

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С.В. Бердников, В.В. Кулыгин

В 2013 г. Минобрнауки РФ объявило конкурс по так называемым мегагрантам с участием зарубежных и отечественных ученых, которые, в случае успешной поддержки проекта, должны в России в течение трех лет сформировать научную лабораторию под актуальную фундаментальную проблематику. В период проведения на Кипре второй международной конференции «Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии» [<http://conf-durso.ru/konsorsium.html>], организатором которой являлся Южный научный центр РАН, а соорганизатором – Океанографический центр Кипрского университета, была обсуждена идея заявки на мегагрант с доктором Дж. Зодиатисом, заместителем руководителя этого центра. Планировалось основать на базе ЮНЦ РАН центр (лабораторию) прогнозирования экстремальных морских ситуаций для прибрежных/шельфовых зон Азовского, Чёрного и Каспийского морей. При написании заявки было придумано название этому центру – EX-MARE. В качестве прототипа планировалось использовать опыт работы аналогичного центра при Кипрском университете [<http://www.oceanography.ucy.ac.cy/>].

Хотя этот довольно амбициозный проект не был поддержан, проблема опасных природных явлений осталась актуальной для южного региона. Поэтому идея краткосрочного прогнозирования экстремальных природных явлений в регионе, по крайней мере Азовского моря, постоянно развивалась и в 2014 г. получила поддержку Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» в форме прикладного научного исследования RFMEFI60414X0050 «Разработка компьютерной системы оперативного прогнозирования опасных природных явлений в бассейне, береговой зоне и акватории Азовского моря». При этом разрабатываемый программный комплекс также был назван “EX-MARE”.

Цель проекта “EX-MARE” связана с разработкой методов и модельного и программного инструментария для оценки риска опасных природных явлений в бассейне, береговой зоне и акватории Азовского моря и предупреждения органов местного самоуправления, населения и предприятий.

Описание методов и моделей прогнозирования опасных природных явлений, используемых в рамках “EX-MARE”, представлено в разделах настоящего сборника трудов ЮНЦ РАН. Далее кратко рассмотрим реализацию этой прогнозной системы.

В основу создания программного комплекса (ПК) “EX-MARE” положен системный подход. Он подразумевает разработку единой концепции и архитектуры программного комплекса, обеспечивающего интеграцию разработанных моделей и методик прогнозирования и оценки риска опасных природных явлений в единый программный комплекс.

ПК “EX-MARE” реализуется в форме системы поддержки принятия решений – это означает, что пользователь этой системы задает некоторый вопрос, ставит задачу, затем получает ответ и использует его при принятии решения. Для формализации этого процесса используется сценарный подход. Вопрос к системе формулируется в виде сценария развития ситуации. Таким образом, сценарий – это картина событий, построенная из набора гипотез для проверки причинно-следственных связей и точек принятия решений.

Сценарный подход подразумевает проведение альтернативных расчетов с данными, соответствующими различным вариантам развития ситуации, что позволяет вероятностно оценить риски того или иного исхода. Сценарии могут отражать: использование разных прогнозов; использование общего прогноза, но с разными параметрами моделей; синтетические ситуации – не прогнозируемые, но потенциально возможные случаи, характеризующие «наихудшие»/«наилучшие» варианты развития и т.д.

Такой подход дает хорошие результаты в условиях высокой неопределенности, там, где традиционные методы прогноза дают ошибки вследствие различий в оценке входных данных. Сценарии позволяют анализировать и планировать нестандартные ситуации. Они позволяют понять, при каких условиях может возникнуть неблагоприятная ситуация, и помогают оценить, как можно и как нужно воздействовать на процессы, приводящие к приемлемым и неприемлемым исходам.

На рисунке 1 представлена обобщенная архитектура ПК “EX-MARE”. В качестве ее основных элементов можно выделить:

- подсистему загрузки данных;
- конструктор сценариев;
- подсистему выполнения модельных расчетов;
- подсистему обработки результатов;
- подсистему визуализации;
- хранилище данных.

В основу подсистемы модельных расчетов положен модульный принцип формирования системы моделей, позволяющий последовательно рассчитывать отдельные характеристики, так что выход одного модуля является входом другого. В ПК EX-MARE предусмотрены следующие модельные компоненты:

- дождевые паводки;
- гидродинамика Азовского моря;
- нагонные явления;
- штормовые явления;

- ледовые явления;
- «цветение» фитопланктона;
- гипоксия;
- разливы нефти.



Рис. 1. Обобщенная архитектура ПК “EX-MARE”

Входными переменными указанных моделей являются экзогенные гидрометеорологические факторы, а также управляющие (сценарные) воздействия.

Модельные компоненты включают в свой состав непосредственно одну или несколько моделей; а также диспетчер, отвечающий за запуск моделей и процедур обработки данных в требуемом порядке.

Чтобы обеспечить работу подсистемы моделирования нужно учитывать, что почти все модельные компоненты уже созданы и форматы их входных/выходных файлов не согласованы. Для обеспечения взаимодействия с хранилищем данных в подсистему выполнения модельных расчетов включены модули преобразования форматов файлов.

Для проведения численных экспериментов необходимо наличие набора сценариев, каждый из которых характеризуется определенной вероятностью осуществления. Конструктор сценариев представляет собой алгоритм, согласно которому строятся разнообразные сценарии. Ядром конструктора сце-

нариев является модуль создания и сборки сценария. Сценарий в рамках ПК EX-MARE помимо текстового/ смыслового описания содержит набор входных данных, параметров модели, значения для начальных и граничных условий. Таким образом, конструктор сценариев обеспечивает подготовку наборов входных данных для конкретных модельных расчетов.

Основная цель подсистемы загрузки данных – собрать вместе все релевантные данные натуральных и спутниковых наблюдений для региона исследований, которые будут использованы для инициализации математических моделей, для определения граничных условий, для целей усвоения данных и валидации результатов. Извлечение данных из соответствующих баз данных происходит в автоматическом режиме, а подготовленные наборы данных передаются в хранилище данных для дальнейшей обработки. Подсистема сбора данных представляет собой набор скриптов, обеспечивающих своевременную подготовку всех параметров об окружающей среде, необходимых для инициализации подсистемы модельных расчетов. Фактически для каждого источника (наблюдений, прогнозов, данных дистанционного зондирования) реализована специализированная процедура автоматической или полуавтоматической загрузки данных.

Подсистема обработки результатов представляет собой набор процедур, выполняющих агрегацию информации, преобразование информации в пространственные форматы, сравнение с доступными данными наблюдений. Подобная валидация обеспечивает количественную меру качества моделей, а также выявление изменений, которые должны быть внесены в параметризацию моделей.

Взаимодействие всех функциональных компонент осуществляется посредством хранилища данных, т.е. компоненты не обмениваются между собой информацией напрямую, а записывают или извлекают данные из хранилища. Таким образом, хранилище является инструментом управления наборами данных и доступа к ним. Для обеспечения поиска данных, доступных в сетевом хранилище, предназначен сервис каталога метаданных. Всякий раз, когда новые данные попадают в хранилище, информация о них автоматически добавляется к каталогу. Хранилище аккумулирует наборы данных, полученных в результате вычислительных экспериментов, наряду с данными, собранными системами наблюдения.

В подсистему визуализации входит набор проектов в ГИС-пакете ArcGIS для представления картографической информации. Каждый ГИС-проект содержит три фрейма данных:

- базовая карта;
- фактические данные;
- прогнозные данные.

Базовая карта исполняет роль картографической подложки. В каждом конкретном проекте используются только слои, необходимые для формирования адекватного отражения фактической и/ или ожидаемой обстановки.

Во фрейме «Фактические данные» расположены слои, связанные с результатами наблюдений, – метеостанции, гидропосты, данные дистанционного зондирования и т.д.

Во фрейме «Прогнозные данные» расположены слои, характеризующие ожидаемую ситуацию с определенной заблаговременностью. Это могут быть как входные данные для используемых моделей, так и результаты моделирования.

Работа ПК «EX-MARE» производится по расписанию. В автоматизированном режиме осуществляются следующие процессы: загрузка данных из внешних источников в хранилище данных; подготовка базовых (ежесуточных) сценариев в качестве входов для соответствующих модельных компонент; расчет моделей и последующая обработка результатов с публикацией в хранилище данных.

В ходе выполнения проекта «Разработка компьютерной системы оперативного прогнозирования опасных природных явлений в бассейне, береговой зоне и акватории Азовского моря» был разработан экспериментальный образец ПК «EX-MARE». Проведенные экспериментальные проверки и тестирование этого образца показали адекватность выбранных методов прогнозирования опасных природных явлений и работоспособность предложенной схемы организации комплекса.

В России решение задач по прогнозированию и обнаружению опасных природных явлений (ОЯ), предупреждение органов государственной власти и соответствующих организаций с целью предотвращения гибели людей и снижения экономического ущерба возложены на Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Штормовые предупреждения в виде текстовых сообщений появляются на сайте Росгидромета, МЧС и других ведомств и распространяются через СМИ. Например, на сайте Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды приводятся предупреждения об опасных явлениях и неблагоприятных гидрометеорологических условиях и сообщения об ожидаемой гидрологической обстановке на реках и водохранилищах ЮФО и СКФО.

За прогнозирование морских гидрометеорологических ОЯ отвечает оперативный модуль ЕСИМО. Для Азовского моря он содержит следующие виды прогнозов:

- прогноз метеорологических условий над акваторией моря (прогноз выпускается метеоцентром NCEP/NOAA);

- прогноз параметров ветрового волнения (результаты расчетов по спектральной модели Wavewatch III v.3.14; данные Гидрометцентра).

Можно выделить следующие недостатки сложившейся системы прогнозирования и оповещения об ОЯ.

1. Неэффективность существующей системы в целом (ущербы от ОЯ продолжают расти, несмотря на повышение прогностических свойств используемых моделей, о которых заявляется в научных статьях). Причины этому могут быть следующие:

- низкое качество прогноза или его несвоевременность;
- неспособность соответствующих органов адекватно реагировать на своевременное предупреждение, т.е. выполнить превентивные мероприятия по снижению последствий ОЯ.

На основе информации из открытых источников трудно установить, какая из этих двух причин (или их комбинация) является основной в каждом конкретном случае.

2. Неэффективный способ оповещения. Широковещательное, а не целевое оповещение (для разных групп пользователей) может приводить к игнорированию штормовых предупреждений.

3. Низкая информативность сообщений (приводятся значения гидрометеорологических характеристик и некоторая общая информация о возможных последствиях) также может быть причиной неадекватной реакции на предупреждения.

4. Низкая детализация прогнозной информации.

5. Некоторые ОЯ, имеющие место на Юге России, не идентифицированы как таковые, поэтому совсем не участвуют в процессе прогноза («цветение» микроводорослей, дефицит растворенного кислорода и т.д.). Возможно, это связано с низким прямым ущербом от этих явлений или со сложностью их прогнозирования.

С учетом опыта разработки и эксплуатации системы EX-MARE можно предложить следующие рекомендации по развитию систем прогнозирования опасных природных явлений в Азовском море.

1. Прогнозные и диагностические расчеты должны сопровождаться сравнением с данными наблюдений. При этом должны использоваться все доступные данные наблюдений (как российской, так и украинской наблюдательных сетей), а также станции с самописцами, регистрирующими данные с большей частотой. Необходимо совершенствовать систему наблюдений, увеличивая долю самописцев в общей сети станций.

2. Нужна публичность прогнозов от всех групп исследователей, по крайней мере для научного сообщества.

3. Необходима консолидация усилий научных групп в рамках ансамблевого подхода, что требует унификации входных данных и процедур сравнения результатов.

4. Разрабатываемые методы прогнозирования должны проходить экспертную оценку в РАН, например в рамках Секции океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле РАН.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бердников Сергей Владимирович – д.г.н., председатель ЮНЦ РАН; berdnikov@ssc-ras.ru

Кулыгин Валерий Валерьевич – к.т.н., зав. лаб. ЮНЦ РАН; kulygin@ssc-ras.ru