода воды в створе г/п Гаврино с различной заблаговременностью практически не различаются: пик смоделированной волны половодья практически совпадает во всех трех случаях. Лишь на подъеме волны половодья присутствует небольшое различие значений расходов воды: оно увеличивается с увеличением заблаговременности. Максимум смоделированной волны половодья приходился на 29 апреля по результатам моделирования с заблаговременностью 1 и 3 суток и составлял 3989 м³/с и 3941 м³/с соответственно. По итогам моделирования расхода воды с заблаговременностью 2 суток пик волны половодья приходился на 28 апреля и достигал значения 3931 м³/с. Невозможно сравнить смоделированные значения с наблюдаемыми на г/п Гаврино, поскольку он был закрыт в 1989 году.

Показано, что при рассмотренном сценарии прохождения максимальных расходов, полученных на основании моделирования 1000 летних рядов метеовеличин с последующим расчетом критического значения расхода воды на реках Сухона и Юг глубина затопления в черте города будет составлять 0.5 м, среднее значение скорости течения в пределах моделируемой области составит 0.8 м/с, средняя глубина затопления составит 4.5 м, а площадь затопления будет 300 км². Максимальная отметка поверхности уровня воды по посту Великий Устюг будет составлять 57.36 м; для сравнения уровень воды при прохождении 1% расхода воды при наличии ледового затора на 2 м больше и составляет 59.39 м.

Для анализа изменения характеристик затопления в многолетнем разрезе необходимо было получить результаты моделирования, максимально соответствующие фактическим данным. В связи с этим для каждого наблюдавшегося наводнения параметры заторного блока подбирались вручную. По результатам осреднения смоделированных рядов характеристик затопления были построены карты двух периодов (1980-1998 гг., 1999-2016 гг.) для оценки их пространственного распределения и сравнения. По результатам анализа выявлена тенденция к уменьшению таких характеристик как средняя глубина потока на пойме, площадь затопления поймы и территории города Великий Устюг, несмотря на увеличение высоты заторного пика, что обусловлено снижением времени стояния затора и, соответственно, средней продолжительности затопления территории, а также сокращением количества формирующихся заторов за период с 1999 по 2016 год по сравнению с первым периодом.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ: грант No 18-35-00498-мол_a (проведение моделирования с помощью генератора погоды и проведение анализа полученных результатов) и грант No 18-05-60021 Арктика (создание базы данных), а также при поддержке РНФ: грант No 17-11-01254 (проведение гидродинамического моделирования).

Литература

1. Евстигнеев В. М., Магрицкий Д. В. Речной сток и гидрологические расчеты. Курс лекций: учебное пособие. — Триумф Москва, 2018. — 272 с
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов Л.:

Гидрометеиздат, 1974, 420 с.

3. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Ледовый режим рек севера Европейской части России // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики / Под ред. С. А. Сократов. — Т. 1. — Лига-Вент, Москва, 2015. — С. 35–47

4. Мотовилов Ю. Г., Гельфан А. Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. — Российская академия наук Москва, 2018. — 300 с.

5. Dangerous ice phenomena on the lowland rivers of European Russia / S. A. Agafonova, N. L. Frolova, I. N. Krylenko et al. // Natural Hazards. — 2017. — Vol. 88, no. S1. — P. 171–188.

6. Гельфан А. Н., Морейдо В. М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // Лед и снег. — 2015. — Т. 55, № 4. — С. 61–72.

7. Расчет половодий на р. Сухона на основе совместного использования моделей ECOMAG и COSMO-ru / Е. В. Чурюлин, И. Н. Крыленко, Н. Л. Фролова и др. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. - 2019. - № 1 (371). - С. 6–24.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ВИХРЕЙ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ

Соколовский М.А.^{1,2}, Кошель К.В.^{3,4}, Reinaud J.N.⁵

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва,

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

⁴Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток

⁵Mathematical Institute, University of St Andrews, North Haugh, St Andrews, United Kingdom
sokolovskiy@iwp.ru

В рамках двухслойной квазигеострофической модели на вращающейся плоскости рассматривается задача о движении системы $2N$ точечных вихрей. Предполагается, что слои имеют одинаковые толщины, и в каждом из них заданы N одинаковых вихрей, которые в начальный момент расположены в углах равносторонних N -угольников. Вихри верхнего и нижнего слоев имеют противоположные знаки интенсивностей ($\kappa < 0$ для верхнего слоя и $\kappa > 0$ для нижнего слоя, таким образом, система состоит из N теплых хетонов [1]); соответствующие правильные N -угольники имеют общий центр, но различные длины сторон. Построенные на них $2N$ -угольники имеют равные стороны и два чередующихся различных семейства из N равных углов. Топологически близкие задачи рассматривались в [2], где изучались N -симметричные движения $2N$ вихрей в однородной жидкости, и в [3, 4], где использовалась двухслойная модель, но для частного случая равных сторон многоугольников верхнего и нижнего слоев.

Далее ограничимся случаем $N=2$. Пользуясь соображениями симметрии, уравнения движения структуры 4-х вихрей [4] можно редуцировать к системе для двух хетонов и записать уравнения в полярных координатах $(r_j, \varphi_j); j = 1, 2$:

$$\dot{r}_j = \frac{(-1)^j \kappa}{4\pi r_j} \left[\gamma r_j \sum_{n=0}^1 \frac{\rho^{(3-2j)} \sin(\varphi + \pi n)}{1 + \rho^{(3-2j)} (\rho^{(3-2j)} - 2\cos(\varphi + \pi n))} G_j^n K_1(2\gamma r_j G_j^n) - \frac{2\rho^{(3-2j)} \sin 2\varphi}{1 + \rho^{(3-2j)} (\rho^{(3-2j)} - 2\cos 2\varphi)} \right], \quad (1)$$