

# Об использовании данных цифровых двойников в моделях, связанных с учетом воздействия окружающей среды на предприятия

Евгений Вязилов<sup>1</sup>, Денис Мельников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –  
Мировой центр данных, Обнинск, Россия  
[vjaz@meteo.ru](mailto:vjaz@meteo.ru), [melnikov@meteo.ru](mailto:melnikov@meteo.ru)

**Реферат.** Целью работы является определение предварительного состава моделей для оценки воздействий окружающей среды на предприятия, которые можно использовать для повышения эффективности гидрометеорологического обеспечения предприятий с использованием цифровых двойников объектов, отражающих состояние окружающей среды и деятельность предприятий, на которую воздействует среда. Предлагается использовать модели для расчета показателей оценки воздействия опасностей или изменений климата; прогнозов воздействий; оценки убытков; расчета стоимости мероприятий по защите предприятий; оценки целесообразности проведения превентивных мероприятий; оптимизации решений. Расширение использования прогностических, экономических, оптимизационных и других типов моделей при учете воздействий окружающей среды на предприятия требует интеграции данных, разработки унифицированной модели данных. Приведены требования к моделям, работающим с цифровым двойником. Представлены трудности при использовании моделей. Рассматриваются предложения по разработке отдельных моделей. Показана схема использования цифровых двойников при моделировании.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, типы моделей, окружающая среда, учет воздействий, предприятия.

## 1 Введение

Глобальные проблемы изменения климата нарастают, условия ведения бизнеса становятся трудными из-за сложности самих предприятий и растущей их зависимости от складывающихся гидрометеорологических условий (ГМУ). Много аналитических и прогностических моделей применяется для оценки изменения климата и прогнозирования погоды на глобальном, региональном и местном уровнях. Информация о состоянии окружающей среды используется для решения прикладных задач.

При огромном объеме гидрометеорологических данных предприятиям сложно понять, какие типы (наблюдательные, прогнозные или климатические) и виды (оперативные или исторические) данных следует «использовать в бизнес-процессах, зависящих от ГМУ. Одновременно с гидрометеорологическими данными [1] в некоторых моделях нужны экономические, финансовые, технические, социальные и другие сведения о предприятии. Если для наблюдаемых данных, результатов интерполяции и прогноза в узлы сетки используются стандарты Всемирной метеорологической организации, то в моделях, используемых для учета воздействий окружающей среды на предприятия, слабо используется стандартизация структур данных. В моделях должны использоваться интегрированные данные, полученные от различных доменов. Системы интеграции усваивают данные, которые поставщики данных предоставляют. Это приводит к фрагментарному представлению данных.

Автоматизация использования гидрометеорологических данных достигла такого уровня, что после регистрации значений параметров о состоянии окружающей среды можно получить комплексные показатели - комфортность, суровость погоды, климата и другие, которые вычисляются по простым формулам. В строительстве используются строительные нормы и правила [2], пособия типа [3], в которых отражены эмпирические модели, позволяющие рассчитывать снеговые и гололедные нагрузки на кровли домов, определять инженерную защиту территории от затопления. Для экономической оценки адаптации отраслей к изменениям климата используются программные средства [4].

Развиваются цифровые двойники (ЦД), в т. ч. и в области окружающей среды [1, 5, 6]. ЦД – это база данных нового типа, предоставляющая данные в стандартизированной структуре для выявления опасных явлений (ОЯ), «моделирования и прогнозирования воздействий ОЯ на» [7] предприятия, оценки ущерба и стоимости превентивных мероприятий, оптимизации и принятия решений [1, 8].

В моделях предлагается использовать ЦД объектов, отражающие состояние окружающей среды и деятельность предприятий. На основе ЦД появляется возможность моделировать условия эксплуатации и предсказать состояние предприятий при воздействии ОЯ. Потенциал ЦД заключается в способности доставлять данные моделям в составе атрибутов, которые необходимы для решения конкретных бизнес-процессов. Это направление доставки данных активно развивается.

## **2 Схема использования цифровых двойников при моделировании**

Модели для учета воздействий окружающей среды на предприятиях предназначены для:

- прогноза погоды на основе текущих данных;
- расчета показателей для оценки воздействий ОЯ или изменений климата;
- прогноза воздействий окружающей среды на деятельность предприятий;
- расчета возможных убытков;
- вычисления стоимости превентивных мероприятий;
- оптимизации решений.

Направлениями использования цифровых двойников в области учета состояния окружающей среды являются [6]:

1) *Моделирование развития новых промышленных районов.* При развитии новых промышленных районов, постройке, строительстве и эксплуатации предприятий ЦД позволит оценить сценарии расположения предприятий с учетом климатических условий, транспортных возможностей и экономических выгод. Это дает возможность выбрать сценарий развития с учетом экологической, гидрометеорологической и транспортной безопасности.

2) *Расположение предприятий внутри промышленного района и планирование доставки сырья и материалов между ними.* С помощью ЦД можно моделировать логистические операции, повышать скорость доставки материалов и сырья, оптимизировать бизнес-процессы предприятия (например, уменьшить время доставки, повысить безопасность доставки грузов и материалов).

3) *Аналитика и оптимизация решений.* На основе ЦД получается расширенная аналитика и производится оптимизация решений за счет выявления аномалий, превышений пороговых значений, расчета тенденций и других показателей состояния ГМУ для выдачи прогноза воздействий и рекомендаций.

4) *Управление рисками.* С помощью ЦД производится учет уровня опасности ситуаций, связанных с влиянием погодных условий, например, на работу транспорта, перевозимые грузы, операции погрузки-разгрузки.

Схема использования ЦД при моделировании представлена на рисунке 1.

ЦД рассматривается, как цифровое представление свойств окружающей среды и сопутствующих данных, связанных с социальными, экономическими, технологическими ситуациями, складывающимися на предприятиях. Прежде чем создавать ЦД, необходимо интегрировать неоднородные и распределенные данные в базу интегрированных данных. Для этого в Росгидромете используется Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), которая с 2014 года находится в постоянной эксплуатации [9]. Информационные ресурсы в этой системе хранятся в унифицированном виде и предназначены для применения в режиме самообслуживания на портале по адресу <http://esimo.ru>.

Для подготовки ЦД данные, необходимые для оценки уровня опасности и принятия решений на предприятии, объединяются из различных источников в два комплексных ресурса. Один из них представляет временные ряды показателей, а второй - данные в узлах сетки. Параллельно с интегрированными данными для некоторых моделей требуется дополнительная информация, например, прогнозы воздействий и рекомендации, которые можно уточнять с помощью моделей. Данные, не интегрированные в ЕСИМО,

доставляются до ЦД с помощью REST-сервисов. ЦД отражает, как данные по окружающей среде, так и другим сферам и они уже используются для моделирования воздействий окружающей среды на предприятия.

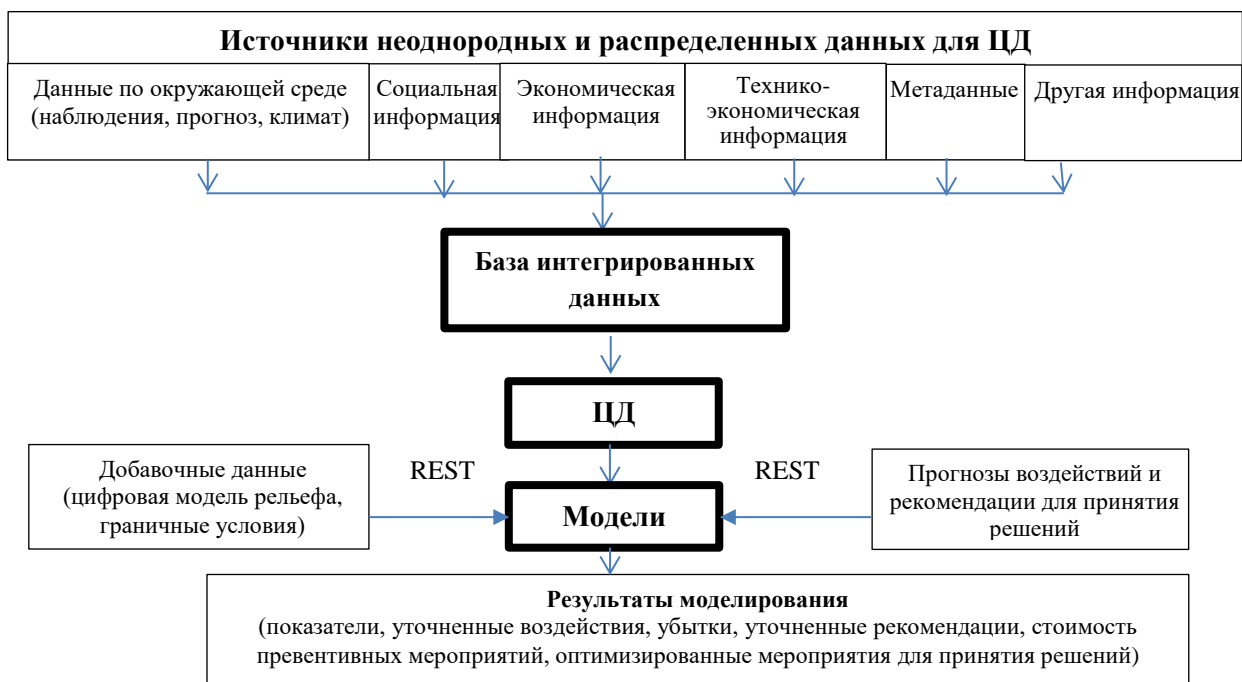


Рисунок 1. Схема использования ЦД при моделировании

Модели представляют собой, как программные модули, например, расчет снижения скорости судна от воздействия ветра, волнения, ледовой обстановки, так и комплексы программ, например, решение многокритериальных задач при наличии альтернативных проектов мероприятий с учетом критериев. Для расчетно-модельного комплекса моделирования разливов нефти, включенного в ЕСИМО, интегрированные данные регулярно готовятся и доставляются на сервер, где автоматически запускается модель [9, 10]. Результаты моделирования визуализируются на портале.

Вот несколько сценариев, позволяющих использовать возможности ЦД для:

- выявления ОЯ для конкретных предприятий на основе локальных пороговых значений показателей состояния ГМУ;
- получения данных по составу только тех, которые нужны для конкретного бизнес-процесса;
- использования не только данных о состоянии окружающей среды, но и «прогноза возможных воздействий ОЯ на деятельность предприятия, оценки ущерба, расчетов стоимости превентивных мероприятий» [5];
- моделирования воздействий ОЯ на бизнес-процессы предприятий;
- повышения осведомленности руководителей о складывающейся гидрометеорологической обстановке, воздействиях ОЯ на предприятия и возможных ущербах.

С помощью ЦД проводится анализ воздействий ОЯ и моделирование ситуаций на цифровой модели объекта, при которых происходят разрушения кровли крыш, аварии, порча продукции и т.п. Выполненное с помощью ЦД моделирование воздействий ОЯ на предприятия позволяет увидеть на цифровой модели новые опасные места или, например, недостаточную ветроустойчивость объекта. С помощью ЦД можно рассчитать показатели волноустойчивости, которому должны удовлетворять производственные объекты.

ЦД поможет перейти к использованию согласованных и стандартизованных структур данных в используемых моделях. Сложности при создании ЦД возникают при

синхронизации данных из различных источников и поддержке их актуальности. Поэтому данные для ЦД непрерывно загружаются, обрабатываются и доставляются потребителям на основе конвейера [10].

Пути, методы и средства для инженерных изысканий в области гидрометеорологии, включающие модели по расчету показателей состояния гидрометеорологической обстановки, оценке уровня опасности ОЯ и моделированию воздействий окружающей среды на морскую деятельность, отражены в пособии [3]. Далее кратко рассмотрим модели, которые используют данные из ЦД.

### 3 Описание моделей

#### 3.1 Модели прогноза погоды

Модели прогноза погоды (температуры воздуха, влажности, ветра, атмосферного давления) по пространству с различными пространственно-временными масштабами разрешения применяются в России и других странах [11, 12]. Эти модели на основе данных наблюдений, используя классические уравнения динамики и термодинамики атмосферы, интерполируют значения параметров в узлы регулярной сетки. Результаты работы этих моделей представляют элементы ЦД для обслуживания потребителей, выявления ОЯ и прогноза воздействий этих явлений на население и предприятия. Кроме того, полученные поля распределения наблюдаемых, расчетных и прогностических параметров используются для прогноза гидрологических, морских, сельскохозяйственных явлений, переноса загрязняющих и химических веществ. Например, рассчитывается прогноз направления и высоты волн или течений на основе ветра.

Сегодня потребители используют информационную продукцию, полученную на основе моделей анализа и прогноза. Продукция включает карты пространственного распределения отдельных параметров; таблицы с цифровыми данными; графики временного хода; описания сложившихся ГМУ, подготовленных на основе наблюдаемых данных. Детально познакомиться с информационной продукцией в форме результатов визуализации анализов и прогнозов можно на сайте Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru/>).

#### 3.2 Вычисление показателей оценки воздействий опасных явлений

Для некоторых явлений вместо превышений пороговых значений в наблюдаемых данных лучше использовать комплексные показатели, например, индекс суровости, комфортность погоды, показатель пожарной опасности, характеристики устойчивости предприятий к внешним воздействиям ОЯ (влаго-, морозо-, засухо-, ветро-, волноустойчивость). Примеры показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Примеры показателей

Показатели явлений	Пример
Индекс суммарного воздействия	Интегральная оценка загрязнения объекта
Пиковые концентрации	Максимальные концентрации выбросов загрязняющих веществ
Суммарное вредное воздействие	Суммарная доза ионизирующего воздействия
Время воздействия	Время нахождения человека в зоне воздействия загрязняющих веществ
Риск	Вероятность ОЯ умноженная на вероятность ущерба
Комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова	Сумма произведений температуры воздуха на разность между значением температуры воздуха и температуры точки росы после последнего дождя
Загрязнение сфер Земли	Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ
Локальные пороговые значения	Пороговые значения отдельных показателей (уровень воды, скорость ветра, другие), опасных для предприятий и видов деятельности
Средняя интенсивность явления	Среднее значение показателя явления за период прохождения ОЯ
Индекс ветрового охлаждения по Хиллу	Теплоощущение организма при различных температурах и скорости ветра
Индекс суровости климата (по Бодману).	Суровость зимы при низкой температуре воздуха и различной скорости ветра
Биоклиматический индекс суровости метеорологического режима (по В.Ш. Белкину)	Интенсивность потери тепла материальным телом или человеческим организмом в воздушном потоке с определенной температурой и влажностью

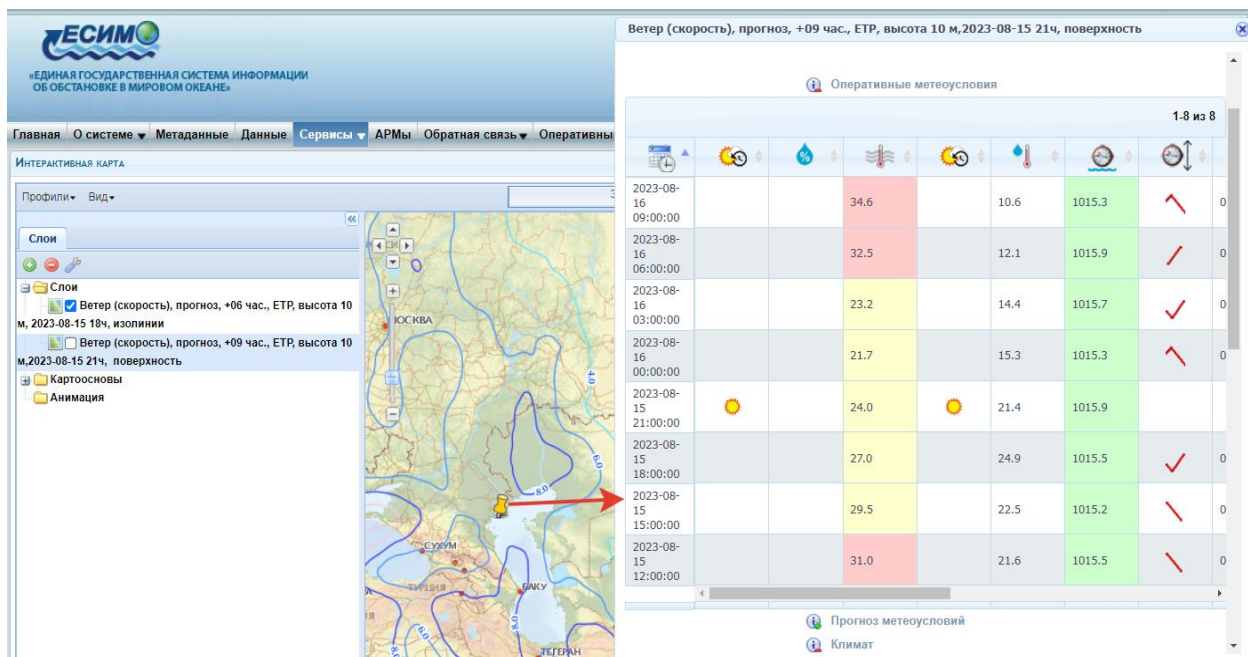


Рисунок 2. Результаты оценки уровня опасности для точки на карте

Эти показатели вычисляются по наблюдаемым и прогностическим значениям параметров на основе физических или эмпирических моделей. Результаты оценки уровня опасности отдельных показателей и предоставления наблюдаемых, прогностических и климатических данных в одном интерфейсе для выделенной точки на карте представлены на рисунке 2.

Продвинутое исследование по расчету показателя комфортности климата и погоды представлено в серии докладов на конференции [13, 14]. Кроме расчета показателя комфортности исследователи моделируют изменения значений этих показателей в зависимости от цвета крыши, плотности застройки, вариантов озеленения территорий.

### 3.3 Прогноз интенсивности воздействий

Прогнозы погоды используются для оценки влияния ОЯ на предприятия. Модели оценки воздействий условий среды на предприятия - это иногда сложные программные средства, они индивидуальны и разрабатываются по заказу, например, при строительстве гидротехнических сооружений, которые являются защитными сооружениями от наводнений, селей и т. п. Такие модели, как правило, используются только при проектировании крупных предприятий, позволяют оценить возможные воздействия с учетом характеристик этих объектов. С помощью метеопрогнозов вычисляется распространение вулканического пепла после извержения вулкана (<http://lits.cfebras.ru/assets/files/puff-uaf-2.2.2-1.tar.gz>) [15, 16].

Эмпирические модели основаны на связи между количественными значениями показателей изменения климата и результатами конкретных экономических процессов. Такие модели полезны при моделировании последствий для нескольких сценариев изменения климата. Например, при расчете высоты волнолома используется правило - чем выше поднимется уровень Мирового океана, тем выше должна быть высота дамбы. То есть надо найти компромисс между стоимостью дамбы высоты и суммарной ежегодной стоимостью ремонта.

Много моделей связано с предсказанием урожайности зерновых в засушливые годы; доставки товаров в торговую сеть при учете изменений потребностей населения в товарах в зависимости от погоды [17, 18]. Другими примерами моделей являются:



- оптимизация расположения предприятий и транспортных путей с учетом розы ветров, чтобы не заметало снегом;
- выбор параметров ледозащитных сооружений для объектов на берегу;
- оптимизация процессов складирования грузов в порту в зависимости от технических условий их хранения, например, грузов, подверженных воздействию высокой влажности, низких или высоких температур воздуха, осадков;
- повышение эффективности работы коммунальных служб - оптимизация отопления с учетом температуры воздуха на улице и розы ветров.

### **3.4 Оценка возможного ущерба**

Авария танкера приводит к экологической катастрофе. Список ущербов, вызванных разливом нефти, и затрат на ликвидацию последствий включает [19]: стоимость операций по очистке воды и побережья от нефти; снятие верхнего слоя почвы вдоль береговой линии; выплаты страховки за ущерб. Также возникает ущерб у рыбной промышленности (уменьшение уловов); владельца судна (утрата танкера или ремонт); собственника груза (утрата груза с нефтью); окружающей среды (загрязнение пляжей, гибель биоты).

Модели представляют собой, как небольшие программы, например, расчет опоздания с прибытием в порт назначения из-за уменьшения скорости судна от воздействия ветра и волнения, так и сложные пакеты прикладных программ, например, решение многокритериальных задач при наличии альтернативных предложений по проектам мероприятий. В МЧС России используются модели расчета [20]:

- возможных разрушений, числа погибших и раненных при землетрясениях;
- подъема воды по цифровой модели рельефа для вычисления продолжительности эвакуации, времени одного рейса-эвакуации;
- зоны распространения низового пожара с использованием направления и скорости ветра, относительной влажности, условий высыхания;
- времени остывания помещений до минусовых значений внутри помещения в зависимости от температуры воздуха снаружи и типа здания.

Программа «Расчет вероятного количества погибших и спасенных пострадавших с комбинированными повреждениями в морских катастрофах» позволяет «на основе информации о количестве пассажиров на судне, времени начала спасательной операции, температуры морской воды, удаленности от берега рассчитать количество погибших в катастрофе и структуру пострадавших» [21].

Если речь идет о сильном ледообразовании в порту, то необходимо знать потери от простоя судов, включая стоимость использования ледокола. Ущерб при эксплуатации судов включает стоимость простоя в порту из-за ожидания хорошей погоды; потери из-за увеличения времени перехода в связи со сложными погодными условиями; стоимость ремонта судна; потери прибыли за время аварии и ремонта; ущерб грузу и судовому имуществу; ущерб здоровью людей; выплаты за моральный ущерб; ущерб от гибели людей; стоимость буксировки, лоцманской или ледокольной проводки; вознаграждение за спасение; штраф, неустойка, неуплата фрахта в связи с опозданием доставки груза.

Материальный ущерб, связанный с ОЯ, включает: потери от простоя рабочих, стоимость неполученной продукции; оплату листов временной нетрудоспособности; стоимость ремонта испорченного оборудования, инвентаря, механизмов; порчу произведенной продукции (материалов); неполучение прибыли транспортными организациями; стоимость ремонта зданий; гибель объекта; прекращение работ предприятий; стоимость разрушенных, снесенных, смытых объектов; затраты на превентивные мероприятия и аварийно-восстановительные работы.

### 3.5 Расчет стоимости проведения превентивных мероприятий

«Для принятия решения, кроме возможного ущерба, необходимо знать стоимость превентивных мероприятий» [22]. До явления необходимо, например, укрыть грузы, боящиеся влаги, эвакуировать ценные грузы в безопасное место и т.п. Большинство расчетов стоимости превентивных мероприятий складывается из [23]:

- заработной платы, участвующих в превентивных мероприятиях;
- стоимости арендованной техники;
- стоимости программы обучения сотрудников противодействию воздействиям ОЯ;
- стоимости дополнительного оборудования для усиления мер безопасности;
- стоимости заблаговременного строительства защитных сооружений;
- затрат на эвакуацию людей, перемещение материальных и технических средств;
- стоимости расходных материалов;
- затрат на вынужденное перемещение материальных и технических средств, в «связи с простоями транспорта и прекращением отдельных видов производственных работ» [7].

Единовременные затраты производятся для конкретного предприятия один раз. Это может быть строительство дамбы, предотвращающей наводнение, или волнолома, препятствующего прохождению волн в бухту, где находится порт. Постоянные затраты относятся к единице времени, например, ежегодная подготовка жилищно-коммунального хозяйства к зимнему сезону; эксплуатация защитных сооружений.

### 3.6 Оптимизация проведения превентивных мероприятий

Используя результаты оценки ущербов и расчета стоимости превентивных мероприятий, можно провести оптимизацию решений. Модели оптимизации применяются

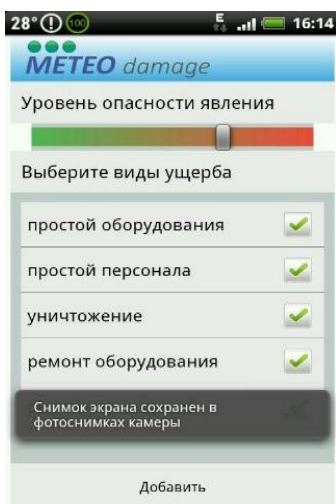


Рисунок 3. Пример модели оценки убытков и расчета стоимости превентивных мероприятий

в случае выдачи рекомендаций по проектам превентивных мероприятий, требующих больших материальных затрат на выполнение или необходимо рассчитать время на эвакуацию людей и имущества. Предложенные системой поддержки решений рекомендации уточняются с помощью математических моделей [24]. Демонстрационный вариант модели оптимизация решений по условию «Соотношение стоимости превентивных мероприятий к ущербу меньше 0,3» реализован в виде мобильного приложения, рисунок 2.

«Оптимальное решение (стратегия) – это хозяйственное решение потребителя, принимаемое на основании информации о состоянии окружающей среды и обеспечивающее получение максимального экономического эффекта, или минимального ущерба или обеспечение безопасности работ, людей, предприятий. В качестве критериев оптимальности могут выступать средние потери, минимальная вероятность потерь, превышающая некоторый заданный уровень максимально возможного ущерба, максимум прибыли, средний выигрыш, минимакс и др.» [24].

Оптимизация решений производится путем «определения разницы между ущербом и стоимостью превентивных мероприятий» [7], которая позволяет руководителю решить, проводить или не проводить превентивные мероприятия. Усложненная модель включает вероятность проявления (прогноза) ОЯ, а также рассматривает альтернативные варианты мероприятий.

Для некоторых ОЯ (сели, цунами, смерчи) «методы прогноза не всегда дают точные результаты, и руководитель оказывается перед дилеммой: применять или не применять защитные мероприятия при прогнозе возникновения ОЯ. У него имеется три стратегии: никогда не применять защитные мероприятия; всегда применять защитные мероприятия; применять защитные мероприятия выборочно, ориентируясь на интуицию

или дополнительную информацию» [7]. Использование экономических моделей (расчет ущерба и оценка стоимости превентивных мероприятий) позволяет иметь аргументированное решение по проведению тех или иных превентивных мероприятий.

Оценка ущерба носит вероятностный характер. При выработке решения руководитель не знает, какие значения будут принимать влияющие на ущерб показатели ОЯ в каждый момент времени, а может судить о распределении вероятностей этих значений. Поэтому потери потребителя тоже носят вероятностный характер. Чтобы выбрать то или иное решение в качестве экономически оптимального, необходимо сначала условиться о том, какая характеристика закона распределения потерь используется в качестве критерия оптимального решения. С этой целью применяются средние в статистическом смысле потери. Этот метод минимизирует потери, ожидаемые в среднем за бесконечно долгое время, и никак не ограничивает вероятность ущерба в каждый конкретный момент.

Целесообразно поставить вопрос об отыскании оптимальной хозяйственной стратегии, придерживаясь которой потребитель сводил бы риск к минимуму. Для отыскания такой стратегии применительно к каждой конкретной задаче строится модель, отражающая реакцию объекта на условия среды и позволяющая построить функцию полезности – зависимость затрат, ущерба, прибыли при ГМУ в виде матрицы с расчетом максимальных, минимальных и средних затрат. Критериями принятия решений при неопределенности являются критерии Лапласа, Сэвиджа, Гурвица, минимакс [24]. Эти критерии можно использовать для определения оптимального значения затрат, например, для минимизации затрат на строительство дамбы от наводнения и проведения превентивных мероприятий при разных вероятностях наводнения [1].

Примеры других оптимизационных задач представлены ниже:

- оптимизация выделения складских помещений для грузов, боящихся воздействий окружающей среды (скоропортящиеся грузы, или грузы, боящиеся низких температур, осадков и др.);
- буксировка опасных, ценных или крупногабаритных грузов на большие расстояния с опасными гидрометеорологическими условиями;
- расчет прибыли порта при учете сроков вскрытия припая в арктических портах;
- оптимизация «размещение грузов в портах Мурманск, Архангельск или Владивосток для дальнейшего завоза в Арктику» [1].
- «выбор оптимального варианта эвакуации грузов при наводнении в порту с учетом уровней опасности» [1];
- «использование штормовых оповещений о сильном ветре и волнении в порту» [1] для прекращения работ при увеличении скорости ветра  $>15$  м/с;
- рекомендованные курсы следования судов в зависимости от скорости ветра, высоты волн и ледовых условий.

#### **4 Требования к моделям**

##### **4.1 Требования к математическим, экономическим и другим типам моделей, используемых для воздействий окружающей среды на предприятия**

Трудностями при использовании моделей, являются [1]:

- дефицит открытых данных;
- незрелость и отсутствие междисциплинарного диалога при аналитике данных, полученных из источников;
- необходимость расширения междисциплинарных исследований, посвященных моделированию воздействий окружающей среды на предприятия;
- объем данных, представляемых руководителям предприятий в виде карт, диаграмм, графиков, таблиц, что затрудняет анализ в режиме онлайн и требует автоматизации аналитических функций;



- необходимость расширения интеграции разнородных и распределенных данных из других доменов;

Учитывая эти трудности, выработаны следующие требования к моделям:

- модели готовы к повторному выполнению в любое время и для них готовы необходимые актуальные данные из ЦД;
- модели работают в распределенной среде;
- доставка данных до моделей происходит в форматах обмена JSON или XML с помощью REST-, веб- или API-сервисов;
- модели прогноза автоматически запускаются в установленные регламентом сроки, связанные с поступлением новых порций данных;
- модели предоставляют результаты в виде информационных панелей;
- модели легко масштабируются для получения результатов в нескольких пространственно-временных масштабах разрешения сетки для объектов.

#### **4.2 Требования к модели данных цифрового двойника**

Широкое использование данных ЦД в моделях требует использования универсальной модели данных. В статье [25] рассматриваются предложения по созданию такой модели данных. Объектами такой модели являются реестры, справочники и перечисления. Реестры - представляет собой записи с набором атрибутов и значений, а также связи между записями, относящиеся к одной предметной области (состояние окружающей среды, финансовые показатели предприятия и т.п.). Справочники – это классификаторы, используемые в реестрах. Перечисления – список возможных значений для атрибутов, имеющих множественные значения. За счет перечислений в одном атрибуте хранится несколько значений одного свойства объекта. Для реализации этой модели данных применяются следующие принципы:

- объекты ЦД хранятся в одной модели данных;
- каждый цифровой объект ЦД включает уникальный идентификатор;
- цифровые объекты имеют одинаковые поисковые атрибуты;
- каждый цифровой объект имеет метаданные, что облегчает их поиск;
- модель данных для ЦД позволяет хранить данные для точки в виде временного ряда и пространства - в узлах регулярной сетки;
- множественные значения для каждого свойства объектов записываются в одном атрибуте в виде списка значений через разделитель.

Модели в зависимости от задачи используют два типа структур данных:

- временные ряды, отражающие метаданные - сведения о временных рядах (временное разрешение, координаты точки, название пункта, имя параметра, другие) и множественные значения в виде списка для одного параметра;
- данные в узлах регулярной сетки, включающие сведения о свойствах сетки и каждого поля (координаты района, дата-время, использованная модель интерполяции, шаг сетки, имя параметра и другие атрибуты метаданных); множественные значения атрибутов для узлов сетки в виде координат точки - широта, долгота и значения параметров.

Достоинством такой модели данных является то, что свойства любого элемента ЦД хранятся в одной структуре. Модель данных ЦД позволяет усваивать новые виды данных из других доменов. Имя и формат хранения атрибутов определяется через Единый словарь параметров [26]. Связи с другими объектами и классификаторами организуются как в реляционной системе управления данными в виде ссылок.

#### **Заключение**

ЦД отражает состояние окружающей среды и деятельность предприятий в четырёхмерном пространстве (широта, долгота, высота, время) в виде временных рядов и

данных в узлах регулярной сетки. ЦД создается путем интеграции неоднородных и распределенных данных из различных источников. Получаемый цифровой аналог состояния окружающей среды в виде значений параметров среды и экономических показателей предприятий, позволяет отслеживать показатели опасности окружающей среды для предприятий, моделировать и прогнозировать возможные воздействия окружающей среды на деятельность предприятий, а также оптимизировать принятие решений по проведению превентивных мероприятий.

Представлены подходы по использованию данных ЦД для оценки влияния окружающей среды на деятельность предприятия с помощью математических, экономических моделей для расчета показателей устойчивости предприятий к воздействиям среды; идентификации ОЯ; прогноза воздействий; оценки ущерба, стоимости превентивных мероприятий и оптимизации решений.

Для использования моделей предложена унифицированная модель данных ЦД для объекта, хранящего все его свойства в виде одной таблицы. Это позволяет иметь связи как между объектами разных доменов, так и отдельными экземплярами свойств среды и предприятия, относящимися к одному моменту времени.

Модели, использующие данные из ЦД, помогут руководителям получать сведения об ОЯ на основе локальных пороговых значений и принимать оптимизированные решения. Это позволит оптимизировать бизнес процессы, сократить ущерб от воздействия ОЯ и изменений климата, повысить эффективность работы предприятия.

**Благодарности:** Исследование проведено в рамках программы «Цифровой двойник Каспийского моря», осуществляемой в рамках деятельности Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО, связанной с Десятилетием наук об океане в интересах устойчивого развития ООН (2021-2030 гг.).

#### Список литературы

1. Вязилов Е.Д. Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения потребителей. Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД, том 2. Направления использования. 2022, 356 с.
2. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНИП 2.06.04-82. Госстрой СССР, Стройиздат. М., 1986, 40 с.
3. Инженерно-гидрометеорологические изыскания на континентальном шельфе. М., Гидрометеоздат, 1993, 377 с.
4. European Union's project ECONADAPT Toolbox provides easily accessible information on the economic assessment of adaptation. <https://econadapt-toolbox.eu/easy-access-guide>. Accessed: 8 February 2019.
5. Вязилов Е.Д. Цифровой двойник для окружающей среды. Сборник трудов Международной конференции 'ENVIROMIS 2022' и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (ИМКЭС СО РАН, Томск, 12-17 сентября 2022), р. 323-326.
6. Viazilov E.D. About Creating a Digital Twins in Field of Earth Sciences. International Journal of Applied Sciences & Development, ISSN / E-ISSN: / 2945-0454, Vol. 1, 2022, Art. #6. DOI:10.37394/232029.2022.1.6. [https://wseas.com/journals/asd/2022/a12asd-006\(2022\).pdf](https://wseas.com/journals/asd/2022/a12asd-006(2022).pdf). Published: December 31, 2022, р. 42-51.
7. Вязилов Е.Д. Новые подходы по доведению информации об опасных гидрометеорологических явлениях и повышению информированности лиц, принимающих решения. Конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». XVI Всероссийская научная конференция. Москва, 27-28 сентября 2017 г. Сборник материалов. М., МЧС России, ФКУ «Антистихия», 2017, с. 40-44.
8. Viazilov E.D. From Informing Users about Disasters to Issuing a Forecast of Possible Impacts and Recommendations. J. "Engineering World", vol. 4, 2022. <https://wseas.com/journals/ew/2022/a12engw-5115-806.pdf>, р. 34-43.
9. ЕСИМО. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. 2013. URL: <http://esimo.ru>. Доступ: 04.01.2023.
10. Viazilov E.D., Melnikov D.A. and Mikheev A.S. On the development of a pipeline for processing hydrometeorological data. Supplementary Proceedings of the XXIII International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2021). <http://ceur-ws.org/Vol-3036/paper08.pdf>
11. Ольчев А.В., Розинкина И.А., Кузьмина Е.В., Никитин М.А., Ривин Г.С. Influence of forest cover changes on regional weather conditions: estimations using the mesoscale model COSMO. Публикуется по лицензии IOP Publishing Ltd. Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде, том 107, 3-я Международная конференция «Окружающая среда и устойчивое развитие территорий: экологические вызовы XXI века» 27–29 сентября 2017 г., Казань, Российская Федерация, 2018.

12. Динамика поля геофизического параметра атмосферы над акваториями Мирового океана: интегральное влагосодержание атмосферы (TPW), водозапас облаков (CLW) и скорость приповерхностного ветра (WND). Шаг по времени – 3 часа. Шаг сетки – 0,25°. <http://fire.fryazino.net/tpw>.
13. Коспанов А.А., Константинов П.И. Сравнение влияния зеленых и белых крыш на городской остров тепла на примере 3 волн жары в Москве. Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. (CITES '2023'). 13-23 июня 2023, М., Россия, с.68-69.
14. Левищева Т.П., Константинов П.И. Применение локальных метеорологических моделей для воспроизведения городского микроклимата на примере Москвы. Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. (CITES '2023'). 13-23 июня 2023, М., Россия, с.83.
15. Сорокин А.А., Королев С.П., Гирина О.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Романова И.М., Мальковский С.И. Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки. Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2016, том 13, no.4, с. 9–19.
16. Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Геопортал спутникового радиотепловидения: данные, сервисы, перспективы развития. Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2016, том 13, no. 3, с. 46–57.
17. Методика определения размера, вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений. Утв. Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007.
18. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. СПб., Гидрометеиздат. 2005, 490 с.
19. Ивченко А.А., Зацепя С.Н., Солбаков В.В., Журавель В.И. Модельный комплекс SPILLMOD-RA для расчета статистических характеристик распространения разливов нефти в море на основе тематического набора данных реанализа метеорологических полей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Номер свидетельства: RU 2020665648. 2020. Номер заявки: 2020664664.
20. Алабян А.М., Зеленцов В.А., Крыленко И.Н., Петрясаев С.А. Масштабируемая региональная система мониторинга и оперативного прогнозирования речных наводнений: результаты разработки и тестирования. М., МЧС России, 2018, с.11.
21. Закревский Ю.Н. Обоснование системы оказания медицинской помощи и лечения пострадавших в морских катастрофах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук по специальности 05.26.02 - «безопасность в чрезвычайных ситуациях». Архангельск, ГБОУ «Северный государственный медицинский университет», 2013, 40 с.
22. Вязилов Е.Д., Чуняев Н.В. О смене парадигмы гидрометеорологического обслуживания сведениями об опасных явлениях. Труды Гидрометцентра России, 2016, вып. 362. Гидрометеорологические прогнозы. Под редакцией д-ра геогр. наук Е.С. Нестерова, с. 224-235.
23. Чуняев Н.В. Информационная поддержка управления морской деятельностью в случае опасных природных явлений. В сб.: Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 578, 2015, с.156–173. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24841001>.
24. Мадера А.Г. Математические модели и принятие решений в управлении: Руководство для топ-менеджеров. М., URSS, 2021, 684 с.
25. Viazilov E.D., Puzova N.V., Mikheev A.S., Melnikov D.A. Choosing a Data Model for the Environmental Digital Twin. Supplementary Proceedings of the XXIV International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains (DAMDID/RCDL 2022). Pleiades Publishing, Ltd. (hereinafter referred to as the "Publisher". Special issue of the Lobachevskii Journal of Mathematics, 2023, том 44. no. 1, pp. 237-248. DOI: 10.1134/S1995080223010444.
26. Единый словарь параметров. Свидетельство об официальной регистрации базы данных. № 2007620041, 2007.