

Кулыгин В.В.<sup>1</sup>

## РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА РИСКОВ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ МОРЕХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### АННОТАЦИЯ

В начале XXI в. в России, как и во всем мире, наблюдается увеличение числа катастроф природного и техногенного характера. Чтобы справиться с ростом затрат, связанных с ущербом от них, лицам, принимающим решения, нужны подходящие инструменты оценки рисков опасных явлений.

Для прибрежных районов в особой степени характерно возникновение ряда опасных природных явлений, представляющих угрозу для населения и природопользования. При этом они испытывают пресс постоянно возрастающих антропогенных нагрузок. В этой связи актуальной проблемой является формирование интегрированной системы управления морским природопользованием, включающей блок оценки рисков опасных природных явлений, которая могла бы обеспечить экономико-экологическую безопасность.

Настоящая работа посвящена разработке структуры геоинформационного ресурса рисков опасных природных явлений для морехозяйственной деятельности. В статье рассмотрены программное и информационное обеспечение проектируемой геоинформационной системы. Преимущества реализации системы в виде картографического веб-приложения, основанного на веб-сервисах, связаны с упрощением предоставления структурированной информации пользователям и отсутствием необходимости установки дополнительного клиентского программного обеспечения. При построении структуры использовалась концепция слоев. Представлено описание трех основных слоев приложения: представления, логики предметной области и источника данных.

Информационной основой системы является база геоданных, включающая в себя базовый и тематические разделы. К базовому разделу относятся данные, служащие топографической и географической основой картографического материала. В тематические разделы включены группы данных, характеризующие опасные явления и объекты, подверженные природным опасностям. Это позволяет предоставлять информацию в терминах последствий опасных явлений, что находится в соответствии с рекомендациями ВМО.

На основе разработанной структуры в дальнейшем предполагается реализация соответствующего геоинформационного ресурса для Азовского моря.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационная система, веб-технологии, опасные природные явления.

---

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, ул. Чехова, д. 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: [kulygin@ssc-ras.ru](mailto:kulygin@ssc-ras.ru)

Valerii V. Kulygin<sup>1</sup>

## DEVELOPMENT OF THE GEOINFORMATIONAL RESOURCE OF NATURAL HAZARDS RISKS FOR MARINE ECONOMIC ACTIVITIES

### ABSTRACT

At the beginning of the XXI century in Russia, as in the whole world, there is an increase in the number of natural and man-made disasters. In order to cope with the growth of costs associated with damage from them, decision makers need appropriate tools to assess the risks of hazardous events.

For coastal areas, a number of hazardous natural events, representing a threat to the population and the environment, is particularly characteristic. At the same time, they experience a press of increasing anthropogenic loads. In this regard, an actual problem is the formation of an integrated system for marine environmental management, including a unit for assessing the risks of natural hazards, which could provide economic and environmental safety.

The present work is devoted to the development of the geoinformation resource' structure of natural hazards risks for marine economic activities. In the article software and information base for the projected geoinformation system are considered. Advantages of implementing the system in the form of a web application, base on web-services, are: simplifying the providing of structured information to users and no need to install additional client software. The concept of layers was used in constructing the application structure. The description of three main layers is presented: representations, domain logic and data source.

The informational basis of the system is the geodatabase, which includes the base and thematic sections. The base section includes a topographic and geographical basis for cartographic material. The thematic sections include data groups that characterize hazards and elements at risk. This makes it possible to provide information in terms of the consequences of hazards, which is in accordance with the recommendations of WMO.

It is proposed to implement in the future a corresponding geoinformation resource for the Sea of Azov, based on the developed structure.

**KEYWORDS:** geoinformation system, web-technology, natural hazards.

### ВВЕДЕНИЕ

Риски опасных природных явлений (ОЯ) сопровождают любую морскую деятельность. По мере освоения морских пространств и совершенствования технологий относительный вклад тех или иных факторов риска изменяется, но все они подлежат учету [Денисов, Ильин, 2008]. В последние годы оценка рисков опасных природных явлений стала одной из основных тем, представляющих интерес для специалистов разного профиля во всем мире. Сами по себе природные процессы не представляют риска до тех пор, пока не начинают угрожать объектам, имеющим определенную ценность. Поэтому важно иметь представление, где могут происходить ОЯ и с какой частотой, а также какие существуют объекты, подверженные этим опасностям и какова их уязвимость, что приводит к задаче идентификации районов, подверженных риску.

Поскольку риск ОЯ является пространственно-изменяющимся фактором, то геоинформационные технологии становятся стандартным инструментом для представления информации о рисках.

---

<sup>1</sup> Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chehova str., 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: [kulygin@ssc-ras.ru](mailto:kulygin@ssc-ras.ru)

Целью настоящей работы является разработка структуры геоинформационного ресурса рисков опасных природных явлений для морехозяйственной деятельности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Концепция представления рисков опасных природных явлений в геосистемах основывается на результатах анализа определенной площади земной поверхности, подвергающейся воздействию совокупности опасных природных явлений. Рассматриваемая в настоящей работе геосистема представляет собой морскую и прибрежную экосистемы с надстроенными над ними отраслевыми морехозяйственными комплексами [Кулыгин, 2017].

Определение регионов ведения конкретного вида деятельности является необходимым шагом для эколого-экономической оценки хозяйственной деятельности в целом и определения объектов, подверженных опасным явлениям в частности.

Одним из основных процессов управления рисками ОЯ является обмен информацией среди организаций, участвующих в оценке риска, органов власти, средств массовой информации и заинтересованных групп. В настоящее время при развитии современных веб-технологий стало намного проще распространять пространственную информацию в сети Интернет через приложения на базе веб-ГИС. Веб-ГИС представляет собой комбинацию веб-технологий и геоинформационных систем (ГИС) для обработки пространственных данных в сети Интернет, упрощения обмена данными и предоставления структурированной информации пользователям без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

Общепринятым путем формирования инфраструктуры пространственных данных является создание геопорталов, что означает обеспечение доступа к распределенным сетевым ресурсам пространственных данных и геосервисов (веб-сервисов), которые могут быть найдены на геопортале как исходной точке входа [Архипова, 2017]. Преимуществами использования картографических веб-сервисов является возможность организовать одновременный доступ к ним большому числу пользователей, подключенных к сети, одновременно и быстро для всех пользователей обновлять информацию, использовать мультимедийные технологии для отображения [Абдуллин, 2016].

В случае анализа группы ОЯ, возникающих на одной и той же территории, так называемых мульти-ОЯ, появляются дополнительные трудности в визуализации многомерной информации о нескольких ОЯ, требующей отображения не только четко различимого проявления отдельных опасностей, но и их наложений. В рамках концепции «мульти-ОЯ» определяют три подхода к представлению картографической информации, каждый из которых имеет определенные недостатки [Kappes et al., 2012]:

- визуализация каждой опасности/риска на отдельной карте,
- уменьшение размерности задачи, визуализируя некоторый комбинированный индекс общей опасности или риска;
- представление более чем одного процесса на одной карте.

В картографических веб-приложениях можно представить весь спектр информации по каждой опасности без потери содержания, в то время как пользователь может самостоятельно выбирать любую комбинацию опасностей или рисков и определять конкретную область интереса [Кулыгин, 2017].

Разработка структуры геоинформационной системы рисков опасных природных явлений выполнялась в терминах слоев, что позволяет одновременно получить представление как о содержательной составляющей архитектуры, так и о технологии реализации ГИС. Концепция слоев – одна из общеупотребительных моделей, используемых разработчиками программного обеспечения для разделения сложных систем на более простые части. Ее основной принцип заключается в том, что слой более высокого уровня пользуется

службами, предоставляемыми нижележащим слоем, но тот «не знает» о наличии соседнего верхнего слоя. Разделение системы на слои предоставляет целый ряд преимуществ: отдельный слой можно воспринимать как единое самодостаточное целое, не заботясь о наличии других слоев; возможна альтернативная реализация базовых слоев; зависимость между слоями можно свести к минимуму.

В составе разрабатываемой ГИС были выделены три основных слоя: представление, логика предметной области и источник данных.

Слой представления охватывает все, что имеет отношение к взаимодействию пользователя с системой. К главным функциям слоя представления относятся отображение информации и интерпретация вводимых пользователем команд с преобразованием их в соответствующие операции в контексте логики предметной области и источника данных. В ГИС-ориентированных системах обычно возможны три варианта его реализации: приложение с графическим интерфейсом, промышленный ГИС-пакет или HTML-представление в браузере.

Под слоем «источник данных» в общем случае понимается подмножество функций, обеспечивающих взаимодействие со сторонними системами и файловыми массивами. Для большинства программных приложений основная часть логики источника данных сосредоточена в системе управления базами данных (СУБД).

Логика предметной области описывает основные функции приложения, предназначенные для решения поставленных перед ним задач. Это уровень реализации аналитических функций. Кроме того, к нему относятся функции проверки и трансформации данных, обработка команд, поступающих от слоя представления, а также передача информации слою источника данных.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Исходя из изложенных принципов представления информации о рисках ОЯ, геоинформационный ресурс следует реализовывать в виде картографического веб-приложения, основанного на веб-сервисах. Реализация пользовательских интерфейсов в форме веб-приложения выглядит наиболее перспективно, поскольку отсутствует потребность в наличии дополнительного клиентского программного обеспечения. Картографический веб-сервис – вид сервиса, предоставляющий пользователям доступ к картографическим материалам средствами сети Интернет.

Программно-аппаратная структура картографических веб-приложений традиционно строится на основе архитектуры «клиент-сервер», типичной для обычных веб-приложений, но с добавлением компонентов ГИС (рис. 1).

Слой «источник данных» включает в себя расположенную на веб-сервере базу геоданных (БГД), в которой хранится пространственная и непространственная информация. Управление БГД осуществляется посредством СУБД (например, MySQL, Oracle, PostgreSQL, MSSQL), которая имеет расширения для работы с пространственными данными, а также способна принимать и обрабатывать запросы о хранящихся в базе объектах.

Слой логики картографического веб-приложения представлен HTTP-сервером. Он обеспечивает связь между пользователем и слоем «источник данных». На веб-сервере наряду с HTTP-сервером установлен ГИС-сервер. ГИС-сервер – это комплекс программного обеспечения, предназначенный для публикации пространственных данных в сети и обработки запросов к ним. В качестве ГИС-сервера могут быть использованы как свободные MapServer и GeoServer, так и коммерческий программный продукт ArcGIS Server. HTTP-сервер отправляет запросы, относящиеся к пространственным данным, от клиента на ГИС-сервер. Сформированный ГИС-сервером результат посылается через HTTP-сервер обратно клиенту.



Рис. 1. Структура ГИС рисков опасных природных явлений  
Fig. 1. Structure of GIS of natural hazard risks

Слой представления включает в себя клиентское приложение, являющееся интерфейсом конечного пользователя для всего картографического веб-приложения или некоторых его геосервисов. Клиентами картографических веб-сервисов обычно являются веб-браузеры. Клиентская часть веб-приложения строится с использованием языка разметки гипертекста (HTML) и каскадных таблиц стилей (CSS). Для придания интерактивности веб-приложениям используют интерпретируемый веб-браузерами язык программирования JavaScript и специальные библиотеки для отображения карт (например, Leaflet, OpenLayers и т. д.).

Следует учитывать, что реализация как клиентской, так и серверной части должна быть выполнена в соответствии с применяющимися картографическими стандартами, разработанными Открытым геопространственным консорциумом (Open Geospatial Consortium, OGC). Следующие спецификации описывают различные типы картографических веб-сервисов: Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) и т. д. Несоблюдение стандартов на клиентской стороне может привести к неправильной интерпретации, путанице и потере читаемости материалов. Разработанный соответствующим образом графический пользовательский интерфейс может предотвратить подобные ошибки, а с учетом предоставления дополнительной информации может существенно повысить качественный уровень интерпретации оценок рисков ОЯ [Кулыгин, 2017].

Необходимость интеграции разнородной информации с целью оценки и представления риска ОЯ определяет потребность в размещении данных в едином логическом пространстве. Это пространство формируется в виде базы геоданных (БГД), которая позволя-

ет унифицировать организацию хранения и доступ к данным, описывающим разные стороны пространственно-распределенных объектов: их пространственные характеристики (цифровые карты), перманентные свойства (атрибутивные данные), динамику процессов, протекающих в этих объектах (временные ряды данных).

БГД является необходимой составляющей ГИС, поскольку служит ее информационной основой, а также решает ряд важных задач:

- систематизация, интеграция и хранение информации об ОЯ с целью исследования закономерностей их пространственно-временного распределения;
- информационное обеспечение геоинформационного картографирования на основе имеющихся данных.

Логическая структура БГД включает в себя взаимосвязанные пространственные и непространственные данные. Последние чаще всего представляют собой табличные и графические материалы. Пространственная информация обычно разбивается на базовый и тематический блоки и представляется в БГД в векторных и растровых форматах.

К базовому блоку относятся данные, служащие топографической и географической основой картографического материала. Это данные о рельефе, гидрографии, населенных пунктах, административно-территориальном делении региона и т. д. Цифровая модель рельефа территории и светотеневая отмывка также включаются в базовый блок. Следует отметить, что базовая информация БГД не нуждается в частых обновлениях.

Другим блоком информационного обеспечения являются тематические данные, характеризующие объект исследования. В ходе наблюдений за ОЯ формируются большие объемы информации в разных пространственных масштабах, которые могут быть использованы для изучения их пространственно-временного распределения. В то же время в руководящих указаниях ВМО [WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services. World Meteorological Organization WMO, 2015. No 1150] подчеркивается необходимость включения фактора уязвимости объектов, подверженных риску, в рассмотрение ОЯ. То есть главной информацией в сообщениях об ОЯ являются связанные с ними последствия, а не ожидающиеся значения гидрометеорологических характеристик. Таким образом, тематический блок подразделяется на следующие части (тематические разделы):

- факторы окружающей среды;
- факторы, являющиеся причиной возникновения ОЯ;
- инвентаризации ОЯ;
- объекты, подверженные природным опасностям;
- уязвимость;
- риски.

Первые три тематических раздела объединяют данные, требуемые для оценки опасности. В состав информации об окружающей среде входят: геологические карты, данные о почвах (тип почвы, плотность, содержание гумуса, влажность почвы), информация о растительном покрове территории (естественная растительность, тип землепользования), гидрологические данные (расход, подземные воды, материковый сток) и т. д. В качестве триггерных факторов различных типов ОЯ выступают скорость и направление ветра, количество осадков, температура воздуха и т. д.

Инвентаризация ОЯ выполняется с привлечением широкого перечня источников (спутниковый мониторинг, сети наземных станций наблюдения, архивные материалы и т. д.). В тематический раздел инвентаризации ОЯ входят данные, описывающие пространственно-временное распределение ОЯ и характеризующие их повторяемость и интенсивность.

В качестве объектов, подверженных опасности в исследуемой области, выступают население, здания и сооружения, экологические ресурсы, инфраструктура, культурные ценности и т. д. Существует множество различных типов объектов, подверженных риску, и их можно классифицировать по-разному.

Раздел «Уязвимость» представлен таблицами непространственных данных, которые по идентификаторам привязываются к пространственным объектам. Информация об уязвимости часто представляется в виде кривых уязвимостей, которые выражают зависимость между величиной ущерба конкретному типу объекта и уровнями интенсивности ОЯ. Подготовка кривых уязвимости является сложной задачей, поскольку они оцениваются на основе прошлых событий, для которых известны интенсивность ОЯ и степень повреждения объектов. В случае отсутствия такой информации используется дискретный аналог кривой уязвимости – матрицы уязвимости, которые могут быть оценены на меньшем объеме данных или экспертно.

В настоящей работе за основу взят индексный подход, основанный на выборе характеристик объектов, служащих индикаторами уязвимости, и представлении их в виде нормализованных индексов. Одним из основных его достоинств является возможность использования показателей, имеющих разную размерность, а также учет социально-экономических аспектов. Свертка индикаторов уязвимости в единый показатель выполняется при помощи метода анализа иерархий.

Тематический раздел «Риски» содержит информацию о возможных негативных последствиях воздействия ОЯ разной обеспеченности, полученную на основе моделирования. Риск ОЯ можно концептуально представить в виде произведения трех компонент: опасность, уязвимость, подверженность (количество/стоимость объектов, подверженных опасности). Для определения значений каждого из компонент необходимы собственные модели, наряду с моделью расчета риска, объединяющей эти факторы.

Модели компонента опасности фактически представляют собой расчет гидрометеорологических характеристик и оценки по их значениям вероятностей опасных явлений. Эти оценки совместно с информацией об объектах, подверженных воздействию, используются для расчета показателей уязвимости (площадь воздействия опасного явления, уровень повреждения и т. д.), а те, в свою очередь, – для расчета показателей ущерба (риска).

В силу частого отсутствия данных, необходимых для полноценной количественной оценки для расчета значений компонент уязвимости и риска, выбран метод, базирующийся на индексном подходе и многокритериальной пространственной оценке. Алгоритмической основой многокритериальной оценки является метод аналитических сетей (МАС), являющийся обобщением метода анализа иерархий на случай, когда в системе нельзя пренебречь обратными связями. Индексный подход позволяет количественно сравнивать различные области или регионы. Данные по каждому показателю, участвующему в оценке, собираются на определенном пространственном уровне. Затем эти показатели стандартизируются путем масштабирования их между 0 и 1. Таким образом, получаемые индексы уязвимости и риска также представляются относительными значениями от 0 до 1, что не дает возможности количественной оценки рисков в натуральном или монетарном выражении, но позволяет сравнивать различные области или регионы между собой. Базовая схема модельного комплекса для оценки рисков ОЯ предполагает многоуровневую структуру моделей (от «простой» к «сложной»). В данном контексте термин «сложность» рассматривается как интегральное качество модели, включающее степень детализации процессов, требовательность к входным данным, пространственное разрешение, время расчетов и т. д.

Достоинством этой схемы является то, что использование «простых» моделей существенно повышает наглядность результатов и прозрачность процедуры оценки для лиц, принимающих решения, и облегчает восприятие последующих уточненных оценок. Этот подход также обеспечивает контроль диапазона изменчивости результатов: проверка нахождения более точного значения в пределах грубых оценок.

Подобная многоуровневая организация системы моделей в основном затрагивает компонент опасности. Поскольку моделирование компоненты подверженности заключается в создании информационной модели региона, содержащей данные, относящиеся к объектам, подверженным опасности, то на разных уровнях меняется только детализация этой информационной модели. Для компонент уязвимости и риска используется индексный подход, кратко описанный выше, «усложнение» которого также в большей степени связано с повышением детализации.

Одновременное наличие моделей разного уровня «сложности» повышает общую устойчивость модельной системы, которая будет давать оценки даже в случае отсутствия информации для более подробных и требовательных моделей.

Многоуровневая структура позволяет максимально быстро перейти в работоспособный режим и поэтапно наращивать потенциал моделирующей системы.

## **ВЫВОДЫ**

Одним из основных продуктов оценки риска ОЯ являются карты. Для решения проблемы организации и отображения информации о группе ОЯ и соответствующих рисках предусмотрено создание картографического веб-приложения, позволяющего представить весь спектр информации по каждой опасности с требуемым уровнем детализации. Ориентация на веб-ГИС позволяет реализовать интерактивный интерфейс и обеспечить доступ к картографическим материалам через сеть Интернет.

Оценка последствий от опасных явлений предполагает наличие в информационной базе данных, связанных с природной опасностью, подверженностью и уязвимостью. Показатель опасности характеризует вероятность проявления ОЯ в пространстве и времени. Показатель подверженности представляет собой набор объектов, подверженных риску пострадать от воздействия ОЯ. Показатель уязвимости характеризует тяжесть последствий для подверженных объектов в случае возникновения ОЯ.

Рассмотренная в работе структура ГИС является основой для создания инструментов поддержки принятия решений в области управления рисками в морских эколого-экономических системах. На следующем этапе работ планируется реализация соответствующего геоинформационного ресурса для Азовского моря.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60043 мол\_a\_дк.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The reported study was funded by RFBR, according to the research project No 16-35-60043 mol\_a\_dk.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Абдуллин Р.К.* Современное состояние картографирования опасных гидрометеорологических явлений // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 151–160. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-3-151-160.

2. *Архипова О.Е.* Веб-ГИС для оценки сценариев использования природно-ресурсного потенциала южного макрорегиона // *ИнтерКарто/ИнтерГИС*. 2017. Т. 23. № 2. С. 144–156. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-144-156.
3. *Денисов В.В., Ильин Г.В.* Районирование акваторий как инструмент оптимизации природопользования на арктическом шельфе // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2008. № 2 (79). С. 134–144.
4. *Кулыгин В.В.* Подход к оценке рисков опасных природных явлений в морехозяйственных системах // *Проблемы анализа риска*. 2017. Т. 14. № 2. С. 64–73.
5. *Kappes M.S., Keiler M., Von Elverfeldt K., Glade T.* Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review // *Natural Hazards*. 2012. V. 64. P. 1925–1958.

#### REFERENCES

1. *Abdullin R.K.* Current state of hydrometeorological hazards mapping. *Geograficheskiy vestnik*. 2016. No 3 (38). P. 151–160 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2016-3-151-160.
2. *Arkhipova O.E.* Web-GIS for assessing scenarios of using natural resource potential of southern macroregion. *InterCarto/InterGIS*. 2017. V. 23. No 2. P. 144–156 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-144-156.
3. *Denisov V.V., Il'in G.V.* Zoning of the water areas as a tool for optimizing the use of natural resources on the Arctic shelf. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2008. No 2 (79). P. 134–144 (in Russian).
4. *Kappes M.S., Keiler M., Von Elverfeldt K., Glade T.* Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. *Natural Hazards*. 2012. V. 64. P. 1925–1958.
5. *Kulygin V.V.* The approach to assessing the risks of natural hazards in economic marine systems. *Problemy analiza riska*. 2017. V. 14. No 2. P. 64–73 (in Russian).