

На правах рукописи

АНТОНОВ ИВАН ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОЦЕНКА НАГРУЗКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ВОДНЫЕ
ОБЪЕКТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

05.21.03 – технология и оборудование химической переработки
биомассы дерева; химия древесины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена на кафедре «Охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Научный руководитель: **Шишкин Александр Ильич**
кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры охраны окружающей среды и рационального
использования природных ресурсов ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»

Официальные оппоненты: **Богданович Николай Иванович**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры целлюлозно-бумажных и
лесохимических производств ФГАОУ ВО «Северный
(Арктический) федеральный университет имени
М. В. Ломоносова»

Кондратьев Сергей Алексеевич
доктор физико-математических наук, старший
научный сотрудник, заместитель директора по
научной работе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
озероведения Российской Академии наук

Ведущая организация: ФГБУН «Санкт-Петербургский научно-
исследовательский центр экологической безопасности
Российской Академии наук»

Защита диссертации состоится «22» апреля 2020 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.236.08 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», по адресу: 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных д. 4., <http://sutd.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных д. 4.

В отзыве указываются фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии), наименование организации и должность лица с указанием структурного подразделения, представившего отзыв (п. 28 положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан: «_____» _____ 2020 года

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук

Махотина Людмила Герцевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. За последние годы произошли существенные изменения природоохранного законодательства Российской Федерации в области нормирования антропогенной нагрузки, в частности на водные объекты. Были заложены принципы технологического нормирования, подразумевающего деление предприятий на четыре категории объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности относятся к объектам I категории (оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду). Предприятиям такой категории предписываются требования по осуществлению своей деятельности с учётом наилучших доступных технологий (НДТ) и установлению технологических нормативов, которые учитываются при разработке комплексного экологического разрешения (КЭР). Данный принцип должен быть реализован на предприятиях I категории до 1 января 2025 г. При этом, Министерством природных ресурсов и экологии РФ, выделен перечень из 300 предприятий с суммарным вкладом в выбросы и сбросы не менее 60 %, для которых установление технологических нормативов на основе НДТ и получение КЭР необходимо осуществить до 31 декабря 2022 г. В этот перечень из 300 предприятий входит ряд предприятий ЦБП.

В тоже время, при нормировании допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты в рамках природно-технических комплексов (ПТК), в законодательстве закреплён бассейновый принцип, подразумевающий разработку нормативов допустимого воздействия (НДВ) и схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). В соответствии с бассейновым принципом, распределение общей нагрузки НДВ между предприятиями – водопользователями различных отраслей промышленности, в том числе и ЦБП, реализуется в виде нормативов допустимого сброса (НДС) с учётом внедрения НДТ.

Действующие нормативно-методические указания не позволяют перераспределять нормы нагрузки для всех водопользователей при их совокупном воздействии в пределах одного бассейна или водохозяйственного участка. Это связано с отсутствием научно-обоснованных критериев технологического нормирования и оценки уровня экологичности предприятий – водопользователей в рамках рассматриваемых отраслевых и межотраслевых ПТК, а так же взаимосвязи экологического и технологического нормирования.

Регионально-бассейновый подход при эколого-технологическом нормировании (ЭТН) техногенной нагрузки для целлюлозно-бумажных производств с учётом всех водопользователей бассейна может быть реализован на основе единой геоинформационной системы природно-технических комплексов (ПТК).

Осуществление более сложного и трудозатратного механизма расчёта нормативов на сброс, позволяющего учесть среднесрочные и долгосрочные прогнозы по основным определяющим факторам с учётом критериев действующего природоохранного законодательства, может быть реализовано на основе разработки новых средств информационной экологии и автоматизированных геоинформационных систем.

В целом, **актуальность работы** обусловлена необходимостью разработки новых методов и средств поддержки принятия решений для водопользователей на основе алгоритма и методики нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты в рамках ПТК с применением геоинформационных систем. Принципиальным становится необходимость объединения в единую систему нормативов допустимого

воздействия на водный объект, технологических нормативов, характеризующих уровень используемых технологий по сравнению с НДТ, принципа оптимального перераспределения массы сбрасываемых веществ между предприятиями ЦБП и водопользователями водохозяйственного участка, а так же плана и программы реализации снижения сбросов загрязняющих веществ.

Всё отмеченное выше предопределило необходимость разработки методов и средств, которые на новой теоретической и программно-технической основе обеспечат взаимосвязь в системе «мониторинг – нормирование – экономическое стимулирование», упорядочат механизмы реализации водоохранного законодательства РФ и создадут предпосылки для технологического перевооружения отечественной промышленности.

Цель работы. Разработка методических основ и алгоритмического обеспечения нормирования допустимого воздействия на водохозяйственный бассейн в рамках ПТК для предприятий ЦБП и других водопользователей с применением геоинформационных систем.

Задачи исследования. Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ существующих методов прогноза и нормирования нагрузки на водные объекты от предприятий ЦБП на основе бассейновых норм допустимого воздействия (НДВ) и технологических нормативов.

2. Разработка методических основ и алгоритма установления НДС, с применением новой информационно-аналитической базы ПТК по определяющим индивидуальным и комплексным показателям.

3. Разработка методики построения ГИС-проекта для прогноза качества воды и нормирования антропогенной нагрузки по интегральным и специфическим для ЦБП показателям.

4. Разработка критерия оценки уровня экологичности (УЭ) отдельных производств для их ранжирования и распределения допустимой нагрузки между субъектами ПТК на основе создания ГИС-проекта функционирования объектов ЦБП.

5. Создание и апробация геоинформационного программно-аналитического комплекса нормирования сброса сточных вод ЦБП, позволяющего учитывать и перераспределять нагрузку между всеми водовыпусками рассматриваемых водопользователей ПТК.

Методы исследования: системный анализ источников и факторов техногенного воздействия на природную среду, экспериментально-статистические методы, геоинформационное, имитационное моделирование со специализированными программными продуктами, статистические методы обработки данных Роскомгидромета, отчётности по форме 2-ТП (водхоз) и схем производственного контроля.

Научная новизна определяется тем, что впервые разработан алгоритм обеспечения и методика формирования проектов НДС на геоинформационной основе с возможностью анализа и визуализации всех субъектов ПТК для учёта уровня экологичности предприятий на единой основе бассейновых НДВ и СКИОВО, обеспечивающих поддержку принятия управленческих решений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм нормирования сбросов от предприятий ЦБП в рамках ПТК на основе бассейнового межотраслевого подхода, позволяющего учесть потенциальную опасность каждого из предприятий – водопользователей.

2. Методика экологического нормирования в ГИС-проекте ПТК, отличающаяся алгоритмом и программно-техническими средствами расчёта и моделирования по индивидуальным и комплексным показателям.

3. Критерий уровня экологичности (УЭ) основных производственных и природоохранных технологий предприятий, позволяющий связать экологическое и технологическое нормирование через индивидуальные для водопользователей НДС с бассейновыми нормами НДВ.

4. Разработанный на базе ArcGIS Desktop 10.0 геоинформационный программно-аналитический комплекс «ГИМС-река», реализующий широкий класс отраслевых задач эколого-технологического нормирования ЦБП на уровне норм НДС, так и на межотраслевом бассейновом уровне проектов НДВ и СКИОВО.

Практическая значимость работы. Полученные результаты исследований использованы при разработке:

1. Принципа эколого-технологического нормирования в рамках единой стратегии СКИОВО, НДВ и НДС, позволившего обосновать подчинённые связи между региональными нормами для бассейна, индивидуальными нормами допустимых масс сброса загрязняющих веществ специфичных для ЦБП и ЛПК и технологическими возможностями поэтапного достижения разрабатываемых норм в рамках СКИОВО.

2. Критериев, алгоритма и программных средств для квотирования нагрузки от отдельных субъектов, включая предприятия ЦБП и ЛПК, в рамках природно-технических комплексов с помощью геоинформационной моделирующей системы «ГИМС-река».

3. Геоинформационной модели, реализующей различные виды и конфигурации ПТК, в качестве типовой для установления НДС предприятий ЦБП, с возможностью их достижения на основе бассейновых НДВ.

4. Методики ранжирования субъектов ПТК по экологическим и технологическим показателям для обеспечения индивидуальных НДС и бассейновых НДВ во временном разрезе в соответствии с бассейновой СКИОВО.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов обусловлена корректным использованием фактического материала и современных методов математического анализа и методов компьютерного имитационного моделирования, а также практической реализацией на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих Международных, Всероссийских и отраслевых симпозиумах, конференциях и семинарах: Всероссийской научно-практической конференции «Наукоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», Санкт-Петербург, 2008, 2011, 2013; Межотраслевой международной конференции «Допустимое воздействие на окружающую среду и совершенствование системы экологической безопасности», Санкт-Петербург, 2008; Международном экологическом форуме «День Балтийского моря», Санкт-Петербург, 2009-2012, 2014-2017; Всероссийской межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Недели науки СПбГПУ», Санкт-Петербург, 2009, 2011-2013, V Международном конгрессе «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов», Санкт-Петербург, 2012; IX-й Международном молодёжном научном экологическом форуме стран Балтийского региона «ЭКОБАЛТИКА'2012», Санкт-Петербург, 2012;

XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Экология. Человек. Общество», Киев, 2013; III Международном научном конгрессе «ГЛОБАЛИСТИКА–2013», Москва, 2013; XVII International Eco-conference, Novi Sad, Serbia, 2013; II Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности», Пермь, 2014; XIX Международном и Межрегиональном Биосфоруме, Санкт-Петербург, 2014; 8th Eastern European Young Water Professionals Conference Gdańsk, Poland, 2016; 2nd International Integrated Conference & Concert on Convergence, Saint Petersburg, 2016; PAP-FOR 2016, Saint-Petersburg, 2016; Молодёжном экологическом Конгрессе «Северная Пальмира», Санкт-Петербург, 2016, 2018; X Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных по проблемам водных экосистем «PontusEuxinus 2017», Севастополь, 2017; Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Экологический мониторинг и биоразнообразие», Ишим, 2018.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, в т.ч. 5 в журналах, рекомендованных ВАК России и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Все результаты, представленные в работе, получены соискателем лично, либо в соавторстве при его непосредственном участии.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 209 наименований, а также 6 приложений. Работа изложена на 173 страницах машинописного текста. Работа содержит 37 рисунков, 39 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведена концепция эколого-технологического нормирования нагрузки на водные объекты, классификация и типизация природно-технических комплексов, в качестве одного из основных субъектов, которого рассматриваются предприятия ЦБП и ЛПК.

Под природно-техническим комплексом (ПТК) будем понимать совокупность различного рода промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных производств, расположенных в пределах одного речного бассейна или водохозяйственного участка и, соответственно, взаимосвязанных и взаимозависимых через водные ресурсы этого бассейна в виде региональных экологических нормативов допустимого воздействия (НДВ).

На основании действующего природоохранного законодательства и нормативно-правовых документов в качестве экологических критериев приняты для бассейна в целом нормы допустимых воздействий по массам лимитирующих веществ с учётом изменяющихся параметров ПТК. Обоснована необходимость определения целевых лимитирующих показателей и критериев экологичности производств, по которым в дальнейшем и будут устанавливаться подчинённые связи между качеством воды в водном объекте, величиной допустимых воздействий для бассейна в целом и величиной допустимых сбросов (НДС) для каждого субъекта ПТК.

Вопросами экологического нормирования водопользования посвящены работы Ю.А. Израэля, К.Я. Кондратьева, М.И. Алексеева, В.К. Донченко, С.А. Кондратьева, В.М. Питулько, В.В. Дмитриева, Н.Н. Лапшева, И.Д. Родзиллера, А.И. Шишкина и др.

Вопросам эколого-технологического нормирования для предприятий ЦБП и ЛПК посвящены работы Э.Л. Акима, Н.И. Богдановича, В.Ф. Неволлина, Я.В. Никитина, А.С. Смолина, А.И. Шишкина, А.Н. Николаева и др.

Целлюлозно-бумажная отрасль оказалась одной из первых, для которых был определён сокращённый и расширенный список целевых лимитирующих показателей, по которым определяется допустимая нагрузка на водные объекты.

Совершенствование системы нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты в соответствии с водным кодексом требует комплексного подхода, в основу которого положен бассейновый принцип с учётом особенностей ПТК и необходимости комплексного использования и охраны водных объектов при учёте интересов функционирования и развития каждого субъекта ПТК.

Анализ работ Н.Л. Фёдорова, В.К. Донченко, В.В. Растоскуева, С.А. Кондратьева, В.В. Алексева, Н.И. Дружинина, А.И. Шишкина, А.В. Епифанова и др. позволил определить перечень и возможности применения современных геоинформационных систем, моделирующих на бассейновом уровне региональные ПТК и позволяющих связывать интересы отдельных предприятий ЦБП и других отраслей производства с долгосрочными планами комплексного использования и охраны водных объектов.

Аналитический обзор отечественных и зарубежных работ позволил выявить существование хорошо проработанной базы санитарно-гигиенических, но в недостаточной степени - экологических и технологических нормативов. В то же время очевидна необходимость учёта в большей степени региональной специфики формирования состояния водных объектов и всех видов допустимых на них воздействий, а также возможности достижения водопользователями ПТК наилучших доступных технологий (НДТ) при обосновании квот допустимых нагрузок для каждого субъекта ПТК.

Отсутствие достаточно проработанных взаимоподчинённых методик обоснования допустимых сбросов и допустимых воздействий на базе современных геоинформационных систем предопределило необходимость разработки специализированной геоинформационной системы эколого-технологического нормирования нагрузки от предприятий ЦБП и ЛПК с учётом взаимовлияния с другими субъектами ПТК в условиях различной информационной обеспеченности, соответствующих алгоритмов и программ.

В диссертационном исследовании показано, что для повышения эффективности функционирования каждой производственной системы как субъекта ПТК необходимо нарастающее использование современных технологических решений как собственно в производстве, так и в смежных областях. Это предопределяет необходимость оценки уровня экологичности производств по эффективности использования основного и вспомогательного оборудования и их функционирования. В этой связи необходимо, на основе экспертной оценки производственного процесса, определить параметры соответствия эффективности функционирования производств по уровню экологичности с использованием балльной оценки. В критерии балльной оценки входят: характеристики водопотребления, водоотведения, соответствие НДТ удельных показателей сбрасываемых сточных вод, обеспечение проектных показателей очистных сооружений, обеспечение уровня НДС по заданным целевым показателям в соответствии с НДС.

На основе аналитического обзора российских и зарубежных источников определена цель и поставлены задачи, направленные на повышение эффективности

взаимодействия ЦБП с окружающей средой в рамках ПТК на основе усовершенствования методик и разработки новых алгоритмов эколого-технологического нормирования с применением геоинформационных систем.

Во второй главе изложена предлагаемая методология нормирования антропогенной нагрузки от предприятий ЦБП во взаимодействии с предприятиями других отраслей на водные объекты. Структура эколого-технологического нормирования для предприятий ЦБП в рамках ПТК представлена на рисунке 1. В соответствии с рассматриваемой концепцией, на основе разрабатываемой методики, нормативы НДС определяются для каждого субъекта водопользования, входящего в рассматриваемый ПТК по бассейновому принципу.

Методика основана на подходе, при котором качество воды в бассейне должно поддерживаться на нормативном уровне для водных экосистем и промышленных комплексов, минимизируя последующие затраты на восстановление водных объектов до заданного класса качества природной воды за счёт выполнения первоочередных и поэтапных плановых водоохраных мероприятий.

Предложенная структура методики эколого-технологического нормирования учитывает геоэкологические процессы и технический уровень производств всех субъектов в рамках ПТК, а также предполагает широкое использование геоинформационного моделирующего комплекса «ГИМС-река».

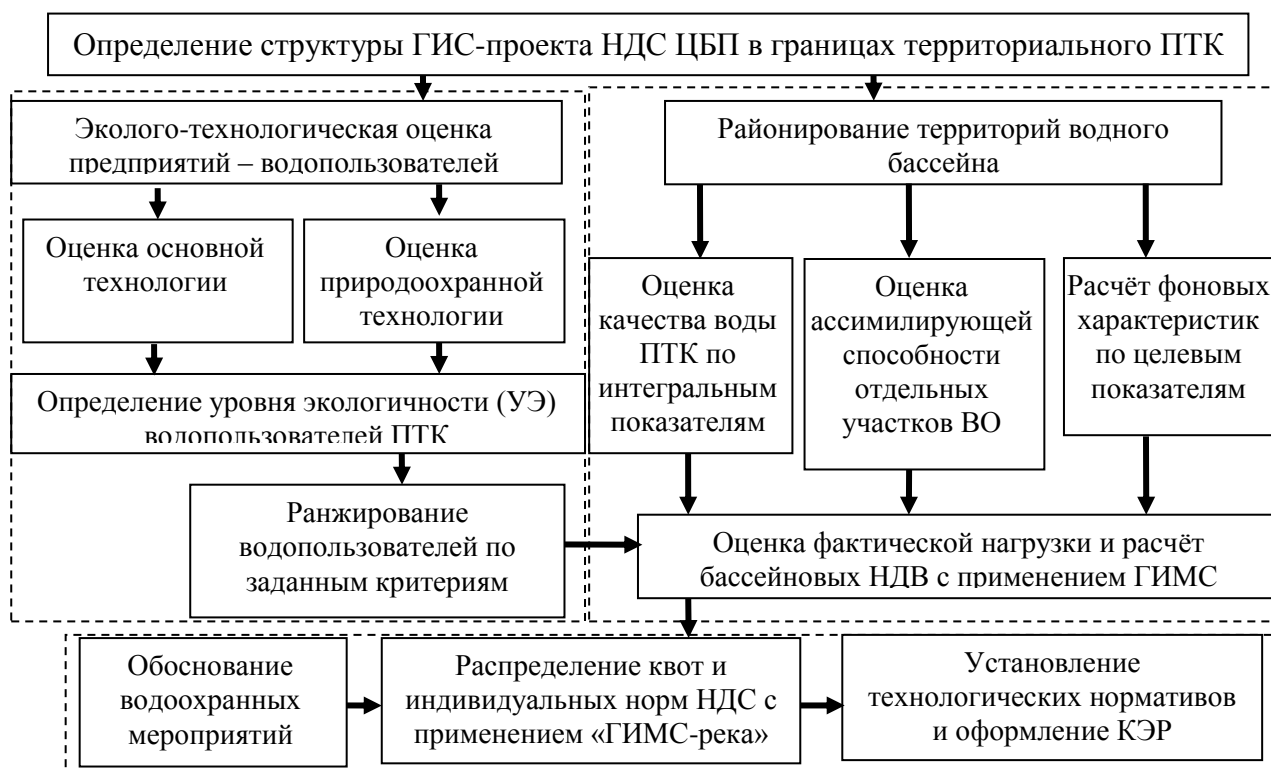


Рисунок 1 – Обобщенная структура методики эколого-технологического нормирования сбросов сточных вод на основе геоинформационных систем

Основные этапы нормирования сбросов в рамках бассейнового подхода с учётом уровня экологичности технологий предприятий – водопользователей предлагаются следующими (рисунок 1):

1. Определение фоновых характеристик по общесанитарным и целевым показателям и параметрам водного объекта, соответствующих заданному гидрологическому режиму.

2. Разработка структуры ГИС-проекта НДС ЦБП в границах ПТК.

3. Определение основных источников воздействия на водный бассейн посредством эколого-технологической оценки предприятий – водопользователей, с последующим ранжированием по заданным критериям.

4. Районирование бассейна водного объекта ПТК и определение границ расчётных участков с соответствующими классами качества воды.

5. Обоснование модели ПТК для нормирования нагрузки на водный объект и построение линейной схемы.

6. Имитационное моделирование ПТК для группы водопользователей с применением геоинформационного комплекса «ГИМС-река» для распределения квот и индивидуальных норм НДС и обоснования оптимальных по эколого-технологическим критериям параметров сброса.

Как показано на рисунке 1 основополагающим этапом алгоритма эколого-технологического нормирования сброса для ПТК ЦБП является эколого-технологическая оценка всех предприятий – водопользователей и водохозяйственное районирование территории водного бассейна ПТК.

Эколого-технологическая оценка, в соответствии с разработанной методикой, предопределяет необходимость определения уровня экологичности водопользователей как по основной технологии производства, так и по природоохранной технологии и, как результат, расчёт обобщенного уровня экологичности всего предприятия.

Выявление предприятий ПТК, вносящих наибольший вклад в загрязнение бассейна производится по репрезентативным показателям загрязнения для всех субъектов ПТК. В целом, классификация производится по видам деятельности основных производств, ранжированию по мощности и цикличности источника загрязнения, по соответствию основного и природоохранного производств НДТ и проектному уровню, по режиму работы, локализации и конструктивным особенностям выпусков.

Отнесение технологий к НДТ осуществляется по обобщенным показателям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели соответствия технологий наилучшим доступным

| № | Показатель |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Технологические нормативы |
| 2 | Проектные показатели работы природоохранного оборудования |
| 3 | Удельные нормы по водопотреблению и водоотведению |
| Коэффициенты учитывающие использование воды | |
| 4 | Коэффициент оборотного использования воды ($k_{об}$) |
| 5 | Коэффициент повторного использования воды ($k_{повт}$) |
| 6 | Коэффициент безвозвратного потребления и потерь свежей воды ($k_{пот}$) |
| 7 | Коэффициент использования воды, забираемой из источника ($k_{исп}$) |

Перечень критериев может расширяться, а значимость каждого из них задаётся экспертами.

Предприятия в соответствии с балльным уровнем экологичности подразделяются на пять категорий. Связь показателя УЭ с эколого-технологическими характеристиками производства приведена в таблице 2.

Оценка УЭ предприятий формируется по каждому рассматриваемому параметру

(показатели 1 – 3) нормированной шкалы по таблице 3 с последующим объединением и определением показателя УЭ.

Таблица 2 – Связь показателя УЭ с эколого-технологическими характеристиками производства

| УЭ | Классификация предприятий по эффективности внедрения экологичности технологий | Внедрение технологий |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ≥ 4 | Высокоэффективные | Стратегия развития может быть принята за наилучшую. Технология удовлетворяет НДТ и воздействие на водную экосистему не изменяет класс качества воды |
| 3,5 – 4 | Эффективные | Технология удовлетворяет нескольким показателям. Водная экосистема за счёт ассимиляции не деградирует |
| 2,5 – 3,5 | Среднеэффективные | Технология удовлетворяет одному или нескольким показателям. Водная экосистема за счёт ассимиляции нетоксичных органических веществ не деградирует |
| 1 – 2,5 | Малоэффективные | Технология не удовлетворяет одному или нескольким показателям и воздействие на водную экосистему в перспективе может привести к понижению класса качества воды |
| ≤ 1 | Неэффективные | Следует изменить стратегию развития предприятия. Качество воды не удовлетворяет экологическим требованиям и водная экосистема деградирует |

Таблица 3 – Соотношение нормированной шкалы балльной оценки от значения критерия X_i

| Значения критерия X_i | Балльная оценка k_i |
|-------------------------|-----------------------|
| (0;1] | 4 |
| (1;2) | (4;3) |
| [2;10) | [3;2) |
| [10;50) | [2;1) |
| [50; ∞) | 1 |

Нахождение значений критерия X_i осуществляется по уравнению:

$$X_i = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{q_{ni}}, \quad (1)$$

где q_i – численное значение показателей с 1 по 3 (согласно таблице 1),

q_{ni} – нормативное значение рассматриваемого показателя, которое соответствует НДТ,

N – количество технологических процессов (основного и природоохранного оборудования), включенных в расчёт.

Оценка по показателям группы 4 (см. таблицу 1) осуществляется по шкале, приведенной в таблице 4.

Таблица 4 – Нормированная шкала балльной оценки значений показателей использования воды в технологических процессах (основном и природоохранном оборудовании)

| k_i | $k_{об}$ | $k_{повт}$ | $k_{пот}$ | $k_{исп}$ |
|-------|----------|------------|-----------|-------------|
| 1 | <35 | <10 | 100 – 80 | <0,35 |
| 2 | 35 – 50 | 10 – 20 | 80 – 50 | 0,35 – 0,50 |
| 3 | 50 – 75 | 20 – 60 | 50 – 30 | 0,50 – 0,80 |
| 4 | 75 – 100 | 60 – 100 | <30 | 0,80 – 1,00 |

Определение уровня экологичности по показателям балльной оценки (k_i) производится путем суммирования взвешенных в соответствии с их значимостью нормированных параметров в соответствии с выражением:

$$УЭ = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \alpha_i k_i, \quad (2)$$

где n – количество рассматриваемых показателей;

k_i – балльная оценка показателя;

α_i – коэффициент значимости суммируемого показателя (суммарное значение равно единице).

В соответствии с алгоритмом (рисунок 1) предполагается районировать бассейн по заданным критериям, отражающим как природную составляющую, так и антропогенное воздействие. Районирование предполагает оценку качества воды по интегральным показателям, оценку ассимилирующей способности отдельных участков водного объекта и последующего расчёта фоновых характеристик по каждому водохозяйственному участку.

На основе проведенного ранжирования источников загрязнения и результатов районирования ПТК, выбора целевых показателей с учётом специфики всех водопользователей, определяется характер и тип всех источников поступления загрязняющих веществ: диффузный сток, организованные водовыпуски, притоки, донные отложения.

Выбираются фоновые и назначаются контрольные створы. Последнее позволяет непрерывно или дискретно оценивать классы качества воды и нормировать нагрузку. Положение контрольного створа выбирается исходя из категории водного объекта, условий водопотребления и водопользования, взаимного расположения источников загрязнения, а также водопользователей.

НДВ определяется на основании моделирования распространения веществ с учётом всех источников воздействия, особенностей миграции и трансформации веществ, ассимилирующей способности водного объекта и его водосборной площади, а также транзитного поступления загрязняющих веществ.

Норматив допустимого воздействия зависит от совокупности выявленных факторов и от качества природной воды на различных участках рассматриваемого ПТК. Чем выше качество воды, тем больше ассимилирующая способность водного объекта. Это отражается в разности ΔC между нормативом качества природной воды на выходе из ПТК ($C_{нр}$, г/м³) и концентрацией загрязняющего вещества на входе в

ПТК (Снвх, г/м³). В соответствии с разработанной методикой, достижение заданного класса качества воды в контрольном створе определяет эту разность (таблица 5), что напрямую влияет на распределение между водопользователями общей нагрузки НДС.

Таблица 5 – Связь ΔС с классом качества воды и комплексными показателями

| Значения комплексных показателей | | Классы качества воды | ΔС |
|----------------------------------|----------|----------------------|-------|
| ИЗВ | УКИЗВ | | |
| до 1 | 1 | Чистая | ΔС |
| [1; 4] | (1; 2] | Слабо загрязнённая | 0,9ΔС |
| (4; 6] | (2; 4] | Загрязнённая | 0,8ΔС |
| (6; 10] | (4; 11] | Грязная | 0,7ΔС |
| более 10 | более 11 | Очень грязная | 0,6ΔС |

С учётом значений комплексных показателей качества воды, установленной общей нагрузки на водохозяйственный участок бассейна ПТК устанавливаются индивидуальные нормативы на сброс НДС.

Возможны два варианта распределения индивидуальных нормативов НДС между водопользователями (рисунок 2):

1. При $\Sigma M_{\phi} > \text{НДВ}$;
2. При $\Sigma M_{\phi} \leq \text{НДВ}$.

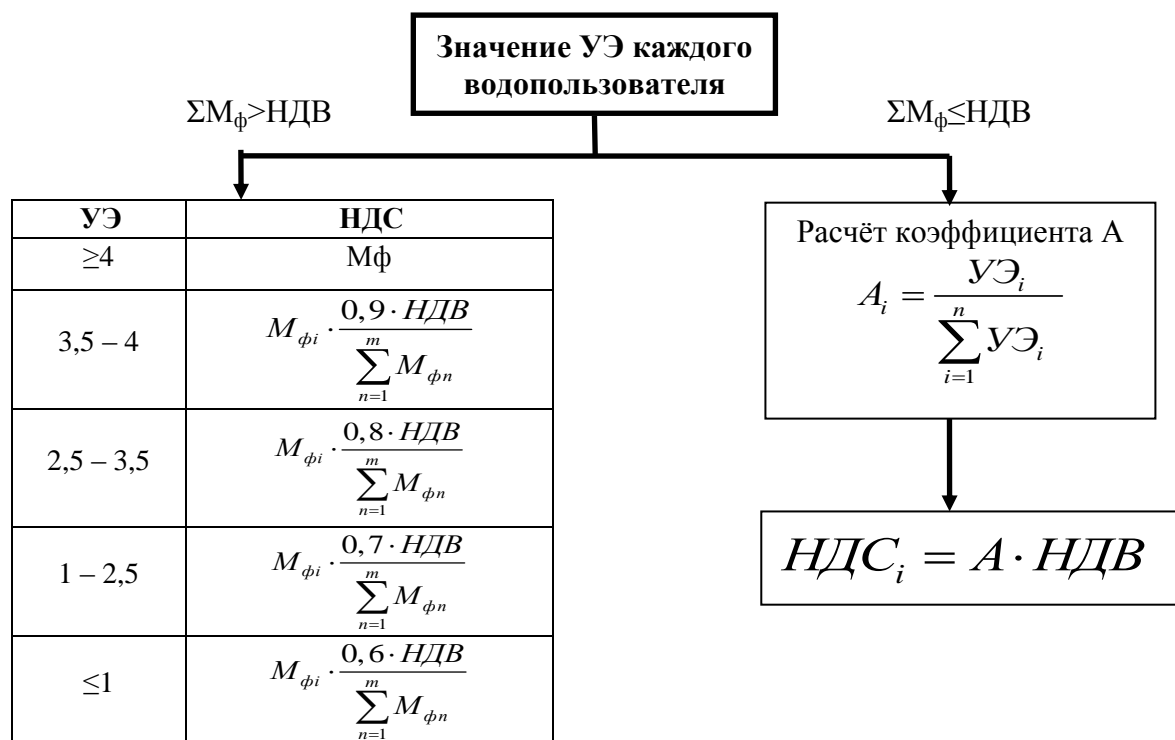


Рисунок 2 – Установление водопользователям индивидуальных нормативов НДС

Согласно рисунку 2 алгоритм распределения нормативов следующий:

– при $\Sigma M_{\phi} > \text{НДВ}$ НДС назначается в зависимости от рассчитанного ранее УЭ, при этом, чем выше уровень экологичности, тем квота больше соответствует фактическим параметрам сброса.

– при $\Sigma M_{\phi} \leq \text{НДВ}$ существует ещё запас по ассимилирующей способности водного объекта и НДС рассчитывается в зависимости от критерия А, который определяется как соответствующая доля коэффициента УЭ.

В третьей главе описывается разработанная структура информационно-аналитической системы и программный модуль достижения нормативов вредных воздействий на водные объекты от предприятий ЦБП и других отраслей производств в пределах ПТК при их взаимодействии.

Разработанная структура программного комплекса «ГИМС-река» (рисунок 3) позволяет реализовать положения методологии и алгоритма нормирования, структура которого приведена на рисунке 1.

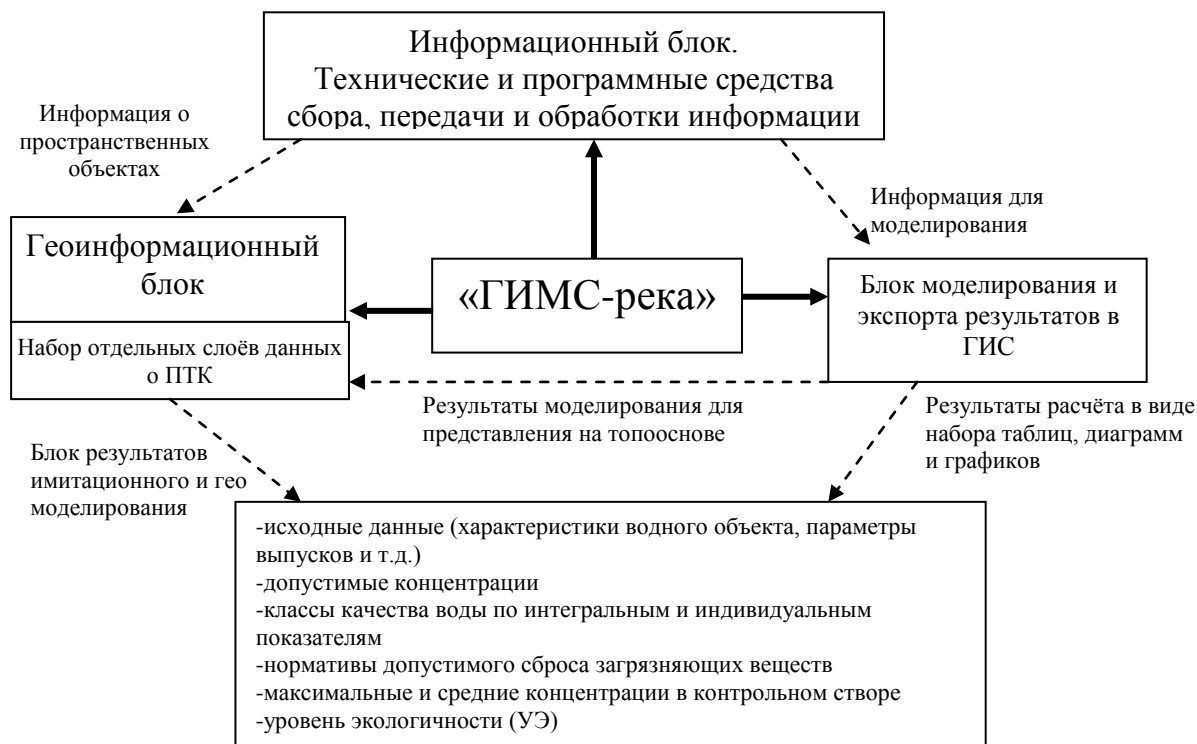


Рисунок 3 – Структура геоинформационного моделирующего комплекса модели КДП и ПВ «ГИМС-река»

Комплекс включает в себя три блока: информационный, геоинформационный, моделирующий.

Разработанный геоинформационный моделирующий комплекс «ГИМС-река» позволяет:

- решать комплекс задач нормирования для сложно организованных ПТК с учётом взаимовлияния ЦБП и производств различных отраслей при необходимости обеспечения бассейновых НДВ и индивидуальных НДС с возможностью поддержания и развития баз данных на ГИС основе;
- оперативно прогнозировать изменение качества воды по целевым гидрохимическим и комплексным показателям на любом участке водного объекта при заданных характеристиках и режимах сброса сточных вод, поступающих через любое число водовыпусков и других источников воздействия, включая диффузные, с учётом возможной гидрологической обстановки и конфигурации бассейна;
- накапливать и систематизировать в банке данных информацию по системе водоотведения как отдельного, так и группы предприятий и водного объекта, которая необходима для оптимизации распределения нагрузки между водопользователями и производственного контроля, а так же при планировании и обосновании природоохранной деятельности и принятия решений в сложных или

чрезвычайных критических экологических ситуациях;

- оперативно рассчитывать текущие экологически безопасные нормативы сброса сточных вод с учётом конкретной гидрохимической и гидрологической обстановки в водном объекте в соответствии с нормативно правовыми регламентами.

В четвёртой главе на конкретных ПТК (ПТК «р. Ижора – АО «КНАУФ ПЕТРОБОРД»; ПТК «ЦБК в г. Коряжма – р. Вычегда»; ПТК «Сясьский ЦБК – р. Валгома – Ладожское озеро»; ПТК реки Великой) произведена апробация разработанного алгоритма и методики эколого-технологического нормирования сбросов от ЦБП по комплексным показателям. На примере различных объектов раскрыты возможности геоинформационного программно-аналитического моделирующего комплекса «ГИМС-река» для нормирования сброса сточных вод. На этапе имитационного моделирования показаны возможности повышения уровня экологичности технологии и как следствие, принятие соответствующих квот нагрузки по нормативам допустимых сбросов для предприятий ЦБП с учётом всех водопользователей ПТК.

Результаты имитационного моделирования с применением «ГИМС-река» приведены на рисунке 4.

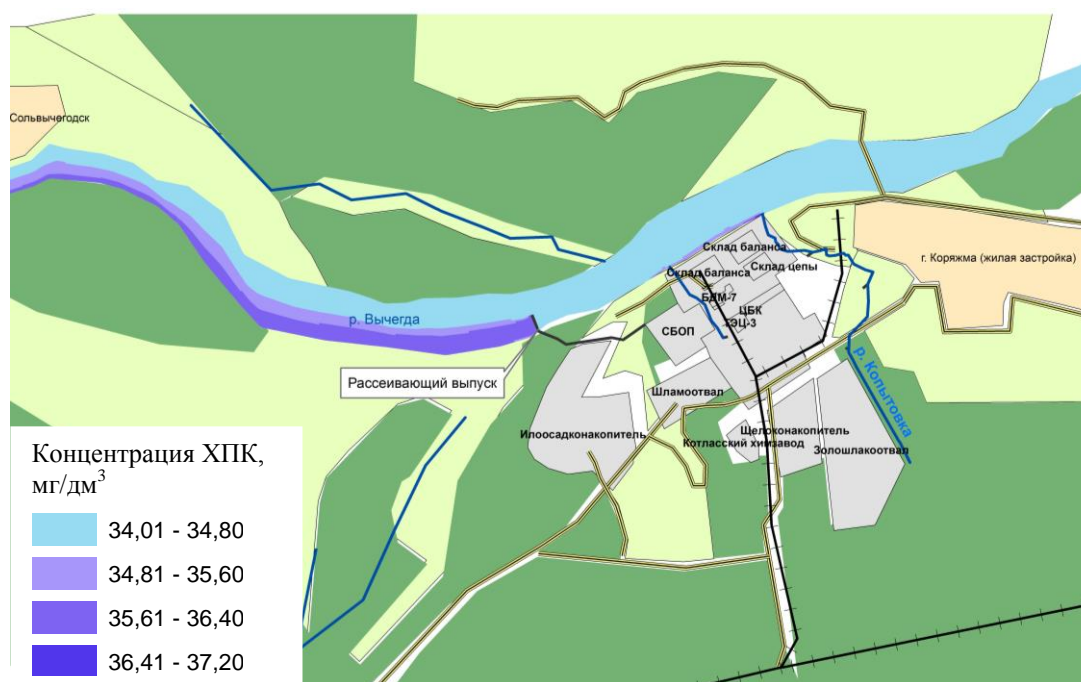


Рисунок 4 – Отображение результатов расчёта распространения загрязняющих веществ в ПТК «ЦБК в г. Коряжма – р. Вычегда»

По результатам апробации методики и алгоритма установления нормативов НДС с применением «ГИМС-река» на примере ПТК «ЦБК в г. Коряжма – р. Вычегда» показана последовательность реализации методики, взаимосвязи НДС с НДС и СКИОВО при районировании бассейна водного объекта, ранжировании предприятий – водопользователей с учётом эколого-технологической оценки производств. Расчёт нормативов допустимого сброса для предприятий данного ПТК осуществлён с учётом класса качества воды и уровня экологичности предприятий. Так, для целлюлозно-бумажного комбината в г. Коряжма до проведения модернизации значение УЭ составляло – 3,11 (среднеэффективные предприятия). После комплексной модернизации как основных, так и природоохранных технологий уровень

экологичности достиг 3,84 (эффективные предприятия), что привело к снижению нормативов НДС и последующему уменьшению нагрузки на водный объект.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате проведенных исследований с применением геоинформационных систем разработана методика и средства повышения эффективности целлюлозно-бумажных предприятий в рамках ПТК на основе экологических и технологических нормативов и получены следующие выводы:

1. На основании анализа существующих методов прогноза и нормирования нагрузки определены принципы формирования границ, структуры ПТК в рамках методики построения ГИС-проекта для нормирования допустимых сбросов по интегральным и специфическим для ЦБП показателям.

2. Разработаны методические основы и алгоритм нормирования сбросов ЦБП с применением ГИС, учитывающие как природные особенности, так и производственные факторы предприятий – водопользователей в рамках ПТК.

3. Разработана методика построения ГИС-проекта, позволяющего повысить эффективность производств за счёт выбора наилучших доступных технологий при установлении НДС в рамках природно-технических комплексов, включающих предприятия ЦБП.

4. Предложен критерий оценки уровня экологичности (УЭ) предприятий как показатель ранжирования и распределения допустимой нагрузки между субъектами ПТК, включая предприятия ЦБП.

5. Создан геоинформационный программно-аналитический комплекс нормирования сброса сточных вод «ГИМС-река» с возможностью формирования произвольной конфигурации функционирования ПТК и перераспределения нагрузки между водопользователями.

Результаты диссертации представлены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования основных результатов диссертации:

1. Антонов, И.В. Геоинформационная моделирующая система нормирования допустимых сбросов для целлюлозно-бумажных комплексов / И.В. Антонов, А.В. Епифанов, А.И. Шишкин // Водное хозяйство России. – 2011. – №1. – С. 66-80.
2. Шишкин, А.И. Нормирование сброса сточных вод при производстве целлюлозы и продуктов её переработки с применением ГИС технологий / А.И. Шишкин, И.В. Антонов, А.В. Епифанов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2012. – №1. – С. 66-73.
3. Жильникова, Н.А. Управление промышленно-территориальным комплексом радиоэлектронной промышленности по эколого-технологическим показателям / Н.А. Жильникова, И. А. Шишкин, И.В. Антонов // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – №6. – С. 47-52.
4. Шишкин, А.И. Алгоритм обоснования НДС для предприятий целлюлозно-бумажной отрасли с применением геоинформационных технологий / А.И. Шишкин, И.В. Антонов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2017. – №3. – С. 41-47.
5. Шишкин, А.И. Нормирование нагрузки при сбросе стоков ЦБП на трансграничном участке реки Вуокса / А.И. Шишкин, М.С. Строганова, И.В. Антонов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2019. – №2. – С. 88-93.
6. Свид. 2009614146 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ГИМС-река / Антонов И.В., Епифанов А.В.,

Шишкин А.И., Куракина Н.И., Алексеев В.В., Желтов Е.В., Лукин А.А.; заявитель и правообладатель ООО «Гидроэконорма» (RU), ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (RU). – №2009614146; заявл. 30.07.2009; опублик. 23.09.2009.

7. Свид. 2016619772 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. НДС-река / Серебряков А.В., Епифанов А.В., Шишкин А.И., Антонов И.В., Елифанова М.А.; заявитель и правообладатель ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (RU). – №2016619772; заявл.19.09.2016; опублик. 15.11.2016.

Прочие публикации:

8. Антонов, И.В. Программно-аналитический комплекс «ГИМС-река» как инструмент нормирования техногенной нагрузки / И.В. Антонов, А.И. Шишкин // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч 1. - Санкт-Петербург, 2009. – С. 115-116.

9. Shishkin, I. Geoinformation modelling complex for rationing of technogenic loading / I. Shishkin, I. Antonov, A. Epifanov // Proceedings XVII International Eco-conference, 25-28 September 2013. – Novi Sad, 2013. – P. 299-306.

10. Шишкин, А.И. Методология нормирования антропогенного воздействия на основе геоинформационной моделирующей системы / А.И. Шишкин, И.В. Антонов, А.Н. Чусов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – №3(18). – С. 25-37.

11. Шишкин, А.И. Нормирование воздействия филиала группы «Илим» в городе Корьяма на качество воды реки Вычегда на основе геоинформационных систем / А.И. Шишкин, И.В. Антонов, А.В. Епифанов, А.И. Кушнеров // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности. Материалы II Всероссийской отраслевой научно-практической конференции. – Пермь, 2014. – С.194-199.

12. Антонов, И.В. Нормирование сбросов сточных вод по критериям уровня экологичности на примере ПТК «р. Ижора – АО «КНАУФПЕТРОБОРД» / И.В. Антонов, А.И. Шишкин // Сборник научных трудов молодых учёных, аспирантов, студентов и преподавателей по результатам проведения Седьмого молодёжного экологического Конгресса «Северная Пальмира», 22-24 ноября 2016. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 49-53.

13. Stroganova, M. Algorithm and The Software On GIS to The Arrival Basis From Basin SAI to The SAD of Water Users / M. Stroganova, I. Antonov, A. Shishkin, A. Epifanov // Proceedings of the IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference Gdańsk, Poland, 12–14 May. 2016. – P. 34-40.

14. Шишкин, А.И. Имитационное моделирование распределения нагрузки между водопользователями речного бассейна / А.И. Шишкин, А.И. Кушнеров, Н.А. Жильникова, И.В. Антонов // Сборник материалов «XVIII Международного экологического Форума День Балтийского моря», 22-23 марта 2017 г. – Санкт-Петербург, 2017. – С.191-194.

15. Антонов, И.В. Использование эколого-технологических показателей при распределении нагрузки между водопользователями в бассейне реки Великой / И.В. Антонов, А.А. Ремизова, А.И. Шишкин // Сборник научных трудов молодых учёных, аспирантов, студентов и специалистов по итогам IX Молодёжной экологической конференции «Северная Пальмира», 22-23 ноября 2018 г., Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 159-162.