

На правах рукописи

КОВАЛЕНКО Сергей Николаевич

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И БИОГЕННОГО БАЛАНСА МАЛЫХ
РЕК ПРИ ОСВОЕНИИ ВОДОСБОРОВ**

Специальность: 05.23.16 - Гидравлика и инженерная гидрология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор **Михалев Михаил Андреевич**.

Официальные оппоненты:

член-корр. РАСХН, доктор технических наук, профессор **Штыков Валерий Иванович**

доктор технических наук, профессор **Коваленко Виктор Васильевич**

доктор технических наук, профессор **Полуэктов Ратмир Александрович**

Ведущая организация: **ФГУП Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГУП РосНИИВХ), г. Екатеринбург**

Защита состоится 01 ноября 2011г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.17 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251 г. Санкт-Петербург ул. Политехническая 29, ПГК, ауд. 411

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан: 19 мая 2011 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.229.17

д. т. н., доцент _____ Сидоренко Г. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Загрязнение поверхностных вод суши в результате антропогенной деятельности на водосборах является одной из причин деградации естественных водотоков. Ухудшение качества поверхностных вод в последнее время носит глобальный характер. Поступление биогенных элементов в водоемы обусловлено сбросом в них недоочищенных бытовых и промышленных сточных вод, а также дренажных и поверхностных стоков с сельскохозяйственных территорий и животноводческих комплексов. Мелиоративные осушительные системы, широко используемые в гумидной зоне, увеличивают интенсивность выщелачивания питательных веществ в условиях промывного режима грунтов. Поступление высоких концентраций биогенных элементов в естественные поверхностные водотоки приводят к изменению продуктивности водных экосистем, повышая уровень трофности водоемов. Основными биогенными элементами, способствующими эвтрофированию водных объектов, являются соединения азота и фосфора.

Вопросы поступления, распределения, транзита и трансформации биогенных элементов в водных объектах изучены в настоящее время не достаточно хорошо. Наибольшую опасность представляет интенсивное загрязнение малых водотоков. Малые водотоки обладают слабо выраженной самоочищающей способностью и поэтому наиболее чувствительны к поступающим в водный объект загрязняющим веществам. Низкая гидрологическая и гидрохимическая изученность малых водотоков обуславливает актуальность научных исследований в этой области.

Актуальность темы диссертационных исследований обусловлена необходимостью поиска новых подходов к регулированию качества воды малых рек. Существующая в настоящее время методика базируется на учете средних величин гидрохимических параметров, что является косвенной причиной наблюдающегося роста загрязнения малых рек биогенными веществами. Автором предложен новый подход к решению данной проблемы,

который базируется на учете стохастической природы гидрологических и гидрохимических процессов. На основе данного подхода разработана методология (методики, алгоритмы и программы) определения предельных концентраций биогенных загрязняющих веществ в сточных водах дренажных осушительных систем и в водах малых рек. Стохастический подход к проблеме загрязнения водотоков предложен автором впервые и позволяет определять расчетные гидрологические и гидрохимические характеристики, в соответствии с нормативными документами.

Цель работы. На основе многолетних данных натуральных наблюдений биогенного загрязнения малых рек, проведенных в нечерноземной зоне России, разработать методологию определения предельно-допустимых концентраций биогенных загрязняющих веществ в сточных водах дренажных осушительных систем и в водах малых рек с помощью математического моделирования стохастических гидрологических и гидрохимических характеристик.

В соответствии с целью **поставлены и решены задачи:**

- сформирована база данных натуральных наблюдений на малых реках в Северо-Западном регионе России;
- выполнен анализ натуральных наблюдений с помощью методов теории вероятности и математической статистики;
- разработана математическая модель, позволяющая оценить загрязнение вод в водоприемнике биогенными веществами в створе полного смешения речных и сточных вод, поступающих с мелиорируемых территорий, а также в фоновом створе;
- найдены сглаживающие кривые обеспеченности концентрации загрязняющих веществ в расчетных створах малой реки: фоновом и контрольном (полного смешения речных и дренажных вод);
- по результатам математического моделирования разработана методика расчета величин предельно-допустимых сбросов биогенных загрязняющих веществ в водоприемник.

В основу методики исследования положен анализ опубликованных данных натурных наблюдений гидрологических и гидрохимических характеристик речного и дренажного стоков в бассейнах малых рек гумидной зоны. Анализ проводится с помощью методов математической статистики по алгоритму, составленному автором. Математическое моделирование процесса загрязнения водотока-водоприемника сточных вод, поступающих с сельскохозяйственных территорий, осуществляется методом Монте-Карло. За основу принята балансовая зависимость, позволяющая определять концентрацию консервативных загрязняющих веществ в створе полного смешения. Для осуществления статистической обработки натурной гидрологической и гидрохимической информации, последующего имитационного математического моделирования и анализа полученных результатов вычислительного эксперимента автором разработан ряд компьютерных программ.

Статистическая обработка преследует следующие цели: получение несмещенных выборочных статистических характеристик; проверка статистических гипотез однородности и согласия; оценка автокорреляционных и корреляционных связей, построение регрессионных зависимостей. Результатом статистической обработки является получение аналитических кривых распределения и оценка их параметров.

Для математического моделирования процессов биогенного загрязнения речного стока используется генератор случайных равномерно-распределенных чисел (ГСЧ) и сглаживающие кривые обеспеченности.

Предлагаемая методика назначения предельно-допустимых сбросов основана на построенных аналитических кривых обеспеченностей по конкретному ингредиенту для двух расчетных створов – фонового и полного смешения речных и сточных вод (контрольного). Концентрация загрязняющих веществ, поступающих в водоприемник, должна корректироваться в соответствии с состоянием водотока. Корректировка нормативно-допустимых сбросов (НДС) предусматривает ограничение поступления сточных вод в

водный объект для напряженных (с точки зрения загрязнения) сезонов. Выделены два напряженных сезона: весенний (март-май) и летне-осенний (август-октябрь). Деление гидрологического года на сезоны преследует цель получения однородных случайных величин.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые процесс загрязнения малых рек биогенными веществами, поступающими со сточными водами дренажных осушительных систем в гумидной зоне, рассматривается как стохастический. Впервые при удлинении рядов гидрохимических наблюдений использовался метод математического моделирования с учетом корреляционных связей между средними арифметическими гидрохимическими характеристиками и максимальными в лимитирующем сезоне, а также автокорреляционных связей между средними членами в хронологическом ряду наблюдений. Впервые получены кривые обеспеченности для средних арифметических за сезон и максимальных в сезоне гидрохимических характеристик в створе полного смешения речных и дренажных вод и в фоновом. Разработана новая методика установления предельно-допустимых сбросов загрязняющих веществ, поступающих из дренажных осушительных систем в малые реки в гумидной зоне, в основу которой положены рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик, содержащихся в действующих нормативных документах.

Практическая ценность работы состоит в том, что в ней дан научно-обоснованный метод назначения предельно-допустимых сбросов биогенных загрязняющих веществ, поступающих с дренажными водами осушительных систем в гумидной зоне в малые реки с учетом стохастической природы процесса загрязнения. Все разработки доведены автором до алгоритмов и соответствующих компьютерных программ, которые могут использоваться в практической деятельности соответствующих природоохранных органов. Широкое внедрение результатов диссертационной работы в практику будет способствовать оздоровлению экологической обстановки в малых реках страны.

Достоверность и обоснованность результатов работы достигаются использованием известных приемов математического моделирования гидрологических рядов, а также методов статистического анализа данных гидрологических и гидрохимических наблюдений, полученных государственными службами по стандартным методикам. Ошибки параметров кривых обеспеченностей концентрации биогенных загрязняющих веществ в створе полного смешения речных и дренажных вод и в фоновом не выходят за пределы, рекомендуемые нормативными документами.

Все полученные результаты и сделанные выводы выполнены лично автором.

Исходя из вышесказанного, диссертационные исследования можно квалифицировать как разработку научно-обоснованных технических решений для повышения надежности защиты поверхностных вод от загрязнения, внедрение которых имеет важное народно-хозяйственное значение.

На защиту выносятся следующие положения.

1. Процесс загрязнения биогенными веществами вод малых рек – водоприемников сточных вод с сельскохозяйственных угодий рассматривается как стохастический. В соответствии с принятой в России практикой определения расчетных гидрологических характеристик максимальное содержание загрязняющего биогенного вещества в створе полного смешения речных и сточных вод и в фоновом определяется с использованием кривых обеспеченности. В диссертации рассматриваются различные методы получения соответствующих кривых обеспеченности, учитывающие ограниченное количество данных натурных наблюдений, характерное для рек 3-й и 4-й категории по классификации Росгидромета.

2. Предполагается группировать однородные многолетние стохастические данные гидрологических и гидрохимических наблюдений в малых реках для двух лимитирующих сезонов: весеннем (март-май) и осеннем (август-октябрь).

3. Предполагается метод расширения рядов натурных наблюдений в лимитирующие сезоны с привлечением данных по рекам-аналогам с

использованием непараметрического критерия однородности Вилькоксона. Для неоднородных статистических совокупностей устанавливается предельный уровень неоднородности. Кривая обеспеченности для объединенных данных строится по ранжированному совместному ряду.

4. Рассматривается корреляционная связь между максимальной в сезоне и средней арифметической за этот сезон концентрацией биогенных загрязняющих веществ в водах малых рек.

5. Предполагается метод математического моделирования средних арифметических за лимитирующий сезон концентраций биогенных загрязняющих веществ в водах малых рек при отсутствии автокорреляционных связей и с учетом этих связей.

6. Предполагается метод математического моделирования максимальных за лимитирующий сезон концентраций биогенных загрязняющих веществ в водах малых рек с учетом корреляционной связи между средними арифметическими и максимальными величинами.

7. Рассматривается метод определения допустимого содержания биогенных загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в малые реки с осушаемых сельхозугодий, с учетом стохастической природы процесса смешения речных и сточных вод.

8. Предлагаются разработка мероприятий по охране природных вод малых рек от загрязнения биогенными веществами.

Апробация работы: Результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Всесоюзной конференции «Экологические проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов», октябрь 1994 года, г. Вологда;

- Российской научно-технической конференции «Инновационные наукоемкие технологии для России», апрель 1995 года, г. Санкт-Петербург;

- Международном экологическом форуме стран Балтийского региона «Экобалтика XXI век», октябрь 1996 года, г. Санкт-Петербург;

- Международной конференции и выставке «AQUATERA», ноябрь 2000 года, г. Санкт-Петербург;
- Всероссийской научно-практической конференции «Экология и здоровье: проблемы и перспективы социально-экологической реабилитации территорий, профилактика заболеваемости и устойчивого развития», май 2004 года, г. Вологда;
- Международной научно-практической конференции «Роль обустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК», апрель 2007 года, г. Москва;
- I-й Всероссийской научно-практической конференции «Экология и здоровье: проблемы и перспективы социально-экологической реабилитации территорий, профилактика заболеваемости и устойчивого развития», май 2007 года, г. Вологда;
- Всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», октябрь 2007 года, Санкт-Петербург;
- Международном политехническом симпозиуме «Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона», СПбГПУ, декабрь 2007 года, г. Санкт-Петербург;
- Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов», апрель 2008 года, г. Москва;
- VII международном молодежном экологическом форуме стран балтийского региона «Экобалтика 2008», июнь 2008 года, г. Санкт-Петербург;
- II Всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», ноябрь 2008 года, г. Санкт-Петербург;
- Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России», апрель 2009, г. Москва;

- Международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства» апрель 2010, г. Москва;

- III-й Всероссийской научно-практической конференции «Экология и здоровье: проблемы и перспективы социально-экологической реабилитации территорий, профилактика заболеваемости и устойчивого развития» май 2010 года, г. Вологда;

- XIV Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах», май 2010 года, г. Санкт-Петербург;

- Семинарах кафедр «Водохозяйственного и ландшафтного строительства» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, и «Безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии» Вологодского государственного технического университета.

- Выигран грант открытого конкурса Правительства Санкт-Петербурга в сфере научной и научно-технической деятельности по направлению «экология» в 2008 году на тему «Разработка методики назначения предельно-допустимых сбросов биогенных веществ в малые водотоки с учетом стохастической природы формирования гидрологических и гидрохимических характеристик стоков для условий Северо-Запада РФ».

По тематике диссертационной работы опубликовано 35 научных статей, в том числе 13 статей в журналах, рекомендованных ВАК для защит докторских диссертаций (список прилагается в разделе «Основные результаты диссертационной работы...»).

Диссертационная работа состоит из: введения, пяти глав, заключения и библиографического списка (325 наименований, в том числе 47 иностранных). Она содержит 303 страницы машинописного текста, 50 таблиц, 47 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен литературный обзор по изучению факторов влияния мелиоративных осушительных систем на гидрологический режим и качество воды водоприемника. Внимание акцентируется на многофакторности процесса формирования гидрологических и гидрохимических характеристик речных и дренажных вод. Современные подходы по оценке влияния гидромелиоративных мелиораций на гидрологический и гидрохимический режимы водоприемников основаны на накоплении и анализе фактического материала. Приведена общая характеристика речного, дренажного и поверхностного стоков, степень их гидрологической и гидрохимической изученности. Дан анализ нормативной базы. При оценке антропогенной деятельности на водосборе основополагающим выступает государственный мониторинг природной среды.

Изучением статистических характеристик речного стока занимались: Гришанин К.В., Железняков Г.В., Зарубаев Н.В., Картвелишвили Н.А., Крицкий С.Н., Лапшинков В.С., Менкель М.Ф., Михалев М.А., Резниковский А.Ш., Рождественский А.В., Сванидзе Г.Г., Чеботарев А.И., Черняев А.М., Штеренлихт Д.В., и др.

Вопросами мелиоративного освоения территорий и влияния его на окружающую среду занимались: Арефьев Н.В., Брудастов А.Д., Даишев Ш.Т., Ионат В.А., Иванов Ю.И., Криулин К.Н., Нестеренко И.М., Хрисанов Н.И., Осипов Г.К., Штыков В.И., Шкиннис Ц.Н., Шикломанов И.А. и др.

Гидрохимические характеристики стока речных и сбросных вод исследовались: Васильевым Ю.С., Замараевой В.С., Караушевым А.В., Конновым В.И., Лебедевой Е.А., Поляковым М.М., Самофаловым Д.П., Сольским С.В., Романовым М.В., Федоровым М.П., Шишкиным А.И., Шикломановым И.А. и др.

Согласно собранному литературному материалу можно утверждать, что гидрологические характеристики поверхностных вод изучены лучше

гидрохимических, такое же утверждение можно сделать по речному стоку в отношении к дренажному. Мало изученным остается поверхностный сток. Нет единого мнения у авторов о влиянии мелиоративных осушительных систем на гидрологические характеристики водоприемника. Что касается гидрохимических показателей, то они зависят от комплекса условий, связанных с конструктивными особенностями мелиоративных систем, гидрогеологической обстановкой, агротехническими мероприятиями на водосборе.

Дана краткая характеристика лимитирующих биогенных веществ, для большинства водных объектов Северо-Западной зоны РФ главными из которых являются азот и фосфор. В настоящих исследованиях за основу приняты минеральные соединения азота (аммоний, нитриты, нитраты) и фосфора (фосфаты).

Выполнен анализ деятельности государственных служб, осуществляющих мониторинг окружающей среды, основополагающее место в которых занимает Росгидромет. Согласно классификации Росгидромета малые реки относятся к четвертой категории, реже к третьей, отбор проб на гидрометрических постах осуществляется лишь в определенные фазы водного режима. В настоящих исследованиях использованы натурные данные Росгидромета по малым рекам Двинско-Печерского и Верхнее-Волжского бассейнов в территориальных пределах Вологодской области.

Во второй главе поставлены цели, задачи и приведены методы решения. Исследования базируются на балансовой зависимости распределения консервативного загрязняющего вещества в водотоке. При этом назначаются расчетные створы (рис.1), в которых определяются гидрологические и гидрохимические характеристики. Фоновый створ назначается выше устья магистрального канала и является базовым створом, позволяющим выполнять сбросы сточных вод в водоприемник. Створ полного смешения (контрольный створ) выполняет функцию контроля нормативно-допустимого уровня загрязнения водоприемника. Створ в устье магистрального канала, который

впадает в водоприемник, предусматривает регулирование качества сбросных вод.

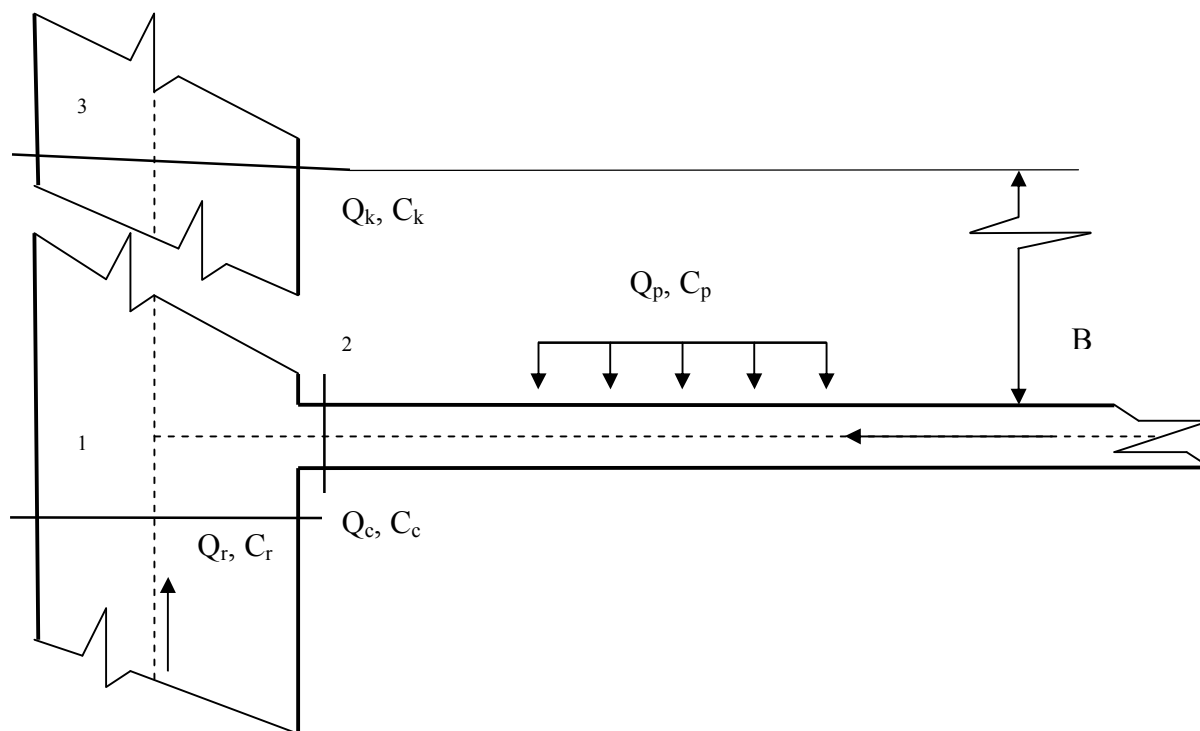


Рис. 1 Расчетная схема для математического моделирования биогенного загрязнения малой реки

Отмечается, что все гидрологические и гидрохимические характеристики являются стохастическими величинами.

Практически не изученными являются гидрологические и гидрохимические характеристики поверхностного стока, поэтому учесть его влияние на водоприемник даже приближенно достаточно сложно. Поэтому принято допущение о разгрузке поверхностного стока в открытую сеть мелиоративной системы. Балансовая зависимость в данном случае запишется в следующем виде:

$$C_k = \frac{Q_r \cdot C_r + Q_c \cdot C_c}{Q_r + Q_c}, \quad (1)$$

где Q_r , Q_c , - расход воды соответственно речного и сбросного (дренажного - Q_d и поверхностного - Q_p) стоков, m^3/c ; C_r , C_c , - концентрация загрязняющего вещества

соответственно речного и сбросного стоков, мг/л; C_k – концентрация загрязняющего вещества в створе полного смешения, мг/л.

Обращается внимание о необходимости принятия мер по ликвидации рассредоточенной нагрузки на водоприемник в пределах расчетного участка. Это может быть достигнуто рядом мелиоративных, культуртехнических и агрономических мероприятий.

При выборе методов решения поставленной цели были определены следующие направления. Для получения выборочных оценок статистических параметров распределения используется метод моментов. При недостаточности натурального гидрологического и гидрохимического материала используется метод аналогий с проверкой на однородность натуральных данных непараметрическим критерием однородности Вилькоксона. По репрезентативным данным натуральных наблюдений строятся эмпирические кривые распределения, для которых с помощью статистических критериев согласия (критерия Пирсона) подбираются аналитические функции. На малых выборках выполняется проверка результата критерием Колмогорова-Смирнова.

В статистическую обработку натурной информации включены автокорреляционный, корреляционный и регрессионный анализы. Для анализа автокорреляционной зависимости в настоящей работе используется простая цепь Маркова, в которой прослеживается связь между соседними членами в ряду. Существенность автокорреляционных связей в гидрохимических рядах наблюдений доказывается с помощью зависимостей Неймана, Андерсона и Стьюдента. Для оценки корреляционной зависимости используется парная линейная корреляция. Существенность корреляционной связи оценивается с помощью средней квадратической ошибки коэффициента корреляции. В качестве регрессионной зависимости выбрана линейная функция.

По выборочным оценкам статистических параметров в результате статистической обработки, используя критерии однородности и согласия, осуществляется подбор теоретической функции распределения. Моделируя теоретическую функцию распределения, можно ряд данных натуральных

наблюдений увеличить в десятки и сотни раз. В основу метода математического моделирования концентрации биогенного загрязняющего вещества положено получение равномерно-распределенных случайных чисел и преобразование их в случайные величины с требуемым законом распределения. Преобразование равномерных случайных чисел в случайные величины с требуемым законом распределения выполняется по кривым обеспеченности. На оси абсцисс кривой обеспеченности откладываются случайные числа, вырабатываемые ГСЧ (в диапазоне 0-1.0), с помощью линейной и квадратической интерполяции (метод Бесселя) выполняется определение величины ординаты. Составленный автором алгоритм математического моделирования концентрации биогенного загрязнения водотоков является оригинальным и позволяет имитировать количество статистических испытаний до 10000 и более. Постепенное увеличение статистических испытаний, получение промежуточных результатов статистической обработки дает возможность характеризовать тенденцию изменения параметров статистических кривых распределения в зависимости от объема выборки.

В третьей главе приведены исследования по удлинению экспериментальных рядов гидрометрических и гидрохимических характеристик с использованием метода аналогий. Обосновывается использование непараметрических критериев однородности при формировании репрезентативных рядов данных натуральных наблюдений, которые должны быть совместны, т.е. получены в одно и тоже время. Разработана методика расчета и механизм использования неоднородных совокупностей с использованием критерия Вилькоксона. Для этого выбран уровень неоднородности. В качестве приемлемого допустимого уровня неоднородности можно принять превышение расчетного значения над критическим до 10%. Этому отвечает примерное совпадение в ранжированном возрастающем ряду среднего арифметического значения одного ряда и максимальной величины в другом ряду. При этом неоднородный ряд должен укладываться в допустимый уровень

неоднородности со всеми подвергающимися группировке выборками. Кривая обеспеченности для этих рядов строится по сгруппированному ряду.

Выполненный корреляционный анализ гидрологических и гидрохимических характеристик показал отсутствие взаимосвязи расходов воды и концентраций биогенных загрязняющих веществ. В табл.1 приведены результаты корреляционного анализа многолетних данных натуральных наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими биогенными параметрами. Существенность корреляционной связи подтверждается для величин, отмеченных жирным шрифтом.

Доказана устойчивая корреляционная зависимость между средними арифметическими и максимальными величинами концентрации биогенного загрязняющего вещества по многолетним данным натуральных наблюдений в пределах лимитирующего сезона (табл. 2).

Доказано хорошее согласование эмпирических кривых распределения биогенных веществ с кривыми трехпараметрического гамма - распределения. Проверка статистических гипотез на согласованность определяется критерием Пирсона с помощью кривых обеспеченности.

Математическое моделирование экспериментальных рядов гидрохимических характеристик осуществляется двумя способами. Согласно первому способу моделирование случайных величин выполняется при отсутствии автокорреляционных связей между ними. В этом случае равномерно-распределенные случайные числа преобразуются в случайные величины, соответствующие параметрам трехпараметрического гамма - распределения, полученные при анализе натурального материала, с помощью кривой обеспеченности. Многократный розыгрыш случайных чисел формирует ряд статистических величин, аналогичный в статистическом смысле натурному эксперименту.

Согласно второму способу математическое моделирование случайных гидрохимических величин выполняется с учетом существенности автокорреляционных связей.

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа хронологических натуральных данных для общего ряда и расчетных сезонов по реке Верхняя Ерга Двинско-Печерского водного бассейна

Параметры	Q- NH ₄ ⁺	Q- NO ₂ ⁻	Q- NO ₃ ⁻	Q-Р _{мин}	Q- Р _{общ}	NH ₄ ⁺ - NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺ - NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻ - NO ₃ ⁻	Р _{мин} - Р _{общ}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Весь период наблюдения									
Количество значений, N	143	146	144	136	122	152	148	152	131
Коэффициент корреляции, R _{xy}	0,03	-0,02	-0,08	0,01	0,13	0,17	-0,03	0,20	0,33
Средняя кв.ошибка R _{xy} , ΔR	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05
4ΔR < R _{xy}	0,23	0,22	0,22	0,23	0,24	0,21	0,22	0,21	0,21
Весенний сезон									
Количество значений, N	83	84	80	79	69	87	83	85	73
Коэффициент корреляции, R _{xy}	0,02	-0,01	-0,21	-0,03	0,03	-0,01	-0,14	0,20	0,48
Средняя кв.ошибка R _{xy} , ΔR	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06
4ΔR < R _{xy}	0,30	0,29	0,29	0,30	0,32	0,29	0,29	0,28	0,24
Осенний сезон									
Количество значений, N	59	61	61	58	52	64	64	66	57
Коэффициент корреляции, R _{xy}	-0,02	-0,03	0,11	-0,04	0,30	0,36	0,19	0,28	0,11
Средняя кв.ошибка R _{xy} , ΔR	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09
4ΔR < R _{xy}	0,35	0,34	0,34	0,35	0,34	0,29	0,32	0,31	0,35

где Q, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Р_{мин}, Р_{общ} - соответственно расход воды (м³/с), аммоний (мг/л), нитриты (мг/л), нитраты (мг/л), минеральный (мг/л) и общий (мг/л) фосфор.

В этом случае используется хронологический ряд натуральных наблюдений; в процессе расчетов реализуется пошаговый метод моделирования. На каждом шаге получается новая случайная величина, которая помещается в конец хронологического ряда и производится расчет всех необходимых статистических характеристик нового ряда. Математическое моделирование случайных величин с внутрирядовой связью между соседними членами ряда (простая цепь Маркова) для трехпараметрического гамма - распределения выполняется согласно следующей зависимости (Менкель-Крицкий):

$$C_i = [C_{cp} + r_{авт} \cdot (C_{i-1} - C_{cp})] K_{pi}(\xi_i, C_{v_i}^{усл}), \quad (2)$$

где C_i – моделируемая случайная величина, мг/л; C_{cp} – среднее арифметическое значение величин в хронологическом ряду, мг/л; $r_{авт}$ – коэффициент автокорреляции; C_{i-1} – последняя случайная величина в хронологическом ряду, мг/л, полученная на предыдущем шаге моделирования; K_{pi} – модульный коэффициент, который находится в зависимости от случайного равномерно-распределенного числа (ξ_i) по кривой обеспеченности с параметрами $r_{авт}$, C_{cp} и $C_v^{усл}$. Здесь $C_v^{усл}$ условный коэффициент вариации, определяемый по формуле:

$$C_{v_i}^{усл} = \frac{\sigma \cdot \sqrt{1 - r_{авт}^2}}{C_{cp} + r_{авт} (C_{i-1} - C_{cp})}, \quad (3)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение, мг/л.

Далее по условному коэффициенту вариации определяются параметры кривой обеспеченности для получения следующей случайной величины.

Наиболее устойчивой статистической характеристикой экспериментального ряда является его среднее арифметическое значение. Однако среднее арифметическое значение выбранных параметров не может удовлетворить практику, так как отклонения от среднего могут существенно превышать допустимые пределы загрязнения поверхностных вод. Для уточнения предельно-допустимых сбросов выполняется корреляционный анализ средних арифметических величин с максимальными. Для этого из многолетнего ряда данных натурных наблюдений за расчетный сезон определены ежегодные средние арифметические и максимальные величины. Из этих величин сформирован электронный банк данных по каждому ингредиенту и водотоку. В табл.2 приводятся результаты автокорреляционного, корреляционного и регрессионного анализа средних арифметических и максимальных гидрологических и гидрохимических характеристик по реке Верхняя Ерга для весеннего сезона.

Для удлинения рядов данных натурных наблюдений концентрации биогенного загрязняющего вещества в расчетных створах водоприемника с помощью математического моделирования воспользуемся корреляционной

связью между средними арифметическими и максимальными значениями случайных величин за лимитирующий сезон.

Таблица 2

Результаты автокорреляционного, корреляционного и регрессионного анализов средних арифметических и максимальных многолетних хронологических гидрологических и гидрохимических величин за весенний сезон по реке Верхняя Ерга

Статистические параметры	Q ₃ , м ³ /с	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	P _{мин} , мг/л	P _{общ} , мг/л
1	2	3	4	5	6	7
Количество значений, N	27	28	28	28	28	28
Автокорреляционный анализ						
Коэффициент автокорреляции по средним значениям $\Gamma_{авт\ ср}$	0,036	0,272	-0,044	0,241	-0,323	-0,009
Значимость $\Gamma_{авт\ ср}$ по Стьюденту	0,18(-)	1,44(-)	-0,22(-)	1,27(-)	-1,74(-)	-0,04(-)
Коэффициент автокорреляции по максимальным значениям, $\Gamma_{авт\ max}$	0,026	0,307	-0,015	0,036	-0,415	0,026
Значимость $\Gamma_{авт\ max}$ по Стьюденту	0,13(-)	1,65(-)	-0,08(-)	0,18(-)	-2,33(+)	0,12(-)
Корреляционный анализ						
Коэффициент корреляции, $R_{ср\ max}$	0,997	0,948	0,985	0,787	0,801	0,879
Средняя кв.ошибка $R_{ср\ max}$, ΔR	0,0009(+)	0,013(+)	0,004(+)	0,049(+)	0,046(+)	0,032(+)
Регрессионный анализ						
Линейная зависимость, m/b	1.98/1.66	1.44/0.05	2.38/-0.0008	1.46/0.04	1.48/0.002	2.38/-0.04

Условные обозначения: знак «-» и «+» отрицают или подтверждают значимость автокорреляционных или корреляционных связей, $R_{ср\ max}$ – коэффициент корреляции по ряду средних арифметических и максимальных значений, m- коэффициент регрессии, b – свободный член.

Для этого необходимо смоделировать ряд средних арифметических значений концентраций биогенного загрязняющего вещества в расчетном створе, а затем с учетом регрессионной зависимости определить максимальные величины. Максимальные значения концентрации биогенного загрязняющего вещества в

расчетном створе за лимитирующий сезон с помощью математического моделирования определяются по формуле:

$$Cm_{n+z} = \bar{C}m + R \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma_{cp}} \cdot (Ccp_{n+z-1} - \bar{C}cp) + \xi_z \cdot \sigma_m \cdot \sqrt{1 - R^2}. \quad (4)$$

Здесь $\bar{C}m$ и $\bar{C}cp$ -соответственно среднее арифметическое из максимальных и средних за весь срок наблюдений величин концентрации загрязняющего вещества в течение осеннего, или весеннего сезона; R- коэффициент корреляции; σ_m и σ_{cp} – средние квадратические отклонения рядов средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества; ξ_z – случайная нормально-распределенная величина, n – количество лет наблюдений, z-порядковый номер смоделированных величин.

Основные блоки методики удлинения рядов, основанной на результатах данных натуральных наблюдений с помощью математического моделирования, представлены далее.

1. На начальном этапе имеются вектора наблюдений за многолетними средними арифметическими (C_{cp}) и максимальными (C_m) концентрациями конкретного загрязняющего вещества (аммоний, нитриты, нитраты, фосфор минеральный, фосфор общий). Вектора имеют размерность n и равны количеству лет наблюдений. Как правило, ряды наблюдений не превышают 25-50 лет.

2. Для удлинения вектора (C_m) согласно зависимости (4) определяются оценки статистических параметров. Для первой максимальной величины n+1 (z=1) они находятся по рядам натуральных наблюдений:

$$\bar{C}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{cpi}}{n}, \quad \bar{C}_m = \frac{\sum_{i=1}^n C_{mi}}{n}, \quad \sigma_{cp} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{cpi} - \bar{C}_{cp})^2}, \quad \sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{mi} - \bar{C}_m)^2},$$

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{cpi} - \bar{C}_{cp})(C_{mi} - \bar{C}_m)}{\sigma_{cp} \sigma_m}.$$

Кроме того, необходимо найти в последнем множителе, который представляет собой разброс случайных величин относительно прямой регрессии, параметр ξ . Эта величина определяется следующим образом. Для генерирования случайного разброса точек относительно прямой регрессии используется таблица обеспеченностей биномиального закона распределения $\phi(P, C_s)$ при

$C_s=0$ и генератор случайных равномерно-распределенных чисел (в диапазоне 0-1) – rand. Эти случайные числа (β), $\beta_i=\text{rand}$, $i=1,2,3,\dots,m$ составляют ряд обеспеченностей, который имеет размерность $z=m$. Обычно размерность m не превышает 10^4 значений. По (β) формируется с учетом функции $\varphi(P, C_s)$ вектор $\xi_z=\varphi(P, C_s)$ размерностью $z=1,2,3,\dots,m$. Первая величина этого вектора используется для получения искомой величины $C_{m(n+1)}$.

3. Для моделирования второго значения максимальной концентрации загрязняющего вещества и последующих необходимо удлинить ряд средних арифметических величин. Математическое моделирование этих величин реализуется по сглаживающим кривым обеспеченностей трехпараметрического гамма-распределения. Для этого строится теоретическая функция распределения $f(C_v, C_s/C_v, P)$, $C_v=\text{const}$, $C_s/C_v=\text{const}$. Используя генератор случайных чисел (γ), $\gamma_i=\text{rand}$, $i=1,2,3,\dots,m$ (описанный выше), формируется ряд обеспеченностей размерностью z . Далее по вектору γ формируется с использованием функции $f(P)$ вектор случайных величин средних арифметических концентраций загрязняющего вещества ($C_{cp(n+z)}$), $z=1,2,3,\dots,m$.

4. Математическое моделирование максимальных концентраций загрязняющего вещества выполняется в пошаговом режиме $z=z+1$. При получении пары искомых величин (среднего арифметического и максимального) они подставляются в конец соответствующих рядов. Для определения последующей величины максимальных концентраций оценки статистических параметров формулы (4) пересчитываются.

На рис.2 представлены результаты статистической обработки натуральных данных и математического моделирования ста значений максимальных концентраций азота аммонийного за весенний сезон по реке Верхняя Ерга левого притока реки Сухоны Двинско-Печерского водного бассейна (Вологодская область).

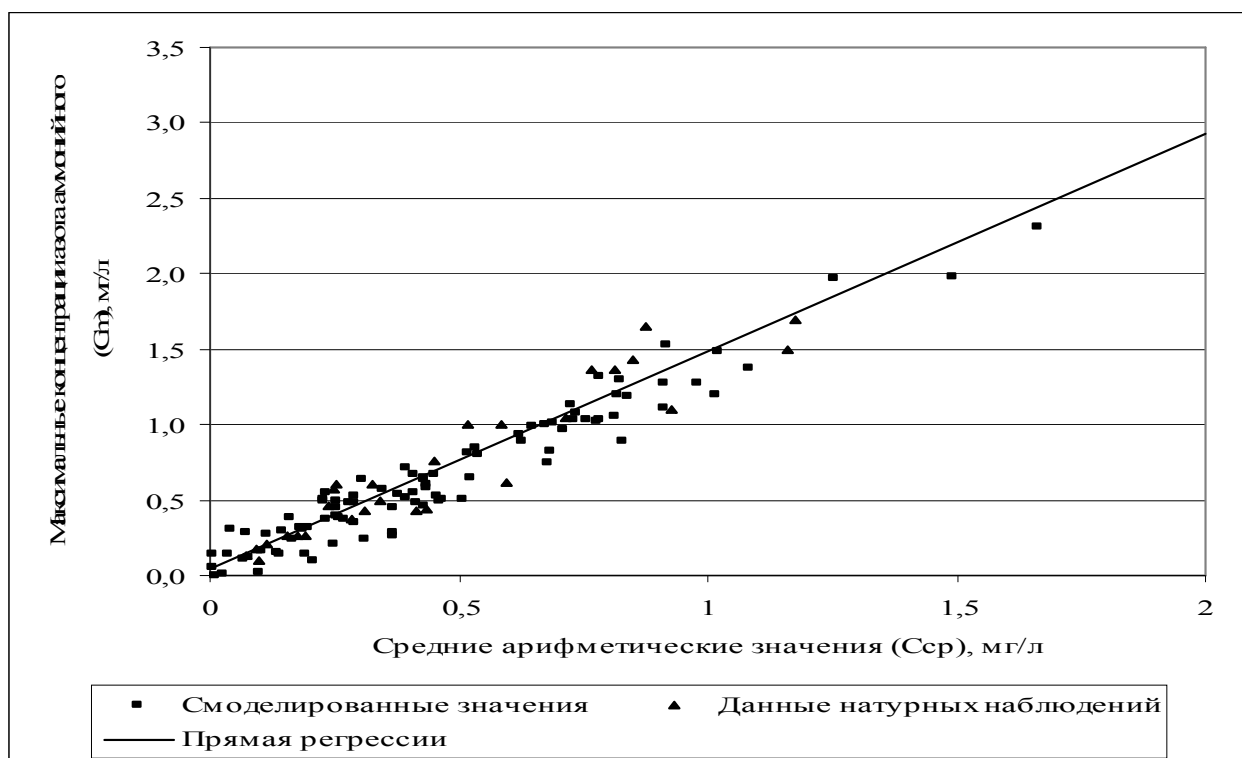


Рис.2 Математическое моделирование максимальных концентраций аммонийного азота для весеннего сезона

Результаты статистической обработки средних арифметических (ср) и максимальных (мах) концентраций аммонийного азота, а также результаты математического моделирования их приведены в табл. 3.

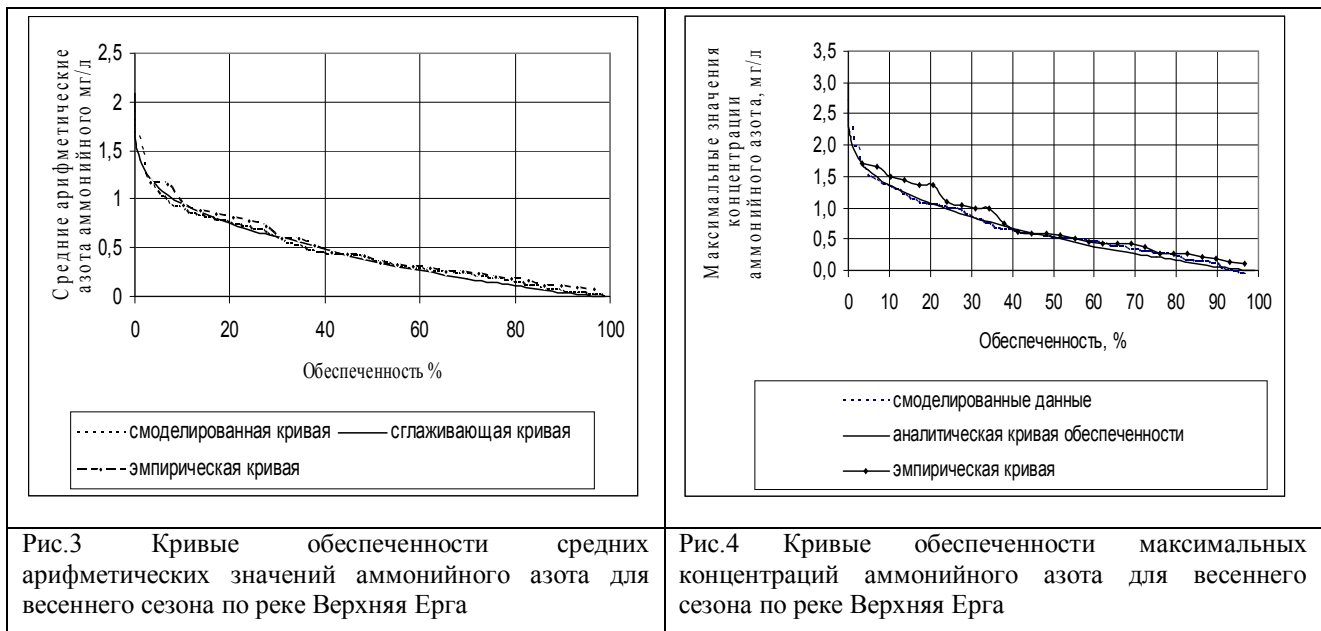
Таблица 3

Результаты статистической обработки данных натуральных наблюдений и математического моделирования концентрации аммонийного азота для весеннего сезона по реке Верхняя Ерга

№	Параметры	Натурные данные		Смоделированные данные	
		ср	мах	ср	мах
1	2	3	4	5	6
1	Количество n, шт	28	28	128	128
2	Максимум, мг/л	1.17	1.7	1.66	2.31
3	Среднее арифметическое значение, мг/л	0.47	0.73	0.44	0.63
4	Среднее квадратическое отклонение, мг/л	0.33	0.5	0.34	0.49
5	Коэффициент вариации, C_v	0.69	0.68	0.76	0.78
6	Коэффициент асимметрии, C_s	0.73	0.64	0.95	0.83
7	Отношение C_s/C_v	1.05	0.93	1.25	1.06

Для математического моделирования средних арифметических концентраций загрязняющего вещества подобрана сглаживающая кривая трех -

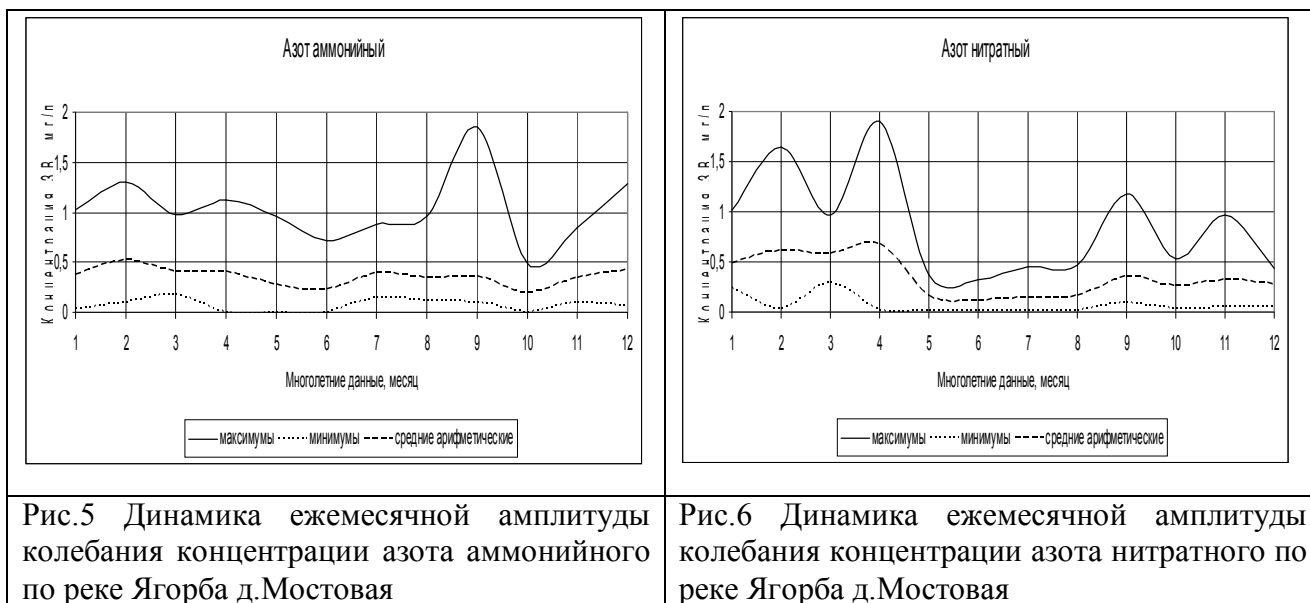
параметрического гамма-распределения с параметрами $C_v=0.7$, $C_s/C_v=1$. По результатам математического моделирования максимальных концентраций аммонийного азота подобрана сглаживающая кривая трехпараметрического гамма - распределения с параметрами $C_v=0.8$; $C_s/C_v=1$.



На рис. 3 и 4 представлены кривые обеспеченности по эмпирическим, смоделированным и сглаживающим кривым распределения по средним арифметическим и максимальным концентрациям аммонийного азота для весеннего сезона по реке Верхняя Ерга.

В четвертой главе приведена общая характеристика природно-климатической зоны Северо-Западного региона РФ и объектов исследования. В качестве исходного натурального материала используется информация с режимных постов государственной службы Росгидромет за многолетний период наблюдений (1978-2006). Дана краткая характеристика службы Росгидромет и классификации водных объектов по категориям исследования. За основу анализа биогенного загрязнения малых рек выбраны поверхностные водотоки на территории Вологодской области. Приведена общая гидрогеологическая, гидрологическая и гидрохимическая характеристика Вологодской области, объектов исследования. Для изучения биогенного загрязнения выбраны малые реки двух водных бассейнов: Двинско-Печерского

(притоки реки Сухоны: Лежа, Двинница, Верхняя Ерга; приток реки Юг: Кичменьга); Верхневолжского бассейна (приток реки Шексны: Ягорба).



Кроме реки Ягорбы, эти реки относятся к четвертой категории по классификации Росгидромет, на которых в среднем течении установлен один водомерный пост с частотой отбора проб лишь в определенные фазы водного режима. Река Ягорба относится к рекам третьей категории с отбором проб ежемесячно.

Обосновывается деление экспериментального ряда многолетних наблюдений на лимитирующие сезоны, а также использование средних арифметических и максимальных величин.

На рисунках 5, 6, 7 и 8 приведена динамика колебания многолетних ежемесячных данных натуральных наблюдений максимальных, минимальных и средних арифметических величин по реке Ягорба период наблюдения 1990-2006 гг.

Из данных гидрометрических и гидрохимических натуральных наблюдений сформирован электронный банк, который представлен информацией разного уровня: общий ряд многолетних натуральных наблюдений, выборки за лимитирующие сезоны, а также данные по многолетним средним арифметическим и максимальным концентрациям загрязняющего вещества в эти сезоны.

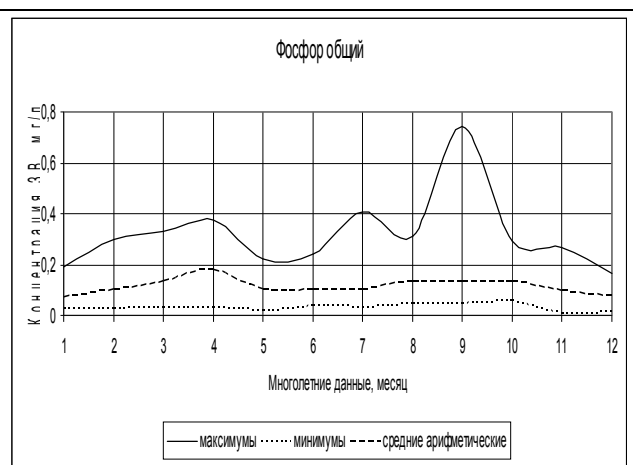
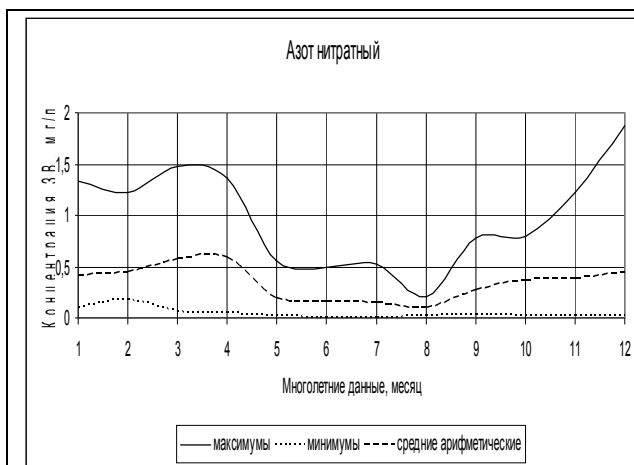


Рис.7 Динамика ежемесячной амплитуды колебания концентрации азота нитратного по реке Ягорба, устье левый берег

Рис. 8 Динамика ежемесячной амплитуды колебания концентрации общего фосфора по реке Ягорба, устье левый берег

Устойчивую корреляционную связь средних арифметических и максимальных концентраций биогенного загрязнения можно обосновать следующим образом.

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} X_i + \frac{X_{\max}}{n}, \quad X_{\max} = \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^{n-1} X_i = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n-1} X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \right],$$

$$X_{\max} = n \cdot \bar{X}_n \cdot \left[1 - \frac{(n-1)\bar{X}_{n-1}}{n\bar{X}_n} \right], \quad X_{\max} = \bar{X}_n \cdot \left[n \cdot \left(1 - \frac{\bar{X}_{n-1}}{\bar{X}_n} \right) + \frac{\bar{X}_{n-1}}{\bar{X}_n} \right]$$

где \bar{X}_n – среднее арифметическое значение (оценка математического ожидания) случайной величины X_i в i -ом наблюдении, n – число наблюдений ($i=1,2,3,\dots,n$).

Первое слагаемое в квадратных скобках (последняя формула) практически не зависит от числа данных наблюдений случайных величин. Второе слагаемое зависит от n , но роль его в коэффициенте регрессии (выражение в квадратных скобках) при наличии первого слагаемого не является определяющей. Учитывая случайный характер всех величин, входящих в эту зависимость, следует ожидать достаточно устойчивую связь между средними арифметическими величинами и максимальными в ранжированном возрастающем ряду при положительной асимметрии кривых распределения плотности вероятностей.

В пятой главе выполнены расчеты по удлинению натуральных рядов гидрохимических биогенных характеристик с использованием непараметрического статистического критерия однородности Вилькоксона. Согласно разрабатываемой методике управления концентрацией загрязняющего вещества с учетом стохастического характера формирования стока на однородность проверяются ряды натурной информации по средним арифметическим и максимальным значениям многолетних наблюдений за выбранный лимитирующий сезон. Выполнены расчеты по проверке статистических гипотез на согласованность с аналитическими кривыми распределения критерием Пирсона и проверкой полученного результата на малых выборках критерием Колмогорова-Смирнова. В качестве сглаживающих функций к эмпирическим кривым распределения концентраций биогенного загрязняющего вещества использовались кривые трехпараметрического гамма - распределения.

Приведена методика расчета максимально-допустимых концентраций загрязняющего вещества в сбросных водах, которая основана на осуществлении контроля качества воды в фоновом, сбросном и створе полного смешения.

Вследствие отсутствия комплексных наблюдений на водоприемнике за фоновый створ водотока приняты многолетние наблюдения на гидрометрических постах государственной сети Росгидромета. Разработан алгоритм математического моделирования концентрации загрязняющего вещества (методом Монте-Карло) в двух вариантах (при наличии или отсутствии автокорреляционной связи между средними арифметическими концентрациями загрязняющего вещества).

Математическое моделирование максимальных концентрации загрязняющего вещества выполняется по регрессионной зависимости их со средними арифметическими и позволяет оценить возможности поступления в водоприемник загрязненных вод ниже по течению. Эта возможность должна оцениваться при соблюдении установленных норм качества воды в контрольном створе.

Для практического использования разработанной методики рассматриваются две задачи. Согласно первой задаче требуется определить максимально-допустимую концентрацию загрязняющего вещества в сбросных водах. Для решения этой задачи в первую очередь определяется возможность водного объекта принять дополнительно загрязненные сточные воды. Эта возможность определяется путем сопоставления максимального значения полученного по результатам математического моделирования максимальных концентраций загрязняющего вещества (максимум-максимум) в фоновом створе с ПДК. Убедившись в том, что водоприемник может принять дополнительное загрязнение, необходимо определить максимально-допустимую концентрацию загрязняющего вещества в контрольном створе с учетом стохастического характера формирования стока. Для этого следует выполнить математическое моделирование средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в контрольном створе. Переход из фонового створа в контрольный с использованием данных натурных наблюдений выполняется следующим образом. Необходимо определить частное от деления ПДК на максимум-максимум, и все величины средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в фоновом створе умножаются на эту величину. Полученные виртуальные ряды средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в контрольном створе удлиняются с помощью математического моделирования, аналогичным образом. По сглаженной кривой обеспеченности максимальных концентраций загрязняющего вещества в контрольном створе определяется обеспеченность ПДК. С учетом стохастического процесса формирования стоковых характеристик предлагается вводить величину «запаса» (снижение риска превышения допустимого уровня загрязняющего вещества). Для этого величину обеспеченности ПДК следует увеличить на 5-10% и определить по кривой обеспеченности значение, соответствующее максимальной концентрации загрязняющего вещества в контрольном створе.

По регрессионной зависимости средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в контрольном створе определяется величина средней арифметической концентрации. Далее по балансовой зависимости определяется значение концентрации загрязняющего вещества в сбросных водах.

В таблице 4 приведены результаты статистической обработки средних арифметических и максимальных концентраций нитратного азота для весеннего сезона по результатам натуральных наблюдений и математического моделирования в фоновом (над чертой) и контрольном (под чертой) створах. Исходные данные взяты по многолетним натурным наблюдениям северного отделения Росгидромета на реке Верхняя Ерга.

Таблица 4

Результаты статистической обработки средних арифметических и максимальных концентраций азота нитратного для весеннего сезона по данным натуральных наблюдений и математического моделирования для фоновой и контрольной створов водотока

№	Параметры	Натурные данные		Математическое моделирование	
		Ср.	Макс.	Ср.	Макс.
1	2	3	4	5	6
1	Количество, шт.	28	28	1000	1000
2	Максимум, мг/л	0,26/3,67	0,45/6,34	0,36/5	0,71/10,5
3	Среднее арифм. знач., мг/л	0,11/1,59	0,20/2,88	0,11/1,55	0,19/2,67
4	Дисперсия, (мг/л) ²	0,003/0,65	0,01/2,22	0,004/0,72	0,02/3,28
5	Среднее кв. откл., мг/л	0,06/0,81	0,11/1,49	0,06/0,85	0,13/1,81
6	Коэфф. Вариации, Cv	0,51	0,52	0,55	0,68
7	Коэфф. Асимметрии, Cs	0,74	0,54	0,70	0,55
8	Cs/Cv	1,46	1,03	1,27	0,81
9	Коэфф. Автокорр., $\Gamma_{авт}$	0,24	0,04	0,01	-0,01
10	Расчет. Знач. критерия Стьюдента	1,27	0,18	0,21	-0,21

По кривой обеспеченности определяется величина обеспеченности ПДК, в данном случае она равна 0,01% (ГН 2.1.5.1315-03, ПДК нитратов для хозяйственно-питьевого водопользования санитарно-токсикологического лимитирующего показателя вредности равно 10 мг/л). Задаемся «запасом», равным 5%. При этом обеспеченность допустимой максимальной величины в створе полного смешения равна 5%. Следовательно, (рис.9) по кривой обеспеченности получаем максимально-допустимую концентрацию загрязняющего вещества в контрольном створе равную 6 мг/л.

На рис.10 представлена прямая регрессии максимальных и средних арифметических концентраций нитратного азота для весеннего сезона в контрольном створе. Прямая регрессий подобрана, таким образом, что свободный член равняется нулю.

При этом коэффициент регрессии равен 1.75. По прямой регрессии определяется значение средней арифметической величины, соответствующей максимальной концентрации загрязняющего вещества с «запасом» на стохастичность процесса загрязнения. В данном случае оно ≈ 3.5 мг/л.

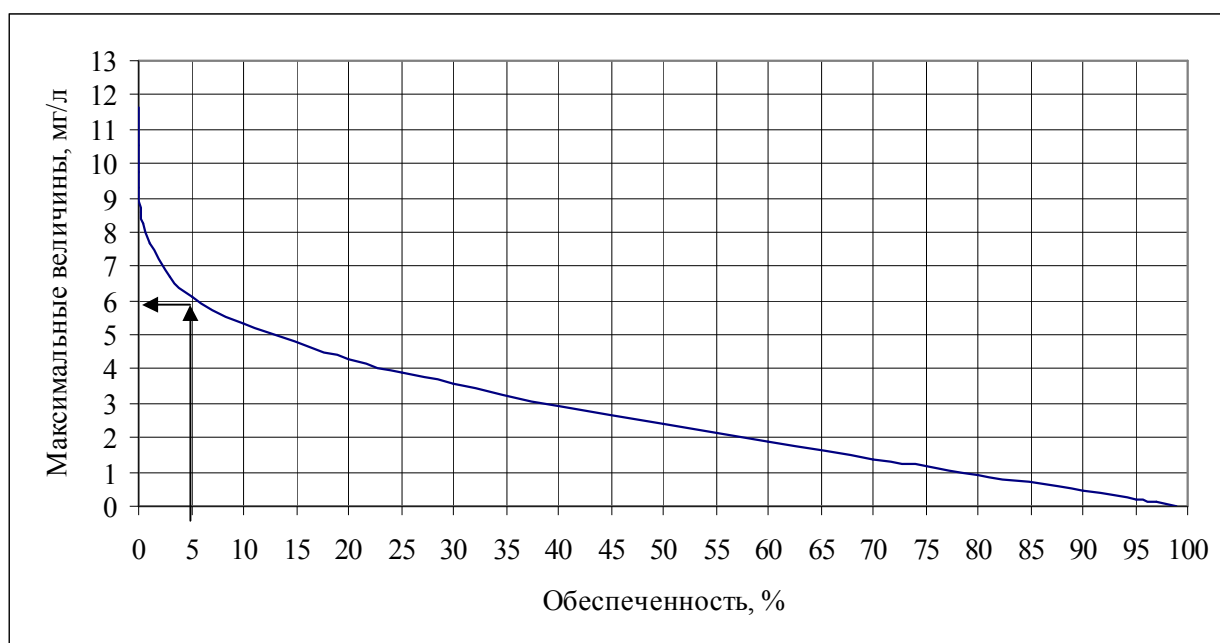


Рис.9 Кривая обеспеченности максимальных концентраций нитратного азота для весеннего сезона в створе полного смешения

Далее выполняется расчет средней концентрации нитратного азота в сбросных водах по балансовой зависимости. При максимальной средней

арифметической концентрации нитратного азота по результатам математического моделирования в фоновом створе (табл. 4) равной 0.36 мг/л и отношению речного и дренажного расходов – 1000 средняя концентрация загрязняющего вещества в сбросных водах равняется 3143.5 мг/л.

Если использовать методику расчета концентрации загрязняющего вещества в сбросных водах, которая применяется в настоящее время, то средняя концентрация нитратного азота для весеннего сезона в устье сбросного канала получилась равной 9650 мг/л.

Согласно второй задаче необходимо определить уровень загрязнения в контрольном створе водоприемника при условии, что концентрация загрязняющего вещества в сбросных водах известна. Для решения этой задачи аналогичным образом выполняется математическое моделирование средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в фоновом створе.

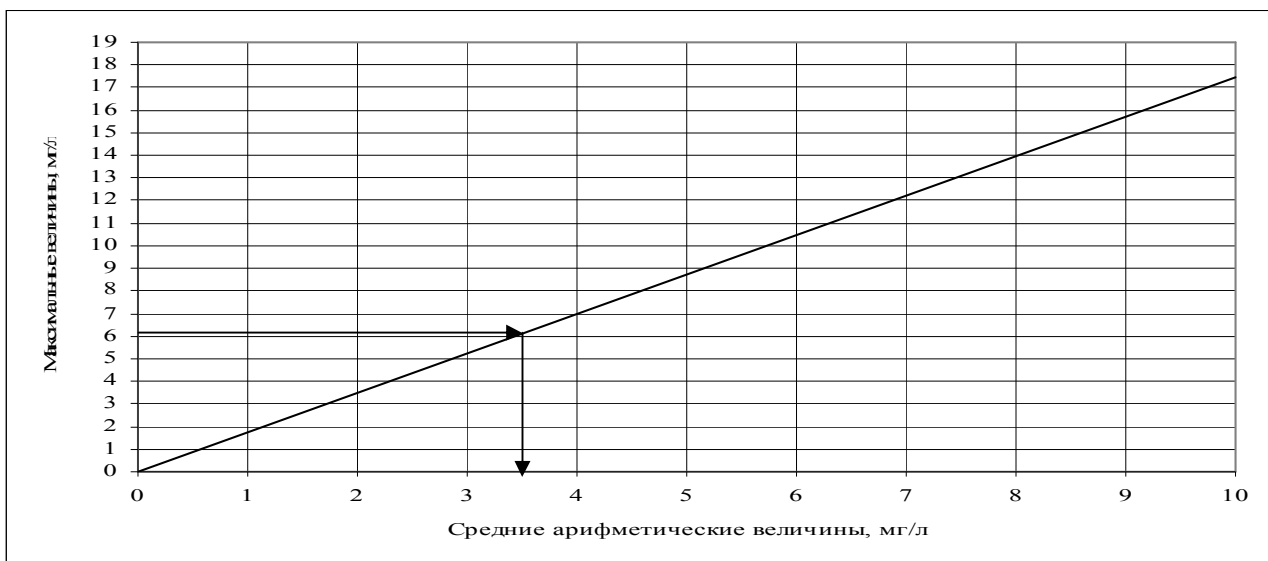


Рис.10 Прямая регрессии максимальных и средних арифметических величин концентрации нитратного азота для весеннего сезона в контрольном створе

Затем, используя среднее арифметическое значение из средних, по результатам математического моделирования по балансовой зависимости определяется величина средней концентрации загрязняющего вещества в контрольном створе. Используя частное от деления средних арифметических концентраций загрязняющего вещества в контрольном и фоновом створах,

осуществляем переход в контрольный створ. Далее выполняем математическое моделирование максимальных концентраций загрязняющего вещества в контрольном створе и все действия по определению допустимой средней концентрации загрязняющего вещества в контрольном створе аналогично, как в первой задаче. Заключительным этапом является сравнение полученного результата с величиной сброса.

В заключении обсуждаются полученные результаты и выводы. Состав дренажных стоков определяет загрязненность поверхностных природных вод. В частности, загрязнение воды, предназначенной для потребительских нужд населения, значительно увеличивает затраты на ее очистку. Приходится констатировать, что качество поверхностных водотоков с каждым годом ухудшается. Следовательно, необходимо активизировать научно-исследовательскую работу по изучению гидрологических и гидрохимических процессов в малых реках. Кроме того, требуется в ближайшее время: 1) задействовать все имеющиеся в распоряжении соответствующих служб мониторинга водных объектов пути и способы получения, обработки и анализа информации (натурный эксперимент, физическое и математическое моделирование); 2) спланировать и принять меры по разработке новых эффективных методов оценки качества стоков, поступающих с сельскохозяйственных и урбанизированных земель, а также 3) приступить к созданию перспективных методик стратегического прогнозирования техногенного давления на водные экосистемы.

К основным выводам в настоящей работе относятся следующие.

1) Стохастический подход к процессу загрязнения поверхностных вод биогенными веществами.

2) Выделение лимитирующих (расчетных) сезонов, в которые складывается самая неблагоприятная экологическая обстановка в водотоке.

3) Использование допустимого уровня неоднородности и построение кривых обеспеченности по сгруппированному ранжированному ряду для

неоднородных рядов при подборе рек-аналогов с помощью статистического непараметрического критерия однородности Вилькоксона.

4) Установлена тесная корреляционная связь средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества в водотоке по результатам натуральных наблюдений за многолетний период.

5) Доказана хорошая согласованность гидрохимических данных с кривыми трехпараметрического гамма – распределения.

6) Разработаны два метода математического моделирования: при наличии и отсутствии автокорреляционных связей (простая цепь Маркова) в натуральных данных.

7) Существенность корреляционной связи не установлена между расходом воды водотока и концентрацией биогенных загрязняющих веществ.

8) Разработана методика математического моделирования концентрации загрязняющего вещества в расчетных створах водотока с учетом регрессионной зависимости средних арифметических и максимальных концентраций загрязняющего вещества.

9) Разработана методика управления концентрацией загрязняющего вещества в сбросных водах.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на проверку разработанной методики для других загрязняющих веществ и климатических зон.

Основные результаты диссертационной работы изложены

в следующих публикациях

1. Некоторые статистические данные натуральных наблюдений загрязнения биогенами малых рек – водоприемников осушительных систем // Материалы второй всероссийской научно-практической конференции «Экология и здоровье. Проблемы и перспективы социально-экономической реабилитации территорий, профилактики заболеваемости и устойчивого развития»: Тезисы докл. - Вологда, 2007. –С. 112-114.

2. Управление качеством вод малых рек нечерноземной зоны РФ – водоприемников сточных вод гидромелиоративных систем с учетом

стохастической природы формирования стока // Материалы международной научно-практической конференции «Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК»: Тез. докл. – М., 2007. – С.78-84 (в соавторстве с М.А. Михалевым).

3. Имитационное моделирование стохастического загрязнения биогенными веществами малых водотоков – водоприемников сточных вод // Материалы всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах»: Тез. докл. - СПб., 2007. – С.130-131.

4. Загрязнение малых водотоков биогенами, поступающими с мелиорированных сельскохозяйственных территорий // Материалы конференции Политехнического симпозиума: Тез. докл. - СПб, 2007. – С.78-79.

5. Mathematical modeling of biogenes pollutions of small rivers in the nonchernozem zone of the Russian Federation // The international youth science environmental forum “Ecobaltica’2008” St.-Petersburg, Russia, 2008. - P.140-141.

6. Результаты обработки натурной информации при проверке статистических гипотез на однородность для математического моделирования биогенного загрязнения малых водотоков на примере Вологодской области // Материалы международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов»: Тез. докл. - М, 2008. – С.326-330.

7. Математическое моделирование концентрации биогенов в малых реках с учетом автокорреляционных связей // Материалы Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах»: Тез. докл. – СПб., 2008. – С. 125-127.

8. Анализ корреляционных и автокорреляционных связей гидрометрических и гидрохимических данных натурных наблюдений в малых водотоках Двинско-Печорского бассейна Северо-Западного Федерального Округа (на примере реки Двинницы) // Журнал «Информационные технологии в проектировании и производстве». - 2009. - №3. - С. 83-87 (журнал ВАК).

9. Результаты статистической обработки совместных гидрологических и гидрохимических характеристик стока малых рек Северо-Западного района России (на примере р.Верхняя Ерга)// Журнал «Метеорология и гидрология». - 2009. - №5. – С. 99-104 (журнал ВАК).

10. Моделирование биогенного загрязнения малых водотоков дренажными водами (На примере нечерноземной зоны России) // Журнал «Мелиорация и водное хозяйство. - 2009. - №2. - С.30-31 (журнал ВАК).

11. Прогнозирование максимальных концентраций загрязняющих веществ в малых водотоках // Журнал «Научно-технические ведомости СПбГПУ». - 2009. - 2(78). – С.179-185 (журнал ВАК).

12. Разработка методики математического моделирования максимальных значений концентрации биогенных загрязняющих веществ в малых водотоках // Журнал «Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии». – 2009. - Выпуск 188. – С.111-119 (журнал ВАК).

13. Математическое моделирование биогенного загрязнения малых водотоков с учетом автокорреляционных связей в хронологических рядах натуральных наблюдений (на примере нечерноземной зоны РФ) // Инженерный журнал «Справочник». - 2009. - №6(147). – С. 38-43 (журнал ВАК).

14. Методика определения допустимых сбросов дренажных вод с учетом стохастического процесса на основе математического моделирования концентрации биогенных загрязняющих веществ в малых реках (на примере Двинско-Печерского бассейна) // Журнал «Информационные технологии». – 2009. - №11(159). – С.73-76 (журнал ВАК).

15. Метод Монте-Карло при моделировании максимальных значений концентраций биогенных загрязняющих веществ в малых водотоках (на примере реки Верхняя Ерга Двинско-Печерского бассейна) // Журнал «Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии». – 2009. - Выпуск 189. – С.52-59 (журнал ВАК).

16. Результаты статистической обработки натурной информации при изучении биогенного загрязнения малых рек, принимающих стоки с

мелиорируемых сельскохозяйственных территорий. // Журнал. «Природообустройство». – 2009. - №4. – С.73-77.

17. Прогнозирование концентраций биогенных загрязняющих веществ в малых водотоках на основе математического моделирования методом Монте-Карло. // Межотраслевой научно-практический журнал «Экология промышленного производства». - 2010. - №1. – С.10-13 (журнал ВАК).

18. Математическое моделирование биогенного загрязнения малых водотоков Северо-Западной зоны РФ. // Журнал «Экология и промышленность России». - 2010. – январь. – С.32-35 (журнал ВАК).

19. Имитационное моделирование стохастического процесса биогенного загрязнения малых рек (на примере нечерноземной зоны РФ). // Журнал «Агро21». - 2010. - №1-3. – С.58-59 (журнал ВАК).

20. Математическое моделирование максимальных значений концентраций биогенного загрязнения малых рек для условий нечерноземной зоны РФ. // Журнал: «Экология промышленного производства». - 2010. - №2. – С.41-44 (журнал ВАК).

21. Статистическая обработка натурной информации при изучении биогенного загрязнения малых рек (на примере бассейна рек Верхней Волги) // Журнал «Нива Поволжья». – 2010. - №1. – С.15-17 (журнал ВАК).

22. Математическое моделирование биогенного загрязнения малых рек нечерноземной зоны России // Материалы XIV Всероссийская конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах»: Тез. докл. -СПб: СПбГТУ, Т.1. 2010. – С. 352-353 (в соавторстве с М.А. Михалевым).

23. Прогнозирование биогенного загрязнения поверхностных водотоков с помощью математического моделирования //II – Всероссийская научно-практическая конференция «Экология и здоровье: проблемы и перспективы. Социально-экологической реабилитации территорий, профилактики, заболеваемости и устойчивого развития»: Тез. докл. - Вологда, 2010. – С. 70-72.