

Развитие средств адаптации к экстремальным явлениям, связанным с изменениями климата

Е.Д. Вязилов

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных,
Россия, 249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6

Адрес для переписки: vjaz@meteo.ru

Реферат. Гидрометеорологическое обеспечение (ГМО) на основе современных ИТ-достижений, направленное на развитие новой парадигмы ГМО, провозглашенной ВМО и связанной с прогнозом воздействий и выдачей рекомендаций для принятия решений, только развивается и имеет определенные барьеры. Недостаточна осведомленность руководителей о возможных воздействиях экстремальных явлений на деятельность предприятий и отсутствие формализованных сведений о воздействиях и рекомендаций для принятия решений. Существующие сайты с гидрометеорологической информацией ориентированы на самообслуживание. Огромные объемы информации требуют существенного повышения уровня автоматизации и ее использования. В статье рассмотрены комплексные предложения по цифровой трансформации ГМО руководителей предприятий. Предлагается:

- развивать интеграцию разнородных и распределенных данных;
- создавать сквозную технологию получения климатических обобщений, выявления трендов и экстремальных явлений на основе конвейерной технологии – от наблюдения до принятия решений;
- организовать автоматическое доведение штормовых предупреждений за счет использования базы данных локальных пороговых значений по уровням опасности для каждого предприятия и вида деятельности на нем для идентификации экстремальных явлений;
- прогнозировать воздействия экстремальных явлений,
- выдавать рекомендации;
- оптимизировать решения.

С помощью конвейерной технологии можно организовать непрерывное производство информационной продукции для ГМО.

Ключевые слова. Гидрометеорологическое обеспечение, персонализация доставки данных, прогноз воздействий, выдача рекомендаций, адаптация.

Development of tools for adaptation to extreme events associated with climate change

E.D. Viazilov

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center,
6, Koroleva st., 249035, Obninsk, Kaluga region, Russian Federation

Correspondence address: *vjaz@meteo.ru*

Abstract. Hydrometeorological support (HMS) based on modern IT achievements, aimed at the development of the new HMS paradigm proclaimed by WMO and related to the impact forecast and the issuance of recommendations for decision-making is only developing and has certain barriers. There is insufficient awareness of enterprises heads about the possible impacts of extreme events on the activities of enterprises and the lack of formalized information about impacts and recommendations for decision-making. Existing web sites with hydrometeorological information are oriented towards self-service. Huge amounts of information require a significant increase in the level of automation of its use. The article for the first time considers comprehensive proposals for the digital transformation of HMS for enterprises leaders. It is proposed:

- develop the integration of heterogeneous and distributed data;
- create an end-to-end technology for obtaining climate generalizations, identifying trends and extreme events based on a pipeline technology - from observation to decision-making;
- to organize automatic storm Messages deliver by using a database of local threshold values for dangerous levels for each enterprise and type of activity on it;
- predict impacts extreme events;
- issue recommendations for decision-making;
- assess damage, calculate the cost of preventive actions and optimize decisions.

With the help of the pipeline technology, it is possible to organize the continuous production of information products for HMS.

Keywords. Hydrometeorological support, personalization of data delivery, impacts prediction, issuing recommendations, adaptation.

Введение

Для адаптации к экстремальным явлениям руководителям предприятий необходимо знать, как тенденции изменения климата на ближайшие десятилетия повлияют на стратегическое развитие промышленных районов, строительство крупных защитных сооружений; что может произойти под воздействиями экстремальных явлений и что надо делать, чтобы уменьшить или предотвратить эти воздействия. Развитие адаптации предприятий и населения с учетом дефицита сотрудников требует развития автономного персонализированного обслуживания. Гидрометеорологическое обеспечение (ГМО)

требует использования климатических обобщений, сверхдолгосрочных, долгосрочных и краткосрочных прогнозов, данных наблюдений, а также информации из других секторов, необходимой для принятия решений и касающейся управления предприятиями, экономики, финансов, социальной сферы.

Климатические показатели (повторяемость, вероятность явлений, аномалии от климатических значений) учитываются всегда при любом экстремальном явлении и даже в обычных условиях прогнозисты говорят «ситуация близка к климатической норме». Нельзя адаптировать предприятия к климатическим событиям, не повысив их осведомленность о проведении тактических и оперативных мероприятий в период возникновения экстремальных погодных явлений. Предупреждение, которое не доставлено или не понято, не может быть использовано. Большинство людей, переживших крупные стихийные бедствия, говорят, что видели штормовое предупреждение, но они не знали, что может произойти и что надо делать. Только комплексный подход на основе учета всех типов данных – климатических, прогностических и наблюдаемых – для каждого предприятия позволит правильно организовать проведение стратегических, тактических и оперативных мероприятий до, в период и после явления.

Руководители предприятий и органов государственного управления несут полную ответственность за все, что происходит на объекте. Если они не учтут увеличение вероятности наводнений и заранее не подготовятся к нему, то ущерб в период наводнений будет выше. Если не использовали прогностические и наблюдаемые данные для проведения тактических и оперативных мероприятий, то ущерб увеличится тоже.

В последнее десятилетие данные стали большими, распределенными и неоднородными, они не должны быть привязаны к конкретным программным средствам и численным моделям. Главная цель развития происходящей сейчас цифровой трансформации в области ГМО – это повышение эффективности бизнес-процессов предприятий, зависящих от происходящих экстремальных явлений.

Уже сейчас имеется значительное количество источников данных по различным сферам Земли, которые можно использовать для адаптации. Многие руководители предприятий еще недостаточно хорошо ориентируются в источниках гидрометеорологической информации, включая изменения климата. Доставка данных в цифровом виде одновременно наблюдаемых, прогностических данных и климатических обобщений пользователям в одном интерфейсе пока реализована только в отдельных системах, например, (Copernicus Open Access Hub, 2017; ЕСИМО, 2013).

Развитие ГМО руководителей различных отраслей должно строиться на современных ИТ-достижениях. Это интеграция данных; информационное производство для выявления трендов, экстремальных явлений, расчетов показателей (пожароопасности, ветроустойчивости, комфортности погоды и климата и других); подготовка цифровой продукции; получение климатических обобщений; организация автоматического доведения информации; прогнозирование возможных воздействий экстремальных явлений, получение реко-

мендаций для принятия решений. Необходимо организовать автономную сквозную систему обработки гидрометеорологических данных – «от наблюдения до принятия решений» (Allis at al., 2019; Вязилов, 2022).

Создание новых средств для работы с данными, таких, как регулярный обмен данными между системами ГМО и информационными системами предприятий; автоматическая доставка данных, когда это необходимо, – это ближайшее будущее. Руководителям предприятий необходима персонализированная оперативная доставка необходимых им климатических обобщений, прогностических и наблюдаемых данных, информации о возможных воздействиях экстремальных явлений на предприятия и население. Все это должно повысить осведомленность руководителей о складывающейся гидрометеорологической обстановке (Вязилов, Чуняев, 2015).

Перспективные методы использования гидрометеорологической информации руководителями предприятий

Сквозная обработка данных

Сегодня гидрометеорологам доступен огромный набор инструментов и технологий, которые могут использоваться для ГМО. Непрерывная интеграция данных создает определенные сложности при управлении запусками этих инструментов, отслеживании их работоспособности. Результаты работы каждого инструмента применяются другими программными компонентами, либо передаются пользователям. Это достаточно сложный процесс, который приводит к неэффективной схеме обработки данных. Возникает многократное дублирование данных не только в различных странах, но и даже в одной стране. Создаются похожие базы данных (БД), отличающиеся как по составу параметров, так и по периодам наблюдений, методам их обработки. В существующих схемах получение цифровой продукции еще не оформлено в виде сервисов сквозной схемы обработки данных.

При адаптации к экстремальным явлениям должны широко использоваться различные виды данных – результаты наблюдений, штормовые предупреждения, анализы, прогнозы различной заблаговременности, включая климатические обобщения различного пространственно-временного масштаба. Руководители используют эту информацию через экспертов. И только некоторые организации регулярно получают, загружают и включают данные в автоматизированные бизнес-процессы предприятия. Например, ПАО «ГАЗПРОМ», НК «РОСНЕФТЬ» имеют соответствующие подразделения, занимающиеся ГМО разведки и организации добычи нефти и газа. Сейчас они получают климатические обобщения в виде электронных пособий, прогностические данные в виде карт изолиний или текста для точки, наблюдаемые данные в виде карт значений параметров или таблицы с информерами для точки. Эти организации готовы к автоматизированному обслуживанию. У них есть собственные специалисты по интерпретации полученной информации. Климатические обобщения используются для прогнозов изменений кли-

мата и моделирования воздействий на предприятия в основном при строительстве крупных промышленных объектов или развитии новых районов добычи. Наступил момент, когда гидрометеорологическая информация должна быть включена в автоматизированные бизнес-процессы предприятий. Например, при планировании доставки продукции и материалов требуется выявление «окон погоды» для транспортировки особо опасных, или ценных, или крупногабаритных грузов. Затем на выбранный наиболее безопасный период доставки составляется долгосрочный прогноз погоды по маршруту транспортировки, уточняется период и принимается решение о дате отхода транспорта. После начала транспортировки производится оперативное обеспечение транспорта наблюдаемыми, прогностическими значениями параметров погоды и штормовыми предупреждениями.

Развитие сквозной обработки данных связано с использованием подключенной внешней инфраструктуры (4 ways ..., 2022), в состав которой могут входить автоматические метеорологические станции, автономные гидрологические комплексы и другие средства измерений (СИ) Росгидромета. Эти средства должны сочетать методы Интернет-вещей для автономного сбора данных, аналитики в режиме реального времени, выявления аномалий от климатических значений и использования их при принятии решений (Вязилов, 2016).

Интеграция данных подняла такие вопросы, как создание открытых наборов данных, стандартизация структур данных, включая единое именование атрибутов, использование общих классификаторов различных сущностей, развитие множества объектов метаданных (ЕСИМО, 2013), соответствие наборов данных и метаданных FAIR-принципам (FAIR Principles, 2018) – поискость, доступность, интероперабельность, повторное использование.

Имеющиеся в национальных гидрометеорологических службах вычислительные инфраструктуры создают необходимые основы использования гидрометеорологической информации для адаптации. Проблемой при этом является доказательство ценности гидрометеорологической информации для бизнес-процессов предприятий и отсутствие заинтересованности руководителей предприятий в повышении эффективности использования таких данных.

Отдельные предприятия уже переходят на данные, напрямую получаемые от существующих внешних и внутренних СИ, минуя государственные наблюдательные сети. Например, устанавливаются СИ в морских и речных портах, на буровых платформах, аэропортах, дорогах и других крупных производственных и инфраструктурных объектах. Это позволяет более оперативно получать информацию об экстремальных явлениях. Компьютеры должны обрабатывать данные от автоматических станций сразу после измерения и отправлять руководителям сведения о превышении пороговых значений или аномалиях от климатических значений.

Появление новых программных инструментов и платформ уменьшило объем разрабатываемого программного обеспечения. Но оно также породило новые трудности, связанные с организацией межмашинного взаимодействия между различными комплексами программ. Один инструмент должен подго-

товить данные, а другой их «подхватить» и продолжить обработку данных. Например, результаты интерполяции данных в пространстве должны использоваться геоинформационными системами для представления данных на карте в виде изолиний результатов анализов и прогнозов, выявления районов экстремальных явлений и прогноза их возможных воздействий на предприятия и население. Пополненные временные ряды, подвергаемые контролю и исключению пропусков за счет интерполяции значений во времени, должны передаваться в различные статистические пакеты для корреляционного, спектрального и других анализов. Результаты промежуточной обработки данных должны сохраняться, чтобы их можно было использовать в других комплексах программ. Стоимость хранения этих данных будет меньше, чем их повторная обработка. Чтобы их быстро найти, каждый из них должен иметь свои метаданные.

Время выполнения полной цепочки обработки данных различными инструментами от наблюдения до принятия решения иногда может составлять несколько часов. Руководитель не должен ждать окончания всех процессов обработки данных, он должен получать сразу после окончания соответствующего этапа их обработки. Например, после выявления экстремальных ситуаций на основе данных наблюдений нужно сразу отправлять сведения о них руководителям предприятий.

Для многих администраторов, эксплуатирующих сквозную схему обработки данных, очень трудно выяснить первопричину возникшей ошибки. У них не хватает информации, чтобы понять, несут ли они ответственность за эту ошибку. А проблема чаще всего связана с данными: почему новая порция данных не поступила, или поступила, но с опозданием, или поступила, но с ошибками, не в полном объеме. Сквозная схема потоковой обработки данных с помощью конвейера становится управляемой на основе информации о состоянии обработки на том или другом этапе, а это существенно повышает уровень автоматизации (Вязилов, 2022).

Для отслеживания работоспособности сквозной схемы (Viazilov et al., 2021; Вязилов, 2022) должны быть разработаны средства мониторинга работы аппаратно-программных средств, состояния обработки, получения и обслуживания цифровой информационной продукцией. Эти средства позволят администратору сквозной технологии видеть весь процесс обработки данных, управлять им и вмешиваться в этот процесс, если возникнет внештатная ситуация.

Благодаря сквозной схеме обработки данных и широкому использованию сервисов доступа к ним разработчикам больше не нужно будет вручную подключать новые инструменты к тем или иным данным. Система на основе метаданных определит, какими инструментами можно обработать те или иные создаваемые в процессе обработки наборы данных. Например, если данные измерены в одной точке, имеют регулярное временное разрешение и каждое значение имеет атрибут метаданных «Время измерения», то для этих данных можно строить графики временного хода изменений параметров; если имеются координаты местоположения, то можно подключать геоинформационную систему.

При этом необходимо описать в метаданных сведения об используемых, вычисляемых, смоделированных наборах данных; сервисах Application Programming Interface (API) для доступа к ним; источниках исходных данных (наблюдательных платформах, организациях, БД), экспертах по данным и других объектах метаданных. Схема информационных потоков данных должна быть понятна всем; обладать возможностью расширения, как по составу данных, так и методам их обработки; позволять оптимизировать информационные потоки. С помощью такой схемы станет понятно, какие показатели, на основе каких данных получаются. Если возникает новая задача (реализация сервиса, получение новой информационной продукции), то включить ее в схему обработки становится проще.

Когда схема информационных потоков готова, нужно уточнить показатели, которые можно получить с помощью расчетов, определить правила их расчета и контроля (область допустимых значений, экстремальные значения), назначить показатели, которые можно прогнозировать. При управлении бизнес-процессами предприятий, зависящими от гидрометеорологических условий, выиграют те, кто лучше понимает, что происходит в сквозной схеме обработки данных, что может получить руководитель на различных этапах обработки данных.

Единственный способ повысить актуальность данных для руководителя (уменьшить разницу между временем использованием данных и временем наблюдений) – это потреблять данные в виде потока, а не через запросы и ответы. При обмене данными используются решения по событийному управлению API сервисами для получения доступа к постоянно обновляемой информации. Если необходимо предоставлять руководителям потоки информации, нужно обеспечить, чтобы потребители API знали об изменениях в данных сразу после их поступления.

«Сервисы Representation State Transfer (REST) помогут расширить использование данных, создать новые цифровые продукты. Синхронный режим запроса-ответа REST API – это один из способов, с помощью которого предприятия могут (What is a REST API, 2000) организовать взаимодействие своих приложений с системой ГМО. К более современным вариантам обмена данными относятся протокол Web Socket (The Web Socket API, 2011) и язык запросов Graph QL (Aquery language for your API, 2015). Web Sockets обеспечивает двустороннюю потоковую связь между программными компонентами, позволяя передавать в реальном времени различные потоки информации. Язык запросов Graph QL дает доступ к данным на основе запросов к связанным объектам, позволяя пользователям перемещаться по данным.

Сквозная схема обработки данных уже более 10 лет используется в (ЕСИМО, 2013). Все процессы от загрузки до доставки и визуализации данных происходят автономно без вмешательства операторов и администраторов системы. Эту схему требуется нарастить новыми прикладными сервисами и различными типами моделей – от прогноза отдельных параметров в точке до прогноза воздействий. При этом широко используется Единый словарь параметров в области гидрометеорологии и морской деятельности, общие коды и

классификаторы, включающие более 550 международных, национальных, ведомственных и локальных классификаторов. Для повышения качества информационных ресурсов в системе реализована методика автоматизированной оценки каждого информационного ресурса принципам FAIR (FAIR Principles, 2018).

Персонализация обслуживания

Персонализация обслуживания – это не просто адресная рассылка сообщений, а участие поставщика данных в организации бизнес-процессов предприятий, на которые воздействуют экстремальные явления. Поэтому организации Росгидромета должны понимать уникальность потребностей руководителей предприятий. Поставщики данных должны выдавать информацию только тогда, когда опасные значения показателей прогнозируются или уже проявляются. А руководители должны использовать эти сообщения для адаптации своих бизнес-процессов к сложившимся гидрометеорологическим условиям.

Доставить наблюдаемые или прогностические данные это уже хорошо, но еще лучше иметь прогноз возможных воздействий. Не надо ждать достижения показателей экстремальных явлений пороговых значений, надо заранее готовиться к воздействиям на основе анализа трендов и сверхдолгосрочных прогнозов погоды и климата. Необходимо показать руководителям реальную пользу от использования данных об окружающей среде. Когда руководители освоят оперативную аналитику на основе гидрометеорологических данных, у них появится фундамент, на котором они смогут создавать новые цифровые продукты и предлагать эффективные решения. Для этого необходимо быть уверенным, что данные доступны и соответствуют требованиям руководителей по актуальности, оперативности доступа, качеству и полноте. Архитектура прикладного программного обеспечения для перспективного ГМО приведена на рис. 1.

Информационные сервисы для ГМО

Информационные сервисы для ГМО включают:

- доставку наблюдаемых, прогностических данных и климатических обобщений;
 - идентификацию экстремальных явлений по уровням опасности;
 - предоставление сведений о состоянии пунктов наблюдений;
 - получение информации о деятельности промышленных предприятий;
 - прогноз возможных воздействий экстремальных явлений на предприятия;
 - предоставление дополненной реальности для повышения осведомленности;
 - оценку возможного ущерба от экстремальных явлений;
 - выдачу рекомендаций для принятия решений;
 - расчет затрат на превентивные предприятия;
 - оптимизацию решений на основе сравнения ущерба и затрат.



Рисунок 1. Архитектура прикладного программного обеспечения системы ГМО

Figure 1. Software architecture for the hydrometeorological support system

Как увязать гидрометеорологическую информацию и сведения о воздействиях на объекты в единый поток?

Для идентификации экстремальных ситуаций необходимо создать БД локальных пороговых значений для различных объектов, видов деятельности, по трем уровням опасности для всех показателей. На основе потоков оперативных данных, поступающих по Глобальной системе телесвязи, с помощью БД локальных пороговых значений производится идентификация экстремальных явлений в потоках наблюдаемых и прогностических данных. Для каждой ситуации (до, в период и после явления), вида деятельности и уровня опасности дается прогноз возможных воздействий и список рекомендаций. При этом предлагается учитывать наблюдаемые, прогностические данные разной заблаговременности (от нескольких дней до нескольких лет) и климатические обобщения, например, в виде повторяемости явлений, которые рассматриваются как отдельные ситуации. Большинство специалистов климатологов считает увеличение количества и интенсивности экстремальных явлений как проявление изменений климата, поэтому в предложенную идею описания ситуаций для поддержки решений укладываются и климатические обобщения.

Для экстремальных явлений необходимо рассматривать их воздействия и проводить адаптационные мероприятия:

- до явления с использованием климатических данных, сверхдолгосрочных, долгосрочных и краткосрочных прогнозов в виде стратегических и тактических мероприятий;
- в момент явления – наукастинг прогнозы и наблюдаемые значения для выполнения оперативных мероприятий;
- после явления – наблюдаемые данные и краткосрочные прогнозы для проведения оперативных аварийно-спасательных мероприятий.

Сейчас потребители в зависимости от необходимости или наличия данных сами принимают решения, какой тип информации использовать – климатическую, или прогностическую, или наблюдаемую. Автоматизация ГМО должна помочь потребителям выбрать тот тип информации, который лучше использовать в зависимости от момента времени (задолго до, перед, в период или после явления), когда потребителю нужно принимать решение для бизнес-процессов, в которых ему нужно применить имеющиеся данные о гидрометеорологической обстановке.

Как провести адаптацию к экстремальным явлениям?

Интерпретацию климатических и других типов данных необходимо автоматизировать, т.е. выдавать не только цифровые значения показателей, карты пространственного распределения, графики тенденций, но и прогноз возможных воздействий, перечень рекомендаций, оценки ущербов, стоимость превентивных мероприятий. С помощью средств поддержки решений можно предсказать воздействия экстремальных явлений и предпринять меры защиты до их максимального проявления на каждом предприятии. В этом и заключается развитие новой парадигмы ГМО (Вязилов, 2022), что для каждого объекта делается отдельный прогноз возможных воздействий, а не общий прогноз для территории и всех объектов. Одно и то же экстремальное явление по-разному может отразиться на различных предприятиях. Предприятие, расположенное на низком берегу, больше подвергается наводнению, чем расположенное на некоторой высоте. Следовательно, уровни опасности и перечень рекомендаций для них будет разный. Пример описания воздействий и рекомендаций для ситуации, связанной с повышением уровня океана, представлен на рис. 2.

Любое предприятие имеет стратегические, тактические и оперативные задачи в своей деятельности. Эти задачи взаимосвязаны и требуют комплексного рассмотрения. При наводнениях на основе:

- климатической повторяемости надо решать стратегическую задачу по строительству, например, дамбы;
- долгосрочного прогноза – тактические задачи по подготовке резервов продовольствия, материалов, техники;
- краткосрочного прогноза – оперативные задачи по проведению превентивных мероприятий – эвакуация, обваловывание мешками с песком отдельных локальных объектов;
- наблюдаемых данных – расширение эвакуационных мероприятий, спасение;
- после явления – проведение аварийно-восстановительных, спасательных и др. мероприятий.

Могут появиться и другие ситуации, связанные со сверхкраткосрочными (наукастинг) или климатическими прогнозами. Поэтому только комплексное использование всех типов информации поможет эффективно адаптироваться предприятиям.

Причины: таяние ледников, повышение температуры воды.
Объект: окружающая среда, местные органы управления, население.
Показатели: повышение уровня Мирового океана ≈ 0.5 м выше критического; повышение среднегодового уровня океана ≈ 3 мм/год; вероятность $\approx 70\%$.
Уровень опасности: 2 (желтый).
Тип информации: климат.
Воздействия:
Природная среда:
Образует обширные морские заливы.
Повышает соленость эстуариев.
Изменяет характеристики рельефа побережья.
Увеличивает высоту приливов в устьях рек и заливах.
Приводит к потере больших площадей продуктивных земель.
Вызывает усиление нагонных явлений.
Усиливает штормовые явления и расширяет границы заплеска при волнении.
Население:
Разрушает кварталы жилых домов.
Увеличивает загрязнение источников пресной воды.
Повышает уровень грунтовых вод.
Вызывает эрозию береговой линии.
Эксплуатация предприятий:
Разрушает берегоукрепительные сооружения.
Увеличивает экономические потери в туристических отраслях.
Разрушает строение промышленной зоны.
Приведет к коллапсу действующей инфраструктуры.
Политическое воздействие:
Приведет к военным конфликтам сокращение пригодной для проживания человека территории.
Рекомендации:
Органы местного управления:
Перенести дома, дороги и водопроводы на более высокие участки.
Разработать проект береговых укреплений и восстановления пляжной зоны.
Предусмотреть строительство защитных сооружений.
Разработать программу инженерной защиты от оползневых, абразионных процессов берегов.
Не селить людей в зонах возможного затопления.
Рассмотреть вопрос о переселении населения.
Не строить ни каких сооружений на пологих берегах.
Ограничить объем выкачивания грунтовых вод.
Население:
Запретить строить дома в зонах возможного затопления.
Мигрировать в другие более безопасные районы.
Подготовить средства откачки воды.

Рисунок 2. Описание ситуации связанной с повышением уровня Мирового океана

Figure 2. Description of the situation associated with rising World ocean levels

Как учитывается масштаб объектов, для которых необходим учет гидрометеорологической информации?

В настоящее время создаются паспорта безопасности предприятий и органов местного самоуправления, рассматривается вопрос о создании климатических паспортов, в которых определяются экстремальные явления, проявляющиеся на территории расположения этих объектов. Именно зависимость этих объектов и видов деятельности на них будут определять необходимость учета тех или иных явлений. При строительстве крупных объектов (новых морских портов, газопроводов через водные акватории и т.п.) всегда проводится оценка воздействий на окружающую среду и

оценка воздействий экстремальных явлений на деятельность этих объектов. Примеры видов деятельности предприятий, зависящих от экстремальных явлений, представлены ниже (Вязилов, 2022).

Прогнозирование развития промышленного района:

- размещение промышленных и топливно-энергетических комплексов;
- планирование строительства линий электропередач;
- развитие транспортной инфраструктуры.

Перспективное планирование – организация территории (землепользование):

- прокладка транспортных мультимодальных коридоров и новых авто- и железнодорожных магистралей (Вязилов, 2022);
- строительство теплоэлектроцентралей и гидростанций;
- размещение курортов и рекреационных зон;
- разведка и разработка месторождений углеводородного сырья (нефти и газа);
- проектирование нефте- и газопроводов.

Инженерное проектирование:

- расчет теплопотребления строящихся зданий;
- оценка долговечности зданий в различных климатических зонах;
- проектирование систем отопления, вентиляции, кондиционирования, водопотребления;
- расчет тепловой, ветровой, снеговой, гололедной нагрузки на сооружения.

Строительное проектирование:

- организация жилой застройки – плотность застройки, ориентация зданий, протяженность и этажность жилых зданий и разрывы между ними (Вязилов, 2022);
- подготовка архитектурно-планировочных решений;
- посадка зданий и сооружений на местности.

Как убедить руководителя, что автоматизация поддержки решений уменьшит ущерб?

Если руководители будут знать оценки возможных ущербов, а также стоимость превентивных мероприятий для устранения возможных воздействий или уменьшения убытков, то они более осознанно будут принимать решения – например, на основе модели «Стоимость превентивных мероприятий/Ущерб <0.3 ».

Кроме того, для повышения осведомленности руководителей необходимы показ фотографий, видео о произошедших ранее экстремальных явлениях, а также создание средств дополненной реальности, показывающих возможное воздействие в виде анимации, например, для:

- наводнения – показ подтопления подвальных помещений и заливание первых этажей зданий в зависимости от уровня воды;
- сильного ветра, приводящего к падению отдельно стоящих деревьев на припаркованные рядом автомашины.

*Какие данные нужны для оценки ущерба и расчета стоимости
превентивных мероприятий?*

Оценка ущерба и расчет стоимости превентивных мероприятий просто невозможны без экономических показателей деятельности предприятия. Например, зная среднее количество простаивающих на предприятии сотрудников во время наводнения, среднюю зарплату, количество часов простоя, объем невыпущенной продукции, можно оценить ущерб от простоя предприятия. Для расчета трудозатрат на проведение эвакуации грузов нужно знать стоимость работ по подготовке, погрузке, перевозке и разгрузке перевозимых грузов. Для расчета таких экономических показателей необходимо иметь доступ к экономическим информационным системам предприятий или регулярно получать данные от них.

Как использовать данные сверхдолгосрочных прогнозов?

Для завоза грузов в арктические районы необходимо за полгода и более иметь прогноз сроков вскрытия припая отдельно в западной и восточной частях Арктики. Это позволит заранее завезти грузы в порты погрузки европейской территории России или Дальнего Востока. Для прогноза сроков вскрытия припая с такой заблаговременностью необходимы данные по расходам и аномалиям температуры воды в Фареро-Шетландском проливе, где проходит основной поток теплых атлантических вод, которые достигают арктических морей через 9-15 месяцев и влияют на таяние льда (Вязилов, 2022). Имея такой прогноз, можно больше завезти грузов без использования ледокольной проводки.

Можно ли найти нужные данные?

Чтобы получить нужные данные, необходимо использовать метаданные в виде описаний наборов, БД, а также источников данных. Наиболее известными базами метаданных являются системы Global Change Master Directory (<https://www.earthdata.nasa.gov/technology/global-change-master-directory-gcmd>) и European Directory of Marine Environmental Data (<https://www.bodc.ac.uk/resources/inventories/edmed/search/>). В России можно использовать систему (ЕСИМО, 2013), в рамках которой интегрировано более 2300 информационных ресурсов от 31 провайдера данных. Ресурсы представляют собой данные в точках в виде профилей данных по глубине или высоте, в узлах регулярной сетки, отражающие данные наблюдений, анализы, прогнозы, климатические обобщения, сведения об объектах морской деятельности (порты, суда, судостроительные предприятия, другие). Каждый ресурс имеет метаданные, которые создаются при первой загрузке, а далее обновляются в соответствии с регламентом получения информационного ресурса. При интеграции данных производится унификация имен атрибутов и приведение значений атрибутов в виде кодовых значений к стандартизированной форме. На основе метаданных организован поиск по тексту, атрибутивный поиск, поиск по карте. Результаты поиска представляются сначала в виде спи-

ска ресурсов, найденных по условиям поиска. После изучения метаданных пользователь выбирает необходимый ресурс и отправляет запрос на доступ к данным. Данные любого ресурса, несмотря на разнообразие структур, визуализируются в типовом интерфейсе в виде карты, графика, таблицы и их можно скачать на компьютер пользователя в формате CSV. Пользователь может подписаться на регулярное получение данных по электронной почте или доставку данных на ftp-сервер. Далее пользователь сам решает, как использовать полученные данные. Для отдельных информационных ресурсов при их объединении или обработке в отдельных от портала ЕСИМО приложениях осуществляется доступ к ним с использованием REST-сервисов. Эти средства можно использовать для обслуживания данными сервисов поддержки решений.

Правильно ли выбраны данные?

Одно из слабых мест при использовании гидрометеорологических данных руководителями предприятий – это поиск и выбор необходимых данных. Есть большие наборы надежных данных в узлах регулярной сетки в виде реанализов NCEP-DOEAMIP-II (Kanamitsu et al., 2002), ERA5 (Hersbach et al., 2020). Эти наборы данных созданы и регулярно пополняются при получении краткосрочных прогнозов погоды на 12-120 часов, прогнозов малой заблаговременности (до 10 суток), климатических обобщений (месяц конкретного года, год, месяц многолетних). Эти обобщения можно получить как на основе данных наблюдений в фиксированных пунктах наблюдений, так и на основе данных в узлах сетки.

Дискуссия

Важнейшая задача руководителя предприятия – сократить ущерб от экстремальных явлений. Для этого необходимо как можно быстрее выявить значения показателей экстремальных явлений и довести информацию о них до руководителей. Для этого администратор системы ГМО должен учитывать потребности конкретного предприятия и настраивать персонализированный информационный продукт, который руководитель предприятия может трансформировать для применения в конкретных бизнес-процессах. Руководители предприятий в разных отраслях должны получать необходимую информацию о воздействиях, рекомендации для принятия решений и быстро реагировать на возможные воздействия экстремальных явлений с учетом специфики рассматриваемого объекта.

Для принятия решений на основе идентифицированных показателей экстремальных явлений необходимо собрать сведения о воздействиях на предприятия. За счет этого дается прогноз возможных воздействий. Дополнительная информация из других источников (например, вместо наблюдаемых данных использовать данные из анализов и прогнозов в узлах сетки) может помочь руководителю более правильно оценить сложившуюся обстановку. При организации доведения данных до руководителей в режиме персонализи-

рованного обслуживания не нужно беспокоиться о том, где найти необходимые данные. Они будут приходить в зависимости от того, какие экстремальные явления наблюдаются в районе расположения предприятия.

«Программные платформы и сервисы для ГМО должны управляться на основе событий (превышение уровней опасности значений показателей экстремальных явлений для различных объектов), выявленных в наблюдаемых и прогностических» (Чуняев, 2015) данных. Это означает, что, когда данные или метаданные обновляются, другие приложения будут реагировать автоматически – выявлять ситуации, предупреждать руководителей о них, прогнозировать возможные воздействия экстремальных явлений на предприятия, выдавать рекомендации для принятия решений.

Заключение

Предлагается развитие: интеграции разнородных и распределенных данных о состоянии окружающей среды в виде наблюдаемых и прогностических данных, климатических обобщений; сквозной технологии обработки для получения информационной продукции в цифровом виде; персонализации ГМО за счет разработки БД локальных пороговых значений по уровням опасности для каждого предприятия и вида деятельности на нем. Возможна оптимизация решений на основе сравнения разности между ущербом и стоимостью превентивных мероприятий. Использование конвейерной технологии позволит организовать непрерывное производство цифровой гидрометеорологической продукции. При дефиците специалистов только создание сквозной технологии обработки гидрометеорологических данных от наблюдения до принятия решения на основе конвейера с использованием средств искусственного интеллекта может:

- уменьшить затраты на эксплуатацию системы ГМО;
- повысить производительность труда исследователей;
- быстро предоставить информацию (не только в цифровом виде, но и в виде текстов воздействий и рекомендаций), необходимую руководителю в период экстремальных явлений.

В работе представлены идеи реализации новой парадигмы ГМО, показан прогноз применения современных ИТ-достижений при ее реализации, рассмотрены возможности повышения осведомленности руководителей предприятий и различного уровня государственного управления за счет развития новых сервисов.

Перспективами развития ГМО является в дополнение к гидрометеорологической информации интеграция социальной, экономической, финансовой и другой информации, что позволит создать цифровой двойник для широкого применения моделирования воздействий экстремальных явлений на отдельные предприятия и применения широкого спектра других типов моделей.

За счет использования современных информационных технологий можно улучшить адаптацию предприятий к экстремальным явлениям и соответственно сократить ущерб.

Благодарности

Исследование проведено в рамках программы «Цифровой двойник Каспийского моря», осуществляемой в рамках деятельности МОК ЮНЕКО, связанной с Десятилетием наук об океане, в интересах устойчивого развития ООН (2021-2030 гг.).

Список литературы

Вязилов, Е.Д. (2016) Росгидромет как цифровое предприятие, Conference “Аналитика данных и управление доменами данных интенсивного использования” (ДАМДИД), 11-14 октября 2016, Ершово, Россия, с. 302-308.

Вязилов, Е.Д. (2022) *Цифровая трансформация гидрометеорологического обеспечения потребителей*. Том 2. Использование в различных отраслях, ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Russia, 356 с.

Вязилов, Е.Д., Чуняев, Н.В. (2015) Использование смартфонов и планшетов для экстренного информационного обеспечения пользователей об опасных природных явлениях, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 179, с. 133-143.

ЕСИМО (2013). *Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане*, URL: <http://esimo.ru>, доступ: 04.01.2023.

Чуняев, Н.В. (2015) Информационная поддержка управления морской деятельностью в случае опасных природных явлений, В сб.: *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*, вып. 578, с. 156-173, URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24841001>.

Allis, E., Hewitt, C., Ndiaye, O., Hama, A., Fischer, A., Bucher, A., Shimp, A., Pulwarty, R., Mason, S., Brunet, M., Tapia, B. (2019) The Future of Climate Services, *Bulletin WMO*, vol. 68 (1), pp. 50-58.

4 Ways to make sure your connected-infrastructure technology program is ... well, connected (2022) URL: <https://www.stantec.com/en/ideas/4-ways-to-make-sure-your-connected-infrastructure-technology-program-is-well-connected>, accessed: 04.01.2023.

A query language for your API (2015) URL: <https://graphql.org/>, accessed: 04.01.2023.

Copernicus Open Access Hub (2017) URL: <https://scihub.copernicus.eu/>, accessed: 04.01.2023.

FAIR Principles (2018) URL: <https://www.go-fair.org/fair-principles/>, accessed: 04.01.2023.

Hersbach, H., Bill, B., Berrisford, P. and et al. (in all 43 authors) (2020) The ERA5 global reanalysis, *Quart. J. Royal Meteor. Soc.*, vol. 146, pp. 1999-2049.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M., Potter, G.L. (2002) NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bull. Amer.*

Meteor. Soc., vol. 83, pp. 1631-1643.

The Web Socket API (2011) URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API, accessed: 04.01.2023.

Viazilov, E., Melnikov, D., Mikheev, A. (2021) 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), URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3036/paper08.pdf>, accessed: 04.01.2023.

What is a REST API? (2000) URL: <https://www.ibm.com/topics/rest-apis>, accessed: 04.01.2023.

References

Viazilov, E.D. (2016) Roshydromet kak tsifrovoye predpriyatie [Roshydromet as digital enterprise] *Conference «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains» (DAMDID), October 11-14, Ershovo, Russia*, p. 302-308.

Viazilov, E.D. (2022) *Thifrovaya transformatsiya gidrometeorologicheskogo obespecheniya potrbiteley* [Digital transformation of hydrometeorological support-consumers] vol. 2. Ispol'zovanie v razlichnykh otraslyah. [Use in various industries], RIHMI-WDC, Obninsk, Russia, 356 p.

Viazilov, E.D., Chunyaev, N.V. (2015) Ispol'zovanie smartfonov i planshetov dlya srochnogo informatsionnogo obespecheniya potrbiteley ob opasnykh yavleniyakh [Use smartphones and tablets for urgent information support of users about disasters], *RIHMI-WDC proceeding*, issues 179, pp. 133-143.

ESIMO (2013) *Edinaya gosudarstvennaya sistema informatsii ob obstanovke v Mirovom okeane* [Unified State System of Information on the Situation in the World Ocean], URL: <http://esimo.ru>, accessed: 04.01.2023.

Chunyaev, N.V. (2015) Informatsionnoye obespecheniye upravleniya morskoy deyatel'nost'yu v sluchae opasnykh prirodnykh yavlenii [Information support of management of marine activities for disasters], *Proceedings of Voeykov A.I. Main Geophysical Observatory*, no. 578, pp. 156-173, URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24841001>.

Allis, E., Hewitt, C., Ndiaye, O., Hama, A., Fischer, A., Bucher, A., Shimpf, A., Pulwarty, R., Mason, S., Brunet, M., Tapia, B. (2019) The Future of Climate Services, *Bulletin WMO*, vol. 68 (1), pp. 50-58.

4 Ways to make sure your connected-infrastructure technology program is ... well, connected (2022) URL: <https://www.stantec.com/en/ideas/4-ways-to-make-sure-your-connected-infrastructure-technology-program-is-well-connected>, accessed: 04.01.2023.

A query language for your API (2015) URL: <https://graphql.org/>, accessed: 04.01.2023.

Copernicus Open Access Hub (2017) URL: <https://scihub.copernicus.eu/>, accessed: 04.01.2023.

FAIR Principles (2018) URL: <https://www.go-fair.org/fair-principles/>, accessed: 04.01.2023.

Hersbach, H., Bill, B., Berrisford, P., and et al. (in all 43 authors) (2020) The ERA5 global reanalysis, *Quart. J. Royal Meteor. Soc.*, vol. 146, pp. 1999-2049.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M., Potter, G.L. (2002) NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 83, pp. 1631-1643.

The Web Socket API (2011) URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API, accessed: 04.01.2023.

Viazilov, E., Melnikov, D., Mikheev, A. (2021) 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)*, URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3036/paper08.pdf>, accessed: 04.01.2023.

What is a REST API? (2000) URL: <https://www.ibm.com/topics/rest-apis>, accessed 04.01.2023.

Статья поступила в редакцию (Received): 11.05.2023.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 08.08.2023.

Принята к публикации (Accepted): 12.08.2023.

Для цитирования / For citation:

Вязилов, Е.Д. (2023) Развитие средств адаптации к экстремальным явлениям, связанным с изменениями климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 3, с. 251-268, doi:10.21513/2410-8758-2023-3-251-268.

Viazilov, E.D. (2023) Development of tools for adaptation to extreme events associated with climate change, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 9, no. 3, pp. 251-268, doi:10.21513/2410-8758-2023-3-251-268.