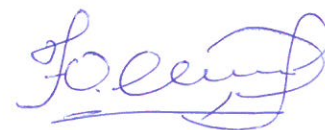


На правах рукописи



ШИШКИН Юрий Евгеньевич

**МЕТОДИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРИБОРНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕДУР ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ
В МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНО-КОМПОНЕНТНОГО ПОДХОДА**

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,
материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Севастополь – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт природно-технических систем».

Научный руководитель: **Скатков Александр Владимирович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
«Информационные технологии и компьютерные системы»
ФГАОУ ВО «СевГУ», г. Севастополь

Официальные оппоненты: **Сапожников Николай Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры ракетно-артиллерийского вооружения
ФГБВОУ ВО «Черноморское высшее военно-морское ордена
Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова», г. Севастополь

Мартынов Олег Викторович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
отдел оптики и биофизики моря ФГБУН ФИЦ «Морской
гидрофизический институт РАН», г. Севастополь

Ведущая организация: АО «Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 28 июня 2022 г. в 11:00 на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.231.02 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт природно-технических систем» (ИПТС) и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Севастопольский государственный университет» (СевГУ) по адресу: **299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33.**

С диссертацией можно ознакомиться у ученого секретаря ИПТС (или в библиотеке СевГУ) и на сайте www.иптс.рф. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации <http://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте www.иптс.рф.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2022 г.

Ученый секретарь объединенного
диссертационного совета Д.999.231.02
кандидат физико-математических наук



В.П. Евстигнеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение рационального природопользования, оптимизация хозяйственной деятельности человека, контроль безопасности значимых объектов критической инфраструктуры, повышение качества природной среды (ПС) и жизни человека в целом требуют комплексного изучения методов аналитического и неразрушающего контроля ПС в части обнаружения скрытых аномалий в скалярных и векторных полях мониторинговых наблюдений ПС и природно-технических систем. Развитие методического, алгоритмического и приборного обеспечения процедур, направленных на решение задач обнаружения аномалий в полях мониторинговых наблюдений ПС представляет несомненный интерес для специалистов различных областей научных исследований (океанологии, биологии, экологии, климатологии и др.) и практической деятельности (рыбопромышленной, нефтегазодобывающей, транспортно-логистической и др.).

Современные требования информационной надежности систем экологического и природно-хозяйственного мониторинга ПС непрерывно растут, что обуславливает необходимость как разработки новых проблемно-ориентированных методов, так и усовершенствования существующих методов и алгоритмов анализа данных результатов мониторинга ПС. Комплексное решение задач обнаружения аномальных значений в данных мониторинга ПС включает разработку специализированных методов и реализующего эти методы алгоритмического, приборного и программно-технического обеспечения, использующего новые достижения в области вычислительной техники и программного обеспечения в части интеллектуального и модульно-компонентного подходов.

Степень разработанности. Проблемами выявления аномальных значений в данных статистического мониторинга занимались многие выдающиеся отечественные и зарубежные ученые, получившие основополагающие результаты: К.Ф. Гаусс, П.Л. Чебышев, К. Пирсон, У. Госсет (Стьюдент), В.И. Романовский, Р. Фишер, А.Н. Колмогоров, Н.В. Смирнов, В.С. Королюк, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов и др. Которыми разработаны различные эмпирические, статистические параметрические и непараметрические математические модели и методы, направленные на выявление аномальных значений как реализаций случайных величин, подчиняющихся отличным от эталонного законам распределения. Эти теоретические модели были основой для адаптации с целью решения задач поиска аномалий в данных мониторинговых наблюдений ПС.

Однако, существующие модели строятся исходя из предположения о независимости измерений как элементов случайной выборки, реализации случайного процесса с неизменными дисперсией и математическим ожиданием, в условиях асимптотической сходимости результатов измерений, в то время как в действительности, по своей природе, эти данные являются реализацией случайного процесса переменной структуры, как правило нестационарного, что приводит к смещенности статистических оценок, значительному снижению информационной надежности классификаторов, повышению вероятности возникновения ошибок первого и, что особенно критично для принятия решений по данным мониторинга ПС, второго рода.

Эмпирические и статистические модели, позволяющие определять численную меру различия между эталонной и эмпирической популяциями, появились задолго до имитационных численных методов в рамках физико-статистического подхода и существуют до сих пор. В основе нового направления лежит комплекс предлагаемых нелинейных и имитационных моделей, которые стали результатом развития (по сравнению с традиционными статистическими) процессов построения аналитических решений: предлагаются различные способы расчёта коэффициентов линейных комбинаций, а также рассматриваются варианты нелинейных связей. Примерами таких подходов являются искусственные нейронные сети, непараметрические статистические методы, численное и имитационное моделирование. Значительный вклад в становление и развитие двух последних групп методов внесли: А.Н. Колмогоров, Н.В. Смирнов, В.С. Королюк, результаты исследований которых послужили базой для проведенных исследований при написании диссертации.

Важные результаты в области интеллектуальных технологий и численных методов анализа данных мониторинга природной среды и выявления аномалий в данных мониторинговых наблюдений получены коллективом ученых под руководством вице-президента РАН академика В.Г. Бондура. Опубликованы работы, в которых предложены решения практических аспектов решения задач исследования: аномальной изменчивости пространственно-временных распределений явлений природного и техногенного характера, аномалий взволнованной морской поверхности, аномалий возмущения состояния геофизических полей, аномальных зон и критериев аномальности в этих зонах, тепловых аномалий как контраста температуры в локализованных участках среды, тепловых аномалий как значимого отличия температур за некоторый период относительно средних температур за аналогичный период в прошлом, аномалий как эмиссий вредных примесей по данным космического мониторинга, аномального цуга интенсивных солитоноподобных внутренних волн на шельфе Черного моря и др.

Существующее аналитическое решение задач анализа данных мониторинга с целью выявления в них аномалий базируется на исследованиях академика Колмогорова А.Н., и использует математическую модель, предполагающую асимптотическую сходимость результатов мониторинга при нестрогих ограничениях на время наблюдения и объемы выборок, что труднодостижимо при мониторинге ПС. При том, что сформулированные теоремы нашли широкое применение в качестве критериев согласия, их использование в практических вопросах не всегда достаточно обоснованно, так как все они носят характер предельных соотношений.

Анализ научных работ авторов, посвященных вопросам выявления аномалий в данных мониторинга, равно как и других отечественных и зарубежных работ показал, что современный уровень развития информационных технологий, программного обеспечения и аппаратных средств мониторинга окружающей среды, позволяет в полной мере решать лишь ограниченный круг задач обнаружения аномалий в ретроспективных и текущих данных мониторинговых наблюдений и не отвечает всем запросам практической деятельности современного социума. Прикладные задачи анализа результатов мониторинга ПС выявляют острую востребованность решения задач обнаружения аномалий данных в условиях реального времени, малых объемов выборок, пропущенных и искаженных данных, которые до настоящего времени исчерпывающе и в полном объеме не разрешены. Остро стоит также задача повышения достоверности статистических выводов, увеличения точности прогнозов, своевременного предупреждения о возможных экстремальных явлениях. В связи с этим, естественно, возникает потребность в разработке нового, адаптации и развитии существующего методического, алгоритмического и приборного обеспечения процедур выявления аномалий в данных мониторинга. Таким образом, развитие методов и алгоритмов анализа данных скалярных и векторных полей мониторинговых наблюдений ПС на базе адаптивного модульно-компонентного подхода является целесообразным.

Объект исследования – данные многопараметрических мониторинговых наблюдений природной среды в виде пространственно-временных скалярных и векторных полей.

Предмет исследования – методическое, алгоритмическое и приборное обеспечение процедур обнаружения аномалий в факторном пространстве данных мониторинга природной среды, реализованное на основе модульно-компонентного подхода.

Цель работы – повышение информационной надежности модульного методического, алгоритмического и приборного обеспечения процедур обнаружения аномалий в мониторинговых наблюдениях природной среды на основе модульно-компонентного подхода.

В соответствии с поставленной целью сформулированы и решены следующие **научные задачи**:

1. Осуществить классификацию информационных ситуаций, возникающих при мониторинге природной среды, и разработать проблемно-ориентированные модули их обнаружения.

2. Исследовать и развить методико-алгоритмический инструментарий выявления аномальной изменчивости данных экологического мониторинга природной среды в факторном пространстве скалярных и векторных полей. Обеспечить повышение реактивности принятия решений по данным биосенсорных измерителей, соизмеримое с реактивностью самих измерителей.

3. Исследовать и развить проблемно-ориентированные модульные методы и алгоритмы, адаптивно осуществляющие поддержку принятия решений о наличии аномалий различных типов в данных мониторинга природной среды на основе векторных критериев качества.

4. Исследовать и развить модульное программно-техническое обеспечение, предназначенное для обработки информативных сигналов для выявления аномалий в данных мониторинга в реальном времени, включающее связку аппаратного модуля выявления аномалий и внешнего программного серверного модуля.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» по пунктам 4. «Разработка методического, технического, приборного и информационного обеспечения для локальных, региональных и глобальных систем экологического мониторинга природных и техногенных объектов», 6. «Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, автоматизация приборов контроля» и 7. «Методы повышения информационной и метрологической надежности приборов и средств контроля в процессе эксплуатации, диагностика приборов контроля», отрасль наук – технические науки.

Научная и практическая значимость результатов. Теоретическая значимость работы заключается в комплексном решении, на базе модульного методического, алгоритмического и приборного обеспечения многокритериальной задачи выявления аномалий в факторном пространстве скалярных и векторных полей мониторинга природной среды. Решение задачи осуществлено за счет модульно-компонентной организации системы контроля, компоненты которой образуют функционально замкнутую структуру, позволяющую повысить информационную надежность приборов и средств контроля природной среды.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что они могут быть эффективно использованы при разработке приборов и средств контроля природной среды, решении прикладных задач экологического мониторинга, за счет реализации программно-технических модулей выявления аномалий, учитывающих особенности их использования в прикладных системах мониторинга природной среды: работа в условиях реального времени, неполной информации, малых объемов выборок, нерегулярных и пропущенных данных.

Диссертация выполнялась в рамках реализации плановых исследований по базовым темам государственных заданий ИПТС «Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования в реках, морях и океанах» (2016 г., АААА-А17-117010900029-0), «Разработка оптических, акустических методов, технологий и средств исследования гидросферы и их оснащение возобновляемыми источниками энергии» (2017 г., 2018 г., АААА-А17-117021310008-4), «Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод» (2019–2021 г., АААА-А19-119040590054-4), при поддержке грантов РФФИ (№ 18-47-920005 р_а, № 18-48-920018 р_а, № 19-29-06015). Результаты работ по теме диссертации вошли составной частью в отчеты по этим темам и грантам.

Материалы и методы исследования. Результаты работы базируются на применении следующих аппаратов исследований: математическое и компьютерное моделирование, численные методы, методы многомерной сплайн-интерполяции, дискретное преобразование Фурье, векторный анализ градиентов скалярного поля, ортогональная цифровая фильтрация, математическая статистика, кластерный анализ, вейвлет преобразования. При реализации программной системы и в экспериментальной части применялись агентное и дискретно-событийное имитационное моделирование, принципы объектно-ориентированного программирования, интерактивные технологии визуализации данных, вычислительный эксперимент.

Основные положения, выносимые на защиту, содержат результаты, полученные автором впервые, что и определяет **научную новизну** результатов диссертационной работы, которая состоит в следующем:

1. Получила дальнейшее развитие классификация информационных ситуаций, возникающих при мониторинге природной среды, за счет введения в рассмотрение факторного пространства скалярных и векторных полей мониторинга и критериального пространства точности, полноты, реактивности, рисков и вероятностей ошибок первого и второго рода.

2. Впервые разработано модульное методическое, техническое и информационное обеспечение систем экологического мониторинга природной среды за счет нового метода качественной дифференциальной оценки состояния природной среды, установки для его осуществления и программного модуля консолидации и структуризации данных мониторинга большого объема и модуля снижения избыточности данных мониторинга.

3. Получено новое модульное программно-алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений о наличии аномалий в данных мониторинга природных систем, адаптирующееся к классу выявляемых аномалий в реальном времени за счет динамически переключаемых интеллектуальной системой проблемно-ориентированных моделей и векторного критерия качества.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждаются корректностью применяемого математического аппарата, данными вычислительных экспериментов, полученными с использованием лабораторного стенда, сопоставлением результатов полученных расчетным путем с известными из литературы данными и данными опытной эксплуатации в натуральных условиях. Все полученные в диссертации результаты непротиворечивы и дополняют современные представления об информационном обеспечении систем контроля природной среды.

Личный вклад автора. Все научные результаты диссертационной работы получены при непосредственном участии автора. Соискатель активно участвовал в обсуждении и интерпретации результатов, подготовке научных публикаций, лично представлял результаты исследований на всероссийских и международных конференциях, семинарах.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинарах ФГАОУ ВО «СевГУ» (2016–2020 г.) и были представлены на **18** международных и всероссийских научных конференциях и семинарах: International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (Сочи, 2018–2021 г.); Marine Science and Technology for Sustainable Development (PACON-2019) (Владивосток, 2019 г.); International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (Владивосток, 2019 г., 2020 г.); Информационные технологии и

информационная безопасность в науке, технике и образовании ИНФОТЕХ (Севастополь, 2015 г., 2017 г., 2019 г.); Интеллектуальные системы, управление и мехатроника (Севастополь, 2015 г., 2016 г.); Комплексные исследования Мирового океана (КИМО) (Севастополь, 2019 г., Калининград, 2020 г.); Техносфера XXI века (Севастополь, 2019 г.); Морские исследования и рациональное природопользование (Севастополь, 2018 г.); Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана (Новороссийск, 2018 г.); Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения (Севастополь 2016 г., 2017 г.); Science in Progress (Новосибирск 2016 г.); Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента (Севастополь, 2017 г.); Информатизация непрерывного образования – 2018 (Москва, 2018 г.); Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами (Севастополь, 2017 г., 2018 г.); Робототехника и искусственный интеллект (Железногорск, 2018 г.); Проблемы оценивания и прогнозирования качества жизни (Севастополь, 2018 г.); Векторы развития информационных технологий: перспективы и направления (пгт. Гурзуф, 2017 г.); Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017 (Севастополь, 2017 г.); Системы контроля окружающей среды (Севастополь, 2017–2021 гг.).

Публикации результатов исследования. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 25 работах: монографии [1]; 15 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации [2-16]; 5 статей опубликовано в изданиях, входящих в международные наукометрические базы Scopus и Web of Science [17-21], а также 1 патент на изобретение [22], 7 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ [23-29]. Кроме этого, опубликовано 32 тезиса докладов, представленных на всероссийских и международных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Каждая глава разбита на параграфы, включая обзор к главе и выводы к ней. Объем диссертации составляет 146 страниц, в том числе 33 рисунка и 2 таблицы. Список литературы включает 194 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** приведена общая характеристика работы, включающая обоснование актуальности темы, определение цели и задач исследования, излагаются полученные автором основные результаты проведенных исследований, показывается их научная новизна, теоретическая и практическая значимость, отражаются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты системного анализа априорной информации об аномалиях в мониторинговых наблюдениях ПС и осуществлен выбор перспективных направлений развития методов их обнаружения.

Выделены два типовых класса аномалий данных мониторинговых наблюдений ПС: М-аномалии и N-аномалии, оценена продуктивность статистических, численных и эвристических методов, алгоритмов и процедур их обнаружения. Источниками М-аномалий является неопределенность в данных, возникающая из-за ошибок в средствах мониторинга, шумов, вариативности данных и в целом характеризуется свойством самих данных, а не модели. Источниками N-аномалий являются неопределенности в знаниях, возникающие вследствие некорректности данных для обучения модели или качественных изменений состояния ПС и в целом характеризует свойство модели, а не данных. Логическая структура проблемы обнаружения N-аномалий и М-аномалий антропогенной и естественной природы соответственно, в мониторинговых наблюдениях ПС, представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Логическая структура проблемы обнаружения аномалий в мониторинговых наблюдениях природной среды

Осуществлена оригинальная постановка задач обнаружения для ряда типовых видов N-аномалий ПС и построены специфические детекторы, которые непротиворечиво дополняют комплекс обнаружения М-аномалий, лежащий в основе предложенного методического, алгоритмического и приборного обеспечения. Предложенная математическая формализация процессов обнаружения аномалий ПС частично пересекается с классической задачей кластеризации, с тем отличием, что размеры кластеров несимметричны, жестко органичны объемы данных об аномальных прецедентах.

Предложенная в диссертации методика подразумевает адаптивное переключение ведущей модели (1–6) в зависимости от типа обнаруживаемой аномалии ПС, что позволяет наилучшим образом обнаруживать каждый из рассмотренных типов аномалий.

Пусть $x_{i,j,t}$ элемент выборки X метрического пространства (потенциально возможного поля наблюдений) $D \subset R$, данных мониторинговых наблюдений ПС, определенный в момент времени t в точке с координатами i, j . Если зафиксировать время t

получим случай стационарных полей $x_{i,j} \in X$ для $D \subset R_2$, а если зафиксировать координаты то случай аномалий распределенных во времени $x_i \in X$ для $D \subset R_1$, однако рассматриваемые подходы также продуктивны для многомерных и нестационарных наблюдений.

Модель M_1 : порядковая аномалия ПС – возникновение возмущений в упорядоченной выборке, представленных в виде крайних элементов, не принадлежащих генеральной совокупности, которые подозреваются на аномальность; модель при оценке квартилей примет вид:

$$M_1 = \begin{cases} v^* : X \rightarrow \begin{cases} \text{если } \left| i - \frac{N}{2} \right| \leq \frac{N}{4}, \text{ то } x^*_i \in X_N \\ \text{если } \left| i - \frac{N}{2} \right| > \frac{N}{4}, \text{ то } x^*_i \in X_{A,B} \end{cases}, \\ \text{sort} : X \rightarrow X^* \mid \forall \rho(x^*_{i-1}, x^*_i) \geq 0, X^* \in X \end{cases}, \quad (1)$$

где N – объем выборки, X^* – выборка подпространства в котором отсутствуют М-аномалии, $x^*_i \in X^*$, $Y \in X_N \cup X_A \cup X_B$ – множество возможных решений классификатора по данным ПС (подмножество вариантов нормы, подмножество N-аномалий, подмножество М-аномалий), $X_{A,B} = X_A \cup X_B$, $\rho : X \times X \rightarrow [0, \infty)$ – мера различия между записями x_i и x_j , удовлетворяющая условиям метрик межклассовых расстояний, $v^* \in v : X \rightarrow Y$ – обучаемая модель, осуществляющая отображение каждой записи x_i на одно из состояний множества Y , выбираемая из семейства параметрических функций v . Такой подход позволяет получить меньшую вероятность ошибок II рода для симметричных распределений близких к нормальному.

Модель M_2 : ранговая аномалия – возникновение возмущений в результатах частотного анализа, представленных в виде k кластеров, каждый из которых имеет ранг по частоте попаданий, где данные кластера с наименьшей частотой соответствуют возможной аномалии. Формальная постановка (2) в отличие от (1), показала большую продуктивность при обнаружении смешанных многомодальных распределений мониторинговых наблюдений ПС с несколькими устойчивыми состояниями.

$$M_2 = * : X \rightarrow \begin{cases} \text{если } x_i \in P^{\max}, \text{ то } x^*_i \in X_N \\ \text{если } x_i \in P^{\min}, \text{ то } x^*_i \in X_{A,B} \end{cases}. \quad (2)$$

где $hist : X \rightarrow [P_0, P_1, \dots, P_k]$, $P_k = \frac{|X^*_k|}{N} \mid \forall (k-1)step \leq x^*_k < k \cdot step, X_k \in X, step = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}$.

Аналогичным образом были осуществлены построения формальных моделей, математические выкладки которых представлены в главе 1 диссертационной работы, для детекторов следующих простых видов аномалий: M_3 – аномалия формы распределения, M_4 – аномалия положения, M_5 – аномалия волатильности, M_6 – аномалия трендов.

Для сложных многопараметрических процессов, характеризующихся не простой выборкой, а матрицей, описывающей данные мониторинговых наблюдений ПС имеющие временной или пространственный характер, речь идет о полях мониторинга и случайных функциях, когда рассматриваются аномалии вида:

Модель M7: аномалия градиентов – проявляется в отклонении градиентных полей наблюдаемой ПС относительно ее типового состояния. Пусть выборка X определена в двумерном пространстве $D \subset R_2$ и градиентом $grad(X)$ дифференцируемой в области определения $i \in I, j \in J$ скалярной функции $X(i, j) = X_{i,j}$, координат i, j будет векторная функция с компонентами $\frac{\partial X_{i,j}}{\partial i}$ и $\frac{\partial X_{i,j}}{\partial j}$ тогда

$$M_7 = v^*: X \rightarrow \begin{cases} \text{если } \left| \iint_{i,j} (grad(X) - grad(X^*)) d(i, j) \right| \leq \xi, \text{ то } x^*_i \in X_N \\ \text{если } \left| \iint_{i,j} (grad(X) - grad(X^*)) d(i, j) \right| > \xi, \text{ то } x^*_i \in X_{A,B} \end{cases}, \quad (3)$$

где $grad(X) = \frac{\partial X_{i,j}}{\partial i} di + \frac{\partial X_{i,j}}{\partial j} dj$, ξ – порог распознавания.

Представленная постановка позволила обеспечить повышение информационной надежности процедур обнаружения аномалий путем анализа данных пространственного мониторинга при сохранении высокой чувствительности классификатора, по сравнению с анализом скалярных полей. Например, при обнаружении аномалий скалярных полей данных температуры водной среды их градиенты показали высокую стабильность во времени.

Модель M8: аномалии дивергенций – возникновение значимого изменения интегрального информационного параметра $div(X) = \partial grad(X)_i / \partial i + \partial grad(X)_j / \partial j$, отображающего векторное поле данных на скалярное, т.е. оценки изменения мощности источника векторного поля

$$M_8 = v^*: X \rightarrow \begin{cases} \text{если } |div(X) - div(X^*)| \leq \xi, \text{ то } x^*_i \in X_N \\ \text{если } |div(X) - div(X^*)| > \xi, \text{ то } x^*_i \in X_{A,B} \end{cases}. \quad (4)$$

При том, что градиентные поля (3) достаточно информативны при поддержке принятия решений о наличии аномалий в данных пространственного мониторинга ПС, решение задачи многопараметрического сравнения полей осложнено ограничениями когнитивных способностей человека работать с многомерными данными. В связи с чем, оценка дивергенции скаляра (4) позволяет свести меру различия полей к единому численному критерию, что увеличивает возможности по принятию обоснованных управленческих решений на основе многомерных данных на порядки больших объемов.

Модель M₉: аномалия статистических характеристик адекватности результатов имитационного моделирования, (пессимистичных, оптимистичных и реалистичных прогнозов) и фактических натуральных измерений параметров ПС представлена в виде:

$$M_9 = \begin{cases} v^*: X \rightarrow \begin{cases} \text{если } Z(X, X^*) < Z_{1_{крит}}, \text{ то } x^*_i \in X_N \\ \text{если } Z(X, X^*) \geq Z_{1_{крит}}, \text{ то } x^*_i \in X_{A,B} \end{cases} \\ Z_1(X, X^*) = \sum_{i=1}^t (stat(X)_i - stat(X^*)_i)k_i \rightarrow \min \\ stat(X) = [\bar{X}, \sigma(X), M(X), V(X), As(X), Ex(X), \dots] \end{cases}, \quad (5)$$

где $Z(X, X^*)$, \bar{X} , $\sigma(X)$, $M(X)$, $V(X)$, $As(X)$, $Ex(X)$ – межклассовое расстояние, среднее выборочное, среднее квадратичное отклонение, медиана, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса для выборки X соответственно, k_i – коэффициент значимости статистических характеристик для итоговой метрики.

Разработанные в диссертационном исследовании методическое обеспечение представленное в виде математических моделей M_1 – M_9 проблемно-ориентировано на обнаружение конкретных типов аномалий ПС, в то время как совокупное их использование с предложенным интеллектуальным переключателем позволило получить новое качество и комплексно решить задачу обнаружения различных типов аномалий ПС.

Во второй главе описаны методическое и алгоритмическое обеспечение модульно-компонентного подхода обнаружения аномалий в данных мониторинга ПС.

Представлен иерархический алгоритм аналитического восстановления нерегулярных и пропущенных данных мониторинга ПС в реальном времени, который служит в качестве базисного при реализации процедур обнаружения аномалий в результатах прикладного эко- и биомониторинга ПС по неполным, разрозненным, пространственным спутниковым данным и данным точечных измерений.

Согласно предложенному алгоритму, построение моделей осуществляется с использованием аналитически заданного функционального поля мониторируемых параметров по априорно заданным точкам. Заданы область $D \subset R_2$ и правило, задающее отображение $X_{i,j} = X(i, j) \in D \xrightarrow{f} w \in R_1$, согласно которому каждой записи данных ПС X по правилу f ставится в соответствие число w такое, что определяет скалярное поле $w = f(X) = f(i, j)$.

Заданы множества I и J такие, что определяют правило $X(i \in I, j \in J) \xrightarrow{f} w$ в n произвольно заданных точках X , а в остальных точках $X(i, j) \in D$ функция не определена, тогда мы имеем дело со скалярным дискретно заданным полем, процедуры работы с которыми известны. Осуществляется замена скалярного поля его функциональным представлением в виде правила f_m такого, что удовлетворяет условию

$$f(X(i, j)) = f_m(X(i, j)) \forall i \in I, j \in J, \quad (6)$$

при этом отметим, что f_m в отличие от f определена уже для всей области определения $X(i, j) \in D$. Структура комплекса выбора функции f_m представлена на рисунке 2, где в зависимости от размерности заданного пространства n и среднеквадратического отклонения значений точек w , осуществляется отображение $f \rightarrow f_m$ в виде уравнения линейной, билинейной, квадратной, биквадратной, кубической, бикубической или регрессии более высокого порядка для простых случаев, и аналитической, численной и сплайновой моделей для более сложных соответственно.



Рисунок 2 – Структура конфигурируемого комплекса выбора критерия обнаружения аномалий в данных мониторинговых наблюдений природной среды

Предложен полимодельный динамически конфигурируемый комплекс обнаружения аномалий произвольного типа, который позволил реализовать принцип адаптивности системы поддержки принятия решений к объективно нормальным изменениям в состоянии ПС за счет подстройки и обучения классификатора в процессе эксплуатации, а также за счет ввода сценариев с различными целевыми критериями точности и полноты, выбираемых пользователем.

В третьей главе представлены результаты исследования функциональных свойств основных модулей системы обнаружения аномалий в данных мониторинговых наблюдений ПС, прошедших успешную апробацию на запатентованной лабораторной установке приборного комплекса выявления аномалий ПС, представленного на рисунке 3.

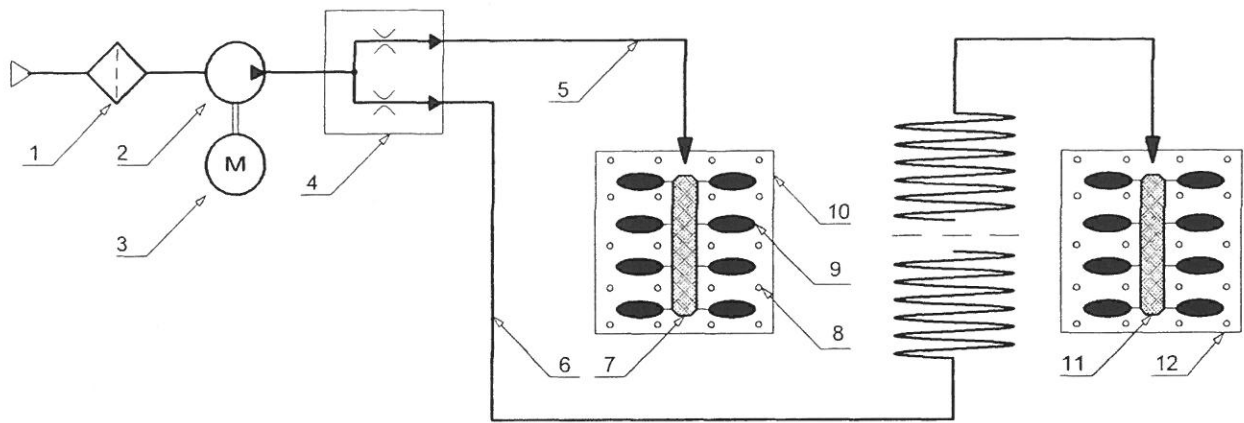


Рисунок 3 – Схема дифференциальной двухканальной биосенсорной установки обнаружения аномалий экологического состояния природной среды

В состав приборного комплекса входят: входной фильтр (1), насос (2), электромотор (3), делитель потока (4), короткий канал (5), длинный канал (6), первый прибор (7) для регистрации реакции водных тест-объектов, дренажные отверстия (8), водные тест-объекты (9), первый резервуар (10), второй прибор (11) для регистрации реакции водных тест-объектов, второй резервуар (12).

Сущность процедуры заключается в том, что автоматическую непрерывную регистрацию в реальном масштабе времени реакций водных тест-объектов и пропускание контролируемой воды через резервуары с тест-объектами осуществляют посредством двухканальной биосенсорной установки, погружаемой в водоем, причем пропускание непрерывное, а поток контролируемой воды проходит в каждый момент времени через оба резервуара с тест-объектами в одинаковых физических условиях. При этом благодаря разности длин каналов установки контролируемая вода поступает в первый и второй резервуары с разницей на интервал времени, необходимый для возникновения реакции тест-объектов на изменения химического состава контролируемой воды.

Оценка продуктивности применения каждого конкретного модуля обнаружения аномалий из общего пула модулей происходит путем создания управляемых возмущений и оценки невязки показаний модулей и реакций групп тест-объектов между собой путем вычисления расстояния между векторами, описывающими их параметры и физико-химические параметры среды.

Продуктивность работы системы обнаружения аномалий ПС согласно методике, представлена в виде четырех множеств: правильно зафиксированная нормальная работа, пропущенные аномалии, ложные срабатывания, правильно зафиксированные аномалии. Предложенные выше критерии оценки эффективности могут быть описаны следующими численными критериями: P – точность обнаружения аномалий, R – полнота обнаружения аномалий, α – вероятность ошибки 1-го рода, β – вероятность ошибки 2-го рода.

В качестве исходных данных для натурального испытания системы использованы результаты мониторинга состояния водной среды автономным биосенсорным комплексом экологического мониторинга, установленным в акватории в районе г. Севастополя. Значения критериев аномальности, рассчитываемые в системе нормированы в диапазоне [0-100] представлены в таблице 1. Так как численные оценки служат для лиц, принимающих решения ориентиром и носят рекомендательный характер, для упрощения восприятия рассчитываемых метрик предложена графическая интерпретация областей аномальности данных мониторинговых наблюдений ПС: зеленая – чистая, желтая – загрязненная, красная – опасно загрязненная среда.

Таблица 1. Оценка критериев обнаружения аномалий

Критерий оценки	Зоны аномальности		
	Зеленая (>60)	Желтая (20–60)	Красная (<20)
P	<0,62	0,76	$\geq 0,83$
R	>0,92	0,90	$\leq 0,81$
α	>0,12	0,08	$\leq 0,06$
β	<0,10	0,13	$\geq 0,18$

Разработанная процедура позволяет относить последовательности данных к одной из цветовых областей и на основе этого сделать предварительный вывод о состоянии ПС, в случае необходимости визуально оценить динамику изменения отдельных параметров ПС или принять решение о необходимости проведения углубленной проверки.

В четвертой главе представлена структура модульного программно-технического обеспечения и приведены результаты его модельных и натуральных испытаний при решении задачи поддержки принятия решений о наличии аномалий в данных мониторинговых наблюдений ПС.

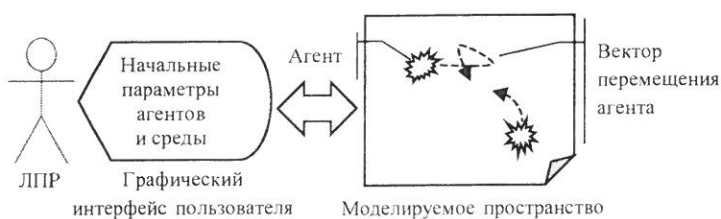


Рисунок 4 – Структура программной модели

Данная система органично дополняет функциональность существующих приборов и средств контроля ПС и служит повышению их информационной надежности.

Структура программного программной модели и интеллектуального модуля выбора сценариев обнаружения N-аномалий, обеспечивающая его функциональную и структурную гибкость представлен на рисунке 4 и рисунке 5 соответственно.



Рисунок 5 – Структура программного интеллектуального модуля выбора сценариев

Интерфейс программной системы позволяет в автоматическом и диалоговом режимах осуществлять выбор сценариев использования системы обнаружения, приоритетные целевые критерии, модель регуляризации и повышения размерности исходных данных. В процессе обучения интеллектуальной программной системы пользовательский интерфейс (рисунок 6) позволяет эксперту осуществить маркировку правильных и ошибочных меток о наличии аномалий в поле мониторинговых наблюдений.

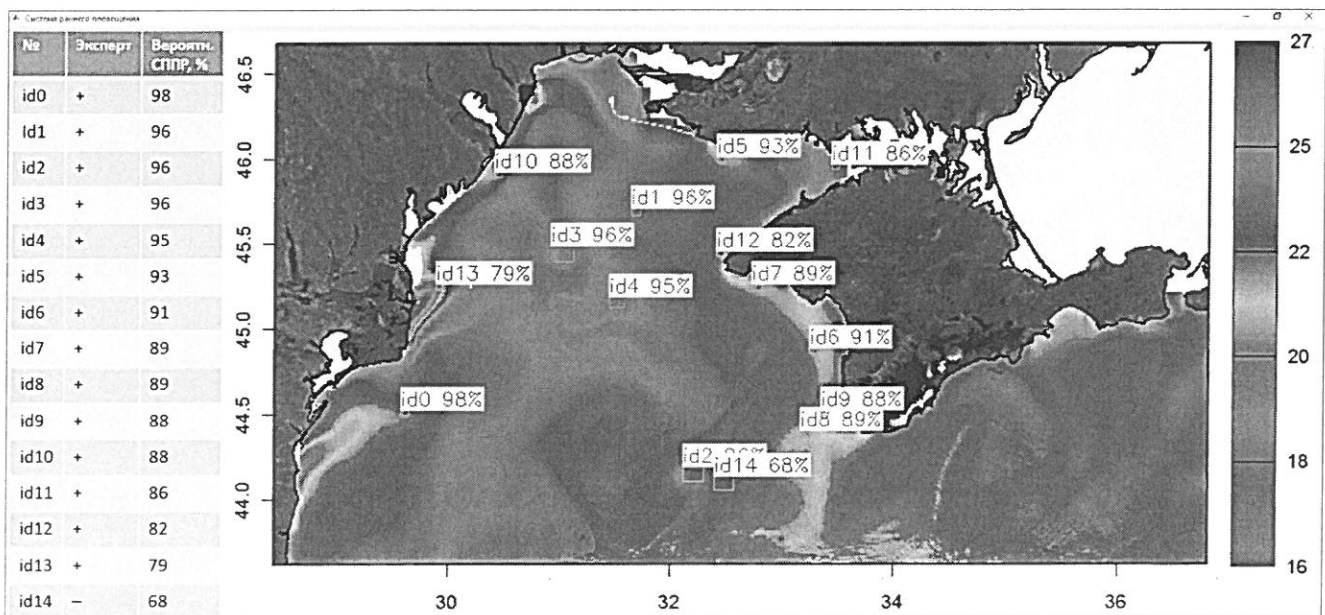


Рисунок 6 – Внешний вид пользовательского интерфейса модуля обнаружения N-аномалий в данных пространственного мониторинга

Компоненты подсистемы обнаружения М-аномалий реализованы в виде аппаратных проблемно-ориентированных модулей, работающих в реальном времени, на базе микроконтроллера, интегрируемого в измерительное устройство. При этом, обнаружение N-аномалий осуществляется специальным программным модулем, исполняемым на сервере, транслирующем результаты анализа на рабочую станцию оператора.

Аппаратный модуль представляет собой прибор контроля ПС, который в лабораторной установке представлен в виде универсального 16-канального аналого-цифрового регистратора данных, модифицированного за счет последовательного подключения к выходному каскаду его шины передачи данных аппаратного модуля обнаружения М-аномалий реализованного на базе платформы NodeMCU с микроконтроллером ESP8266 с интегрированным WiFi модулем и возможностью трансляции потока данных измерительных каналов в базу данных посредством сети Internet.

Принципиальной особенностью модифицированного модуля является техническая реализация агентного подхода, когда, в случае возникновения неопределенности при обнаружении аномалии, применяются более точные, но вычислительно более сложные метрики, рассчитываемые на удаленном сервере.

Разработанный комплекс методического обеспечения обеспечил интеллектуальную адаптивность при обнаружении аномалий; разработанный иерархический комплекс алгоритмического обеспечения позволил унифицировать интерфейс системы для анализа данных как точечных измерений, так и многомерных градиентных полей; разработанное приборное обеспечение на основе модульно-компонентного подхода повысило продуктивность процедур обнаружения аномалий типичных для ПС на 10-25% по критериям ошибок I рода и на 7-15% для ошибок II рода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена задача повышения информационной надежности модульного методического, алгоритмического и приборного обеспечения процедур анализа данных мониторинговых наблюдений ПС на основе повышения уровня интеллектуализации процессов принятия решений о наличии скрытых аномалий контролируемых характеристик в факторном пространстве скалярных и векторных полей. Результаты работы являются новыми, имеют теоретическую и практическую ценность и позволяют обнаруживать аномалии в данных мониторинговых наблюдений ПС и природно-технических систем.

Основные научные результаты диссертационной работы:

1. Осуществлена классификация информационных ситуаций, возникающих при мониторинге ПС, осуществлено ее расширение за счет введения в рассмотрение факторного пространства скалярных и векторных полей мониторинга и критериального пространства точности, полноты, реактивности и рисков. Развитие проблемно-ориентированных методов для этих ситуаций выполнено в рамках модульно-компонентного подхода и включает классификацию информационных ситуаций и анализ потенциально существующих видов аномалий в данных мониторинга ПС. Применение предложенного подхода динамически переключаемых модулей позволило на 10-25% уменьшить вероятности ошибок I рода и на 7-15% уменьшить вероятности ошибок II рода, что особенно критично при принятии статистических гипотез о наличии или отсутствии аномалий в данных мониторинговых наблюдений ПС, по сравнению со стационарными решениями.

2. Разработано новое модульное методическое, техническое и информационное обеспечение систем экологического мониторинга ПС за счет нового метода качественной дифференциальной оценки состояния природной среды и установки для его осуществления, и специализированных программно-аппаратных решений консолидации данных мониторинга ПС и снижения их избыточности. Результаты моделирования аномальных событий на лабораторном стенде показали в 2-3 раза более высокую сходимость предложенного подхода по сравнению со статистическими методами и уменьшение Парето множества решений о состоянии ПС в 4-6 раз, по сравнению классическим набором однокритериальных подходов. Динамически подключаемые проблемно-ориентированные программные модули обеспечивают системе мониторинга ПС новое качество – интерактивность; осуществляют как регуляризацию и повышение размерности исходных данных, так и снижение их избыточности с заданным уровнем информационного критерия, позволяя осуществлять свертку поступающего потока данных до 1-10% от его исходного объема при сохранении максимально возможного уровня информативности.

3. Разработан и зарегистрирован интеллектуальный комплекс обработки и анализа данных мониторинга ПС, обладающий новыми качествами адаптивности к актуальной информационной ситуации и поддержкой интерактивных режимов управления. Комплекс включает в себя лабораторный стенд для построения предметной модели исследуемого объекта ПС, генерирования управляемых возмущений, и реализует гибкую методику выявления аномальных возмущений в векторном поле параметров ПС при

жестких ограничениях на объем опорной выборки, также осуществляет оценку уровня достигнутой точности и адаптацию контрольно-предупредительных границ. Результаты численного имитационного моделирования и натурные испытания показали продуктивность применения модульно-компонентного подхода для предложенной системы выявления аномалий в данных мониторинга ПС, позволив обнаружить 94% и 87% искусственно созданных возмущений соответственно, что значительно превышает результат 60% для метода с жестко заданными границами.

4. Проведена всесторонняя апробация предлагаемого методологического аппарата, методико-алгоритмического и программно-технического обеспечения, разработанных в рамках модульно-компонентного подхода, направленных на осуществление информационного обеспечения процессов обнаружения аномалий в данных мониторинга ПС, выполненных в рамках плановых исследований по базовым темам государственных заданий ФГБНУ «Институт природно-технических систем» и при осуществлении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Информационные технологии обнаружения аномалий в мониторинговых наблюдениях: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. 368 с. ISBN 978-5-907198-32-6. DOI: 10.33075/978-5-907032-64-4

Статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК России:

2. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Программно-аппаратный модуль поддержки принятия решений о наличии качественных аномальных изменений в выборочных данных на базе информационных метрик // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 2 (44). С. 142–151.

3. Скатков А.В., Брюховецкий А.А., Моисеев Д.В., **Шишкин Ю.Е.** Дискриминантный подход к обнаружению аномалий с использованием марковских последовательностей // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 4 (38). С. 43–49.

4. Скатков А.В., Брюховецкий А.А., Моисеев Д.В., **Шишкин Ю.Е.** Мера Кульбака в задачах динамической кластеризации наблюдений состояния окружающей среды // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 3 (37). С. 35–38.

5. **Шишкин Ю.Е.**, Греков А.Н. Статистические методы кластеризации изображений гидробионтов // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 1 (39). С. 153–159.

6. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Интеллектуальная система адаптивного выбора сценариев параметрического обнаружения дивергенций данных мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 2 (36). С. 37–42.
7. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В., Маловик К.Н. Модельные представления для мобильных приложений оценки и прогнозирования аномальных и паталогических состояний // Качество и жизнь. 2019. № 1 (21). С. 55–60.
8. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Метрики качества для оценки и прогнозирования критических состояний // Качество и жизнь. 2019. № 1 (21). С. 61–66.
9. Скатков А.В., Брюховецкий А.А., **Шишкин Ю.Е.** Разработка интеллектуальной технологии обнаружения аномалий экосистем акватории г. Севастополя // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 1 (35). С. 27–34.
10. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Повышение достоверности оценок рисков в процессах мониторинга при распределениях общего вида // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 1 (35). С. 41–47.
11. Скатков А.В., **Шишкин Ю.Е.** Кластеризация данных в задачах обнаружения аномалий на основе ортогональных фильтров // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 11 (31). С. 36–43.
12. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Метод распознавания в интерактивном режиме аномалий градиентов скалярных полей наблюдений // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 12 (32). С. 30–37.
13. **Шишкин Ю.Е.**, Скатков А.В. Акторная модель мониторинга с использованием мобильных облачных микросервисов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 56–62.
14. **Шишкин Ю.Е.**, Греков А.Н. Концепция интеллектуальной системы автоматизированного экологического мониторинга на базе малогабаритных автономных роботов // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 63–69.
15. Скатков А.В., **Шишкин Ю.Е.** Модель обнаружения аномалий в наблюдениях параметров полей окружающей среды с использованием систем мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 10 (30). С. 48–53.
16. Брюховецкий А.А., Скатков А.В., **Шишкин Ю.Е.** Моделирование процессов обнаружения аномалий в сложноструктурированных данных мониторинга // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 9 (29). С. 45–49

Публикации в изданиях, индексируемых в базе Scopus / Web of Science:

17. **Shishkin I.E.**, Grekov A.N. Development of Image Analysis Methods for Detecting Nonhomogeneity and Anomalies in the Marine Environment // Proceedings of the 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021. 2021. P. 1–6.
18. **Shishkin I.E.**, Grekov A.N. Methods for Recognizing Images of Heterogeneous Objects in Small Training Sample // Proceedings of the 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. P. 1–6. DOI:10.1109/FarEastCon50210.2020.9271330
19. **Shishkin, I. E.**, Grekov, A. N., Nikishin, V. V. Intelligent Decision Support System for Detection of Anomalies and Unmanned Surface Vehicle Inertial Navigation Correction // Proceedings of the 2019 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2019. 2019. P. 1–6. DOI:10.1109/rusautocon.2019.8867601
20. **Shishkin I.E.**, Grekov A.N., Grekov N.A. A multi-model system of intelligent unmanned surface vehicles for environmental monitoring // Proceedings of the 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. P. 1–6. DOI:10.1109/FarEastCon.2019.8934037
21. **Shishkin I.E.**, Grekov A.N. Analysis of image clusterization methods for oceanographical equipment // Proceedings of the 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. 2018. P. 1–6. DOI:10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501756

Патенты и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

22. Патент № 2755407 С1 Российская Федерация. Способ контроля качества воды и двухканальная биосенсорная установка для его осуществления / А.Н. Греков, **Ю.Е. Шишкин**, К.А. Кузьмин, В.Ж. Мишуров, В.А. Рязанов, В.В. Трусевич; правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт природно-технических систем» (ИПТС); № 2020141487; заявл. 15.12.2020, опубл. 15.09.2021; Бюл. № 26-2021. – 10 с. (Вклад соискателя 30%).
23. Свидетельство № 2020662839 Российская Федерация. Программа распознавания аномальностей в данных мониторинговых наблюдений «А-КОНСУЛЬТАНТ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**, А.В. Скатков; заявитель и правообладатель Ю.Е. Шишкин, А.В. Скатков; № 2020660075; заявл. 07.09.2020, опубл. 20.10.2020; Бюл. № 10. (Вклад соискателя 70%).

24. Свидетельство № 2018666181 Российская Федерация. Программа синхронизации и коррекции измерений вектора скорости течения «ИНТЕГРАЦИЯ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**, К.А. Кузьмин, С.Ю. Алексеев; правообладатель: ИПТС; № 2018663369; заявл. 26.11.2018, опубл. 13.12.2018; Бюл. № 12. (Вклад соискателя 65%).
25. Свидетельство № 2018617880 Российская Федерация. Имитационная модель маршрутизатора самоорганизующейся сети передачи данных «МАРШРУТ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**; заявитель и правообладатель Ю.Е. Шишкин; № 2018614503; заявл. 08.05.2018, опубл. 03.07.2018; Бюл. № 7.
26. Свидетельство № 2017664038 Российская Федерация. Модуль снижения избыточности данных мониторинга «МОСИДАМ»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**; заявитель и правообладатель Ю.Е. Шишкин; № 2017660984; заявл. 27.10.2017, опубл. 14.12.2017; Бюл. № 12.
27. Свидетельство № 2018613184 Российская Федерация. Модуль консолидации структурированных данных большого объема в режиме реального времени «МОКОДАБО»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**; заявитель и правообладатель Ю.Е. Шишкин; № 2018610307; заявл. 18.01.2018, опубл. 05.03.2018; Бюл. № 3.
28. Свидетельство № 2020664093 Российская Федерация. Программа для автономного модуля буйкового акустического измерителя скорости течения «ИСТ-1МА-SD»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / К.А. Кузьмин, **Ю.Е. Шишкин**; правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт природно-технических систем» (ИПТС); № 2020663317; заявл. 27.10.2020, опубл. 06.11.2020; Бюл. № 11. (Вклад соискателя 30%).
29. Свидетельство № 2020664094 Российская Федерация. Программа GPS навигатора для автономного буйкового акустического измерителя скорости течения «А-НАВИГАТОР»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / **Ю.Е. Шишкин**, К.А. Кузьмин; правообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт природно-технических систем» (ИПТС); № 2020663316; заявл. 27.10.2020, опубл. 06.11.2020; Бюл. № 11. (Вклад соискателя 70%).

Иные публикации: по теме диссертации опубликовано 32 работы в сборниках докладов на всероссийских и международных конференциях.

Шишкин Юрий Евгеньевич

**МЕТОДИЧЕСКОЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОЦЕДУР ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНО-КОМПОНЕНТНОГО ПОДХОДА**

Автореферат отпечатан с разрешения объединенного диссертационного совета Д 999.231.02 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении Институте природно-технических систем (ИПТС), Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Севастопольский государственный университет» (СевГУ) (протокол № 22/4 от 27.04.2022)

Заказ № 7 Тираж 120 экз.

Отпечатано на ризографе ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Адрес: ул. Университетская, 33, г. Севастополь 299053
E-mail: info@sevsu.ru