

**На правах рукописи**



**ЖИЛЬНИКОВА Наталья Александровна**

**Методология и инструментарий обеспечения экологичности  
радиоэлектронных и приборостроительных производств**

**Специальность:**

**05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**доктора технических наук**

**Санкт-Петербург – 2020**

Работа выполнена на кафедре инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Научный консультант:** **Семенова Елена Георгиевна**  
Доктор технических наук, профессор,  
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации,  
Заслуженный работник высшей школы  
Российской Федерации

**Официальные оппоненты:** **Кондратьев Сергей Алексеевич**  
Доктор физико-математических наук, старший научный  
сотрудник, заведующий лабораторией математических  
методов моделирования ФГБУН Институт озерадения  
Российской академии наук

**Истомин Евгений Петрович**  
Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой прикладной информатики ФГБОУ ВО  
«Российский государственный гидрометеорологический  
университет»

**Фрумин Григорий Тевелевич**  
Доктор химических наук, профессор, профессор кафедры  
физической географии и природопользования ФГБОУ ВО  
«Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена»

**Ведущая организация** АО «Концерн «Океанприбор», 197376, Санкт-Петербург,  
Чкаловский пр., д. 46

Защита состоится «17» декабря 2020 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан «30» сентября 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.233.04  
кандидат технических наук, доцент



Е.А. Фролова

## ЛОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Обеспечение экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств (РПП) позволяет повысить конкурентоспособность и эксплуатационную надежность взаимодействия между всеми субъектами территориального природно-производственного комплекса (ТППК) по эколого-экономико-технологическим показателям за счет повышения результативности реализации организационно-технологических мероприятий.

Федеральный проект «Внедрение наилучших доступных технологий» в рамках национального проекта «Экология» ставит задачу Министерству промышленности и торговли РФ до 31 декабря 2024 года ввести в промышленную эксплуатацию мощности экологического приборостроения в целях импортозамещения и производства конкурентоспособной продукции, используемой при переходе хозяйствующих субъектов на применение наилучших доступных технологий (НДТ).

Правительством РФ определены сферы применения НДТ и установлена обязательность обеспечения экологических нормативов допустимых сбросов (НДС) и технологических нормативов при производстве продукции, в том числе на предприятиях радиоэлектронной промышленности и приборостроения, на которых применяются технологии обработки поверхностей с использованием экологически опасных электролитических и химических процессов. Существующие на данный момент в России информационно-технические справочники (ИТС) по НДТ, не учитывают всей специфики РПП и, соответственно, не являются универсальными для всех предприятий радиоэлектроники и приборостроения при разработке технологических нормативов.

Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью получения промышленными предприятиями комплексного экологического разрешения (КЭР) и разработки технологических нормативов на основе НДТ (Федеральный закон (ФЗ) от 10.01.2002 № 7-ФЗ, ст. 23), а также условием включения информации о НДТ в виде информационно-технических справочников в государственную информационную систему промышленности (ФЗ от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»). Межгосударственный характер проблематики диссертационного исследования обусловлен вступлением реализацией с 01.03.2018 технического регламента Евразийского экономического союза № 037/2016 по сокращению использования опасных веществ в продукции радиоэлектронной промышленности и приборостроения.

К настоящему времени разработано множество схем и подходов к нормированию допустимых сбросов сточных вод для различных предприятий и производств. Однако значимых успехов в комплексном решении задач нормирования на бассейновом уровне не достигнуто, что обуславливается применением фрагментарного подхода, который не учитывает в должной степени взаимовлияния все водопользователей по экосистемным показателям в течение длительного времени без серьезных нарушений структурно-функциональных характеристик природной системы рассматриваемого уровня. Кроме того, в нормативно-правовой законодательной литературе и, соответственно, в расчетных методах и моделях экологического нормирования техногенной нагрузки делаются лишь отдельные попытки соизмерения природоёмкости локальных отраслевых производств, включая РПП, и техноёмкости природных систем в масштабах ТППК по комплексу интегральных показателей и индексов, учитывающих специфику жизненного цикла конкретных природно-производственных систем. Понятие природоёмкости можно отнести как к отдельным РПП, так и ко всему ТППК.

Регионально-бассейновый подход при эколого-технологическом нормировании техногенной нагрузки предопределяет необходимость разработки как теоретических основ, так и инструментария организации управления территориально-производственными комплексами с региональным распределением квот сброса сточных вод и установлением лимитов на

использование природных ресурсов, вторичного сырья, транспортных сетей и инженерных коммуникаций.

Для обеспечения экологичности РПП необходима актуализация действующих ИТС по расширенной номенклатуре показателей, характеризующих НДТ, с целью повышения обоснованности критериев экологичности в соответствии с международными отраслевыми стандартами. Разработка теоретических основ и инструментов интеграции экологических характеристик (состав и степень очистки сточных вод в зависимости от типа и категории водного объекта) и технологических показателей основного и вспомогательных производств по нормированию нагрузки на водный бассейн в рамках ТППК позволит на основе системного подхода реализовать на практике концепцию обеспечения экологичности РПП, алгоритмы и новые геоинформационные модели прогноза.

На основе отмеченного, тема диссертационного исследования нацелена на решение проблемы преодоления объективного противоречия в научном обосновании и построении единой модели ТППК с научно-методическим инструментарием информационной экологии и метрологического обеспечения экологичности РПП и существенным несоответствием уровня развития этого инструментария в настоящий момент в части совместимости между различными системами.

Актуальность проведенного исследования подтверждается его соответствием научным направлениям, определяемым Прогнозом социально-экономического развития РФ на период до 2030 г., важнейшим научно-технологическим трендом которого является обеспечение экологически ориентированного развития производств путем снижения техногенной нагрузки на окружающую среду от всех антропогенных источников различных категорий, и одной из критических технологий, установленных в РФ: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения, в части совершенствования системы нормирования антропогенной нагрузки на окружающую среду.

#### **Степень разработанности темы исследования**

Вопросы сокращения и минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду от промышленных производств находятся в центре внимания ряда российских исследователей. Проблемы организации ресурсосберегающих и высокоэкологических производственных комплексов путем совершенствования системы нормирования нагрузки исследованы в работах Волкова И.В., Вольского О.М., Гермера Э.И., Зибера В.Е., Шишкина А.И. и других.

В трудах этих авторов исследованы существующие в России подходы к эколого-технологическому нормированию, подчеркивается необходимость выполнения требований к допустимому воздействию производственных систем на окружающую среду, но вместе с тем в научной литературе и хозяйственной практике ощущается дефицит теоретических разработок и рекомендаций по вопросам обеспечения экологичности производственных систем в рамках территориального природно-производственного комплекса, учета взаимовлияния всех предприятий водопользователей, входящих в этот комплекс.

Недостаточная проработанность указанной проблемы предопределяет необходимость постановки исследовательских задач и проведения исследований научно-методологических и организационно-технологических принципов обеспечения экологичности производственных систем, разработки нового методологического аппарата, а также средств и инструментов.

**Цель исследования.** Цель диссертационной работы заключается в повышении конкурентоспособности отечественных радиоэлектронных и приборостроительных производств путем разработки научно-методического аппарата и организационно-технологического инструментария обеспечения их экологичности в рамках территориальных природно-технических комплексов.

**Объект исследования.** Природно-производственные комплексы радиоэлектронных и приборостроительных производств со всеми коммуникациями и оборудованием в рамках

территориальных объединений с другими производствами по единым эколого-технологическим показателям.

**Предмет исследования.** Обеспечение развития структуры природно-производственных комплексов радиоэлектронных и приборостроительных производств на основе разработки организационно-технологических мероприятий и внедрения геоинформационных технологий.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели в ходе диссертационного исследования определены и решены следующие задачи:

1. Разработка концепции обеспечения экологичности РПП по эколого-технологическим показателям в рамках ТППК.
2. Разработка метода гармонизации технологических и экологических нормативов для РПП на основе геоинформационных технологий.
3. Разработка и совершенствование инструментария интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования антропогенной нагрузки в ТППК путем соизмерения природоемкости отраслевого производства с техноемкостью природных экосистем.
4. Разработка методик и алгоритмов информационного обеспечения геоинформационного моделирования параметров эколого-технологического управления ТППК.
5. Разработка метода перераспределения техногенной нагрузки для субъектов ТППК с учетом их уровня экологичности и достижения заданных экологических показателей природной системы с применением геоинформационной онлайн-системы.
6. Разработка информационно-алгоритмического обеспечения нормирования нагрузки от РПП в едином пространственном территориальном природно-производственном комплексе.
7. Разработка метода формирования внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей ТППК.

**Методы исследований.** При решении поставленных задач применялся системный анализ к эколого-технологическому обоснованию организационно-технических мероприятий, методы математической статистики, методы нечеткого линейного программирования, математические методы геоинформационного моделирования природно-производственных комплексов регионального и межотраслевого уровня.

**Тематика диссертационной работы** соответствует следующим областям исследования паспорта специальности 05.02.22 «Организация производства (радиоэлектроника и приборостроение)»: 1. «Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятий и организации производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов». 2. «Разработка методов и средств эффективного привлечения и использования материально-технических ресурсов и инвестиций в организацию производственных процессов». 3. «Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях». 4. «Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов». 5. «Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем. Повышение качества и конкурентоспособности продукции, системы контроля качества и сертификации продукции. Системы качества и экологичности предприятий». 7. «Анализ и синтез организационно-технических решений. Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов. Организация ресурсосберегающих и экологических производственных систем». 10. «Разработка методов и средств мониторинга производственных и сопутствующих процессов». 11. «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и

их результатами». 12. «Повышение эффективности организации производства в условиях воздействия возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций. Обеспечение безопасности и экологичности производственных процессов и их результатов».

**Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Концепция обеспечения экологичности РПП на основе эколого-технологической и территориальной природно-климатической дифференциации, и межотраслевого бассейнового синтеза путей ее реализации.
2. Метод гармонизации технологических и экологических нормативов для предприятий радиоэлектроники и приборостроения на геоинформационной основе с применением объединенной базы данных территориального природно-производственного комплекса.
3. Инструментарий интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования антропогенной нагрузки в ТППК на уровне основного производства, очистных сооружений и процессов жизненного цикла производства.
4. Методики и алгоритмы информационного обеспечения геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК с применением программного обеспечения *ArcView GIS* и программного продукта «ГИС-ТППК».
5. Метод перераспределения техногенной нагрузки для субъектов ТППК с учетом их уровня экологичности и достижения заданных экологических показателей природной системы с применением геоинформационной онлайн-системы.
6. Информационно-алгоритмическое обеспечение нормирования нагрузки от РПП в едином пространственном природно-производственном комплексе.
7. Метод формирования внутриотраслевых региональных взаимоотношений всех водопользователей ТППК.

**Научной новизной** обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Концепция обеспечения экологичности приборостроительных и радиоэлектронных производств на основе комплексных организационных решений позволила определить взаимосвязь технологического развития (техноёмкости) радиоэлектронных и приборостроительных производств с экологической ёмкостью природных территориальных экосистем.
2. Метод гармонизации технологических и экологических нормативов для РПП на основе геоинформационных технологий позволил выбрать и обосновать критерии и показатели уровней эколого-технологических нормативов для радиоэлектронных и приборостроительных производств.
3. Инструментарий интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования ТППК, включающий методы и модели расчета характеристик природной среды, обеспечил обоснование экологически оправданных и экономически обоснованных решений.
4. Методики и алгоритмы информационного обеспечения геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК позволили создать имитационную геоинформационную моделирующую систему (ГИМС) и установить территориальные, отраслевые и ресурсные нормативы экологической безопасности для различных уровней организации РПП в рамках ТППК.
5. Метод перераспределения техногенной нагрузки по различным сценариям комбинированного воздействия для субъектов ТППК с применением геоинформационной онлайн-системы позволил определить районы негативного влияния действующих производств и районы подверженные максимальному загрязнению, снизить негативное влияние производств на водную среду отдельного речного бассейна за счет оптимизации уровня нагрузки.
6. Информационно-алгоритмическое обеспечение нормирования нагрузки от РПП в едином комплексе ТППК в виде проекта геоинформационной системы с интегрированной

оценкой допустимой нагрузки обеспечило снижение и квотирование массы загрязняющих веществ для отдельных субъектов за счет учета специфики всего комплекса производственно-технологических характеристик и их взаимосвязи.

7. Метод формирования внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей ТППК обеспечил применение: а) новых методов управления природопользованием РПП, учитывая как предпосылки предоставляемые окружающей средой, так и ограничения по экологическим стандартам; б) методов гармонизации взаимоотношений экологии и технологии на межотраслевом уровне в направлении внедрения наилучших доступных технологий и концепции «чистого производства»; в) методов формирования нового стиля межотраслевых взаимоотношений всех водопользователей при единой биополитике на регионально-бассейновом уровне с едиными экологическими критериями и применением региональных каналов коммуникации, баз данных, банков знаний и геоинформационных моделей нового поколения.

**Обоснованность и достоверность проведенных научных исследований.**

Обоснованность определяется корректностью применяемых вероятностно-детерминированных методов и средств. Достоверность полученных результатов, базируется на фактических входных параметрах и применении актуальных методик компьютерной и статистической обработки исходных материалов, подкрепляется конвергентностью результатов исследования с результатами эксперимента, а также внедрением на практике в ряде предприятий приборостроения и радиоэлектроники.

**Практическая значимость** полученных в диссертации результатов заключается:

- в обосновании уточненной номенклатуры эколого-технологических показателей и критериев наилучших доступных технологий для РПП, внедрение которых позволяет сократить экологические издержки отдельного предприятия за счет снижения размера экологических платежей;
- в разработке методов, критериев и технологических решений развития РПП с достижением заданного уровня экологичности основных и вспомогательных производств;
- в обеспечении устойчивого экологически безопасного развития РПП с учетом их технико-экономического состояния, взаимодействия с другими отраслевыми производствами и показателями окружающей среды;
- в разработке комплекса программно-информационного и моделирующего обеспечения для формирования геоинформационных проектов по экологическому нормированию техногенной нагрузки предприятий радиоэлектроники и приборостроения, позволяющего обосновывать уменьшение массы загрязняющих веществ на 15-35% в зависимости от набора показателей и интегральной массы сброса сточных вод РПП;
- в автоматизации процессов сбора, обработки и представления данных от радиоэлектронных и приборостроительных производств в рамках ТППК с учетом других видов воздействий на ГИС основе;
- во внедрении в практику новых форматов применения ГИС в природоохранной деятельности по управлению территориальными природно-производственными комплексами РПП, позволяющие создавать системы мониторинга состояния ТППК и прогнозировать развитие ситуаций при различных сценариях;
- в сокращении затрат на технико-экономическое обоснование вариантов перераспределения квот допустимых сбросов для группы предприятий ТППК в пределах отдельных водохозяйственных участков на 14-28%
- во внедрении в практику принятия управленческих решений по обеспечению экологических стандартов на уровне НДТ и НДС при соответствующем эколого-технологическом обосновании научно-методических средств, основанных на принципах новой системы

экологического управления межотраслевыми взаимоотношениями субъектов ТППК РПП, позволяющих сократить время принятия решений при созданных базах данных в 2-2,5 раза.

Объектами исследования и проверки полученных результатов были научные, научно-исследовательские, проектные организации и предприятия различных отраслей производств, включая РПП.

**Личный вклад автора** состоит в разработке научно-методической концепции обеспечения экологичности РПП, непосредственной разработке метода гармонизации технологических и экологических нормативов в рамках региональной системы (водного бассейна) ТППК, включающей предприятия радиоэлектроники и приборостроения, а также других отраслей, для ее дальнейшего развития на основе расширяющихся возможности информационной сферы и повышения уровня компетентности лиц, принимающих решения. Теоретически обобщены системы оценок для нормирования сбрасываемых сточных вод для РПП при взаимовлиянии других источников в рамках ТППК. Лично автором обобщен международный опыт и выполнены аналитический обзор существующих инструментариев интегрированного бассейнового нормирования ТППК при межотраслевом подходе. Автором также самостоятельно разработаны методики и алгоритмы информационного программного обеспечения для геоинформационного моделирования и эколого-технологического управления ТППК с применением метода, предложенного автором, по перераспределению нагрузки для субъектов ТППК в онлайн-системе по различным сценариям и объединенной межотраслевой базы данных, сформулированы основополагающие научные теоретические и практические заключения. Личное участие автора в практическом применении и апробации научных результатов исследования подтверждается актами внедрения и использования результатов работы. Основные положения диссертационной работы опубликованы непосредственно соискателем. Диссертационная работа содержит ссылки, показывающие характер участия соавторов в совместной разработке конкретных вопросов.

**Реализация научных результатов исследований.** Полученные результаты диссертационного исследования применены на практике при реализации научно-исследовательских работ при участии автора:

1. НИР на тему «Разработка технологии очистки нефтесодержащих вод фильтрами до 100 кубометров в час на основе графенового сорбента» (2016-2018 гг). Заказчик: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дирекция научно-технических программ». № госрегистрации 14.578.21.0222.
2. НИОКТР на тему «Оценка пространственно-временной изменчивости характеристик природных сред Арктической зоны на основе данных дистанционного зондирования с использованием методов математического моделирования» (2017 г.). Заказчик: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». № госрегистрации АААА-А17-117092750050-7.
3. НИР на тему «Разработка решений по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений в рамках проектно-ориентированной подготовки магистров в области техносферной безопасности» (2019 г.). Заказчик: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». № госрегистрации АААА-А19-119040390062-1.

Результаты диссертационной работы протестированы и апробированы в холдинговой компании «Ленинец», Федеральном агентстве водных ресурсов Невско-Ладожском бассейновом водном управлении, внедрены в ОАО «Водоканал-инжиниринг», АО «ЦНИИ «Электроника», в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

**Апробация научных результатов работы.**



Основные результаты научного исследования докладывались и обсуждались на 22 международных и 5 других научных конференциях.

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 61 работа, из них: лично автором издано 17 публикаций, в том числе 24 в ведущих рецензируемых научных изданиях, 5 статей в изданиях Международных реферативных баз данных и систем цитирования, 1 статья и 27 докладов в других изданиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 131 наименование, 6 приложений. Основной текст диссертации представлен на 359 страницах, включая 23 таблицы и 72 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 409 страниц.

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** в общем виде дано обоснование актуальности темы научного исследования, сформулированы цель диссертационного исследования и задачи по достижению цели, определены объект и предмет исследования, представлено описание научной новизны диссертационной работы, а также ее теоретической и практической значимости, конкретизированы основные положения, выносимые на защиту, изложены сведения об апробации и внедрении научных результатов работы, указаны методы, использованные при проведении исследования.

**Первая глава** – «Методология обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств с учетом современного природоохранного законодательства в рамках территориальных природно-производственных комплексов» - посвящена анализу состояния и перспектив развития РПП в рамках ТППК с учетом национальных и международных природоохранных требований.

Производство большинства изделий радиоэлектроники и приборостроения является сложным процессом и включает использование различных химических веществ. Например, в производстве полупроводниковых приборов при обработке металлических пластин широко применяются опасные материалы, такие как серная, азотная, соляная и фосфорная кислоты. Микросхемы отпечатываются на кремниевой подложке с использованием органических химикатов. В среднем для изготовления одной 2-х граммовой микросхемы требуется 1,6 кг нефтепродуктов, 72 г химикатов, около 32 л воды и 0,7 кг одноэлементных, на производство одной полупроводниковой пластины (ППП) необходимо 45,6 г различных опасных химических веществ на 1 см<sup>2</sup> поверхности ППП.

В производстве различных видов электронных устройств и радиоэлектронной аппаратуры используются печатные платы, изготавливаемые способом химического травления. Данный способ характеризуется образованием большого объема химически опасных технологических растворов. Эти стоки являются наиболее опасными источниками загрязнения поверхностных и подземных водных ресурсов, а также почв.

Анализ РПП с точки зрения их экологичности показал, что значительная часть предприятий радиоэлектронной промышленности и приборостроения в своей основе применяет экологически опасные технологии. При управлении сложными техническими системами должны использоваться принципы наилучших доступных технологий, такие инструменты как внедрение интегрированных систем менеджмента, включающие энергетические критерии и экологические аспекты, а также применяться такие специальные методические подходы как оценка жизненного цикла, оценка экологической результативности и энергоэффективности.

При выборе НДТ при изготовлении различных видов продукции РПП с целью сокращения негативного воздействия со стороны как основных, так и вспомогательных производственных процессов следует руководствоваться следующими критериями, установленными международными и национальными нормативно-правовыми документами:

- внедрение локальных систем очистки и регенерации электролитов, промывочной воды, а также замкнутого цикла водооборота с повторным использованием очищенных производственных сточных вод;
- уменьшение количества загрязняющих веществ в составе производственных стоков;
- применение новейших технологических приборов и оборудования (например, автооператорных и конвейерных линий);
- компьютеризация и роботизация технологических процессов.

Выбор и обоснование НДТ по предложенным критериям позволит предприятиям приборостроения и радиоэлектроники более рационально выстраивать концепцию своего перспективного развития, принимать эффективные управленческие решения при модернизации и/или реконструкции производственных процессов, обеспечить экологичность и повысить энергосбережение, с учетом использования новых растворов и добавок отечественного производства.

Моделирование промышленного производства и его воздействия на окружающую среду с использованием методологии оценки жизненного цикла (ОЖЦ) позволяет оценить экологическую устойчивость производственных систем, гармонизированных и взаимодействующих друг с другом в едином ТППК с целью получения данных о нагрузке каждого предприятия на окружающую среду. Для проведения ОЖЦ электронных устройств, таких как полупроводниковые приборы и микросхемы, целесообразно использование методологии, основанной на атрибутивных моделях (Рисунок 1). Предложенная методология жизненного цикла применима к большинству видов продукции РПП, так как включает практически всю номенклатуру компонентов для производства сложного электронного устройства.

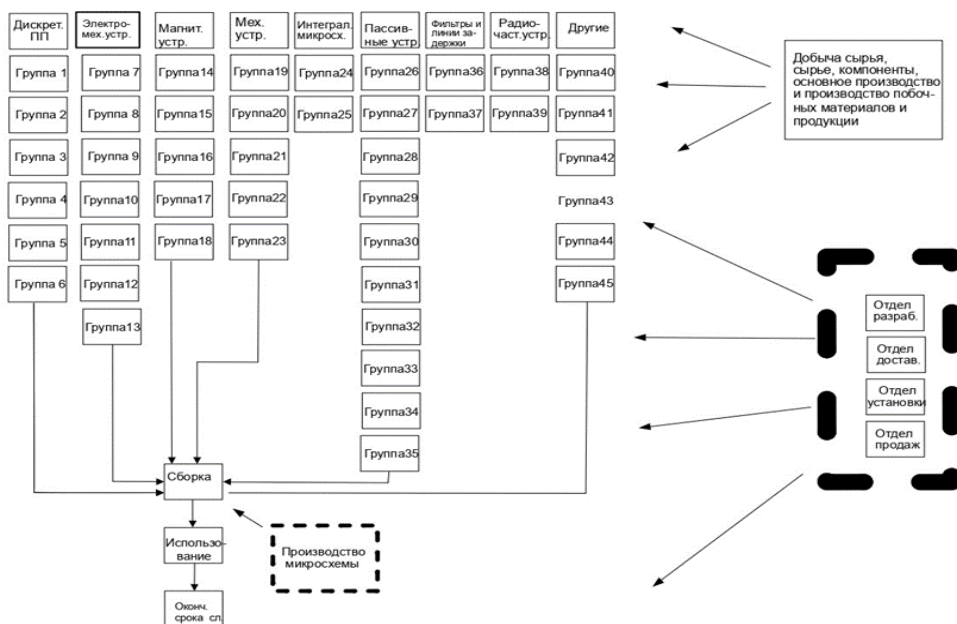


Рисунок 1 – Модель сбора данных и оценки жизненного цикла электронного устройства  
 Группы: 1 - элементы дисплея; 2 – диоды; 3 – индикаторы; 4 - оптические вентили; 5 – тиристоры; 6 – транзисторы; 7 - компоненты электродержателя; 8 – клеммы; 9 – предохранители; 10 – реле; 11 – переключатели; 12 – микрофоны; 13 – динамики; 14 - индукторы; 15 – регуляторы; 16 - программные модули; 17 – трансформаторы /преобразователи; 18 - катушки индуктивности; 19 - пластиковые механизмы; 20 - металлические механизмы; 21 - композитные механизмы; 22 - печатные монтажные платы; 23 – кабели; 24 - стандартные интегральные микросхемы; 25 - автоматизированные интегральные микросхемы; 26 - металлизированные бумажные конденсаторы; 27 -

*металлизированные пластиковые конденсаторы; 28 - керамические конденсаторы; 29 - электролитические конденсаторы; 30 - мощные конденсаторы; 31 – потенциометры; 32 – резисторы; 33 - резисторная сеть; 34 - регулируемые резисторы; 35 – терморезисторы; 36 - ферритовые антенны; 37 - линии задержки; 38 - кварцевые кристаллические элементы; 39 – осцилляторы; 40 - адаптивные элементы; 41 - гибкие магнитные диски; 42 - ламповые панели; 43 – батареи; 44 - сигнальные устройства; 45 - антенны*

В диссертационном исследовании рассмотрен ТППК бассейна рек Ленинградской области и Санкт-Петербурга, который объединяет более 25-ти РПП, размещенных на различных водохозяйственных подучастках (РВП), каждый из которых имеет свой индивидуальный код в соответствии с водохозяйственным районированием. Исследуемый ТППК представляет собой региональную водохозяйственную систему с распределенными в ее границах радиоэлектронными и приборостроительными производствами. Производственно-водохозяйственные системы в виде ТППК управляются с применением методов системного анализа на основе формальных математических методов, а также с помощью неформальных экспертных методов исследования сложных систем и комплексов, функционирующих в значительной части в условиях неопределенности. Структура математических моделей строится с позиций целостного представления о функционировании территориального бассейнового природно-производственного комплекса для учета взаимодействия всеми водопользователями во времени и пространстве. При этом могут оцениваться основные зависимости между отдельными подсистемами (водохозяйственными подучастками) и водопользователями (основными элементами ТППК). На межотраслевом регионально-бассейновом уровне для устойчивого развития ТППК в соответствии с водным законодательством устанавливаются нормативы допустимого воздействия (НДВ) в рамках схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), для отдельных предприятий – нормативы допустимых сбросов (НДС). Природопользователи и лица, принимающие решения, несут ответственность за распределение водных ресурсов в рамках ТППК, экономию водопотребления и сокращение сброса сточных вод в период долгосрочного планирования. Объем потребления воды может отличаться для каждого предприятия РПП в заданном периоде, кроме того, доля нагрузки отдельного производства на водный объект от суммарной нагрузки всех водопользователей ТППК заранее неизвестна. Такая неопределенность может привести к сложностям, связанными с управлением водными ресурсами и обеспечением устойчивости системы. Метод нечеткого линейного программирования с вероятностными ограничениями (НЛПВО) позволяет связать результативность системы менеджмента водных ресурсов (СМВО) и риск ее отказа, с нечетким ограничением принадлежности (т.е. ограничением объема водопользования для каждого производства РПП в рамках ТППК). Кроме того, подход, основанный на методе анализа сценариев, позволяет моделировать различные комбинированные воздействия нестационарного, квазистационарного и стационарного типов для прогнозных оценок. На основе метода НЛПВО сформирована модель «НЛПВО-СМВО» с целью достижения максимальной системной выгоды в рамках ряда ограничений. Алгоритм принятия решений с помощью модели «НЛПВО-СМВО» представлен на Рисунке 2. Целевая функция включает следующие ограничения: потребление воды для хозяйственно-бытовых нужд; минимальная доля водопотребления и природоохранных мероприятий; требования к сбрасываемым сточным водам. Данные ограничения в общем виде сводятся к ограничению общей доступности водных ресурсов. При этом целевая функция выражается следующим образом:

$$Maxf^{\pm} = \sum_{c=1}^{13} \sum_{u=1}^3 \sum_{t=1}^3 (NPV_{c,u,t}^{\pm} - C_{c,u,t}^{\pm}) \cdot W_{c,u,t}^{\pm} \quad (1)$$

с учетом ограничения по лимитам водопотребления для РПП

$$\begin{aligned}
 & \mu \left\{ \sum_{c=1}^3 W_{c,u,t}^{\pm} \cdot (\tilde{\beta}_{lb})_{c,t}^{\pm} \geq W_{c,3,t}^{\pm} \right\} \geq \lambda^{\pm} \\
 & \sum_{u=1}^3 W_{c,u,t}^{\pm} \cdot ((\beta_{lb})_{c,t}^{\pm} + (1-2\lambda^{\pm}) \cdot ((\beta_{lb})_{c,t}^{\pm} - (\underline{\beta}_{lb})_{c,t}^{\pm})) \geq W_{c,3,t}^{\pm} \\
 & \mu \left\{ \sum_{u=1}^3 W_{c,u,t}^{\pm} \cdot (\tilde{\beta}_{ub})_{c,t}^{\pm} \geq W_{c,3,t}^{\pm} \right\} \geq \lambda^{\pm} \\
 & \sum_{u=1}^3 W_{c,u,t}^{\pm} \cdot ((\beta_{ub})_{c,t}^{\pm} + (1-2\lambda^{\pm}) \cdot ((\beta_{ub})_{c,t}^{\pm} - (\underline{\beta}_{ub})_{c,t}^{\pm})) \geq W_{c,3,t}^{\pm}
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\mu$  – функция принадлежности;  $t$  – планируемый период,  $\lambda$  - степень принадлежности; «~» - нечеткие множества;  $u$  – назначение потребляемой предприятием воды (1 – для хозяйственно-бытовых нужд, 2 – для основного и вспомогательного производственного процесса, 3 – на природоохранные мероприятия);  $NPV_{c,u,t}^{\pm}$  - коэффициент выгоды (руб./м<sup>3</sup>);  $C_{c,u,t}^{\pm}$  - коэффициент стоимости (руб./м<sup>3</sup>);  $W_{c,u,t}^{\pm}$  - лимиты водопотребления для каждого водопользователя в рамках ТППК в планируемый период (м<sup>3</sup>);  $(\beta_{lb})_{c,u,t}^{\pm}$  - минимальная доля потребляемой воды для основного и вспомогательного производства;  $(\beta_{ub})_{c,u,t}^{\pm}$  - максимальная доля потребляемой воды для основного и вспомогательного производства.

Предложенный алгоритм принятия решений по нормированию нагрузки позволяет предприятиям РПП разрабатывать стратегии по обеспечению экологической безопасности, планированию объемов водопотребления и водоотведения с учетом региональных условий и влияния других субъектов территориального природно-производственного комплекса средствами информационной экологии.

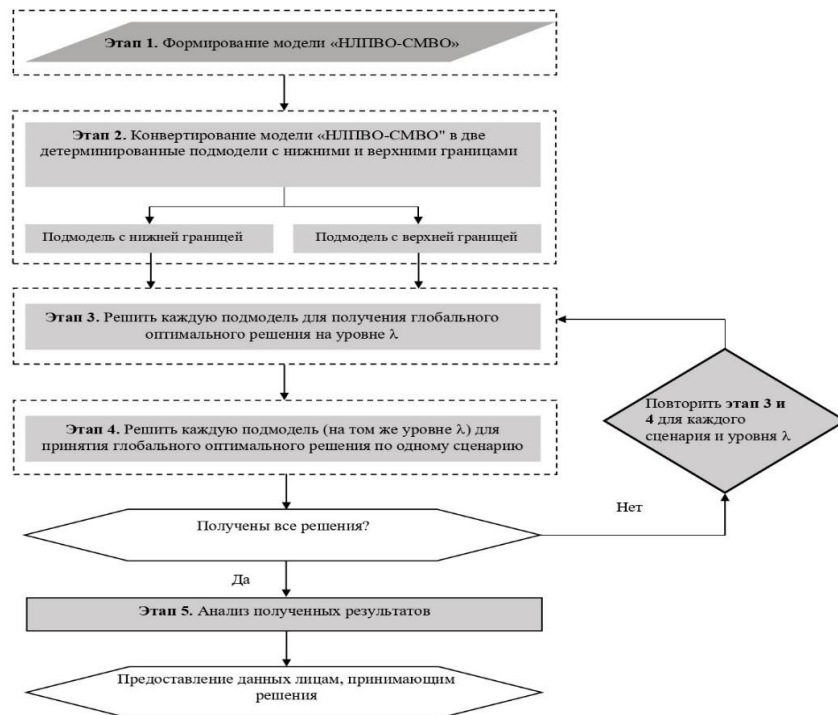


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решений с помощью модели «НЛПВО-СМВО»

Имеющиеся программные средства, с учетом специфики рассматриваемых задач, характеризуются функциональной недостаточностью. Это связано с необходимостью обеспечения полноценной совместимости предприятия радиоэлектронной промышленности и приборостроения с эко- и биосферой путем построения детерминированных моделей для неконсервативных загрязняющих веществ, в общем случае. В диссертационном исследовании

рассмотрены модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ (КДПиПВ) с учетом трансформации специфических для данных отраслей ингредиентов. В качестве интегрального показателя используется величина растворенного в воде кислорода для различных гидрологических режимов, определяемых гидрографом стока, уровнем воды и рядом других характеристик. Ключевым условием эффективного применения указанных типов математических моделей для отдельных участков природно-производственных комплексов становится идентификация параметров. При этом возникает необходимость учета всех водопользователей и природных факторов при их взаимовлиянии в пределах бассейновых округов, для которых фактически применяется методология поддержки и принятия решений по распределению нормативов допустимых сбросов в соответствии с результатами имитационного моделирования по квотированию нагрузки всех водопользователей.

Для повышения эффективности решения указанных задач в пределах ТППК бассейнового округа необходимо применение средств имитационного моделирования сложных водохозяйственных систем ТППК с использованием современных геоинформационных технологий и средства визуализации, позволяющих обеспечить совместимость между всеми рассматриваемыми субъектами при требуемом качестве их функционирования со стандартизованными значениями параметров, учитывая различные одновременные экологические влияния

Проведенный анализ отечественного и европейского природоохранного законодательства для РПП показал, что для перехода на НДТ и разработки эколого-технологических нормативов требуется формирование современных инструментов интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования ТППК, что позволит достичь соответствующего уровня экологичности РПП и существенно повысить технико-экономические показатели, а также результативность организационно-технологических решений, обеспечивая при этом конкурентоспособность и эксплуатационную надежность предприятий при взаимодействии всех субъектов территориального природно-производственного комплекса.

Таким образом, в конце первой главы обоснована актуальность разработки как теоретических основ, так и инструментария организации управления радиоэлектронными и приборостроительными производствами в рамках территориально-производственных комплексов с региональным распределением квот сброса сточных вод и лимитов на использование природных ресурсов, вторичного сырья, транспортных сетей и инженерных коммуникаций с целью повышения уровня и обеспечения экологичности РПП.

**Вторая глава** – «Разработка методологических основ экологического управления РПП в рамках ТППК на основе регламентирующих норм и прав» - включает описание первых двух научных результатов диссертационного исследования: научно-методической концепции обеспечения экологичности РПП и метода гармонизации технологических и экологических нормативов для предприятий радиоэлектроники и приборостроения в рамках ТППК.

Особенности временных уровней экологического нормирования обусловлены необходимостью сочетать интересы отдельных производств радиэлектроники и приборостроения как природопользователей с долгосрочным экологическим интересом региона (бассейна) в целом для ТППК, а также необходимостью достижения перспективных экологических нормативов к определенному сроку. Связь экологических нормативов допустимого воздействия на экосистемы с показателями деятельности отдельных предприятий радиоэлектроники и приборостроения и групп предприятий других областей промышленности на межотраслевом уровне позволяет обеспечить экологичность действующих производств.

Концепция обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств, основанная на принципе управления системой по эколого-технологическим показателям, позволяет определить взаимосвязь технологического развития (техноёмкости) РПП с экологической ёмкостью природных территориальных экосистем. Для реализации

концепции необходима разработка методов, позволяющих обеспечить экологическое управление и полноценную совместимость между основными системами (техносферой, биосферой и экосферой), образующими ноосферу, не допуская превосходства техносферы над биосферой и экосферой. Главные результаты синергетики сводятся к использованию научно обоснованных идей и общих математических методов, опирающихся на применение компьютерного имитационного моделирования для обеспечения экологичности производственных систем и комплексов на междисциплинарной основе.

Решение отраслевых природоохранных проблем производств в настоящее время, а в перспективе еще в большей степени, необходимо обеспечивать не региональном и межотраслевом уровне, в связи с потребностями в развитии водоохранных комплексов ТППК и повышении эколого-экономической эффективности сложных производственных межотраслевых систем. Оценка эффективности реализации водоохранных мероприятий заключается в сравнении фактически достигнутых значений критериев с их нормативными значениями. Сопоставление значений критериев производится по каждому году и по каждому критерию, установленному для одного мероприятия. Эффективность реализации рассчитывается для каждого мероприятия и для всего комплекса мероприятий.

Оценка эффективности реализации водоохранных мероприятий, для которого установлены два и более критериев, производится по формуле:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{T_{fn}}{T_{in}}}{m} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $E$  - эффективность реализации водоохранных мероприятий (%);  $m$  - количество критериев мероприятия.

Эффективность реализации комплекса мероприятий в целом используется рассчитывается следующим образом:

$$E_{общ} = \sum_{i=1}^k E_i / k, \quad (4)$$

где  $E_{общ}$  - эффективность всей совокупности водоохранных мероприятий (%);  $E_i$  - эффективность  $i$ -го водоохранных мероприятий;  $k$  - общее количество водоохранных мероприятий.

Для структурирования определений технологического нормирования для промышленных производств и экологического нормирования для окружающей среды предложена категориально-понятийная матрица территориального природно-производственного комплекса.

Нормирование качества воды и антропогенной нагрузки на водные ресурсы ТППК на региональном уровне с учетом климатических, географических и гидрологических характеристик водных объектов бассейна требует использования современных программных средств на основе ГИС-технологий, позволяющих применить бассейновый принцип установления НДС для каждого субъекта ТППК.

Предложенная геоинформационная структура информационно-программного эколого-технологического нормирования и геоинформационный моделирующий комплекс, базирующиеся на ГИС-технологиях и модели конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ, позволяют создавать интегрированные базы данных и базы знаний, включающие огромные информационные массивы. Сформированные на основе взаимосогласованности и устойчивости природных и производственных систем объединенные базы данных ТППК решают задачи эффективного управления ТППК на краткосрочный и долгосрочный периоды, а также обеспечения экологичности и конкурентоспособности промышленных производств, за счет выявления и обоснования взаимовлияния нормативов допустимого воздействия и качества окружающей среды.

В соответствии с предложенной концепцией обеспечения экологичности РПП в рамках ТППК разработан метод гармонизации технологических и экологических нормативов для предприятий радиоэлектроники и приборостроения в рамках ТППК с учетом экологической емкости и многомерности совокупности природно-производственных комплексов, в основу которого положены результаты многолетних исследований и разработок по определению критериев распределения квот допустимой нагрузки потоков вещества, энергии и информации на межотраслевой основе в масштабах ТППК.

Гармонизация технологических и экологических нормативов определяется тремя уровнями эколого-технологических нормативов в соответствии с функциональной моделью ТППК, позволяющей увязать интересы всех субъектов на единой законодательной базе и обеспечивающей устойчивое экологически безопасное развитие РПП с учетом их технико-экономического состояния, взаимодействия с другими отраслевыми производствами и показателями качества окружающей среды: 1. «Существующий», определяемый как удельное количество примесей на единицу производимой продукции при фактическом реальном состоянии функционирования предприятия. 2. «Возможный», определяемый как удельное количество примесей на единицу производимой продукции на основе технического состояния оборудования, применяемого на действующем предприятии. 3. «Перспективный», определяемый как удельное количество примесей на единицу производимой продукции на основе технического состояния оборудования, которое соответствует отраслевым наилучшим доступным технологиям.

Разработанный метод гармонизации экологических и технологических нормативов для ТППК позволяет взаимно увязать потребности и интересы всех водопользователей в соответствии с требованиями современного экологического законодательства и обеспечить экологический баланс и устойчивость водных геосистем при минимизации негативных последствий от воздействий антропогенных источников.

**Третья глава** – «Разработка методов оценки и прогнозирования уровня антропогенного воздействия с учетом определяющих показателей производственно-технологических процессов РПП» - включает обоснование уточненной номенклатуры эколого-технологических показателей РПП и описание инструментария интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования, информационного обеспечения геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК и метода перераспределения нагрузки субъектов ТППК на водные объекты с использованием ГИС-технологий.

Номенклатура эколого-технологических показателей РПП определяется на отраслевом уровне и дополняется с учетом региональной специфики и приоритетов развития ТППК на основе эколого-технологической сбалансированности и биосовместимости без ущерба биосфере и экосфере на регионально-бассейновом уровне. В соответствии с программой обширных исследований по нормированию и обеспечению биосовместимости между особенностями антропогенной нагрузки различных водопользователей и конкретными условиями с экологическим потенциалом, и емкостью реальных биоценозов оценивается природоемкость РПП и техноемкость природных систем ТППК. Установлено, что количественная оценка эколого-технологических показателей отдельного РПП в рамках ТППК и способность обеспечивать требуемое качество функционирования при нормированных значениях параметров других водопользователей определяется применением геоинформационных моделей нового поколения.

Основной проблемой в условиях имитационного моделирования нормирования нагрузки от субъектов ТППК становится получение объективных фактических данных, структурной и результативной информации, кроме того, необходима структуризация информации в соответствии с установленными целями. Структурная информация определяет установление нормативов качества для радиоэлектронных и приборостроительных производств, а также

водопользователей ТППК других секторов экономики. Результативная (оперативная) информация используется для формирования проектов установления НДВ и обоснования разработанных нормативов, а также при разработке СКИОВО бассейнов рек и озер для создания плана мероприятий по реализации целевых показателей экологического состояния бассейнового ТППК. Геоинформационная модель ТППК, включающая и модель РПП, представляется в виде отдельных слоев, атрибутивные таблицы которых содержат основные характеристики и описания объектов исследования. На Рисунке 3 представлена модель информационного обеспечения геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК, разработанная в соответствии со сложностью структурной организации массивов разноплановой информации эколого-технологической системы ТППК.

Предложенный инструментарий интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования и информационное обеспечение геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК позволяет сформулировать задачу совершенствования программы управления и развития блоков территориального природно-производственного комплекса, решив которую можно достичь прогресса по реализации установленных переходных и итоговых целей по заданным условиям факториала критериев эффективности. Ужесточение требований по обеспечению качества прогнозов и оперативного решения вопросов распределения техногенной нагрузки субъектов ТППК на межотраслевом уровне, основанного на эколого-технологической оптимизации водопользования в рамках территориального природно-производственного комплекса.



Рисунок 3 - Обобщенная модель и структура информационного обеспечения геоинформационного моделирования управления ТППК

В Таблице 1 приведены типовые математические модели детерминированного типа, представляющие основу геоинформационной модели ТППК (экологического блока).



Таблица 1 – Основные типы моделей КДПиПВ, реализованные в системе «ГИМС-ТППК»

№	Тип уравнения
1	$\frac{\partial C}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = f(x, t, C)$
2	$\frac{dC_2}{dt} = \frac{dC_1}{dt} + k_2 \cdot (C_{2np} - C_2)$
3	$\frac{dC_1}{dt} = -\alpha \cdot C_1 \cdot C_2$
4	$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = D_x \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - k_1 \cdot C$
5	$\frac{\partial}{\partial x}(Q \cdot C) = \frac{\partial}{\partial y} \left( \omega \cdot D_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) - k_1 \cdot \omega \cdot C$
6	$\frac{\partial(\omega \cdot T)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot T)}{\partial x} = \frac{\partial[\omega \cdot D_x \cdot \partial T / \partial x]}{\partial x} - k_1 \cdot \omega \cdot (T - T_1)$
7	$\frac{\partial(\omega \cdot C_i)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C_i)}{\partial x} = \frac{\partial[\omega \cdot D_x \cdot \partial C / \partial x]}{\partial x}$
8	$B \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$
9	$\frac{\partial}{\partial t}(\omega \cdot C) + \frac{\partial}{\partial x}(Q \cdot C) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \omega \cdot D_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) - k_1 \cdot \omega \cdot C$
10	$v_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = D_y \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - k_1 \cdot C$
11	$v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = D_y \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - k_1 \cdot C$
12	$v_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - k_1 \cdot C$
13	$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} = D \cdot \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right)$
	где $Q$ – расход воды, м <sup>3</sup> /с; $k_1$ – коэффициент биохимического окисления, 1/сут; $\omega$ – площадь поперечного сечения русла, м <sup>2</sup> ; $v_x, v_y, v_z$ ( $v_x, v_y, v_z$ ) – средние скорости течения, м/с; $D_x, D_y, D_z$ – коэффициенты продольной, поперечной диффузии и диффузии по вертикали соответственно, м <sup>2</sup> /с; $C$ – концентрация вещества, мг/л; $t$ – время, с; $T$ – температура воды, °С; $x$ – продольная координата, м; $y$ – поперечная координата, м; $z$ – координата по вертикали; $B$ – коэффициент; $L$ – длина расчётного участка, м.

В общем случае уравнение КДПиПВ имеет следующий вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial U_\alpha C}{\partial x_\alpha} = \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\beta} \frac{\partial C}{\partial x_\beta} + M_c, \quad (5)$$

где  $U_\alpha$  - проекция фактической скорости на ось  $x_\alpha$  ( $\alpha=1,2,3$ );

$K_{\alpha\beta}$  - тензор коэффициентов турбулентной диффузии,

$M_c$  – показатель трансформации загрязняющей примеси.

На практике неоднородность поля турбулентности незначительна и основные оси тензора  $K_{\alpha\beta}$  соответствуют осям координат, т.е.  $K_{\alpha\beta}=0$  при  $\alpha \neq \beta$ . В отдельных случаях недиагональные составляющие  $K_{\alpha\beta}$  не всегда пренебрежительно малы (например, для безнапорных потоков).

Принимаем, что главные оси тензора совпадают с осями используемой декартовой системой координат. В этом случае  $K_{xy}=K_{xz}=K_{yx}=K_{yz}=K_{zx}=K_{zy}=0$ . Обозначим далее  $K_{\alpha\alpha}=D_\alpha$ ,  $K_{yy}=D_y$ ,  $K_{zz}=D_z$ .

Тогда уравнение КДПиПВ примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial D_x}{\partial x} \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \frac{\partial C}{\partial z} + M_c. \quad (6)$$

В уравнении (6) содержится семь неизвестных переменных:  $C$ ,  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ . Последние шесть из них могут быть определены путем решения гидродинамических уравнений.

Для получения решения уравнения (6) необходимо задать краевые условия (начальные и граничные). Начальные условия для искомой функции  $C$  записываются в виде:

$$C=C_0(x,y,z,0) \text{ при } t=t_0, \quad (7)$$

где  $C_0(x,y,z,0)$  – известная функция координат.

Это означает, что в момент времени  $t_0$  распределение концентрации примеси в пространстве является известным.

Так как уравнение (4) содержит вторые производные по всем трем координатам, то в качестве граничных условий необходимо задать по два граничных условия по каждой из трех координат. Для расчета положим, что решение уравнения (4) ищется в прямоугольной области с нижней и верхней границами, являющимися горизонтальными плоскостями  $z=z_1$  и  $z=z_2$ , а для водоема поверхность потока  $z=0$  или  $z=z_0$ . Для водоема «боковые» границы могут быть заданы аналогичным образом на берегах реки или в форме полубесконечности моря.

Для ограничений прямоугольной области граничные условия в самом общем виде записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{при } X=X_1 \quad C=C_{X1}, \quad \text{при } X=X_2 \quad C=C_{X2}, \\ y=y_1 \quad C=C_{y1}, \quad \text{при } y=y_2 \quad C=C_{y2}, \\ z=z_1 \quad C=C_{z1}, \quad \text{при } z=z_2 \quad C=C_{z2}. \end{aligned} \quad (8)$$

В соответствии с выражениями (6) на каждой из границ задаются значения искомой функции. В случае неограниченной области расчета часто задается обращение искомой функции или ее производной в нуль при безграничном удалении от начала координат.

$$X \rightarrow \pm\infty, C \rightarrow 0$$

$$y \rightarrow \pm\infty, C \rightarrow 0$$

$$\text{При } X \rightarrow \pm\infty, \frac{\partial C}{\partial X} \quad (9)$$

$$y \rightarrow \pm\infty, \frac{\partial C}{\partial y}$$

Для верхней границы водного потока задается при  $z=0$   $\frac{\partial C}{\partial z} = 0$ .

При расчете распространения примесей в водном объекте на дне и боковых границах задается условие непроницаемости:

$$\begin{aligned} \text{при } z=H \quad B>y>0 \quad \frac{\partial C}{\partial z} &= 0 \\ y=y_1 \quad H>z>0 \quad \frac{\partial C}{\partial z} &= 0 \\ y=y_2 \quad H>z>0 \quad \frac{\partial C}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Построенная в соответствии с предложенной типизацией структуры задач геоинформационного моделирования РПП в составе ТППК и на основе схематизации процессов КДПиПВ, имитационная геоинформационная моделирующая онлайн система позволяет разрабатывать нормативы и перераспределять нагрузку на водные объекты (ВО) для водопользователей ТППК по эколого-технологическим критериям.

В заключении главы описан метод перераспределения техногенной нагрузки для РПП в рамках ТППК, который включает в себя алгоритм расчета перераспределения нагрузки для предприятий с применением созданной системы управления распределением квот нагрузки между субъектами «ГИМС-ТППК» по сложным атрибутивным и пространственным запросам.

Для повышения эффективности системы экологического управления межотраслевыми взаимоотношениями производственных систем ТППК предложены критерии установления квот техногенной нагрузки и ее распределения между субъектами ТППК: внедрение наилучших доступных технологий; отнесение объекта к социально-значимым; экологическое состояние водных объектов по показателям загрязнения в установленных контрольных точках ТППК.

Разработанный метод перераспределения техногенной нагрузки на основании квот для субъектов ТППК с применением геоинформационной онлайн-системы позволяет: а) разрабатывать технико-экономическое обоснование для проектов строительства новых хозяйственных объектов экономики, модернизации и реконструкции действующих промышленных предприятий с учетом неоднородных производственных показателей в границах отдельного ТППК; б) снижать уровень техногенной нагрузки от отдельных производств ТППК при суммарных минимальных платежах за НВОС (затратах по обеспечению НДС) субъектов (производственных систем) отдельного водохозяйственного участка или всего ТППК; в) моделировать процессы переноса загрязняющих веществ в водном объекте при штатных, аварийных и плановых условиях, а также с учетом состава сбрасываемых сточных вод и естественных природных изменений.

**Четвертая глава** – «Разработка методов и средств эколого-технологической оптимизации природоохранных мероприятий РПП на регионально-бассейновом уровне» - включает описание метода формирования внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей ТППК и информационно-алгоритмического обеспечения комбинированного нормирования антропогенной нагрузки.

Разработаны методы и средства нормирования нагрузки для интегрированных ТППК, включающих РПП, с учетом атрибутивной информации по комплексу региональных показателей и характеристик. Предложенный инструментарий позволяет перераспределять нагрузку в соответствии с накопленной и структурированной информацией по критерию уровня экологичности и обосновать экономически рациональную схему водопользования в соответствии с новым уровнем организации межотраслевого взаимодействия производств в рамках ТППК согласно действующему природоохранному законодательству. Роль информационной сферы к настоящему времени становится одной из определяющих наравне с техносферой, экосферой и биосферой. Развитие системы «ТППК-окружающая среда» осуществляется через корректировку целей системы, которые влияют, а часто и предопределяют внесение изменений в экологическое законодательство на основе принципа управления – принципа соразвития (коэволюции) систем. Этот принцип в полной мере

относится к РПП как элементу и к ТППК как системы, при которой развитие элемента не должно нарушать устойчивое развитие системы и обеспечение требуемых характеристик качества ее функционирования при воздействии антропогенных и природных факторов со стандартизованными значениями параметров информационной экологической безопасности. В основу нового метода формирования внутриотраслевых региональных взаимоотношений всех водопользователей ТППК положен принцип создания единой эколого-технологической политики с применением: региональных коммуникативных каналов; отраслевых, межотраслевых и региональных целевых баз данных; банков знаний; геоинформационных моделей нового поколения. Разработка такой политики обусловлена необходимостью обеспечения полноценной совместимости водопользователей с окружающей средой и техносферой, а также информационной поддержки органов управления в виде баз и банков данных с целью их дальнейшего развития. Геоинформационная территориально-бассейновая система «ВО-ТППК» представлена на Рисунке 4.

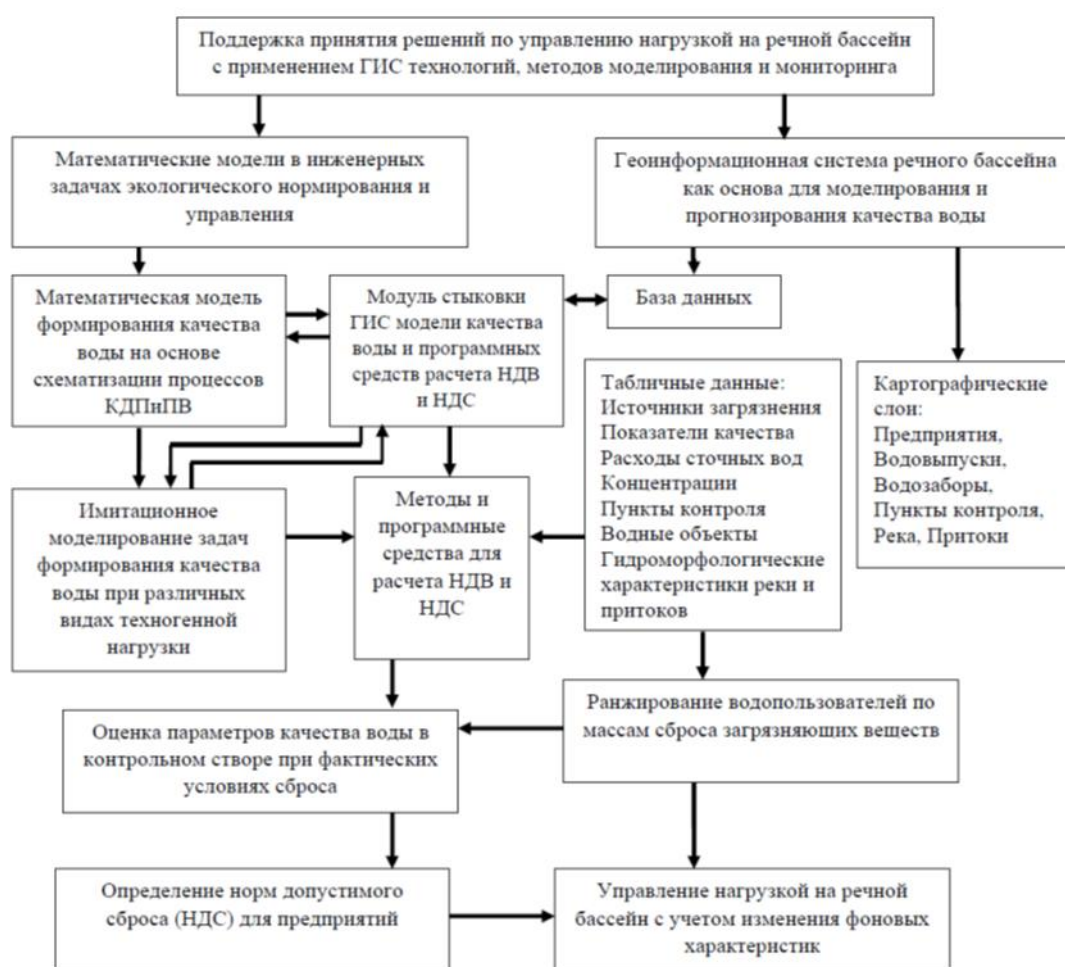


Рисунок 4 - Геоинформационная система «ВО-ТППК» для нормирования допустимого уровня воздействия

Решение рассмотренных в третьей главе вопросов, связанных с комбинированным нормированием антропогенной нагрузки от РПП требует разработки нового современного информационно-алгоритмического обеспечения оценки состояния ТППК в рамках ГИС-проекта «Экологическое нормирование техногенной нагрузки РПП». На Рисунке 5 представлена структура ГИС-проекта, которая реализуется в графическом редакторе *Model Builder*. Информационно-алгоритмическое обеспечение ГИС проекта имеет структуру ГИС

слоев отдельных объектов, включает нормативно-правовую базу по контролируемым показателям с единицами их измерения, допустимым концентрациям, классом опасности, а также список алгоритмов создания перечня контролируемых показателей на топографической и картографической основе.

Разработан алгоритм управления на основе геоинформационных технологий и функциональной модели нормирования допустимого воздействия РПП с учетом специфики всего комплекса их производственно-технологических характеристик. В понятие последних вводится взаимосвязанная совокупность научно-методологических, технологических, инженерно-технических, организационно-технических, экономических и организационно-хозяйственных мероприятий, направленных на реализацию программы экологического управления ТППК, включающие высокоэкологичные производства разнообразных изделий и продуктов РПП, а также сбережение и рациональное использование природных ресурсов на региональном и межотраслевом уровнях.

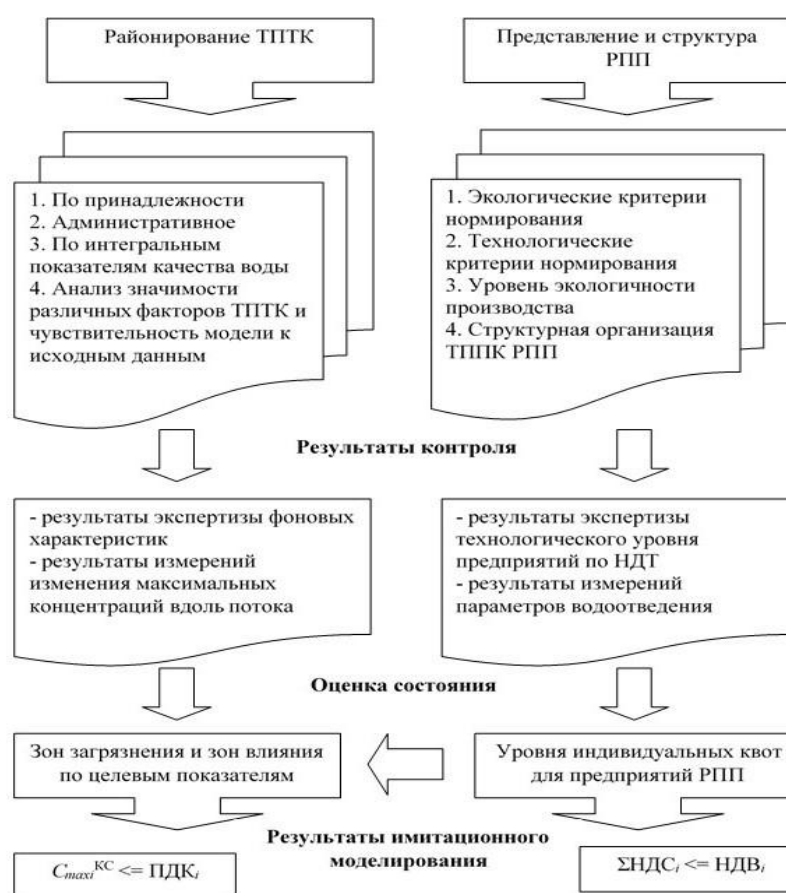


Рисунок 5 - Структура ГИС-проекта «Экологическое нормирование техногенной нагрузки РПП»

По мере усложнения структуры организации ТППК и отдельных РПП возрастает роль структурной и оперативной информации и информационного взаимодействия на межотраслевом и регионально-бассейновом уровнях.

В заключении четвертой главы в соответствии с разработанными методами обоснована новая система экологического управления межотраслевыми взаимоотношениями субъектов ТППК с целью развития регионально-бассейновых, информационно-аналитических центров, которые обеспечат сопровождение дорогостоящих разработок НДС и СКИОВО (Рисунок 6) при создании отраслевых и межотраслевых проектов, связанной с процессами передачи, хранения и переработки структурной информации, количество и качество которой определяет переход

управляющей системы на новый уровень организации (энтропии) в соответствии с разработанными методами и информационно-алгоритмическим обеспечением.

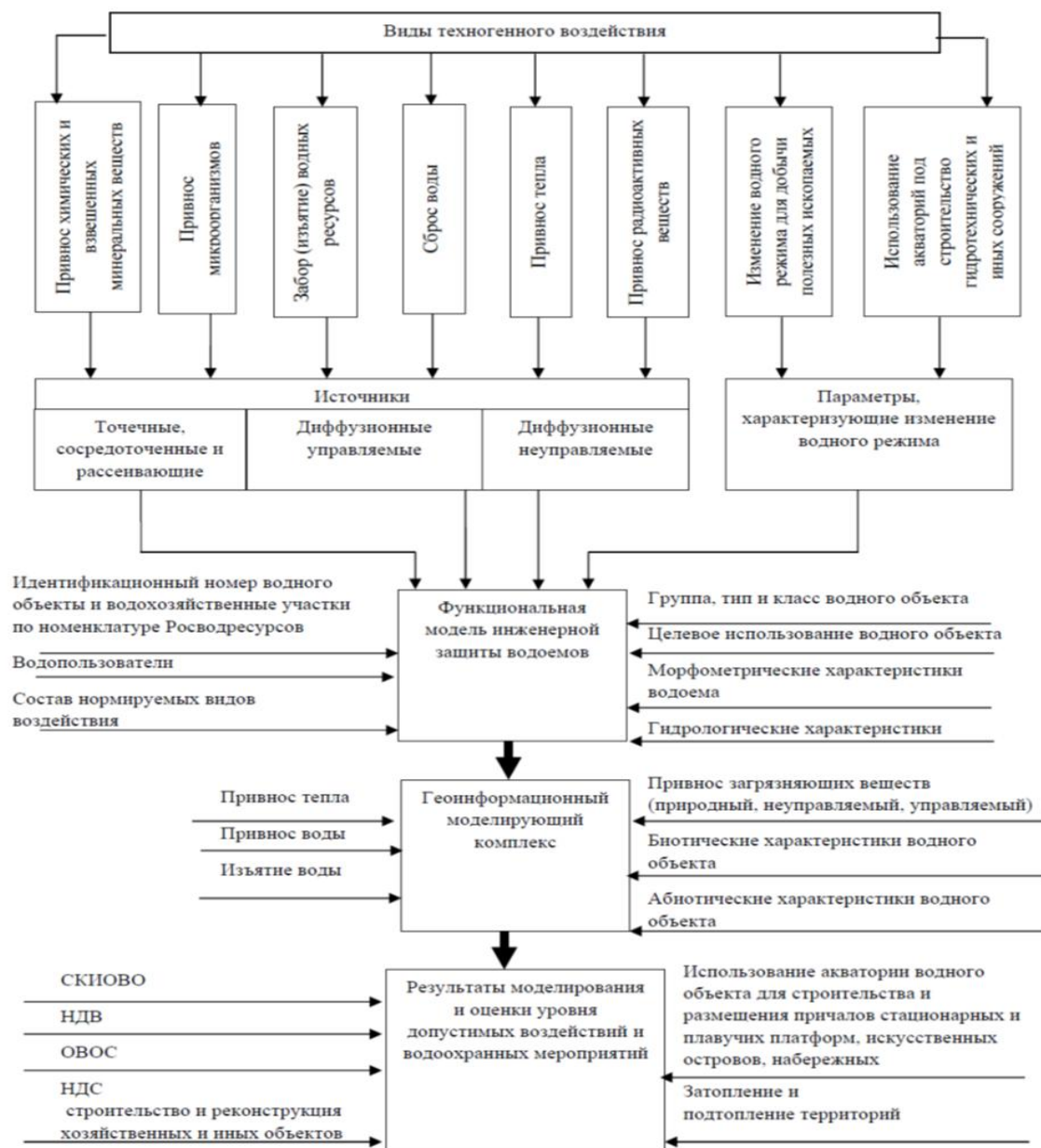


Рисунок 6 – Система экологического управления межотраслевыми взаимоотношениями субъектов ТППК

Разработанный метод формирования внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей ТППК обеспечивает применение: а) новых методов управления природопользованием РПП, учитывая как предпосылки предоставляемые окружающей средой, так и ограничения по экологическим стандартам; б) методов гармонизации взаимоотношений экологии и технологии на межотраслевом уровне в направлении внедрения наилучших доступных технологий и концепции «чистого производства»; в) методов формирования нового стиля межотраслевых взаимоотношений всех водопользователей при единой биополитике на регионально-бассейновом уровне с едиными экологическими критериями и применением региональных каналов коммуникации, баз данных, банков знаний и геоинформационных моделей нового поколения.

**Пятая глава** – «Обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств. Оценка эффективности результатов исследования» - включает инструментарий

организационно-технологического обеспечения экологичности РПП по эколого-технологическим характеристикам ТППК, таким как применение наилучших доступных технологий и новых наилучших межотраслевых экологических практик, оценка рационального водопользования, экологическое состояние водных объектов в заданных створах ТППК, а также результаты анализа эффективности проведенной исследовательской работы.

На основе результатов анализа состояния РПП по экологическим и технологическим критериям, проведенным в диссертационном исследовании, а также перечнем НДТ для изготовителей полупроводниковых элементов и предприятий микроэлектроники (ИТС 8-2015) проведено эколого-техничко-экономическое обоснование выбора НДТ по очистке сточных вод РПП из 11-ти указанных в ИТС. Эколого-техничко-экономическая целесообразность внедрения водоохранных мероприятий предполагает их стимулирование (выгоду для водных экосистем с экологических позиций) путем установления соответствия или превышения платежей за негативное воздействие (в том числе и загрязнение) до внедрения водоохранных мероприятий и затратами на мероприятие

Приведенные экологические затраты по показателям экологичности (критерию антропогенной нагрузки и потенциалу воздействия) рассчитываются следующим образом:

$$\mathcal{E}Z_{\text{при}} = \frac{\Delta Z_{\text{при}}}{\Delta K_{\text{ан}} \text{ (или } \Delta \xi)}, \quad (11)$$

где  $\mathcal{E}Z_{\text{при}}$  – приведенные экологические затраты, руб./м<sup>3</sup> в год;  $Z_{\text{при}}$  – приведенные затраты, руб./ м<sup>3</sup> в год;  $\Delta K_{\text{ан}}$  - уменьшение критерия антропогенной нагрузки (обеспечение требуемой кратности разбавления), руб./ м<sup>3</sup> в год;  $\Delta \xi$  - изменение потенциала воздействия на водные ресурсы,  $UI/\text{м}^3$  в год.  $UI$  – количество единиц воздействия аналита-маркера, отражающего определенный тип воздействия субъекта ТППК.

На Рисунке 7 представлены результаты расчета зависимости очищенных стоков от отношения предотвращенного ущерба ( $Y$ ) и приведенных экологических затрат  $\mathcal{E}Z_{\text{пр}}$  очистных сооружений РПП производительностью 32-40 тыс. м<sup>3</sup>/сут при использовании НДТ.



Рисунок 7 - Зависимость качества очищенных стоков от отношения предотвращенного ущерба и  $\mathcal{E}Z_{\text{пр}}$  очистных сооружений производительностью 32-40 тыс. м<sup>3</sup>/сут при использовании НДТ

Оценка эколого-техничко-экономической целесообразности проведения водоохранных мероприятий на основе экологических и технологических критериев позволила обосновать размер экологических платежей за одну единицу воздействия ЗВ на уровне 300-900 руб. за единицу воздействия.

Внедрение НДТ полной биологической очистки с нитрификацией и денитрификацией, либо с фильтрованием на зернистых фильтрах, либо с коагуляцией/флотацией и обработкой в биопрудах в РПП при соответствующем эколого-технологическом обосновании НДС позволит сократить экологические издержки отдельного предприятия на 65-70% за счет снижения размера платежей за НВОС.

Проведена оценка рационального использования водных ресурсов для двух предприятий- производителей компонентов электронной техники и печатных плат – субъектов ТППК бассейна рек Финского Залива и проведено сравнение с установленными в ГОСТ 57074-2016 критериями рационального использования водных ресурсов (КРИВР) для данного вида продукции:  $\gamma_T=0,8571$ ,  $\gamma_{псв}=0,0143$ ,  $\gamma_{ст}=0,1286$ .

Критерии рационального использования водных ресурсов включают в себя:

- коэффициент технического уровня организации водопользования  $\gamma_T$ :

$$\gamma_T = \frac{q_n + q_{об} + q_k}{q_{об} + q_{св} + q_c + q_k + q_n}, \quad (12)$$

где  $q_n$  - расход повторно используемой воды, м<sup>3</sup>/год;  $q_{об}$  - расход используемой оборотной воды, м<sup>3</sup>/год;  $q_k$  - расход воды, используемой комплексно, взамен свежей воды (например, очищенные ливневые сточные воды), м<sup>3</sup>/год;  $q_{св}$  - расход используемой свежей воды, м<sup>3</sup>/год;  $q_c$  - расход воды, привносимой с сырьем, м<sup>3</sup>/год;

- коэффициент потерь свежей воды  $\gamma_{псв}$ :

$$\gamma_{псв} = \frac{q_{св} + q_c - q_{см}}{q_{об} + q_{св} + q_c + q_k + q_n}, \quad (13)$$

где  $q_{ст}$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/год;

- коэффициент сброса сточных вод  $\gamma_{сбр}$ :

$$\gamma_{сбр} = \frac{q_{см}}{q_{об} + q_{св} + q_c + q_k + q_n}, \quad (14)$$

Расходы (объемы) воды определяются по водохозяйственным балансам субъектов ТППК. Наиболее рациональным является водопользование, характеризующееся оптимальным коэффициентом потерь свежей воды, максимальным коэффициентом технического уровня организации водопользования и минимальным коэффициентом сброса сточных вод:

$$\gamma_T + \gamma_{псв} + \gamma_{сбр} = 1. \quad (15)$$

В Таблице 2 представлены исходные данные для расчета КРИВР.

Таблица 2 – Расходы воды водопользователей-объектов негативного воздействия (ОНВ) РПП

Типы используемой воды	ОНВ РПП 1	ОНВ РПП 2
Оборотная вода, млн.м <sup>3</sup> /год	0	102
Свежая вода, млн.м <sup>3</sup> /год	4,69	11,2
Вода с сырьем, млн.м <sup>3</sup> /год	0,5	8
Вода, используемая комплексно взамен свежей, млн.м <sup>3</sup> /год	0	0
Сточные воды, млн.м <sup>3</sup> /год	0,55	41,9
Повторно используемая вода, млн.м <sup>3</sup> /год	0,15	20

В Таблице 3 представлены результаты расчета КРИВР для двух предприятий- производителей компонентов электронной техники и печатных плат – субъектов ТППК бассейна рек Финского Залива.

Результаты расчета показали, что ОНВ РПП-1 характеризуется минимальным значением коэффициента технического уровня водопользования и максимальным значением коэффициента потерь свежей воды при нормальном уровне сброса сточных вод. Предприятию необходима разработка плана водохозяйственных мероприятий, включающего программу



экологического контроля и мониторинга системы водопотребления с целью сокращения потерь свежей воды при производстве и уменьшения водопотребления.

Таблица 3 – Результаты расчета КРИВР водопользователей-объектов негативного воздействия РПП ТППК

ОНВ РПП	$\gamma_t$		$\gamma_{псв}$		$\gamma_{ст}$	
	Факт.	Рекомендованный для отрасли	Факт.	Рекомендованный для отрасли	Факт.	Рекомендованный для отрасли
1	0,0281	0,8571	0,8689	0,0143	0,1030	0,1286
2	0,8640	0,8571	0,1608	0,0143	0,2967	0,1286

ОНВ РПП-2 характеризуется максимальным значением коэффициента технического уровня водопользования и минимальным значением коэффициента потерь свежей воды, следовательно, предприятие использует более прогрессивные технологии. Однако, высокий уровень значения коэффициента сброса сточных вод говорит о проблемах в системе водоотведения, на которые предприятию следует обратить внимание при разработке программы повышения экологической эффективности.

Разработанные методы и средства апробированы в инженерной практике для решения локальных задач обоснования нагрузки для индивидуальных водопользователей (НДС) в рамках бассейновых НДС для неограниченного числа и типа водопользователей на основании региональных баз данных с применением ГИС-технологий.

Сформирован ГИС-проект «Экологическое нормирование техногенной нагрузки РПП» (ЭНТН РПП), учитывающий все виды воздействий в пределах ТППК, который дал возможность автоматизировать операции по сбору, обработке и представлению данных от предприятий радиоэлектроники и приборостроения. Кроме того, разработанный на основе ГИС-технологий проект позволил проанализировать качество воды водных объектов в пределах РВХУ. Созданный проект «ЭНТН РПП» позволяет разработать систему мониторинга экологического состояния ТППК и сделать прогноз развития ситуаций по различным сценариям с целью принятия эффективных управленческих решений при возникновении инцидентов.

Разработка и реализация ГИС-проекта «ЭНТН РПП» состояла из следующих этапов:

- 1) Разработка географической базы данных, включающей: электронную карту-схему бассейнового (регионального) ТППК; расчетные геоданные по каждому предприятию-водопользователю и каждому ВХУ; базу геоданных, созданную на основе информационно-управляющей системы.
- 2) Реализация ГИС-проекта «ЭНТН РПП» позволила: классифицировать предприятия-водопользователей по отраслям и номенклатуре производимой продукции, идентифицировать предприятия радиоэлектроники и приборостроения; ранжировать предприятия по НДС и интегральным массам сброса ЗВ; ранжировать предприятия по степени соответствия, используемых водопользователями технологий основного производства и очистки сточных вод, наилучшим доступным технологиям; формирование модели водного объекта; адаптация информационно-управляющей системы «ГИМС-ТППК» по ВХУ в соответствии с рассчитанными НДС для бассейна (региона) и НДС для водопользователей на базе эколого-технологической модели оптимизации.

Новый подход к применению ГИС-технологий в экологическом управлении ТППК, заключающийся в создании дополнительных тематических слоев в проекте «ЭНТН РПП» с помощью картографирования, позволил обеспечить устойчивое экологически безопасное развитие РПП с учетом их технико-экономического состояния, взаимодействия с другими отраслевыми производствами и показателями окружающей среды.

В сформированном ГИС-проекте «ЭНТН РПП» реализована модель информационно-управляющей системы ТППК эколого-технологического нормирования техногенной нагрузки по установленным целевым показателям, индексу интегральной нагрузки (ИИН) или по

удельному комбинаторному индексу (УКИИН). ИИН показывает соотношение фактической массы ЗВ к нормативам допустимого воздействия и рассчитывается по формуле:

$$\text{ИИН} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{M_{i\text{факт}}}{\text{НДВ}_{i\text{хим\_упр}}} \quad (15)$$

где  $n$  – количество ЗВ;  $M_{i\text{факт}}$  – фактическая масса  $i$ -го ЗВ в сточной воде, т/год;  $\text{НДВ}_{i\text{хим\_упр}}$  – норматив допустимого воздействия  $i$ -го ЗВ, т/год.

Для ИИН разработана классификация по степени и характеристике нагрузки (Таблица 4).

Результаты расчетов по индексам интегральной нагрузки позволили идентифицировать РВП ТППК бассейна северной части Финского залива по степени антропогенной нагрузки (Рисунок 8). Определено, что наиболее высокая нагрузка на водные объекты на следующих расчетных водохозяйственных подучастках: 005.01, 004.01, 004.02, 004.05, 007.04, 003.04, 003.11.

Таблица 4 - Классификация степени и характеристики техногенной нагрузки на РВП по ИИН

Степень и характеристика нагрузки	Величина ИИН
1 – очень низкая	$\leq 0,3$
2 – пониженная	$(0,3; 1]$
3 – незначительная	$(1; 2,5]$
4 – повышенная	$(2,5; 4]$
5 – высокая	$(4; 6]$
6 – очень высокая	$(6; 10]$
7 – чрезвычайно высокая	$>10$

На РВП с чрезвычайно высокой нагрузкой  $M_{i\text{факт}}$  превышает НДВ более чем в 4 раза. На расчетных водохозяйственных подучастках с номерами: 003.03, 003.09, 004.03, 004.04, 007.01-007.03, допустимая нагрузка на водные объекты не превышена. Таким образом, определено, что нагрузка на водный объект ТППК северной части Финского залива от водопользователей, включая предприятия радиоэлектроники и приборостроения, превышает установленные НДВ по 18 участкам, и лишь на 7 РВП нагрузка соответствует допустимой.

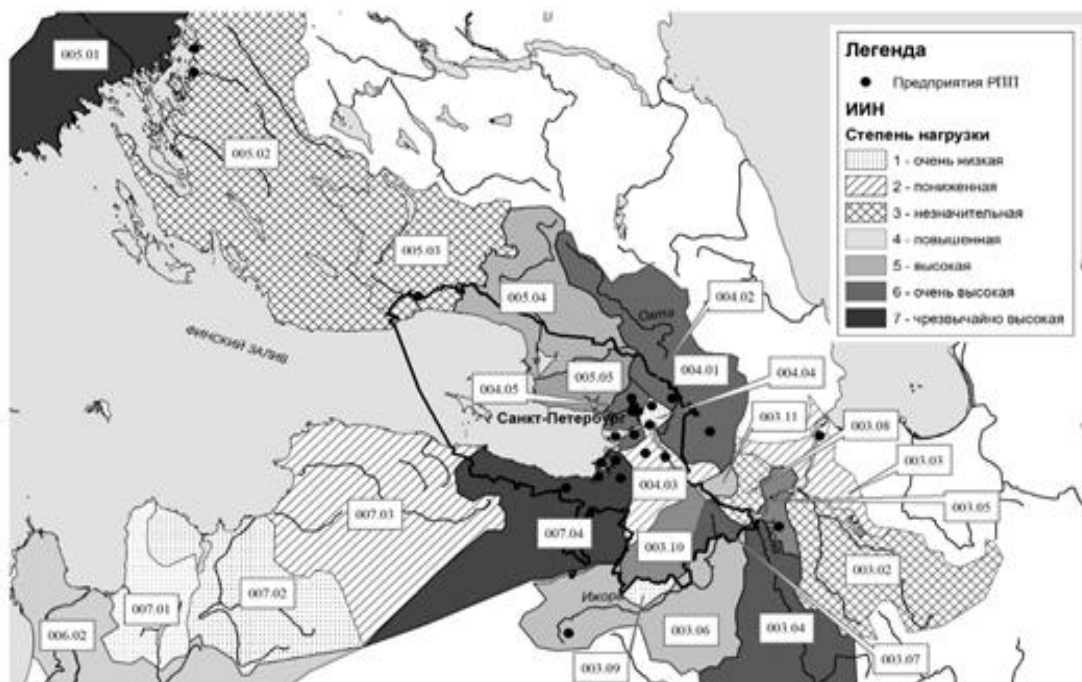


Рис. 8 – Карта расположения РВП с обозначением степени техногенной нагрузки на РВП

Проведено сравнение  $M_{i\text{факт}}$  с НДС по индексам интегральной нагрузки для тех основных расчетных водохозяйственных подучастков, на которых находятся РПП. Результаты приведены в Таблице 5.

Из Таблицы 5 видно, что для рассматриваемых РВП необходимо уменьшить антропогенной нагрузку за счет снижения  $M_{i\text{факт}}$  от отдельных водопользователей. Например, по РВП 003.05 (уровень нагрузки очень высокий) для обеспечения уровня нагрузки до высокого или повышенного следует сократить массу ЗВ на 15-35%.

ГИС-проект «ЭНТН РПП» позволил провести численные эксперименты с учетом пространственного расположения предприятий-водопользователей и временных изменений начальных и граничных условий для достижения требуемых показателей по уменьшению фактической массы загрязняющих веществ, по комплексу экологических и технологических показателей в рамках заданных экономических характеристик.

Таблица 5-Индексы интегральной нагрузки по расчетным водохозяйственным участкам, на которых расположены РПП

№ РВП	Показатели	Ингредиенты (тонн/год)									ИИН, степень и характеристика
		Органические вещества		Биогенные элементы		Прочие					
		ХПК	БПК <sub>полн.</sub>	$N-NO_2$	$P_{\text{общ.}}$	$Fe_{\text{общ}}$	НП	<i>Сu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	
003.05	сбросы	259,0	124,0	1,4	3,90	2,7	0,5	0,03	0,1	0,20	6,0 6 – очень высокая
	НДВ <sub>хим</sub>	81,8	9,8	1,5	0,13	0,6	0,3	1,64	8,2	0,17	
	соотн.	3,2	12,6	0,9	30,0	4,7	1,5	0,02	0,01	1,2	
004.03	сбросы	660	58	2,65	1,98	8,5	4,6	0,1	0,50	0,5	0,5 2 – пониженная
	НДВ <sub>хим</sub>	1556	208	47,20	2,08	15,6	4,5	34,8	0,52	5,2	
	соотн.	0,4	0,3	0,06	0,95	0,5	1,02	0,003	0,96	0,1	
04.05	сбросы	37752	20245	0,38	511,0	348,0	256,0	4	22,00	33,0	14,8 7-чрезвычайно высокая
	НДВ <sub>хим</sub>	6237	832	153,00	8,3	62,4	10,7	81	2,08	20,8	
	соотн.	6,1	24,3	0,002	61,4	5,6	23,9	0,05	10,6	1,6	
005.02	сбросы	398,0	110,00	0,44	5,09	7,42	0,405	0,11	0,264	0,366	2,4 3 – незначительная
	НДВ <sub>хим</sub>	129,9	24,65	0,17	0,82	3,70	0,250	0,11	0,270	0,284	
	соотн.	3,1	4,5	2,6	6,2	2,0	1,6	1,0	0,9	1,3	
007.04	сбросы	745,0	97,20	3,63	11,20	6,090	0,882	0,057	-	0,943	29,2 7-чрезвычайно высокая
	НДВ <sub>хим</sub>	40,8	1,92	0,10	0,14	0,547	0,048	0,005	-	0,097	
	соотн.	18,3	50,6	36,30	77,8	11,1	18,4	11,3	-	9,7	

ГИС-проект «ЭНТН РПП», сформированный на основе разработанного инструментария организационно-технологического обеспечения заданного уровня экологичности РПП позволил определить индексы, степень и характеристики нагрузки предприятий радиоэлектроники и приборостроения. В рамках проекта рассчитан индекс интегральной нагрузки для заданного числа расчетных участков. Разработаны рекомендации по сокращению и квотированию массы загрязняющих веществ на водохозяйственных участках рассматриваемого бассейна рек для отдельных РПП в рамках ТППК с целью дальнейшего устойчивого экологически безопасного развития РПП с учетом их технико-экономического состояния, а также взаимодействия с другими отраслевыми производствами и показателями окружающей среды. Получены результаты эффективности реализации комплекса методов и средств поддержки управленческих решений, реализация которых обеспечила достижение экологических стандартов предприятий на уровне НДТ и НДС при соответствующем эколого-технологическом обосновании.

**В заключении** даны резюмирующие формулировки 7 научных результатов, выносимых на защиту, даны обоснования научных исследований в области повышения экологичности и конкурентоспособности предприятий радиоэлектроники и приборостроения на отраслевом, межотраслевом и межрегиональном уровнях на перспективу.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе выполнено решение значимой научной проблемы обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств при всех возможных конфигурациях территориальных природно-производственных комплексов на межотраслевой основе в соответствии с природным потенциалом водных экосистем в рамках единой геоинформационной модели. В данной диссертации поставлены и разрешены задачи исследования, представленные ниже:

1. Разработана концепция обеспечения экологичности РПП по эколого-технологическим показателям в рамках ТППК, позволяющая определить взаимосвязь технологического развития (техноёмкости) радиоэлектронных и приборостроительных производств с экологической ёмкостью природных территориальных экосистем.
2. Разработан метод гармонизации технологических и экологических нормативов для РПП на основе геоинформационных технологий, позволяющий выбирать и обосновывать критерии и показатели уровней эколого-технологических нормативов для радиоэлектронных и приборостроительных производств.
3. Разработан и усовершенствован инструментарий интегрированного эколого-технологического бассейнового нормирования ТППК включающий методы и модели расчета характеристик природной среды, обеспечивающий получение необходимой информации для РПП с целью обоснования экологически оправданных и экономически обоснованных решений.
4. Разработаны методики и алгоритмы информационного обеспечения геоинформационного моделирования эколого-технологического управления ТППК, позволяющего создавать имитационные геоинформационные моделирующие системы и устанавливать территориальные, отраслевые и ресурсные нормативы экологической безопасности для различных уровней организации РПП в рамках ТППК в условиях интенсивного антропогенного воздействия и качества технологических процессов, являющихся источниками загрязнения.
5. Разработан метод перераспределения техногенной нагрузки по различным сценариям комбинированного воздействия для субъектов ТППК с применением геоинформационной онлайн-системы, позволяющий определить районы негативного влияния действующих производств и районы подверженные максимальному загрязнению, снизить негативное влияние производств на водную среду отдельного речного бассейна за счет оптимизации уровня нагрузки.
6. Разработано информационно-алгоритмическое обеспечение нормирования нагрузки от РПП в едином комплексе ТППК в виде проекта геоинформационной системы с интегрированной оценкой допустимой нагрузки, обеспечивающее снижение и квотирование массы загрязняющих веществ для отдельных субъектов за счет учета специфики всего комплекса производственно-технологических характеристик и их взаимосвязи.
7. Разработан метод формирования внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей ТППК, обеспечивающий применение: а) новых методов управления природопользованием РПП, учитывая как предпосылки предоставляемые окружающей средой, так и ограничения по экологическим стандартам; б) методов гармонизации взаимоотношений экологии и технологии на межотраслевом уровне в направлении внедрения наилучших доступных технологий и концепции «чистого производства»; в) методов формирования нового стиля межотраслевых взаимоотношений всех водопользователей при единой биополитике на регионально-бассейновом уровне с едиными экологическими критериями и применением региональных каналов коммуникации, баз данных, банков знаний и геоинформационных моделей нового поколения.

Осуществлена разработка и внедрение геоинформационной моделирующей системы на предприятии радиоэлектроники при технико-экономическом обосновании квот допустимой нагрузки на водные объекты.

Проведена всесторонняя апробация предлагаемой научно-методической концепции, методологического аппарата информационно-алгоритмического обеспечения геоинформационного моделирования параметров эколого-технологического управления ТППК как в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнических университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», ряде предприятий РПП, научно-производственных организациях и в Федеральном агентстве водных ресурсов, так и в ходе научно-педагогической деятельности по подготовке магистров и бакалавров, реализуемой автором в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». Применение разработанных методов позволило перейти на новый уровень принятия решений для водопользователей в масштабах территориальных природно-производственных комплексов с возможностью автоматизации сбора, обработки и предоставления данных, а, следовательно, повысить конкурентоспособность предприятия.

При выполнении прогнозов развития отраслей на среднесрочный и долгосрочный периоды, экономический эффект от внедрения высокоэкологичных мероприятий увеличивается от 1,5 до 3-3,5 раз за счет обработки крупномасштабных карт с применением компьютерного моделирования на основе бассейновых баз данных и банков знаний, ориентированных на разработку СКИОВО и НДВ.

Применение разработанного комплекса программно-информационного и моделирующего обеспечения для формирования геоинформационных проектов по экологическому нормированию техногенной нагрузки предприятий радиоэлектроники и приборостроения позволило обосновать уменьшение массы загрязняющих веществ на 15-35% в зависимости от набора показателей и интегральной массы сброса сточных вод РПП.

Внедрение разработанных в ходе диссертационного исследования методов и средств позволяет создавать крупные ГИС проекты на межотраслевой основе с переходом на регионально-бассейновые взаимоотношения и квотировать техногенную нагрузку с уменьшением затрат на разработку проектов на 20-25% в зависимости от структуры мероприятий и перечня показателей.

Результаты научной работы позволяют повысить эффективность и надежность нормативного, информационного, научно-методического и предпроектного обоснования уровня экологичности отдельных водопользователей с техническими средствами принятия комплексных водоохранных решений на бассейновом уровне и минимизировать затраты на технико-экономическое обоснование СКИОВО по действующим методическим указаниям на 14-28% за счет применения имитационного моделирования и современных геоинформационных моделей. Предложенные методы и средства могут быть применимы при разработке рабочей документации.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

### **Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях**

1. Жильникова, Н.А. Метод формирования межотраслевых и внутриотраслевых региональных (бассейновых) взаимоотношений водопользователей территориального природно-производственного комплекса / Н.А. Жильникова // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 5 (107). С. 74-77.
2. Жильникова, Н.А. Методология обеспечения экологичности радиоэлектронных и приборостроительных производств в рамках территориальных природно-производственных комплексов / Н.А. Жильникова // Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 1. С. 54-62.
3. Жильникова, Н.А. Концепция повышения экологичности производственных систем в рамках территориальных природно-производственных комплексов / Н.А. Жильникова //

- Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 11 (101). С. 32-35.
4. Жильникова, Н.А. Идентификация вертикальных резервуаров на многоканальных спутниковых снимках территории Арктики / Н.А. Жильникова, И.В. Мателенок, В.О. Смирнова, А.С. Смирнова // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 7. С. 82-88.
  5. Жильникова, Н.А. Гармонизация технологических и экологических нормативов для радиоэлектронных производственных систем с применением геоинформационных технологий / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 7. С. 77-81.
  6. Жильникова, Н.А. Геоинформационная модель эколого-технологического управления природно-производственным комплексом / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин, А.И. Шишкин // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 7. С. 122-127.
  7. Жильникова, Н.А. Современная концепция и методы нормирования техногенной нагрузки на водные объекты и предотвращения подтопления / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин, А.И. Шишкин // Биосфера. 2018. т.10 № 2. С. 143-175.
  8. Жильникова, Н.А. Инновации в управлении природно-техническими комплексами с применением геоинформационных технологий / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин, А.И. Шишкин, А.И. Кушнеров // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 103-108.
  9. Жильникова, Н. А. Алгоритм управления перераспределением техногенной нагрузки для территориальных природно-технических комплексов на основе геоинформационных систем / Н.А. Жильникова, А.И. Шишкин, А.В. Епифанов, М.А. Епифанова // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1. С. 93-101.
  10. Жильникова, Н. А. Информационно-алгоритмическое обеспечение экологического нормирования для предприятий радиоэлектронной промышленности / Н.А. Жильникова, А.И. Кушнеров, А.И. Шишкин // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 5. С. 25-31.
  11. Жильникова, Н.А. Программное обеспечение нормирования нагрузки в сложных водохозяйственных системах / Н.А. Жильникова, А.И. Шишкин, А.В. Епифанов, М.А. Епифанова // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 10. С. 48-51.
  12. Жильникова, Н.А. Управление промышленно-территориальным комплексом радиоэлектронной промышленности по эколого-технологическим показателям / Н.А. Жильникова, И.В. Антонов, И.А. Шишкин // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 6. Серия ОТ. Вып.5. С. 47-51.
  13. Жильникова, Н.А. Методика эколого-технологического нормирования нагрузки в рамках территориального природно-технического комплекса / Н.А. Жильникова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2015. № 1. С. 61-67.
  14. Жильникова, Н.А. Информационно-измерительная система мониторинга защиты территории топливно-энергетического комплекса от подтопления на основе геоинформационной технологии / Н.А. Жильникова, В.В. Алексеев, И.А. Шишкин // Информационно-управляющие системы. 2015. № 6. С. 93-97. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.6.93.
  15. Жильникова, Н.А. Эколого-технологическое нормирование нагрузки на окружающую среду на предприятиях радиоэлектроники / Н.А. Жильникова // Радиопромышленность. 2014. Вып.2. С. 112-118.
  16. Жильникова, Н.А. Системотехнический принцип повышения эффективности функционирования производственных систем / Н.А. Жильникова, Е.Г. Семенова, В.М. Милова // Отраслевой сборник «Вопросы радиоэлектроники». Радиолокационная техника (РЛТ). 2014. Вып.4. С. 125-130.
  17. Жильникова, Н.А. Повышение эффективности функционирования предприятий радиоэлектроники в рамках природно-технических комплексов / Н.А. Жильникова // Отраслевой сборник «Вопросы радиоэлектроники», сер. Радиолокационная техника



- (РЛТ). 2012. вып.1. С. 176-183.
18. Жильникова, Н.А. Эффективная очистка городских сточных вод от биогенных элементов на ЦСА Санкт-Петербурга / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, О.Н. Рублевская, Г.А. Панкова, Г.Н. Рафалович // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 12. С. 59-62.
  19. Жильникова, Н.А. Очистка сточных вод от биогенных элементов / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев // Водоочистка. 2008. № 5. С. 42-43.
  20. Жильникова, Н.А. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, Н.Ю. Большаков // Водоочистка. 2007. № 1. С. 30.
  21. Жильникова, Н.А. Инновации в области сокращения сбросов ЦБП / Н.А. Жильникова, А.Н. Николаев // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 4. С. 70-72.
  22. Жильникова, Н.А. Технологические инновации в области очистки сточных вод / Н.А. Жильникова, Н.Ю. Большаков // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 6. ч. 1. С. 6-12.
  23. Жильникова, Н.А., Технологические инновации в области очистки сточных вод / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, Н.Ю. Большаков // Водные ресурсы. 2006. № 6. С. 15-21. (Перечень ВАК от 17.06.2005, действ. до 31.12.2006).
  24. Жильникова, Н.А. Проблемы внедрения систем управления окружающей средой (экологического менеджмента) в Северо-Западном регионе России / Н.А. Жильникова // Региональная экология. 2002. № 3-4 (19). С. 12-15.

#### **Монография**

25. Жильникова, Н.А. Экологическое управление территориальными арктическими природно-техническими комплексами на основе геоинформационных технологий / Н.А. Жильникова, Ю.А. Антохина, Е.Г. Семенова - СПб.: ГУАП, 2017. 273 с.

#### **Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus**

26. Zhilnikova, N.A. Geoinformation modelling of quotas distribution of technogenic load for water users/ N. Zhilnikova // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series (JPCS) (2020) 4035.
27. Zhilnikova, N.A. Environmental assessment of emergency on hydro-technical utilities and within natural-production complexes / N.A. Zhilnikova, A.I., I.A. Shishkin, V.M. Milova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 062014.
28. Zhilnikova, N.A., Special aspects of modeling on accidental oil spills in inland sea waters / N.A. Zhilnikova, I.V. Matelenok, V.O. Smirnova, A.S. Smirnova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 062013.
29. Zhilnikova, N.A. Modern information technologies for inventory of objects of ameliorative network of St. Petersburg / A Epifanov, N Zhilnikova, A Smirnova, M Stroganova. // A Epifanov et al // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 315 (2019) 032017.
30. Zhilnikova, N.A. Geoinformation modelling system of natural technical complexes for simulation modelling and optimization of load distribution / N. Zhilnikova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 450 (2018) 062010.

#### **Статьи и материалы конференций**

31. Жильникова, Н.А. Имитационная геоинформационная моделирующая система нормирования техногенной нагрузки / Н.А. Жильникова // Сб. материалов Международного форума «Метрологическое обеспечение инновационных технологий». Санкт-Петербург. СПб.: ГУАП. 2020. С. 274.
32. Жильникова, Н.А. Организация системы мониторинга геологической среды при техногенных воздействиях на арктических территориях / Н.А. Жильникова, А.С. Смирнова, А.А. Баранова // Сб. материалов Международного форума «Метрологическое

- обеспечение инновационных технологий». Санкт-Петербург. СПб.: ГУАП. 2020. С. 275-276.
33. Жильникова, Н.А. Оценка кумулятивных и трансграничных воздействий на водные ресурсы / Н.А. Жильникова // Сб. материалов XX Международного экологического форума «День Балтийского моря». Санкт-Петербург. 2019. С. 235-240.
  34. Жильникова, Н.А. Минимизация негативного воздействия на дно водных объектов и сохранения биоресурсов / Н.А. Жильникова, А.С. Магеркина, А.И. Вишнякова // Сб. материалов XX Международного экологического форума «День Балтийского моря». Санкт-Петербург. 2019. С. 224-229.
  35. Жильникова, Н.А. Методология оценки воздействия на окружающую среду при строительстве гидротехнических сооружений / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин, И.В. Мателенок, А.С. Магеркина // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докладов науч.сессии ГУАП. Санкт-Петербург. СПб.: ГУАП. 2019. С. 144-147.
  36. Жильникова, Н.А. Снижение негативной нагрузки на водные объекты г. Санкт-Петербург / Н.А. Жильникова, И.А. Яковлева // Сб. материалов XXIV Международного Биос-форума и Молодежной Биос-олимпиады. Санкт-Петербург. СПб.: СПбНЦ РАН, ВВМ; СПб.: Любавич. 2019. С. 181-185.
  37. Жильникова, Н.А. Инновационные подходы к улучшению качества подготовки кадров в области экологического мониторинга геозосистем / Н.А. Жильникова // Сб. материалов XIX Международного экологического форума «День Балтийского моря». Санкт-Петербург. 2018. С. 188-192.
  38. Жильникова, Н.А. Информационно-управляющая система обращения с отходами на ГИС-основе / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин // Сб. материалов международной конференции «Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса. Санкт-Петербург. СПб.: изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. С. 264-268.
  39. Жильникова, Н.А. Унифицированные методы и средства нормирования техногенной нагрузки для природно-производственных комплексов / Н.А. Жильникова, И.А. Шишкин // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докладов науч.сессии ГУАП. Санкт-Петербург. СПб.: ГУАП. 2018. С. 249-257.
  40. Жильникова Н.А. Комплексная оценка соответствия схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна Финского залива действующему законодательству / Н.А. Жильникова, А.И. Шишкин, В.С. Маркушева // Сб. материалов XVIII Международного экологического форума «Дни Балтийского моря». 2017. С. 152-155.
  41. Жильникова, Н.А. Особенности экологической экспертизы проектов комплексного использования и охраны водных объектов бассейна Финского залива / Н.А. Жильникова // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докл. / СПб.: ГУАП. 2017. С. 150-154.
  42. Жильникова, Н.А. Информационно-прогностическая система для природно-технического комплекса бассейнового уровня / Н.А. Жильникова, В.В. Алексеев, И.А. Шишкин, Н.Ю. Орлова //Сб. материалов XXII Международного Биос-форума 2017 / Кн.2, СПб: СПб НЦ РАН, ВВМ. 2017. С. 92-95.
  43. Жильникова, Н.А. Комплексный подход к анализу и управлению потоками опасных химических веществ в природно-технических системах / Н.А. Жильникова, Е.С. Белова, И.В. Антонов, А.И. Кушнеров // XVII Международный экологический форум «День Балтийского моря». 2016. С. 66-67.
  44. Жильникова, Н.А. Алгоритм и программное обеспечение на ГИС основе перехода от бассейновых НДВ к НДС индивидуальных водопользователей / Н.А. Жильникова, И.В. Антонов, А.И. Шишкин // XVII Международный экологический форум «День



- Балтийского моря». 2016. С. 147-148.
45. Жильникова, Н.А. Концептуальные и методические основы внедрения интегрированных систем менеджмента на предприятиях металлургической промышленности / Н.А. Жильникова, А.А. Соловьев // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докл. / СПб.: ГУАП. 2016. С. 90-95.
  46. Жильникова, Н.А. Формирование ГИС проектов защиты территорий от подтопления / Н.А. Жильникова, В.В. Алексеев, И.А. Шишкин // XVI Международный экологический форум «День Балтийского моря». 2015. С. 141-142.
  47. Жильникова, Н.А. Подходы к управлению качеством окружающей среды в Российской Федерации и Китайской народной республике / Н.А. Жильникова, Е.С. Белова // XX Международный и межрегиональный Биос-форум. 2015. С. 96-100.
  48. Жильникова, Н.А. Программно-целевое управление технологическими инновациями в области очистки сточных вод / Н.А. Жильникова // XV Международный форум «Формирование современного информационного общества – проблемы, перспективы, инновационные подходы». 2014. С. 52-55.
  49. Жильникова, Н.А. Принципы и методы эффективного управления охраной окружающей среды для производственных систем / Н.А. Жильникова // Сборник материалов Международного и Межрегионального Биос-форума и XVII молодежной Биос-олимпиады. 2012. СПб НЦ РАН ВВМ. СПб: Любавич. Т.1. С. 240-243.
  50. Жильникова, Н.А. Эффективные меры управления и минимизации негативных последствий от выбросов опасных веществ на примере ртути / Н.А. Жильникова // Материалы IV Международного конгресса "Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов». 2011. СПб. С. 126-129.
  51. Жильникова, Н.А. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2006. № 8. С. 24-26.
  52. Жильникова, Н.А. Составление материального баланса целлюлозно-бумажного производства – эффективный инструмент для разработки рекомендаций по сокращению водопотребления и стокоотведения предприятия / Н.А. Жильникова, П.М. Вайнштейн // Международный форум «Рациональное природопользование. М. 2005. С. 161-162.
  53. Жильникова, Н.А. Совершенствование технологий очистки сточных вод / Н.А. Жильникова, А.Н. Николаев, Е.М. Крючихин // Международный форум «Рациональное природопользование. М. 2005. С. 266-267.
  54. Жильникова, Н.А. Внедрение наилучших существующих технологий в целлюлозно-бумажной промышленности (на примере ОАО «Соликамскбумпром») / Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, Н.А. Жильникова // 5-й Международный экологический форум «День Балтийского моря». СПб. 2005. С. 63-67.
  55. Жильникова, Н.А. Реализация наилучших существующих технологий в рамках программы реконструкции Соликамского ЦБК Н.А. Жильникова, Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев // 8-я Международная научно-техническая конференция PAP-FOR-2004. СПб. 2004. С. 82-87.
  56. Жильникова, Н.А. Анализ текущего состояния управления качеством окружающей среды на предприятии / Н.А. Жильникова // XII Российская межотраслевая международная конференция «Организация природоохранной деятельности, повышение эффективности природопользования и экологической безопасности». СПб. 2003. С. 146-150.
  57. Жильникова, Н.А. Методология нормирования ПДВВ при недостаточном информационном обеспечении / Н.А. Жильникова, В.С. Замараева, В.А. Смольникова, А.И. Шишкин // Организация системы управления охраной окружающей среды. Материалы XII МНПМК. СПб: СПбГТУРП. 2002. С. 39-47.
  58. Жильникова, Н.А. Оптимизация нагрузки на водный объект с учетом заданных

ограничений по лимитирующим факторам / Н.А. Жильникова, А.И. Шишкин, В.С. Замараева // Организация рационального использования поверхностных и подземных вод. Экологическое нормирование выбросов на промышленных предприятиях. Материалы НПК. СПб: ВНИИЖА. 2000. С. 63-67.

**Научно-исследовательские работы**

59. Жильникова, Н.А. Разработка технологии очистки нефтесодержащих вод фильтрами до 100 кубометров в час на основе графенового сорбента: отчет о НИР / ГУАП: рук. Н.А. Жильникова; № госрегистрации 14.578.21.0222. 2018. 41 с.
60. Жильникова, Н.А. Оценка пространственно-временной изменчивости характеристик природных сред Арктической зоны на основе данных дистанционного зондирования с использованием методов математического моделирования: отчет о НИОКТР / ГУАП: рук. И.В. Мателенок; № госрегистрации АААА-А17-117092750050-7. 2017. 56 с.
61. Жильникова, Н.А. Разработка решений по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений в рамках проектно-ориентированной подготовки магистров в области техносферной безопасности: отчет о НИР / ГУАП: рук. Н.А. Жильникова; № госрегистрации АААА-А19-119040390062-1. 2019. 80 с.