

Научная статья
УДК 004.89, 004.94
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИТУАЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Андрей Григорьевич Олейник¹, **Андрей Владимирович Маслобоев²**,
Александр Яковлевич Фридман³

^{1, 2, 3}*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

¹*oleynik@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

²*masloboev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

³*fridman@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Аннотация

Представлен краткий обзор результатов исследований по развитию интеллектуальных методов и технологий аналитической поддержки деятельности ситуационных центров Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Основной идеей проекта являлось использование обобщенного междисциплинарного концептуального пространства (КП), в рамках которого сложные объекты моделирования могут быть охарактеризованы с точки зрения различных предметных областей. Подробно результаты по разработке комплексного КП, а также его использования для классификации ситуаций на объектах управления и оценки ситуационной осведомленности лиц, принимающих решения при управлении объектами иерархической или сетевой структуры, представлены в ряде публикаций, часть из которых указана в списке источников.

Ключевые слова:

ситуационный центр, ситуационная осведомленность, ситуационное моделирование, междисциплинарное концептуальное пространство, интеллектуальный анализ, когнитивная классификация, природно-промышленная система

Благодарности:

работа выполнена в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук (научно-исследовательская работа «Разработка теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур Арктической зоны Российской Федерации», проект № FMEZ-2022-0023).

Для цитирования:

Олейник А. Г., Маслобоев А. В., Фридман А. Я. Развитие интеллектуальных методов анализа ситуаций для обеспечения работы ситуационных центров Арктической зоны Российской Федерации // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 46–58. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

Original article

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT METHODS FOR ANALYZING SITUATIONS TO SUPPORT THE OPERATION OF SITUATIONAL CENTERS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Andrey G. Oleynik¹, **Andrey V. Masloboev²**, **Alexander Ya. Fridman³**

^{1, 2, 3}*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹*oleynik@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7612-5999>

²*masloboev@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-1231-9225>

³*fridman@iimm.ru*, <https://orcid.org/0000-0003-2408-6892>

Abstract

The article presents a brief overview of the research results on the development of intelligent methods and technologies for operation analytical support of the situational centers in the Arctic zone of the Russian Federation. The main idea of the project was the application of a generalized interdisciplinary conceptual space (CS), within which complex modeling objects can be characterized from the point of view of various subject areas. Detailed results on the development of a complex CP, as well as its application for classifying situations at control objects and assessing the situational awareness of decision makers when managing objects of a hierarchical or network structure are represented in a number of publications, some of which are indicated in the list of references.

Keywords:

situational center, situational awareness, situational modeling, interdisciplinary conceptual space, intellectual analysis, cognitive classification, natural-industrial system

Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the state research program of Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (research work "Development of theoretical, organizational and technical foundations of information support for managing the resilience of regional critical infrastructures in the Arctic zone of the Russian Federation", project No. FMEZ-2022-0023).

For citation:

Oleynik A. G., Masloboev A. V., Fridman A. Ya. Development of intelligent methods for analyzing situations to support the operation of situational centers in the Arctic zone of the Russian Federation // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 46–58. doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.004

Введение

Ситуационные центры (СЦ) в настоящее время считаются одним из основных инструментов повышения эффективности управленческой деятельности в различных областях и на разных уровнях управления. Они призваны обеспечить информационно-аналитическую поддержку принятия решений, включая: мониторинг состояния, комплексную оценку и прогнозирование развития ситуаций на объектах управления, а также моделирование последствий вариантов принимаемых управленческих решений для их сравнительного анализа и оптимизации [1]. На интернет-порталах tadviser.ru [2] и «Росинформбюро» [3] представлена информация как о появлении в СССР в 1960-х гг. идеи прообраза современных СЦ — Общегосударственной автоматизированной системы учета и обработки информации (ОГАС), предложенной академиком В. М. Глушковым, так и о современных российских поставщиках решений для СЦ. Определение СЦ, данное, например, в Википедии [4], характеризует, в первую очередь, «внешний вид» СЦ: «...помещение, оснащённое средствами коммуникаций ..., предназначенное для оперативного принятия управленческих решений, контроля и мониторинга объектов различной природы, ситуаций и других функций». В этом определении остаются скрытыми основные программные инструменты, обеспечивающие реализацию аналитических и прогностических функций СЦ, без которых проблематично принятие обоснованных управленческих решений. В качестве теоретической основы таких инструментов широко используются различные методы искусственного интеллекта (ИИ) [5], в частности методы ситуационного управления [6].

В 2018–2021 гг. коллективом, объединившим ученых нескольких научных институтов, выполнялся поддержанный Российским фондом фундаментальных исследований проект № 18-29-03022 мк междисциплинарных фундаментальных исследований, направленный на развитие технологий и методов интеллектуального анализа ситуаций для информационно-аналитического обеспечения работы сети когнитивных ситуационных центров АЗРФ.

В состав коллектива входили: А. Г. Олейник, В. А. Путилов, А. В. Масlobоев, А. Я. Фридман (Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук); В. С. Мингалев, И. В. Мингалев, К. Г. Орлов (Полярный геофизический институт); Д. Б. Денисов (Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук); А. В. Булычев (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук).

Целью проекта являлось создание технологий и методов интеллектуального анализа и автоматизированной классификации ситуаций для использования в составе информационно-аналитического обеспечения работы сети когнитивных СЦ, осуществляющих стратегическое прогнозирование, планирование развития и оперативное управление функционированием пространственных систем различной природы (с учетом специфики АЗРФ). В проекте предложено проводить классификацию в рамках обобщенного междисциплинарного КП, основанного на размерностях качества, которые характеризуют сложные объекты моделирования с точки зрения различных предметных областей. Исследовательский прототип единого КП и методы оценки в его рамках ситуационной осведомленности (СО) разрабатывались на примере промышленно-природных систем и пресноводных экосистем АЗРФ с учетом их взаимного влияния и рисков возникновения нестандартных ситуаций, обусловленных крупномасштабными атмосферными явлениями, которые характерны для данных территорий.

Полученные результаты во многом обеспечили задел для развития исследований в направлении разработки теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур АЗРФ.

Состояние области исследований на начало реализации проекта

Ситуационный подход и основанные на нем методы ситуационного управления используются в различных предметных областях, в том числе и в области моделирования и управления динамическими пространственными системами [6–8]. Основоположником данного направления в нашей стране стал Д. А. Поспелов [6]. Ключевым понятием в рамках этого подхода является ситуация. В общем случае ситуация определяется знаниями о структуре объекта и окружающей среды, состоянии системы управления и технологии (стратегиях) управления [6] в этот момент. В предыдущий период при создании ситуационной системы моделирования (ССМ) [8] исполнителями проекта было дано формальное определение ситуации и основных аспектов ситуационного подхода для конкретной модели, а также предложены решения задачи классификации и обобщения ситуаций. Однако остались проблемы построения классов ситуаций. Это определило необходимость исследования возможности применения когнитивной категоризации для развития ситуационного подхода к исследованию динамики пространственных объектов на базе концептуальной модели, образующей ядро ССМ.

В качестве «среды», в рамках которой планировалось реализовать методы и процедуры категоризации ситуаций, были выбраны концептуальные пространства. КП представляют собой геометрические структуры, основанные на размерностях качества (quality dimensions — QD), которые определяют степень схожести или различия объектов [9–11]. В концептуальных пространствах объекты характеризуются набором атрибутов или качеств. Каждое качество принимает значения в определенном домене [12], которые могут быть непрерывными или дискретными. Таким образом КП представляет собой декартово произведение доменов, в котором объекты идентифицируются точками, а понятия «занимают» некоторую область в этом пространстве. Наделение концептуальных пространств мерой расстояния позволяет моделировать отношения сходства как отдельных объектов, так и понятий.

Геометрическая природа концептуальных пространств позволяет манипулировать размерностями независимо друг от друга и обеспечивает гибкое и практичное представление контекстно-зависимой категоризации. Степень типичности экземпляров определяется их расстоянием до прототипа. Соответственно, в каждой категории некоторые члены считаются более представительными, чем другие [9–13]. Классификация объектов осуществляется путем определения их сходства с прототипом. Экземпляры выше некоторого порога сходства с прототипом принимаются как члены категории, все остальные экземпляры не являются членами. Прототипом не всегда служит один из реальных экземпляров, входящих в категорию, это может быть и некоторый идеальный набор значений атрибутов.

Основная идея планируемого исследования заключалась в том, что прототипы и базовое отношение сходства с ними применимы для разбиения КП на категории, причем при использовании евклидовой метрики категории обладают свойством выпуклости.

Для оперативной выработки решения важную роль играет СО. Формальное определение СО разделяется на три сегмента: восприятие «значимых» элементов в окружающей среде, понимание ситуации и прогноз будущего статуса [7, 14]. Наличие полной, точной и актуальной СО особенно важно, когда сложность процесса и ситуации вызывает сомнения в возможностях лица, принимающего решение (ЛПР), самостоятельно справиться с этим. Представляется, что основные принципы СО, предложенные автором этого подхода М. Эндсли [14], становятся реалистичными только применительно к конкретной модели принятия решений в той или иной предметной области.

Анализ состояния исследований и разработок в области построения систем информационной поддержки принятия решений региональных ситуационных центров позволил сделать вывод о том, что эффективным средством реализации сетецентрического управления в условиях критических ситуаций являются агентные технологии [15]. Это обусловлено тремя решающими факторами: высокой динамичностью среды функционирования субъектов управления, необходимостью координации

децентрализованного принятия решений и учета человеческого фактора в процессе управления. Применение программных агентов с внутренней подсистемой имитационного моделирования обеспечивает адаптивное моделирование поведения субъектов управления с учетом их активности и кооперативности в условиях различных кризисных ситуаций.

Также при реализации проекта планировалось адаптировать для сетевых объектов ранее предложенный исполнителями принцип градиентной координации в иерархической системе управления [16].

Формирование единого КП, учитывающего специфические особенности АЗРФ, представляет собой объемную междисциплинарную задачу. В рамках проекта планировалась разработка методики его формирования и технологий работы с ним на основе рассмотрения ограниченного набора задач из нескольких предметных областей, играющих важную роль для ситуационного управления пространственными системами АЗРФ.

При планировании и реализации различных видов деятельности в АЗРФ необходимо учитывать возможное влияние состояния и динамики нижней атмосферы Земли, в частности полярных циклонов. Крупномасштабные атмосферные вихри могут быть причиной возникновения чрезвычайных ситуаций в системах различного типа, локализованных в АЗРФ [17]. Изучению циклонов различными методами, в том числе и методами компьютерного моделирования, посвящена обширная научная литература. Ряд таких публикаций указан в списках использованных источников печатных работ исполнительской проектной группы, в частности статьи [18]. Несмотря на достигнутый в последние годы прогресс, проблема предсказания зарождения циклонов и ураганов, прогнозирования траекторий их движения, эволюции их характеристик остается нерешенной.

Многолетняя интенсивная промышленная деятельность в ряде регионов АЗРФ привела к резкому ухудшению качества природных вод региона, используемых в промышленных и бытовых целях. Для адекватной оценки и прогноза дальнейших изменений водоемов Арктики требуются не только знания о состоянии водных экосистем, но и данные о деятельности промышленных объектов, динамике объемов выбросов и сбросов, их составе, изменении климатических и метеорологических параметров [19], включая крупномасштабные атмосферные вихри. Значимыми также являются социально-экономические факторы, от которых зависят интенсивность и способы использования водных ресурсов. Это определяет актуальность планируемых в проекте исследований с точки зрения обеспечения СО о состоянии водных экосистем АЗРФ и управления их рациональным, «неразрушающим» использованием.

Для обеспечения единства методологии формирования и анализа концептуальных пространств в проекте был использован концепт промышленно-природной системы (ППС) [20].

Методы

Междисциплинарный характер проводимых исследований предопределил широкий спектр используемых при реализации проекта подходов, методов и информационных технологий. Так, для определения факторов, характеризующих состояние пресноводных водоемов АЗРФ, использовались биохимические методы, включенные в состав Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater [21], а также методы многомерного статистического анализа результатов натурных наблюдений и лабораторных исследований. Для раннего предсказания зарождения полярных циклонов разработан и реализован оригинальный метод, основанный на использовании регулярных спутниковых наблюдений за формой арктического фронта в микроволновом и инфракрасном диапазонах. Данные спутниковых наблюдений используются в качестве начальных условий для выполнения прогностических расчетов на региональной трехмерной математической модели ветровой системы нижней атмосферы. Модель была разработана в Полярном геофизическом институте и ранее применялась для моделирования процессов зарождения тропических крупномасштабных вихрей [22]. В настоящей работе модель применена для исследования физических характеристик, структуры и особенностей поведения полярных циклонов с целью предсказания района их возникновения, возможных направления и скорости дальнейшего перемещения.

Большинство примененных при реализации проекта методов работы с концептуальными пространствами, числовой оценкой СО и координации на ее основе взаимодействий ЛПР разработаны участниками проекта и являются новыми [23–25].

Предложена модификация метрики Тверски для иерархических систем, что позволило уменьшить зависимость результатов классификации ситуаций от текущих значений переменных состояния и тем самым повысить эффективность обработки архива ситуаций при поиске аналогов сложившейся в ППС ситуации с целью определения такого варианта реализации структуры ППС, который в максимальной степени соответствует предпочтениям ЛПР.

Отличия разработанной системы моделирования состоят в интеграции средств, ориентированных на исследование ППК как трудно формализуемых сложных нестационарных пространственных объектов. К таким средствам относятся совместная логико-аналитическая обработка данных и ситуационный анализ состояния изучаемого объекта с применением экспертных знаний и с учетом пространственно-временных зависимостей в характеристиках ППК, которые выполняются с использованием картографической информации.

При разработке решений в области синтеза структуры систем поддержки принятия решений (СППР) СЦ и организации взаимодействия ее узлов использованы сетцентрический подход и мультиагентные технологии. На их основе разработаны механизмы сетцентрического управления СО, обеспечившие возможность формирования оперативного контекста СО и координации децентрализованного управления.

Краткие результаты

В ходе исследований сформированы и проанализированы базовые примеры концептуальных пространств для категоризации ситуаций в промышленно-природных комплексах (ППК) как важнейших компонентах региональных социально-экономических систем АЗРФ. Кроме этого, рассматривались связанные с деятельностью промышленных предприятий процессы в пресноводных экосистемах западной части АЗРФ, а также динамика нижней атмосферы Земли в высоких широтах, оказывающая влияние на ППК.

По результатам анализа многолетних наблюдений установлено, что массовому развитию токсичных цианопрокариот (МРЦ) в крупных пресноводных водоемах АЗРФ способствовали процессы уменьшения антропогенного загрязнения вод тяжелыми металлами наряду с сохранением высокого содержания элементов биогенного питания фитопланктона. Выявленное влияние деятельности промышленных предприятий на процессы МРЦ вод подтверждает, что для адекватной оценки и прогноза изменений пресноводных водоемов Арктики требуются знания не только экологического характера, но и данные о деятельности промышленных объектов и метеорологических параметрах [26]. Это позволяет утверждать, что выработку системных решений по управлению рациональным, «неразрушающим» использованием пресноводных систем АЗРФ целесообразно осуществлять на основе комплексного КП, где собственно экологическая составляющая является одной из компонент.

Предложен эффективный метод раннего предсказания зарождения полярных циклонов [27], основанный на анализе данных спутниковых наблюдений за конфигурацией арктического фронта и использовании этих данных в прогностических расчетах по математической модели ветровой системы нижней атмосферы Земли, разработанной ранее участниками проекта [22]. Серии расчетов позволили выявить неизвестный ранее механизм зарождения полярных циклонов, физической причиной которого является развитие неустойчивости сдвигового воздушного течения, которая инициируется искривлением арктического фронта [28]. Полярные циклоны и арктические ураганы чаще всего возникают в осенне-зимний период над незамерзающими поверхностями Норвежского и Баренцева морей и могут смещаться на значительные расстояния. Учитывая угрозы, обусловленные полярными циклонами и арктическими ураганами, предсказание зарождения полярных циклонов, прогнозирование траекторий их движения, оценка изменений их характеристик за времена существования являются важными научными и практическими задачами в рамках работы СЦ АЗРФ.

Определены механизмы формирования на основе базовых «предметных» концептуальных пространств комплексного концептуального пространства (ККП) иерархической структуры, способного обеспечить классификацию ситуаций в ППК с междисциплинарной точки зрения [25]. В общем случае размерности КП, формируемого для ППК, могут использоваться и в других «проблемно ориентированных» КП. Вариант формирования иерархического ККП региона с декомпозицией интегральных показателей по трем критериям (отраслевому, территориальному и организационно-управленческому) рассмотрен в работе [25].

Разработаны общие принципы проецирования комплексных концептуальных пространств на типы ситуаций с целью автоматизированного формирования существенных концептуальных подпространств для определенных типов ситуаций. Для этого применена идеология ситуационного управления и ранее разработанный метод классификации ситуаций в ССМ, в том числе с учетом прототипических свойств ситуаций одного класса [29]. Для проецирования ККП на типы ситуаций используются алгоритмы ССМ, реализующие метод классификации ситуаций, позволяющий выяснить, к какому классу относится текущая ситуация, а также выявить пожелания ЛПР по дальнейшему управлению подчиненным ему объектом. На основе анализа структуры и параметров объекта управления системой моделирования «предлагается» управление, реализующее пожелания ЛПР с учетом состояния системы и имеющихся ограничений. Важным компонентом выработки «предложений» при наличии в системе нескольких ЛПР является оценка СО каждого из них и координация реализуемых ими управлений на объектах с иерархической и/или сетевидной структурами.

Концепция СО адаптирована и конкретизирована для ранее разработанной исполнителями ситуационной концептуальной модели ППК. Особенности разработанного подхода состоят в количественной оценке трёх основных аспектов (этапов) достижения СО и учете возможности перехода объекта моделирования из режима нормального функционирования в нештатную или чрезвычайную ситуацию. Создана формальная модель числовой оценки общей степени СО лиц, принимающих решения, и трех ее составляющих — восприятие ситуации, ее понимание и прогноз будущего [30, 31]. Модель позволяет объективизировать измерение уровня СО для всех ЛПР, участвующих в управлении составными частями комплекса, и реализовать процедуры координации действий нескольких ЛПР с различной зоной ответственности. Разработаны формальные процедуры масштабирования сигналов обратной связи с нижележащих уровней иерархии на основе числовой оценки СО ЛПР на этих уровнях. На основе использования оценок СО ЛПР для сетевидных структур управления предложены когнитивный подход к оперативному формированию зон ответственности различных узлов принятия решений, механизмы изменения ранга узлов в зависимости от ситуации и определения узла-координатора для текущей ситуации. Разработаны количественные соотношения, позволяющие объективно оценить важность решений данного ЛПР для всей системы и учитывать эту важность при поиске баланса интересов всех ЛПР, влияющих на функционирование ППК.

Предложен обобщенный подход к синтезу и конфигурированию СППР СЦ, обеспечивающий возможность оперативной реконфигурации СППР СЦ с учетом контекста исследуемой ситуации (спецификации задачи ситуационного управления) [32–35]. Синтез конфигураций СППР основывается на анализе информационной структуры управления, используемой в СЦ, и спецификаций решаемых задач. В процессе синтеза учитываются связи между всеми элементами информационной структуры управления СЦ и их соответствие целевому состоянию объекта управления. Конфигурирование предполагает оптимизацию или адаптацию СППР СЦ за счет изменения (расширения или редуцирования) функциональной структуры и подсистем СЦ, в том числе состава активных управляющих элементов СЦ (агентов) и информационных объектов (источников данных, веб-сервисов и других инфоресурсов). Для успешности реализации этого процесса система распределенных СЦ должна поддерживать принципы интероперабельности, самоорганизации и синергии, а также строится на единых стандартах информационно-коммуникационных технологий. Предложенный подход реализуется в рамках мультиагентной технологии динамического синтеза и конфигурирования виртуальных концептуальных пространств, основанной на использовании модифицированной модели самоорганизации в одноранговых распределенных системах на основе градиентных вычислительных полей. Технология предназначена для поддержки функционирования информационной среды региональных СЦ в условиях децентрализованного управления и высокой динамики СО в процессе принятия решений. Динамическое конфигурирование реализовано путем формирования коалиций агентов и ассоциированных с ними виртуальных сетей ресурсов и веб-сервисов.

Направления развития полученных результатов

Полученные в ходе реализации проекта результаты нашли свое применение и получили развитие при разработке теоретических и организационно-технических основ информационной поддержки управления жизнеспособностью критически важных объектов и инфраструктур АЗРФ. Качественное

определение критически важного объекта (КВО) [36] указывает, что нарушение его функционирования влечет негативные последствия для территориальной системы определенного «территориального» уровня (от страны в целом до административно-территориальной единицы). При этом как само понятие КВО, так и критерии их «идентификации» и классификации в настоящее время юридически не зафиксированы. Вместе с тем очевидно, что как уровни, виды и функции КВО, так и последствия нарушения их функционирования весьма разнообразны.

Следует отметить, что практически все ППК, локализованные на территории АЗРФ, по своим характеристикам могут быть отнесены к КВО. Так, нарушение / прекращение их функционирования не только влечет негативные социально-экономические последствия для непосредственно связанного с ними населения, но и вызывает негативную «цепную реакцию» в социально-экономической системе региона или даже страны в целом. В силу территориального масштаба ППК вызванные различными причинами аварийные ситуации на их «промышленной» составляющей могут нанести серьезный урон природной компоненте, устранение которого осложняется специфическими природно-климатическими условиями АЗРФ.

Реализуемые на практике процедуры управления региональными критическими объектами и инфраструктурами требуют повышения уровня согласованности и эффективности в процессах принятия решений. Для решения этой задачи проводятся исследования по развитию существующих и созданию новых моделей и методов, информационных технологий и программных средств в контексте современной теории безопасности сложных систем. Задача интеграции разных подходов и методов для организации информационно-аналитической поддержки управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур обладает самостоятельной научной значимостью для развития теории безопасности сложных динамических систем.

Разнородный характер критических объектов и инфраструктур, реализуемых ими «критических» функций, а также угроз их функционированию и возможных последствий реализации этих угроз предопределяет необходимость для управления эффективным функционированием таких объектов, включая обеспечение их жизнеспособности, использовать междисциплинарный подход. Формальным «каркасом» его применения являются разработанный аппарат формирования комплексных концептуальных пространств, реализуемые в его рамках процедуры ситуационного анализа и прогнозирования, а также согласования деятельности ЛПР с учетом их СО. Особенную важность такие исследования приобретают при обосновании безопасности включения новых ППС в сложившуюся структуру разнородных объектов. Для предотвращения или по крайней мере для снижения ущербов от наиболее опасных зависимых (комплексных, цепочечных) отказов представляется необходимым в ходе технико-экономического обоснования новых разработок уделить существенное внимание поиску с помощью предложенной информационной технологии так называемых «узких мест» в структуре ППС, которые могут вызвать подобные отказы. При этом на ситуационной модели требуется выполнять превентивную аналитику режимов работы ППС в двух направлениях: возможности негативных воздействий новых объектов на уже существующие и обратно — выявления нежелательных последствий работы существующих объектов на новую систему. По-видимому, единственная возможность такой аналитики — это детализированное исследование ситуационной модели регионального масштаба, построенной с помощью специализированных цифровых двойников ППС, которые в теории ситуационного моделирования являются исполнителями объектов и процессов, имитирующих работу ППС как в штатных, так и в нештатных режимах.

В плане апробации разработанных методов и технологий рассмотрены тестовые задачи формирования концептуальных пространств и координации на основе изменения СО ЛПР стратегий управления гидротехническими сооружениями (хвостохранилищами предприятий горной промышленности) как в условиях нормального функционирования, так и в случаях возникновения критических ситуаций. Выбор объектов обусловлен тем, что системное описание возможных ситуаций на объектах данной категории требует явного учета не только технологических, но и экологических и метеорологических факторов [37].

Заключение

В проведенных исследованиях разрабатывались методы и технология формирования и практического использования комплексного междисциплинарного КП для оценки состояния и ситуационного моделирования развития сложных пространственных систем АЗРФ. Полученные решения обеспечивают как анализ и оптимизацию сценариев функционирования этих систем в нормальных условиях, так и выработку рекомендаций по реагированию на возможные нестандартные, включая кризисные, ситуации. Сформированы и проанализированы базовые примеры концептуальных пространств, предназначенные для категоризации ситуаций в ППК как в компонентах региональной социально-экономической системы с учетом их влияния на пресноводные экосистемы западной части АЗРФ, а также возможных воздействий на объекты ППК атмосферных явлений, характерных для высоких широт. Выявлены факторы, связывающие КП экологической ситуации на крупных пресноводных водоемах АЗРФ с динамикой нижней атмосферы и деятельностью в регионе предприятий горной промышленности. Усовершенствованы модели исследования пространственных распределений скорости, плотности и температуры воздуха в земной атмосфере. С их помощью получены новые результаты в области прогнозирования динамики атмосферных процессов в Арктической зоне Земли. Предложен подход к формированию на основе базовых «предметных» концептуальных пространств комплексного КП иерархической структуры, способного обеспечить междисциплинарную классификацию ситуаций в ППК. Разработаны методы и процедуры анализа полноты ККП с точки зрения представления состояния сложной пространственной системы, разработки и анализа различных сценариев ее развития при варьировании целей управления. Определены общие принципы и механизмы проецирования ККП на типы ситуаций с целью автоматизированного формирования подпространств, характеризующих конкретные типы ситуаций. Разработана методика и формальный аппарат автоматизированного поиска ситуаций-прототипов на основе оценки семантических расстояний между ситуациями в КП. Для систем, управляемых несколькими ЛПР, предложены количественные соотношения, позволяющие оценить важность решений каждого ЛПР для всей системы и учитывать эту важность при поиске баланса интересов всех ЛПР. На основе оценок СО для сетцентрических структур управления предложены когнитивный подход к оперативному формированию зон ответственности различных узлов принятия решений, механизмы изменения ранга узлов в зависимости от ситуации и определения узла-координатора для текущей ситуации. Разработаны технологические решения по конфигурированию коалиционных мультиагентных систем поддержки принятия решений на разных уровнях управления, обеспечению интероперабельности их компонентов и оценке качества структуры и состава используемых средств информационной поддержки. Рассмотрены тестовые задачи формирования концептуальных пространств и координации на основе изменения СО ЛПР, стратегий управления вариантами развития ситуаций на гидротехнических сооружениях (хвостохранилищах предприятий горной промышленности) с учетом технологических, экологических и метеорологических факторов.

В результате проведенных исследований впервые в совокупности реализованы методы и процедуры формирования и использования концептуальных пространств для представления состояния и анализа сценариев развития сложной пространственной системы. Их новизна, в частности, определяется использованием новых семантических мер близости категорий, моделируемых в концептуальных пространствах; применением оригинальных числовых оценок СО в целом и трех ее основных аспектов. Предложены числовые меры оценки СО в целом и трех основных ее аспектов, что позволяет объективизировать оценку достигнутой степени СО, что особенно важно в случае иерархических или сетцентрических структур объектов, когда различные составные части одного ППК входят в зоны ответственности различных ЛПР.

Для обеспечения СО на основе автоматизированной обработки и анализа информации, необходимой для подготовки и согласования управленческих решений в условиях региональных кризисных ситуаций в СППР, используемых в СЦ региона, разработаны формальные модели региональных кризисных ситуаций, обобщенные на задачи управления региональной безопасностью. Модели обеспечивают гибкий синтез структуры СППР по управлению безопасностью социально-экономических систем, а также служат основой для последующего онтологического и имитационного моделирования этих ситуаций в системах обеспечения безопасности. Компьютерные модели развития

региональных кризисных ситуаций в блоке моделирования СППР СЦ формируются в автоматизированном режиме из типовых модельных шаблонов на основе концептуальных и онтологических описаний этих ситуаций. Это обеспечивает вариабельность и оперативную настройку имитационных моделей кризисных ситуаций под задачи ситуационного управления с целью исследования динамических характеристик ситуаций.

Разработанная методология синтеза и конфигурирования СППР СЦ обеспечивает единообразие концептуального, математического и имитационного моделирования. В отличие от известных подходов предложенная методология реализует процедуры автоматизированного синтеза сетевой структуры виртуальной среды ситуационного управления с выделенными управляющими центрами. Это позволяет расширить функциональность распределенной системы физических СЦ за счет генерации сети виртуальных центров управления и их общей интеграции в единое информационное пространство. Синтез структуры и конфигурирование СППР виртуальных СЦ выполняются на основе совместного анализа семантического описания решаемых задач, информационно-вычислительных ресурсов и сервисов агентов, а всей распределенной СППР (сети СЦ) — за счет реализации моделей самоорганизации агентов в коалиции, основанных на методе градиентных вычислительных полей и ассоциированных с агентами сетей виртуальных ресурсов.

Список источников

1. Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.
2. Портал TAdviser: Государство. Бизнес. Технологии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 27.10.2022).
3. Ситуационные центры: В России сегодня [Электронный ресурс]. URL: <https://rosinform.ru/security/930028-situatsionnye-tsentry-v-rossii-segodnya/> (дата обращения: 27.10.2022).
4. Ситуационный центр [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ситуационный_центр (дата обращения: 27.10.2022).
5. Соколов И. А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 4. С. 365–370.
6. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
7. Endsley M. R. Situation awareness: Progress and directions // A cognitive approach to situation awareness: Theory and application / S. Banbury, S. Tremblay (Eds.). Aldershot, UK: Ashgate Publishing, 2004. P. 317–341.
8. Фридман А. Я. Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrücken, Germany: LAP, 2015. 540 с.
9. Gärdénfors P. Conceptual Spaces: The Geometry of Thought. A Bradford Book. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 317 p.
10. Gärdénfors P. Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces. Cambridge, MA: MIT Press. 2014. 343 p.
11. Applications of Conceptual Spaces. The Case for Geometric Knowledge Representation / Zenker F., Gärdénfors P. eds. Synthese Library. Springer, 2015. Vol. 359. 285 p.
12. Gardenfors P., Lohndorf S. What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations // Cognitive Linguistics. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 437–456.
13. Decock L., Douven I. What is Graded Membership? // Noûs. 2014. No. 48. P. 653–682.
14. Endsley M. R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures // J. of Cognitive Engineering and Decision Making. 2015. Vol. 9, No. 1. P. 101–111.
15. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты: КНИЦ РАН, 2016. 222 с.
16. Фридман А. Я. Координация и планирование управлений в локально организованных иерархических системах // Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (Светлогорск, 15–20 июня 2015 г.): тр. конф. В 2 т. М.: ИСА РАН, 2015. Т. 1. С. 115–124.

17. Tanaka H. L. et al. The structure and behavior of the Arctic cyclone in summer analyzed by the JRA-25/JCDAS data // *Polar Science*. 2012. Vol. 6, No. 1. P. 55–69.
18. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Results of Numerical Modeling of the Origin of Cyclones and Anticyclones in the Vicinity of the Intertropical Convergence Zone // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2019. No. 9. P. 213–228.
19. Kashulin N. A. et al. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk region, Russia // *Journal of Environmental Science and Health*. 2017. Part A, No. 52 (9). P. 921–929.
20. Фридман А. Я. Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой // Идентификация систем и задачи управления: Труды IV международной конференции (25–28 января 2005 г., Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва). М.: ИПУ РАН, 2005. С. 1075–1108.
21. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [Электронный ресурс]. URL: <https://www.standardmethods.org/> (дата обращения: 27.10.2022).
22. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Numerical Modeling of the Influence of the Relief of a Planet on the Global Circulation of the Earth's Stratosphere and Mesosphere // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 496–510.
23. Fridman A., Oleynik A. Situational Information System for Decision-Making Support Regarding Industry-Natural Complexes // *Proceedings of the 17th Annual Industrial Simulation Conference (ISC'2019)*, June 5–7, 2019, Lisbon, Portugal. EUROSIS-ETI Publication. P. 41–45.
24. Fridman A., Oleynik A. Modelling of situation awareness in net-centric commercial systems // *Modelling and Simulation 2020: Proceedings of the 34rd Annual European Simulation and Modelling Conference (ESM'2020)*, October 21–23, 2020. LAAS-CNRS, Toulouse, France: EUROSIS-ETI Publication, 2020. P. 64–67.
25. Олейник А. Г., Фридман А. Я. Структура комплексных концептуальных пространств в междисциплинарных проектах // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Информационные технологии. 2020. Вып. 11. С. 149–154.
26. Denisov D. B., Oleynik A. G. Current aspects of freshwater quality protection in the Arctic zone of the Russian Federation // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 867 (1), Article No.: 012039.
27. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Initial Formation of Polar Lows in the High-latitude Atmosphere: A Modeling Based Study Approach // *Modern Advances in Geography, Environment and Earth Sciences*. 2021. Vol. 5. P. 86–101.
28. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Chapter 1: Numerical Modeling of the Global Circulation of the Earth's Middle Atmosphere for Different External Conditions // *International Research in Environment, Geography and Earth Science*. 2020. Vol. 1. P. 1–20.
29. Фридман А. Я., Олейник А. Г. Методы и средства поддержки принятия решений по обеспечению устойчивого функционирования промышленно-природных комплексов в Арктической зоне РФ // *История науки и техники*. 2019. № 4. С. 26–34.
30. Fridman A. Ya., Kulik B. A. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol. 95. P. 247–256.
31. Фридман А. Я. Опыт интеллектуализации методов ситуационного моделирования дискретных нестационарных пространственных объектов // *Автоматика и телемеханика*. 2022. Вып. 6. С. 151–168.
32. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 1. Анализ информационной структуры управления // *Информационные системы и технологии*. 2020. № 5 (121). С. 68–76.
33. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 2. Модели и методы оценки // *Информационные системы и технологии*. 2020. № 6 (122). С. 30–38.
34. Маслобоев А. В., Цыгичко В. Н. Оценка эффективности систем поддержки принятия решений ситуационных центров. Часть 3. Синтез конфигураций и нормативное обеспечение // *Информационные системы и технологии*. 2021. № 4 (126). С. 62–72.
35. Masloboev A. V. A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control // *Reliability and quality of complex systems*. 2020. No. 3 (31). P. 112–120.

36. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году». М.: МЧС России ; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 299 с.
37. Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S., Oleinik A. G. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 816 (1). Article No.: 012015.

References

1. Il'in N. I., Demidov N. N., Novikova E. V. *Situatsionnye tsentry. Opyt, sostoyanie, tendentsii razvitiya* [Situational centers. Experience, state, development trends]. Moscow, MediaPress, 2011, 336 p. (In Russ.).
2. Portal TAdviser: Gosudarstvo. Biznes. Tekhnologii [TAdviser portal: State. Business. Technology]. (In Russ.). Available at: <https://www.tadviser.ru/> (accessed 27.10.2022).
3. Situatsionnye tsentry: V Rossii segodnya [Situational centers: In Russia today]. (In Russ.). Available at: <https://rosinform.ru/security/930028-situatsionnye-tsentry-v-rossii-segodnya/> (accessed 27.10.2022).
4. Situatsionnyy tsentr [Situational center]. (In Russ.). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Situatsionnyy_tsentr (accessed 27.10.2022).
5. Sokolov I. A. Teoriya i praktika primeneniya metodov iskusstvennogo intellekta [Theory and practice of applying artificial intelligence methods]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2019, vol. 89, no. 4, pp. 365–370. (In Russ.).
6. Pospelov D. A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational control: theory and practice]. Moscow, Nauka, 1986, 288 p. (In Russ.).
7. Endsley M. R. *Situation awareness: Progress and directions. A cognitive approach to situation awareness: Theory and application*. S. Banbury, S. Tremblay (Eds.). Aldershot, UK, Ashgate Publishing, 2004, pp. 317–341.
8. Fridman A. Ya. *Situatsionnoe upravlenie strukturoy promyshlenno-prirodnykh sistem. Metody i modeli* [Situational management of the structure of industrial-natural systems. Methods and models]. Saarbrücken, Germany, LAP, 2015, 540 p. (In Russ.).
9. Gärdenfors P. *Conceptual Spaces: The Geometry of Thought*. A Bradford Book. Cambridge, MA, MIT Press, 2000, 317 p.
10. Gärdenfors P. *Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces*. Cambridge, MA, MIT Press, 2014, 343 p.
11. Applications of Conceptual Spaces. *The Case for Geometric Knowledge Representation*. Zenker F., Gärdenfors P. eds. Synthese Library. Springer, 2015, vol. 359, 285 p.
12. Gärdenfors P., Lohndorf S. What is a domain? Dimensional structures versus meronomic relations. *Cognitive Linguistics*, 2013, vol. 24, no. 3, pp. 437–456.
13. Decock L., Douven I. What is Graded Membership? *Noûs*, 2014, no. 48, pp. 653–682.
14. Endsley M. R. Final Reflections: Situation Awareness Models and Measures. *J. of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2015, vol. 9, no. 1, pp. 101–111.
15. Masloboev A. V., Putilov V. A. *Informatsionnoe izmerenie regional'noy bezopasnosti v Arktike* [Information dimension of regional security in the Arctic]. Apatity, KSC RAS, 2016, 222 p. (In Russ.).
16. Fridman A. Ya. Koordinatsiya i planirovanie upravleniy v lokal'no organizovannykh ierarkhicheskikh sistemakh [Coordination and management planning in locally organized hierarchical systems]. *Shestaya Mezhdunarodnaya konferentsiya "Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii" SAIT-2015 (Svetlogorsk, 15–20 iyunya 2015 g.): tr. konf. V 2 t.* [Sixth International Conference "System Analysis and Information Technologies" SAIT-2015 (June 15–20, 2015, Svetlogorsk): Proceedings of the conference. In 2 volumes]. Moscow, ISA RAS, 2015, vol. 1, pp. 115–124. (In Russ.).
17. Tanaka H. L., Yamagamib A., Takahashib Sh. The structure and behavior of the Arctic cyclone in summer analyzed by the JRA-25/JCDAS data. *Polar Science*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 55–69.
18. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Results of Numerical Modeling of the Origin of Cyclones and Anticyclones in the Vicinity of the Intertropical Convergence Zone. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2019, no. 9, pp. 213–228.

19. Kashulin N. A., Dauvalter V. A., Denisov D. B., Valkova S. A., Vandysh O. I., Terentjev P. M., Kashulin A. N. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk region, Russia. *Journal of Environmental Science and Health*, 2017, part A, no. 52 (9), pp. 921–929.
20. Fridman A. Ya. Situatsionnyy podkhod k modelirovaniyu promyshlenno-prirodnykh kompleksov i upravleniyu ikh strukturoy [Situational approach to modeling industrial-natural complexes and managing their structure]. *Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya: Trudy IV mezhdunarodnoy konferentsii (25–28 yanvarya 2005 g., Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova, g. Moskva)* [Identification of systems and control tasks: Proceedings of the IV international conference (January 25–28, 2005, V. A. Trapeznikov Institute of Control Problems, Moscow)]. Moscow, ICS RAS, 2005, pp. 1075–1108. (In Russ.).
21. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (In Russ.). Available at: <https://www.standardmethods.org/> (accessed 27.10.2022).
22. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Numerical Modeling of the Influence of the Relief of a Planet on the Global Circulation of the Earth's Stratosphere and Mesosphere. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2017, vol. 7, pp. 496–510.
23. Fridman A., Oleynik A. Situational Information System for Decision-Making Support Regarding Industry-Natural Complexes. *Proceedings of the 17th Annual Industrial Simulation Conference (ISC'2019)*, June 5–7, 2019, Lisbon, Portugal. EUROSIS-ETI Publication, pp. 41–45.
24. Fridman A., Oleynik A. Modelling of situation awareness in net-centric commercial systems. Modelling and Simulation 2020. *Proceedings of the 34rd Annual European Simulation and Modelling Conference (ESM'2020)*, October 21–23, 2020. LAAS-CNRS, Toulouse, France, EUROSIS-ETI Publication, 2020, pp. 64–67.
25. Oleynik A. G., Fridman A. Ya. Struktura kompleksnykh kontseptual'nykh prostranstv v mezhdistsiplinarynykh proektakh [The structure of complex conceptual spaces in interdisciplinary projects]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Series “Information Technologies”], 2020, vol. 11, pp. 149–154. (In Russ.).
26. Denisov D. B., Oleynik A. G. Current aspects of freshwater quality protection in the Arctic zone of the Russian Federation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 867 (1), Article No.: 012039.
27. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Initial Formation of Polar Lows in the High-latitude Atmosphere: A Modeling Based Study Approach. *Modern Advances in Geography, Environment and Earth Sciences*, 2021, vol. 5, pp. 86–101.
28. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. Chapter 1: Numerical Modeling of the Global Circulation of the Earth's Middle Atmosphere for Different External Conditions. *International Research in Environment, Geography and Earth Science*, 2020, vol. 1, pp. 1–20.
29. Fridman A. Ya., Oleynik A. G. Metody i sredstva podderzhki prinyatiya resheniy po obespecheniyu ustoychivogo funktsionirovaniya promyshlenno-prirodnykh kompleksov v Arkticheskoy zone RF [Methods and means of supporting decision-making on ensuring sustainable functioning of industrial-natural complexes in the Arctic zone of the Russian Federation]. *Istoriya nauki i tekhniki* [History of Science and Technology], 2019, no. 4, pp. 26–34. (In Russ.).
30. Fridman A. Ya., Kulik B. A. Situation Awareness in Modeling Industrial-Natural Complexes. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, vol. 95, pp. 247–256.
31. Fridman A. Ya. Opyt intellektualizatsii metodov situatsionnogo modelirovaniya diskretnykh nestatsionarnykh prostranstvennykh ob"ektov [Experience of Intellectualization of Situational Modeling Methods for Discrete Time-Varying Spatial Objects]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 2022, no. 83 (6), pp. 946–959. (In Russ.).
32. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 1. Analiz informatsionnoy struktury upravleniya [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 1. Analysis of the information management structure]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2020, no. 5 (121), pp. 68–76. (In Russ.).

33. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 2. Modeli i metody otsenki [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 2. Models and methods of evaluation]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2020, no. 6 (122), pp. 30–38. (In Russ.).
34. Masloboev A. V., Tsygichko V. N. Otsenka effektivnosti sistem podderzhki prinyatiya resheniy situatsionnykh tsentrov. Chast' 3. Sintez konfiguratsiy i normativnoe obespechenie [Evaluation of the effectiveness of decision support systems of situational centers. Part 3. Synthesis of configurations and regulatory support]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies], 2021, no. 4 (126), pp. 62–72. (In Russ.).
35. Masloboev A. V. A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control. *Reliability and quality of complex systems*, 2020, no. 3 (31), pp. 112–120.
36. Gosudarstvennyy doklad “O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera v 2010 godu” [State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2010”]. Moscow, EMERCOM of Russia, FGU VNII GOChS (FTs), 2011, 299 p. (In Russ.).
37. Yakovlev S. Yu., Shemyakin A. S., Oleinik A. G. Information and analytical support of the Arctic industrial-natural complexes safety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 816 (1), Article No.: 012015.

Информация об авторах

А. Г. Олейник — доктор технических наук, директор;

А. В. Маслобоев — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник;

А. Я. Фридман — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

A. G. Oleynik — Doctor of Science (Tech.), Director;

A. V. Masloboev — Doctor of Science (Tech.), Leading Researcher;

A. Ya. Fridman — Doctor of Science (Tech.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 08.11.2022; принята к публикации 18.11.2022.
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 08.11.2022; accepted for publication 18.11.2022.