

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЕСИМО

Е. Д. Вязилов, Д. А. Мельников

*Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных Росгидромета,
Россия, 249035, Обнинск, ул. Королева, 6,
e-mail: vjaz@meteo.ru*

Статья посвящена перспективным информационным технологиям для модернизации Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), <http://esimo.ru>. Актуальность данной работы определяется необходимостью решения задач в рамках Десятилетия ООН наук об океане в интересах устойчивого развития, а также модернизации ЕСИМО. Целью статьи является осведомление читателей о перспективных информационных технологиях, которые предлагается применить в области океанологии. Рассмотрены разработка и процессы внедрения информационных технологий, которые либо уже применяются, либо находятся на этапе создания, либо будут использоваться в задачах развития гидрометеорологического обеспечения пользователей. Представлены технологии интеграции разнородных и распределенных данных на основе метаданных и создания на этой основе цифрового двойника. Определены сервисы для автономного выявления опасных и экстремальных явлений, предупреждения о различных морских угрозах для населения и руководителей предприятий. Предложены методы и средства искусственного интеллекта в виде графов знаний для связывания различных типов и видов данных, баз знаний для автоматизации массовой обработки океанографических данных. За счет внедрения предложенных информационных технологий будет существенно расширен функционал ЕСИМО, повысится уровень автоматизации обработки данных – от сбора до принятия решений.

Ключевые слова: перспективные информационные технологии, интеграция данных, цифровой двойник, ИИ, ЕСИМО, базы знаний

Введение

Приоритетные области научных исследований и разработок в рамках Десятилетия ООН наук об океане напрямую связаны с развитием информационных технологий.

В 80-е годы прошлого века базы данных считались технологическим прорывом, которые позволили решить проблемы создания автоматизированных систем управления, информационных, геоинформационных и других автоматизированных систем различного назначения. В настоящее время тоже имеются перспективные информационные технологии. Это и смартфоны, помогающие привлечь к созданию баз данных огромное число разработчиков, и облачные технологии совместно с веб-порталами, позволяющие осуществлять удаленный доступ к данным практически из любого

места Земного шара, с любого интернет-устройства, в любое время. С помощью мобильных интернет-средств значительно упростился доступ к данным и появилась возможность удаленно пополнять базы данных. Цифровые двойники позволяют связать существующие базы и наборы данных, хранящиеся в различных доменах, использовать их для автономной доставки различным приложениям, моделирования воздействий морской среды на деятельность предприятий и стандартизировать входные данные для моделей прогноза состояния морской среды.

В конце 2022 г. компания OpenAI выпустила ChatGPT, который стал технологическим прорывом в области искусственного интеллекта (ИИ). С помощью ИИ создаются базы знаний, дешифрируются видеоизображения, улучшаются прогнозы погоды и решается много других задач (ENVIROMIS, 2024; Потапов, Soldatov, 2021; Andreichuk, Gurko, 2022; Stahl, 2021; Boucher, 2020; Fueling, 2022). Эти технологии необходимо использовать для достижения целей устойчивого развития в рамках модернизации Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО, 2014).

Основные информационные технологии

Интеграция распределенных и неоднородных данных

Разрозненность и изолированность данных всегда были проблемой при обработке океанографических данных по Мировому океану и затрудняли сбор исследователям различных ведомств и стран. В настоящее время фрагментация данных по различным организациям сделала невероятно сложным предоставление данных в режиме реального времени для обучения нейронных сетей. Чтобы преодолеть эту проблему, требуется расширение интеграции данных из различных доменов в режиме реального времени для их объединения, управления, преобразования и доставки в различные приложения. В последние два десятилетия в области океанологии выполнялось несколько крупных панъевропейских проектов:

- Сеть морских данных (SeaDataNet, <http://www.seadatanet.org>).
- Европейская сеть морских химических данных (EMODNET Chemistry, <https://emodnet.ec.europa.eu/en/chemistry>).
- Выявление и усвоение морских данных (EMODNET Ingestion, <https://emodnet-ingestion.eu/>).

Эти проекты ориентированы на интеграцию данных, в основном океанографических станций, включая гидрохимические наблюдения и временные ряды, созданные на основе данных прибрежных наблюдений или сформированные по данным вековых разрезов.

В 2014 г. введена в постоянную эксплуатацию Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Фактически это программная платформа для интеграции разнородных и распределенных океанографических

данных, сведений об объектах морской деятельности, социально-экономической, технологической и другой информации. Основные принципы реализации единой системы представлены ниже.

1) На каждый информационный ресурс составляются метаданные, часть атрибутов которых (временной период и географический район) обновляются автономно при каждом обновлении данных.

2) Во всех информационных ресурсах применяется единое пространство имен атрибутов с помощью единого словаря параметров. При описании метаданных производится перекодировка локальных имен атрибутов в общесистемные. Это особенно важно для атрибутов, которые используются во многих ресурсах (географические координаты, временное представление данных и др.).

3) Организации – поставщики данных в ЕСИМО – используют в данных классификаторы различного уровня стандартизации (международные, национальные, ведомственные или локальные). Чтобы стандартизовать используемые в данных классификаторы, производится перекодировка локальных кодов в общепринятые. В единой системе используются общероссийские, международные и ведомственные классификаторы. Предпочтение отдается классификаторам, утвержденным Международной организацией по стандартизации или международными организациями ООН по тематическим направлениям – Всемирной метеорологической организацией, Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО, Международным советом по исследованию морей, Международным гидрографическим бюро и др.

4) Автономная обработка данных без участия человека от сервера поставщика данных до приложений, использующих данные (веб-портал системы, интерактивная карта на основе геоинформационной системы, сервисы выявления опасных явлений (ОЯ), доставка сведений о них пользователям, МетеоМонитор сложившихся метеоусловий и др.).

5) Создание унифицированной модели базы интегрированных данных, позволяющей хранить различные типы и виды данных, отделяет процессы предварительной обработки данных (подготовка картографических слоев) от их использования. Это облегчает совместную обработку нескольких разнородных ресурсов и уменьшает время отклика при работе с картографическими слоями.

6) Интеграция структурированных и неструктурированных данных в виде изображений, документов и других объектных файлов, картографических сервисов.

7) Использование единой системы регистрации, авторизации и идентификации пользователей, предоставляющей единый логин / пароль для доступа ко всем приложениям и данным системы. Пользователи могут получить доступ к ресурсам, имеющим ограничения по доступу, после получения соответствующей роли по запросу.

8) Поддержка эксплуатации обеспечивается соответствующими метриками и показателями – актуальность данных, работоспособность аппаратно-программного комплекса, количество уникальных пользователей, количество посещений и скачиваний информационных ресурсов.

9) Использование единой системы в нескольких направлениях:

- предоставление доступа пользователям к данным в режиме самообслуживания на основе имеющихся на портале системы поисковых средств (атрибутивный поиск, поиск по карте, свободный поиск по словам);
- доставка информационных ресурсов по подписке на заданный адрес FTP-сервера или на электронную почту пользователя;
- создание федерации данных на основе имеющихся в единой системе ресурсов и собственных данных заказчика.

10) Получение наблюдаемых, прогностических и климатических данных на одном экране в одном интерфейсе.

11) Сведения об информационной продукции представляют данные наблюдений, анализы, прогнозы с различными пространственно-временными масштабами разрешения, климатические атласы, электронные справочники, автоматизированные рабочие места пользователей и сервисы.

Реализация этих принципов позволила значительно уменьшить трудоемкость разработки и эксплуатации единой системы.

Метаданные

Данные должны быть легкодоступными и в то же время понятными пользователям. Если пользователь не знает состояния данных, то нет уверенности в качестве ожидаемых результатов их обработки. Для понимания происхождения и состояния данных они описываются метаданными, контролируются по имеющимся алгоритмам проверки, маркируются для дальнейшего использования при обучении нейронных сетей. Для созданных баз данных требуются не только сведения о них, но и сведения о платформах и приборах, с помощью которых получены данные, параметрах наблюдений и других объектах. Всемирная метеорологическая организация, Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА, США), Европейский союз активно работают над созданием метаданных в области окружающей среды, в том числе океанологии, морской гидрометеорологии. Всемирная метеорологическая организация создала базу метаданных со сведениями о наземных пунктах наблюдений по всему Земному шару (<https://oscar.wmo.int/surface/#/> и сведения метеорологических спутниках <https://space.oscar.wmo.int/satellites/>). В НАСА разработана крупнейшая в мире база метаданных Global Change Master Directory со сведениями о наборах данных – более 12 тыс. описаний (<https://data.nasa.gov/dataset/global-change-master-directory-gcmd>). В рамках панъевропейского проекта SeaDataNet за период 2006–2024 гг. созданы базы метаданных по сведениям о массивах и базах данных в области океанографии (EDMED) объемом около 4 тыс. описаний, рейсах научно-исследовательских судов – общим объемом более 60 тыс. описаний, наблюдательных проектах – около 1000 описаний, мореведческих организациях – 5 тыс. описаний (<https://www.bodc.ac.uk/resources/inventories/edmed/>). В большинстве существующих систем основой описания метаданных являются стандарты ИСО 19115

и ИСО 19139. В России активная работа по созданию различных объектов метаданных ведется в ЕСИМО, на конец 2024 г. представлено более 77 тыс. экземпляров метаданных (таблица 1).

Табл. 1 – Количество описаний различных объектов метаданных на портале ЕСИМО

Название объекта метаданных	Количество записей	Примечание
Сведения о массивах и базах данных	1221	
Мореведческие организации	4243	Включая зарубежные
Отечественные и зарубежные экспедиции	34 890	
Буи	8574	Включая зарубежные
Суда добровольных наблюдений	12 026	
Научно-исследовательские суда	9901	Все страны
Действующие научно-исследовательские суда России	88	
Проекты и программы	236	
Сети наблюдений	313	
Прибрежные станции	799	Исторических
	176	Действующих
Приборы	449	
Модели и методы расчетов	51	
Программные средства	217	
Форматы данных	184	
Единый словарь параметров	3001	
Термины и определения	1316	
Итого:	77 685	

В источниках данных (ЕСИМО, 2013; Вязилов, Михайлов, Кобелев, 2007) представляются сведения о наблюдательных сетях; наблюдательных платформах – прибрежных станциях, научно-исследовательских и попутных судах, дрейфующих поверхностных, ныряющих и заякоренных буях, космических аппаратах; экспедициях; проектах; экспедиционных исследованиях. Общее количество описаний информационных ресурсов в системе составляет более 2300. Модель метаданных организована таким образом, что для каждого информационного ресурса, кроме основных сведений о нем, можно получить сведения об организации – источнике данных, проекте, в рамках которого получены данные, инструменте, с помощью которого измерены данные и другие сведения. Средства управления и обработки данных включают:

- общие классификаторы и коды, применяемые в различных ведомствах;
- форматы сбора, хранения, межведомственного и международного обмена;
- программные средства сбора и прикладной обработки данных.

Метаданные отражают:

- принадлежность измерительной платформы и контактные данные – страна, организация, персона и должность;
- спецификации получения данных – наблюдательная сеть, платформа, рейс научно-исследовательского судна, метод и инструмент, измеряемые атрибуты, нормативно-методические документы;

- спецификации обработки и управления данными – методы, программные средства, технологии, форматы, интерфейсы;
- ограничения на распространение информации – разрешения, требования, запрещения, права, лицензии (Вязилов и др., 2014).

Измеренные значения океанографических параметров снабжаются метками места и времени, а расчетные данные – сведениями о методах обработки, пространственно-временных масштабах обобщения данных. Объединение данных производится на основе описаний массивов и баз данных, форматов, параметров, наблюдательных платформ. Отсылка к источнику (автору) данных – это информация, используя которую можно получить дополнительную информацию об объекте – контактные данные, документацию, связь-ссылку на другие распределенные данные. Связь-ссылка может представлять искомый объект по его идентификатору или классификатору – коду организации, судна.

Перспективами развития метаданных являются:

- удовлетворение принципам FAIR – поисковость (*Findable*), доступность (*Accessible*), интероперабельность (*Interoperable*), повторное использование (*Reusable*) (FAIR Principles, 2016);
- выполнение требований TRUST – прозрачность (*Transparency*), ответственность (*Responsibility*), ориентация на пользователя (*User orientation*), устойчивость инфраструктуры репозитория данных (*Sustainability*), технология – (*Technology*) (TRUST, 2019);
- разработка платформы междоменного взаимодействия – Cross Domain Interoperability Framework (CDIF) для поиска, обнаружения и доступа к данным (CDIF, 2024);
- интеграция метаданных из различных источников;
- использование графов знаний для отражения связей как между объектами метаданных, так и экземплярами цифрового двойника.

Создание и использование цифрового двойника для выявления опасных явлений и оценки уровня их опасности

Цифровой двойник – это цифровой аналог состояния окружающей среды, экономических, социальных, финансовых и других показателей, которые позволяют отслеживать уровень опасности для предприятий и населения, моделировать и прогнозировать возможные воздействия ОЯ, а также оптимизировать принятие решений. В состав цифрового двойника включаются как объекты исследований и/или мониторинга состояния окружающей среды, так и материальные сведения об экономической деятельности предприятий, которые подвергаются воздействиям окружающей среды. Цифровой двойник можно также создавать для динамической виртуальной модели системы, различных природных процессов. Основным назначением цифрового двойника является типизация и унификация данных, которые используются в моделях различного назначения (прогностических, аналитических, оценки воздействий

окружающей среды на объекты экономики и наоборот оценки воздействия промышленных объектов на окружающую среду). В ЕСИМО для создания цифрового двойника, который обеспечивает различные приложения и модели, необходимо:

- расширить возможности модели данных для усвоения более сложных структур данных, например, хранение множественных значений отдельных свойств объекта в одном атрибуте;

- включить в состав базы интегрированных данных новые типы и виды информационных ресурсов, например, экономические сведения о промышленных объектах;

- унифицировать состав представления одних и тех же свойств для различных объектов;

- использовать имеющиеся и создавать новые объекты метаданных;

- связать различные объекты с помощью графов знаний.

Объекты цифрового двойника, работающие в распределенной системе, должны эффективно функционировать и поддерживать возможность обновления в режиме реального времени. Требования к модели данных цифрового двойника отражены в статьях (Viazilov, 2024; Вязилов, Мельников, 2024) и включают:

- хранение истории – жизненного цикла каждого объекта;

- представление данных в виде временных рядов и в узлах сетки;

- использование единого наименования атрибутов;

- применение единых кодов и классификаторов;

- хранение множества независимых, но связанных между собой объектов;

- хранение одного объекта в одной таблице;

- применение графов знаний для хранения связей между объектами.

При работе с цифровым двойником организуется автоматический переход от метаданных к данным. Для реализации связей между объектами цифрового двойника используются графы знаний (Вязилов, Мельников, 2024; Вязилов, 2024), хранящие связи в виде векторной базы данных. Для организации связей наборов данных:

- создается общий граф знаний, который включает графы знаний для поиска данных на основе метаданных, оценки воздействий, использования в бизнес-процессах;

- строится граф знаний для доступа к данным;

- разрабатывается граф для оценки воздействий гидрометеорологических условий на деятельность предприятий и поддержки решений;

- используется граф знаний, показывающий зависимость бизнес-процессов от гидрометеорологических условий.

С помощью логических связей, реализованных в графах знаний, можно сделать выводы об источниках и жизненных циклах тех или иных наборов данных. Графы знаний реализуют полученную от человека логику и сложные взаимосвязи для поиска и доступа к данным, а также обеспечивают необходимыми данными научные исследования и процессы поддержки решений.

Цифровой двойник – это не копии всех данных, а стандартизованные по структуре и составу атрибутов наборы данных, представленные в единой модели данных и предназначенные для решения некоторого класса задач. Для оценки воздействий

морской среды, ОЯ и изменений климата на промышленные предприятия необходимо использование океанографических, метеорологических, социальных, экономических, технологических, батиметрических и других видов и типов данных. Для каждого вида данных формируется свой экземпляр цифрового двойника. В конкретной модели используется заданный состав видов данных и их свойств. Пример описания структуры данных в базе интегрированных данных приведен в работе (Вязилов, Мельников, Чуняев, 2014). Описание обобщенной структуры включает:

- уникальный идентификатор информационного ресурса;
- ключевые атрибуты метаданных, одинаковые для всех экземпляров цифрового двойника (широта, долгота, дата, время, географический район, др.);
- основные свойства объекта, которые отражаются в цифровых двойниках, например, для морских гидрометеорологических данных – это наблюдаемые или прогностические значения температуры воды, воздуха, атмосферного давления у поверхности, влажности воздуха, скорости и направления ветра, высоты волн.

На первый взгляд, эта структура ничем не отличается от существующих сейчас структур. Но, если внимательно посмотреть на реальные описания структур данных, которые сейчас имеются в организациях России и за рубежом, то можно увидеть множество мелких различий в именах свойств объекта, используемых классификаторах, форматах хранения отдельных атрибутов и представления их на экране.

На основе интегрированных данных ЕСИМО производится формирование одного или нескольких экземпляров цифрового двойника и доставка данных до моделей оценки воздействий или приложений для обучения нейронных сетей в формате обмена JavaScript Object Notation (JSON) с помощью Representational State Transfer (REST) сервисов. Модели автоматически запускаются в установленные регламентом сроки или в связи с выявлением ОЯ. Модели должны:

- легко масштабироваться для получения результатов в нескольких пространственно-временных масштабах разрешения сетки;
- предоставлять результаты в информационных панелях;
- доставлять до руководителей предприятий не только данные или прогнозы в узлах сетки, но и сведения о выявленных ОЯ и их воздействиях на предприятия.

Использование цифровых двойников позволяет предоставить пользователям наборы данных, хранящиеся в различных доменах, и с их помощью проводить моделирование взаимодействия природы и объектов экономики.

Показатели устойчивого развития морской деятельности

Состав показателей устойчивого развития морской деятельности определен в (Стратегия, 2010; Методические, 2011). На портале ЕСИМО представляются:

- сведения об инновационной деятельности предприятий (Минпромторг России), рисунок 1;
- сведения о технической готовности выпускаемой гражданской продукции судостроения (Минпромторг России), рисунок 2;

- сведения об увеличении объема выпуска продукции российского судостроения (Минпромторг России);
- общедоступный улов и квоты на добычу водных биоресурсов (Росрыболовство);
- показатели состояния государственной наблюдательной сети (Росгидромет);
- сводные показатели морской деятельности в России.



Рис. 1 – Сведения об инновационной деятельности предприятий

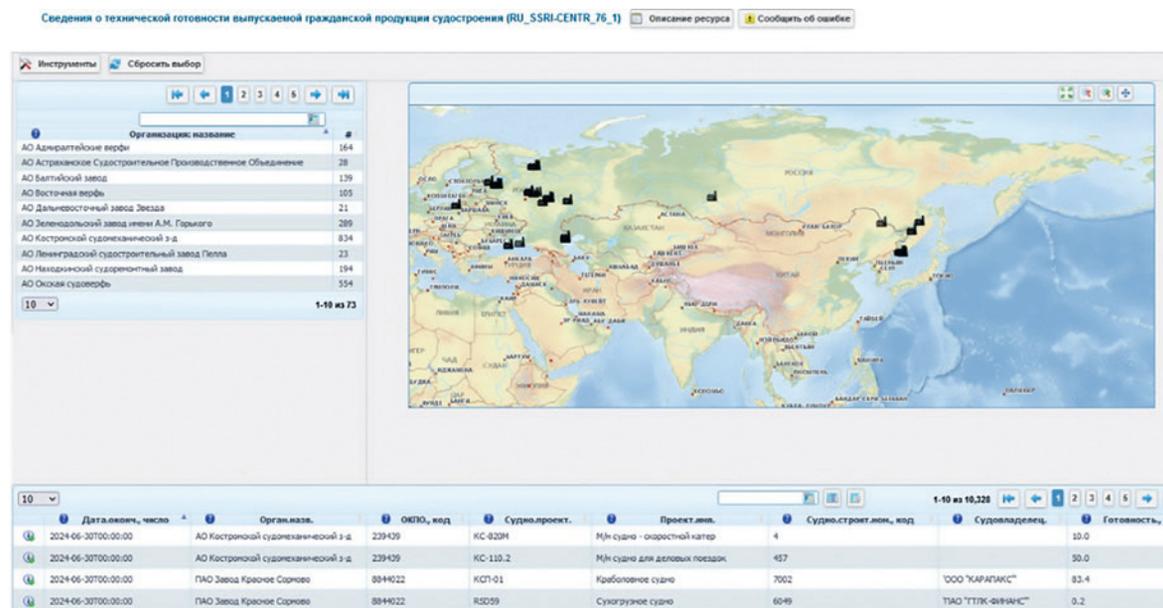


Рис. 2 – Сведения о технической готовности выпускаемой гражданской продукции судостроения

Для контроля выполнения Стратегии развития морской деятельности используются методические указания (Методические, 2011), с помощью которых реализована оценка показателей по пяти уровням состояния (стабильное, удовлетворительное, нестабильное, кризисное, катастрофическое). Для каждого показателя разработаны пороговые значения показателей, оформленные в виде базы знаний. Сравнение

реальных значений показателей с пороговыми значениями позволяет получить уровень их состояния.

В Росгидромете функционирует Автоматизированная система учета наблюдательных подразделений Росгидромета (АСУНП, 2024), предназначенная для сбора, ведения и предоставления сведений о пунктах наблюдений, информационного обеспечения планирования и оценки работы наземных, морских и космических сетей наблюдений. Целью создания автоматизированной системы учета пунктов наблюдений является формирование единого ресурса учета состояния государственной наблюдательной сети.

Росгидромет ежегодно готовит отчет по показателям работы наблюдательных сетей в виде таблицы с количеством пунктов по видам наблюдений и автоматическим средствам измерений. Мониторинг состояния показателей работы наблюдательных сетей позволяет повысить качество управления морской деятельностью.

Будущее систем предупреждения о различных морских угрозах населения и руководителей предприятий

Разработка системы предупреждения о различных морских угрозах населения и руководителей предприятий (Вязилов, 2021, Т. 1; 2022, Т. 2; Вязилов, Мельников, 2024; Пересмотренная, 2018) является одной из целей устойчивого развития и включает:

- разработку океанской компоненты системы предупреждения о различных угрозах ОЯ населения и руководителей предприятий;
- создание базы данных сведений о воздействиях ОЯ на деятельность предприятий и населения, рекомендаций для принятия решений;
- создание моделей уточненной оценки воздействий окружающей среды на предприятия и население;
- разработку экономических моделей оценки ущерба и расчета стоимости превентивных мероприятий;
- оптимизацию решений с учетом складывающихся гидрометеорологических условий;
- переход гидрометеорологического обеспечения от самообслуживания на веб-сайтах и порталах к персонализированному обслуживанию пользователей путем автономной доставки данных после их обновления на поставщике данных.

Руководители не всегда могут точно и полно оценить потенциальные последствия ОЯ. Невозможно остановить ОЯ и изменения климата, но есть возможность прогнозировать воздействия и адаптироваться к ним. Для этого создается океанская компонента системы предупреждения о различных угрозах в виде системы поддержки принятия решений (Вязилов, 2021, Т. 1; 2022, Т. 2; Zagorecki, Johnson, Ristvej, 2013; Мэйянь и др., 2015; Вязилов, Мельников, 2024).

В предлагаемом подходе не руководители инициируют доступ к системе, а на информационной панели текстом, звуком и цветом показываются сведения об ОЯ, что заставляет руководителей оценить состояние складывающейся

гидрометеорологической обстановки. При этом показатели ОЯ в виде локальных пороговых значений заранее задаются самим руководителем предприятия на основе предложенной ему базы знаний, созданной для других похожих объектов. Из этой базы знаний выбираются или уточняются значения, наиболее подходящие по типу объекта и уровню опасности для рассматриваемого предприятия.

База знаний «Воздействия и рекомендации» создается для каждого ОЯ; уровня его опасности; категории использованных данных – наблюдения, прогноз, климат; фазе явления – до, в период и после явления; типа объекта; видов деятельности на нем, зависящих от гидрометеорологических условий.

На основе оперативных данных в виде телеграмм СИНОП, получаемых по Глобальной сети телесвязи, и пороговых значений для трех уровней опасности производится выделение ОЯ по всей территории России и соседних стран. Сведения о возможных воздействиях и рекомендации для принятия решений выдаются для выделенных ОЯ каждого уровня опасности и основных типов объектов, подвергаемых опасности. Кроме этого, для выделенного пункта наблюдений производится визуализация основных параметров в виде информационной панели – МетеоМонитор обстановки. Пример реализации демонстрационного варианта системы поддержки решений в составе ЕСИМО (<http://portal.iitu.esimo.ru/portal/user/services/hazard>) показан на рисунке 3.

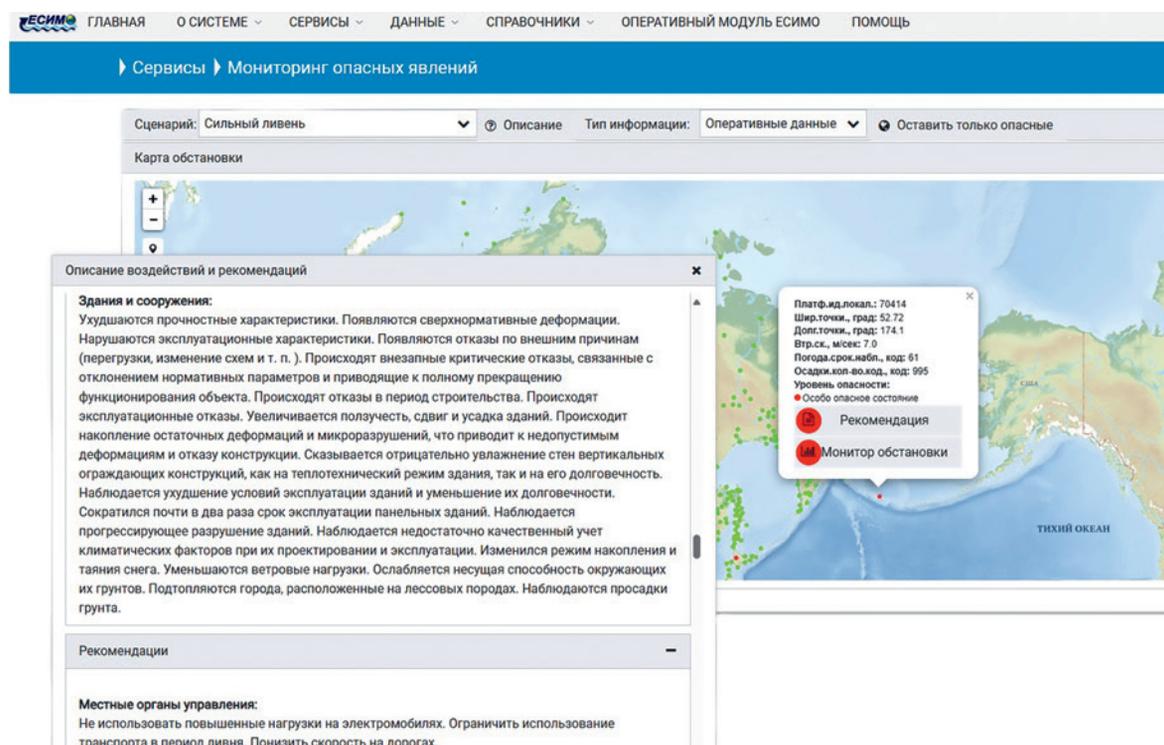


Рис. 3 – Демонстрационный вариант поддержки решений в составе ЕСИМО

В дальнейшем предполагается:

- развитие базы данных «Воздействия и рекомендации», базы знаний «Локальные пороговые значения показателей ОЯ»;

- развитие средств автономного выявления ОЯ в потоках оперативных данных с использованием базы знаний «Локальные пороговые значения показателей ОЯ» и автоматической доставки этих сведений руководителям предприятий;
- преобразование цифровых прогностических значений параметров в узлах регулярной сетки в удобочитаемый текст с помощью генеративных чат-ботов (Tomorrow Company, 2024) и далее его озвучивание (Вязилов, Малахов, Аскарлов, 2024), то есть создание автоматического суфлера прогноза погоды;
- оптимизация решений на основе модели «соотношения затрат на превентивные мероприятия с возможным ущербом < 30 %».

Применение методов и средств ИИ для выявления, оповещения и повышения осведомленности об опасных явлениях

В 2023–2024 гг. резко проявились возможности использования методов и средств ИИ в различных сферах, в том числе в области океанологии. Представим себе наблюдательную сеть будущего, которая состоит из автономных стационарных и подвижных пунктов наблюдений, оборудованных автономными средствами измерений различных параметров океана и атмосферы. Средства измерений автоматически ведут наблюдения и каждые 20 мин отправляют телеграммы с метеонаблюдениями. При этом проводится мониторинг доставки наблюдений, состояния средств наблюдений и получения каждой телеграммы приложениями, которые используют эти доставленные данные. При организации работы автономной наблюдательной сети требуется применение методов и средств ИИ для:

- обнаружения районов проявления ОЯ в пространстве на основе анализов и прогнозов в узлах регулярной сетки и базы знаний «Локальные пороговые значения»;
- оценки возможных воздействий и выдачи рекомендаций с применением базы знаний;
- выявления ошибок и аномалий в данных;
- использования нейронных сетей и машинного обучения для прогноза погоды – туманов, осадков, траекторий циклонов, уровня воды и других параметров (Artificial, 2024; Taesam, Vijay, Kyung, 2021; Jinfeng и др., 2024; AI, 2022);
- применения чат-ботов для коммуникаций с пользователями;
- создания дополненной реальности с помощью компьютерного зрения;
- создания тренажера на основе базы знаний пороговых значений и базы данных воздействий и рекомендаций.

Кроме поиска идей и сценариев использования методов и средств ИИ в соответствии с потребностями бизнес-процессов для различных отраслей проводится глубинное обучение на основе имеющихся наборов гидрометеорологических данных, например, как в Яндекс-Погоде (Metuum, 2024).

В зависимости от интенсивности ОЯ, типа объекта, вида деятельности, уровня принятия решений состав воздействий на эти объекты и список рекомендаций отличаются. Поэтому создается база данных «Локальные пороговые значения», которая

включает показатель ОЯ, географическую привязку – координаты точки или района, название объекта, вид деятельности, диапазоны уровней опасности, сезон года.

Критерии и механизм выявления ОЯ, выдача сведений о возможных воздействиях и проектах превентивных мероприятий являются частью новой парадигмы гидрометеорологического обеспечения. Критерии ОЯ приведены в базе знаний «Пороговые значения показателей ОЯ» (Заявка, 2024). Эти показатели используются также для поиска соответствующих ситуаций в базе данных «Воздействия и рекомендации».

Использование информационных технологий для развития гидрометеорологического обеспечения

Чтобы получать данные на регулярной основе, необходимые гидрометеорологические, социальные, технологические данные должны доставляться предприятиям из одного источника интегрированных данных. Руководитель предприятия должен быстро принять решение, оценить это решение с учетом финансовых затрат, социальной обстановки и т. п.

В период ОЯ, переходящего в чрезвычайную ситуацию, может потребоваться и другая межведомственная информация – наличие транспорта для эвакуации, маршруты эвакуации в зависимости от уровня воды при наводнении и т. п. Эту информацию нет необходимости постоянно интегрировать. Но для того, чтобы быстро получить ее, необходимо знать, где данные хранятся и какие удаленные сервисы доступа к ним имеются. Для улучшения поиска требуется создать метаданные и сервисы для доступа к данным. Для стандартизации форматов представления данных необходимо использовать цифровой двойник для описания состояния окружающей среды, объектов и бизнес-процессов. Представляемые открытые данные из ЕСИМО всегда актуальны и доступны. Именно это позволяет следить за ОЯ и определять уровень опасности. Современная информационная система должна получать, хранить и обрабатывать доступные данные, оперировать цифровым двойником тех объектов, которые обслуживаются. При гидрометеорологическом обеспечении потребителей основным требованием является организация автоматической доставки необходимой информации руководителям предприятий. Данные получают дополнительную ценность, когда сервисы доступны в режиме онлайн и по ним происходит автоматическое выявление ОЯ.

Поддержка решений в автоматическом режиме выдает более полный список возможных воздействий. После получения рекомендаций руководителю необходимо только уточнить и отправить исполнителям как план превентивных мероприятий. В настоящее время авторами собраны и формализованы воздействия ОЯ на предприятия и население для большинства морских ОЯ (Вязилов, 2021, Т. 1; 2022, Т. 2). Сервисы, с помощью которых можно автоматизировать эти процессы, состоят из средств интеграции, выявления ОЯ, доставки, визуализации данных и поддержки решений.

Заключение

Рассмотрено состояние разработки и использования информационных технологий, которые либо применяются, либо находятся в фазе создания при развитии ЕСИМО. Важным результатом развития существующих информационных технологий является возможность предприятиям получать и обрабатывать интегрированные, распределенные данные в виде цифровых двойников, представляющих собой данные из различных доменов в виде океанографической, метеорологической, экологической, социальной и другой информации, необходимой для принятия решений, рационального управления освоением океанов и морей, адаптации к ОЯ и изменениям климата.

Для модернизации программного обеспечения ЕСИМО предлагаются методы и средства ИИ для использования их на различных этапах сбора и обработки данных. Новым в океанологии является развитие способов взаимодействия пользователей с сервисами визуализации данных – интерактивные карты, информационные панели, средства МетеоМонитора состояния гидрометеорологических условий.

Благодарности. Исследование проведено в рамках проекта «Цифровой двойник Каспийского моря», выполняемого по плану действий Десятилетия ООН, посвященного наукам об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.).

Список литературы

1. АСУНП – Автоматизированная система учета наблюдательных подразделений Росгидромета. URL: <http://asunp.meteo.ru/> (дата обращения: 12.08.2024).
2. Вязилов Е. Д., Малахов С. С., Аскаргов А. Р. Применение технологий искусственного интеллекта для поддержки решений руководителей предприятий с использованием гидрометеорологической информации // Метеорология и гидрология. 2024. № 5. С. 87–96.
3. Вязилов Е. Д., Мельников Д. А. Повышение осведомленности руководителей предприятий морской деятельности для адаптации к опасным и экстремальным явлениям // Океанологические исследования, 2024. Т. 52. № 2. С. 169–182. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(2\).9](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(2).9).
4. Вязилов Е. Д., Мельников Д. А., Чуняев Н. В., Кобелев А. Е. Метаданные – основа автоматизации по созданию информационной продукции. Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем: Сборник избранных научных статей // Труды Четвертого Всероссийского симпозиума (С.-Петербург, 6–8 октября 2014 г.) / Под ред. Е. В. Кудашева, В. А. Серебрякова. Т. 1. М.: ВЦ РАН. 2014. С. 52–68.
5. Вязилов Е. Д., Михайлов Н. Н., Кобелев А. Е. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане: интеграция информационных ресурсов и метаданные. ИКИ РАН. Пятая юбилейная открытая Всероссийская конференция «Дистанционное зондирование земли из космоса». Москва. 12–16 ноября 2007 г. http://d33.infospace.ru/d33_conf/2008_pdf/2/9.pdf.
6. Вязилов Е. Д. Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения. Подходы по реализации. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2021. Т. 1: 356 с.; Т. 2: 355 с.

7. Вязилов Е. Д. Цифровые двойники и цифровые модели в области наук о Земле. ENVIROMIS'2024. International Conference on Environmental Observations, Modeling, and Information System. July 01–06, 2024. Tomsk. Russia. Selected papers. С. 220–226. https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs_web.pdf/ (дата обращения: 21.01.2025).
8. ЕСИМО, 2014: Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. <http://esimo.ru/> (дата обращения: 12.12.2024).
9. Заявка на регистрацию базы данных «Локальные пороговые значения показателей гидрометеорологических условий». Роспатент. 2024.
10. Методические указания по подготовке ежегодного доклада «О комплексной оценке состояния национальной безопасности Российской Федерации в области морской деятельности». 2011. Одобрены Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации 6 июля 2011 г., протокол № 2 (16), с изменениями от 26.12.2011 № П4-54421, представляемого Правительством Российской Федерации Президенту Российской Федерации.
11. Мэйянь Цзяо, Ляньчунь Сун, Тун Цзян, Ди Чжан, Цзяньцин Чжай Выпуск в Китае заблаговременных предупреждений с учетом возможных последствий и оценки рисков // Бюллетень ВМО. № 64 (2). 2015. С. 9–12.
12. Пересмотренная дорожная карта для Десятилетия Организации Объединенных Наций, посвященного наукам об океане в интересах устойчивого развития. Обновленный вариант версии 2.0 от 10.06.2018. ИОС/ЕС-LI/2, Annex 3. МОК ЮНЕСКО. Пятьдесят первая сессия Исполнительного совета ЮНЕСКО. Париж, 3–6 июля 2018. Оригинал: английский.
13. Потапов И. И., Солдатов В. Ю. Искусственный интеллект: проблемы и перспективы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2021. № 8. С. 3–18.
14. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 08.12.2010 г. № 2205-р.
15. AI in Meteorology. Industry 2022. Azati Company. 19 December 2022. <https://azati.ai/artificial-intelligence-in-meteorology/?ysclid=m09woxlitg155305830> (access date: 26.08.2024).
16. Andreichuk A. P., Gurko A. V. Trends in artificial intelligence and robotics technologies in the Arctic: the Russian experience // J. Mining informational and analytical bulletin. No. 10-2. 2022. P. 24–38.
17. Artificial Intelligence applied to weather forecasting. <https://ict.moscow/case/af7945dacf2b637c18d37470/?ysclid=m09v5m8q1c177429719/> (дата доступа: 26.08.2024).
18. Boucher Philip. Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it? Study Panel for the Future of Science and Technology, European Parliament. June 2020. 64 p.
19. CDIF – Cross Domain Interoperability Framework. <https://github.com/Cross-Domain-Interoperability-Framework?ysclid=lzyh3jpr6n23169162> (access date: 12.08.2024).
20. ENVIROMIS'2024. International Conference on Environmental Observations, Modeling, and Information System. July 01–06 2024. Tomsk. Russia. Selected papers. P. 227–267. https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs_web.pdf.
21. FAIR Principles. GOFAIR. 2016. <https://www.go-fair.org/fair-principles/> (access date: 17.06.2024).
22. Fueling the AI transformation: Four key actions powering widespread value from AI, right now. Deloitte's State of AI in the Enterprise, 5th Edition report. October 2022. 49 p.
23. Jinfeng Wen, Peng-Fei Han, Zhangbing Zhou & Xu-Sheng Wang Lake level dynamics exploration using deep learning, artificial neural network, and multiple linear regression techniques. <https://link.springer.com//article/10.1007/s12665-019-8210-7?fromPaywallRec=false> (access date: 26.08.2024).

24. Meteum 2.0. https://yandex.ru/pogoda/maps/nowcast?le_Lightning=1 (access date: 12.08.2024).
25. *Stahl Bernd Carsten*. Artificial Intelligence for a Better Future. An Ecosystem Perspective on the Ethics of AI and Emerging Digital Technologies. Foreword by Julian Kinderlerer. Springer. Centre for Computing and Social Responsibility De Montfort University. Leicester. UK. 2021. 124 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69978-9>.
26. *Taesam Lee, Vijay P. Singh, Kyung Hwa Cho* Deep Learning for Hydrometeorology and Environmental Science. 2021. Book series: Water Science and Technology Library. Vol. 99. 204 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64777-3>.
27. Tomorrow Company. URL: <https://www.tomorrow.io/blog/tomorrow-io-unveils-first-weather-climate-generative-ai/> (access date: 12.08.2024).
28. TRUST – Core Trustworthy Data Repositories Requirements. Version: 01.00. 2016. ICSU. World Data System. 14 p. http://www.coretrustseal.org/wp-content/uploads/2017/01/Core_Trustworthy_Data_Repositories_Requirements_01_00.pdf (access date 02.10.2024).
29. *Zagorecki Adam, Johnson David, Ristvej Jozef* Data mining and machine learning in the context of disaster and crisis management // International J. of Emergency Management. No. 9 (4), January, 2013. P. 351–365. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2013.059879>.

Статья поступила в редакцию 20.01.2025, одобрена к печати 27.06.2025.

Для цитирования: *Вязилов Е. Д., Мельников Д. А.* Перспективные информационные технологии для модернизации ЕСИМО // Океанологические исследования. 2025. № 53 (2). С. 176–194. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(2\).9](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(2).9).

PERSPECTIVE INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ESIMO MODERNIZATION

E. D. Viazilov, D. A. Melnikov

*All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information –
World Data Centre of Roshydromet,
6, Koroleva str., Obninsk, 249035, Russia,
e-mail: vjaz@meteo.ru*

The relevance of the work is determined by the need to solve problems within the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development, as well as modernization of the Unified State System of Information on the Situation in the World Ocean (ESIMO), <http://esimo.ru>. The purpose of the article is to inform readers about promising information technologies that are proposed to be applied in the field of oceanography. The state of development and application of information technologies that are either already used, or are in the development phase, or will be used in the tasks of developing hydrometeorological support for users is considered. The technologies for integrating heterogeneous and distributed data based on metadata and creating a digital twin on this basis are shown. Services for autonomous detection of natural hazards and extreme phenomena and warning about various marine threats to the population and business leaders presented. Methods and tools of artificial intelligence in the form of knowledge graphs for linking various types and kinds of data, knowledge bases for automating mass processing of oceanographic data are proposed. Due to the implementation of the proposed information technologies, the functionality of ESIMO will be significantly expanded, the level of automation of data processing from collection to decision-making will increase.

Keywords: promising information technologies, data integration, digital twin, AI, ESIMO, knowledge bases

Acknowledgement: The study was carried out within the framework of the Digital Twin of the Caspian Sea project, implemented under the action plan of the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030).

References

1. *AI in Meteorology*. Industry 2022. Azati Company. 19 December 2022. <https://azati.ai/artificial-intelligence-in-meteorology/?ysclid=m09woxlitg155305830> (access date: 26.08.2024).
2. Andreichuk, A. P., and A. V. Gurko, 2022: Trends in artificial intelligence and robotics technologies in the Arctic: the Russian experience. *J. Mining informational and analytical bulletin*, **10-2**, 24–38.
3. *Artificial Intelligence applied to weather forecasting*. <https://ict.moscow/case/af7945dacf2b637c18d37470/?ysclid=m09v5m8q1c177429719/> (access date: 26.08.2024).
4. ASUNP, 2024: Avtomatizirovannaya sistema ucheta nablyudatelnykh podrazdeleniy Rosgidrometa (ASUNP – Automated system of accounting of observation units of Roshydromet), <http://asunp.meteo.ru> (last accessed in 12.08.2024).
5. *Boucher Philip*, 2020: Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it? Study Panel for the Future of Science and Technology. *European Parliament*. June 2020, 64.

6. *CDIF*, 2024: Cross Domain Interoperability Framework, <https://github.com/Cross-Domain-Interoperability-Framework?ysclid=lzyh3jpr6n23169162> (last accessed in 12.08.2024).
7. *ENVIROMIS*, 2024: *International Conference on Environmental Observations, Modeling, and Information System*. July 01–06, 2024. Tomsk, Russia, selected papers, 227–267, https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs_web.pdf.
8. *ESIMO*, 2024: Edinaya gosudarstvennaya sistema informatsii o sostoyanii Mirovogo oceana (Unified state system of information on the situation in the World Ocean), <http://esimo.ru> (last accessed in 12.12.2024).
9. *FAIR Principles, GOFAIR*, 2016: <https://www.go-fair.org/fair-principles/> (last accessed in 17.06.2024).
10. *Fueling the AI transformation*, 2022: Four key actions powering widespread value from AI, right now. Deloitte’s State of AI in the Enterprise, 5th Edition report. October 2022, 49.
11. Jinfeng, Wen, Han Peng-Fei, Zhou, and Xu-Sheng Wang, 2024: *Lake level dynamics exploration using deep learning, artificial neural network, and multiple linear regression techniques*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-019-8210-7?fromPaywallRec=false> (access date: 26.08.2024).
12. Meiyang, Jiao, Song Lianchun, Jiang Tong, Di Zhang, Zhai Jianqing, 2015: Vypusk v Kitae zablagozemennykh preduprezhdenij s uchetom vozmozhnykh posledstvij i ocenki riskov (Impact-based and risk-based early warning in China). *WMO Bulletin*, **64** (2), 9–12.
13. *Meteum 2.0*, 2024: https://yandex.ru/pogoda/maps/nowcast?le_Lightning=1 (last accessed in 12.08.2024).
14. Metodicheskiye ukazaniya po podgotovke ezhegodnogo doklada “O kompleksnoy otsenke sostoyaniya natsionalnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii v oblasti morskoy deyatel’nosti” (Methodological guidelines for the preparation of the annual report “On a comprehensive assessment of the state of national security of the Russian Federation in the field of marine activities”. *Approved by the Marine Board under the Government of the Russian Federation*. July 6, 2011, Protocol No. **2** (16), with amendments dated 26.12.2011, no. P4-54421, submitted by the Government of the Russian Federation to the President of the Russian Federation.
15. Peresmotrennaya dorozhnaya karta dlya Desyatiletiya Organizatsii Obyedinennykh Natsiy, posvyashchennogo nauke ob okeane v interesakh ustoychivogo razvitiya. (Revised Roadmap for the United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development). Updated version 2.0 dated 10.06.2018. IOC/EC-LI/2 Annex 3. UNESCO IOC. *Fifty-first session of the Executive Board of UNESCO*, Paris, 3–6 July 2018. Original: English.
16. Potapov, I. I. and V. Yu. Soldatov, 2021: Iskusstvennyj intellekt: problemy i perspektivy (Artificial Intelligence: Problems and Prospects). *Journal of Environmental and Natural Resources Problems*, **8**, 3–18.9.
17. *Stahl Bernd Carsten*, 2021: Artificial Intelligence for a Better Future. An Ecosystem Perspective on the Ethics of AI and Emerging Digital Technologies. Foreword by Julian Kinderlerer. Springer. Centre for Computing and Social Responsibility De Montfort University, Leicester, UK, 124, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69978-9>.
18. Strategy for the Development of Maritime Activities of the Russian Federation until 2030. *Approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 08.12.2010*. No. 2205-r.
19. Taesam, Lee, Singh P. Vijay, and Hwa Cho Kyung, 2021: Deep Learning for Hydrometeorology and Environmental Science. Book series: *Water Science and Technology Library*, **99**, 204, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64777-3>.
20. *Tomorrow Company*, <https://www.tomorrow.io/blog/tomorrow-io-unveils-first-weather-climate-generative-ai/> (last accessed in 12.08.2024).

21. TRUST, 2016: Core Trustworthy Data Repositories Requirements. Version: 01.00. 2016. *ICSU, World Data System*, 14, http://www.coretrustseal.org/wp-content/uploads/2017/01/Core_Trustworthy_Data_Repositories_Requirements_01_00.pdf (last accessed in 02.10.2024).
22. Viazilov, E. D., S. S. Malakhov, and A. R. Askarov, 2024: Primeneniye tekhnologiy iskusstvennogo intellekta dlya podderzhki resheniy rukovoditeley predpriyatiy s ispolzovaniyem gidrometeorologicheskoy informatsii (Application of artificial intelligence technologies to support decisions of enterprise managers using hydrometeorological information). *Meteorology and hydrology*, **5**, 87–96.
23. Viazilov, E. D. and D. A. Melnikov, 2024: Povyshenie osvedomlennosti rukovoditeley predpriyatij morskoy deyatelnosti dlya adaptatsii k opasnym i ehkstremal'nym yavleniyam (Raising awareness among managers of marine enterprises to adapt to hazardous and extreme events). *Ocean Research*, **52** (2), 169–182, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(2\).9](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(2).9).
24. Viazilov, E. D., D. A. Melnikov, N. V. Chunyaev, and A. E. Kobelev, 2014: Metadannyye – osnova avtomatizatsii po sozdaniyu informatsionnoy produktsii (Metadata – the basis for automation of information product creation). Infrastructure of scientific information resources and systems. Collection of selected scientific articles. *Proceedings of the Fourth All-Russian Symposium* (St. Petersburg, October 6–8, 2014), Ed. by E. V. Kudashev, V. A. Serebryakov, Moscow, Computing Center of the Russian Academy of Sciences, **1**, 52–68.
25. Viazilov, E. D., N. N. Mikhailov, and A. E. Kobelev, 2007: Edinaya gosudarstvennaya sistema informatsii ob obstanovke v Mirovom okeane: integratsiya informatsionnykh resursov i metadannyye (Unified state system of information on the situation in the World Ocean: integration of information resources and metadata). *Fifth Anniversary Open All-Russian Conference “Remote Sensing of the Earth from Space”*, Moscow, IKI RAS, November 12–16, 2007. http://d33.infospace.ru/d33_conf/2008_pdf/2/9.pdf.
26. Viazilov, E. D., 2021: Tsifrovaya transformatsiya gidrometeorologicheskogo obespecheniya. Podkhody po realizatsii (Digital transformation of hydrometeorological support users – Implementation approaches), Obninsk, *RIHMI-WDC*, **1**, 356; **2**, 355.
27. Viazilov, E. D., 2024: Tsifrovyye dvoyniki i tsifrovyye modeli v oblasti nauk o Zemle. (Digital twins and digital models in the field of Earth sciences), *International Conference on Environmental Observations, Modeling, and Information System* (ENVIROMIS'2024), July 01–06, 2024. Russia, Tomsk, Selected papers, 220–226, https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs_web.pdf.
28. Zagorecki, Adam, David Johnson, and Jozef Ristvej, 2013: Data mining and machine learning in the context of disaster and crisis management. January 2013. *International J. of Emergency Management*, **9** (4), 351–365, <https://doi.org/10.1504/IJEM.2013.059879>.
29. *Zayavka na registratsiyu bazy dannykh “Lokalnyye porogovyye znacheniya pokazateley gidrometeorologicheskikh usloviy”* (Application for registration of the database “Local threshold values of hydrometeorological conditions indicators”). Rospatent, 2024.

Submitted 20.01.2025, accepted 27.06.2025.

For citation: Viazilov, E. D. and D. A. Melnikov, 2025: Perspective information technologies for ESIMO modernization. *Journal of Oceanological Research*, **53** (2), 176–194, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(2\).9](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(2).9).