

**АННОТИРОВАННЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ  
О РЕЗУЛЬТАТАХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ  
НА ЭТАПЕ № 1**

**«Создание комплексной системы диагноза и прогноза морской динамики и состояния вод Черного моря на основе хорошо апробированной российской модели морской циркуляции INMOM со сгущением сеточной области в районе Большого Сочи»**

**Соглашение № 8352 от «17» августа 2012 г.**

**Тема:** «Создание системы оперативного мониторинга течений и распространения загрязнений в акватории Большого Сочи».

**Исполнитель:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова» (ФГБУ «ГОИН»).

**Ключевые слова:** численное моделирование морской циркуляции, комплексная система диагноза и прогноза морской динамики, распространение загрязняющих веществ, прибрежная зона, Черное море.

### **1. Цель проекта**

Создание комплексной информационно-вычислительной системы (ИВС) для моделирования и прогноза морской динамики и состояния вод Черного моря и расчета распространения загрязняющих веществ (ЗВ) в прибрежной зоне Большого Сочи.

- 1) Создание комплексной системы диагноза и прогноза морской динамики и состояния вод Черного моря на основе хорошо апробированной российской модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) со сгущением сеточной области в районе Большого Сочи.
- 2) Создание системы расчета и прогноза распространения ЗВ в оперативном режиме в прибрежной зоне Большого Сочи. В качестве источников ЗВ в интересующем регионе выбраны 3 основные реки Сочи, Хоста и Мзымта, а также выходы 17 труб глубоководных выпусков сточных вод в прибрежную акваторию Черного моря на участке Большого Сочи.
- 3) Создание системы анализа, визуализации и цифрового представления пространственно-временного распределения характеристик ЗВ в прибрежной зоне Большого Сочи, в том числе в случае чрезвычайных ситуаций (ЧС), для принятия мер по предотвращению и ликвидации загрязнений прибрежной акватории и берега Черного моря на участке Большого Сочи.

### **2. Основные результаты проекта (этапа проекта)**

В соответствии с календарным планом работ на 1-м этапе настоящих НИР результаты приводятся по 3-м разделам.

Для этого в ФГБУ «ГОИН» была реализована система оперативного расчета и прогноза метеорологических характеристик над Черноморским регионом на основе расчета атмосферного воздействия по модели WRF на «атмосферной» сетке, покрывающей акваторию Черного и Азовского морей с разрешением 15 км. Атмосферное воздействие для моделей ветрового волнения и циркуляции моря физически рассчитывается один раз в сутки по региональной модели WRF на 3-е модельных суток вперед: от срока 18 часов Гринвича с заблаговременностью 72 часа. При этом входными

полями для модели WRF служат поля GSF (Global Forecasting System) из NCEP (National Center Environmental Prediction). Выдача результатов производится каждый час для расчета атмосферного воздействия в морской модели и полей волнения.

В качестве гидродинамической модели для расчета полей течений в районе Большого Сочи используется  $\sigma$ -модель морской циркуляции Института вычислительной математики (ИВМ) РАН, получившей название INMOM (Institute Numerical Mathematics Ocean Model). Данная версия INMOM настраивалась на акваторию всего Черного моря. Причем использовались две версии этой модели, называемые для краткости как модель 1 (M1) и модель 2 (M2). В M1 используется равномерное пространственное разрешение модели с шагом приблизительно 4 км. M2 реализовывалась так же для всего Черного моря, но с неравномерными по пространству шагами, так что у побережья Большого Сочи пространственное разрешение доходило приблизительно до 50 м. Необходимость такого подхода обусловлена тем, что по первой версии модели можно быстро рассчитывать циркуляцию всего Черного моря на любой заданный физический момент времени, поскольку временной шаг этой модели в силу условия Куранта 5 минут. Вторая же модель требует значительных вычислительных ресурсов, поскольку ее временной шаг, опять же в силу условия Куранта около 15 сек. При таком подходе M2 используется только в периоды расчета переноса загрязняющих веществ (ЗВ), причем начальное гидрологическое состояние задается из M1. При этом, поскольку M2 реализуется также на акватории всего Черного моря, то проблема условий на «жидких» границах, которая неизбежно возникла бы при использовании региональной модели высокого разрешения, исчезает. Атмосферное воздействие для обеих моделей M1 и M2 рассчитывается по насчитанным заранее данным вышеописанной атмосферной модели WRF.

В рамках этого раздела был протестирован и верифицирован комплекс гидродинамических моделей для расчета переноса ЗВ, включающий модель WRF для расчета атмосферного воздействия, быструю модель M1 расчета течений в Черном и Азовском морях с равномерным пространственным разрешением с шагом приблизительно 4 км, модель M2 для всего Черного моря, с неравномерными по пространству шагами, так что у побережья Большого Сочи пространственное разрешение доходило приблизительно до 50 м, в которой и происходит расчет распространения ЗВ с использованием монотонной схемы переноса пассивной примеси, не дающей ложных экстремумов.

Верификация моделей динамики Черного моря M1 и M2 проводилась по измерениям с буев АРГО в различных пространственно-временных точках их всплытия в период 2007 г., а также по данным европейского проекта MYOCEAN ([www.myocean.eu](http://www.myocean.eu)), по которому можно судить о состоянии циркуляционной картины Черного моря в оперативном режиме. Второе оказалось возможным, так как в рамках данной НИР в ФГБУ «ГОИИ» в настоящее время реализуется система комплексного оперативного диагноза и прогноза на 3-е суток г/м характеристик Черного и Азовского морей, включающая расчет атмосферного воздействия по модели WRF, расчет параметров волнения по Российской атмосферно-волновой модели (РАВМ) и расчет течений, уровня, температуры и солености моря по модели M1. С помощью этой системы выполнен анализ гидрометеорологической обстановки, сложившейся над северо-восточным побережьем Черного моря 6-7 июля 2012 г, приведшим к наводнению в г. Крымске. Проведенная верификация показала, результаты расчетов по моделям M1 и M2 неплохо согласуются с данными, представленными MYOCEAN для Черного моря. Тем не менее, необходимо развивать систему усвоения данных наблюдений, и в первую очередь спутниковых данных о температуре поверхности моря.

Исходя из предварительных тестовых расчетов следует сделать выводы о том, что динамика вод Черного моря по комплексу моделей M1 и M2 воспроизводит характер распространения ЗВ в акватории Большого Сочи, который, как и следовало ожидать, в

основном, определяется синоптическим ветровым воздействием. Поэтому к используемому атмосферному воздействию должно быть предъявлено требование адекватности изменчивости ветра в прибрежной области. Для этого и используется сложный расчет атмосферного воздействия по региональной модели атмосферной циркуляции WRF.

Новизна общего подхода к исследованиям по НИР заключается в предлагаемом комплексном подходе использования атмосферной модели WRF, морских моделей M1 и M2 на основе INMOM и современных массивов данных наблюдений, объединяемых в единую ИВС.

Наиболее продвинутым комплексом по направлению настоящей НИР служит система MIKE – коммерческий продукт для моделирования водных объектов, созданный в DHI (Danish Hydrological Institute – Датский гидрологический институт) и содержащий в себе множество программных модулей для моделирования различных процессов, таких как, наводнения, переноса ЗВ, взаимодействие морских и речных вод и т.д. Однако полный пакет MIKE крайне дорог (несколько миллионов Евро) и, более того, пользователь при его использовании все равно сам должен задавать атмосферное воздействие и решать проблему на «жидких» границах. Другой моделью, с помощью которой также можно решать поставленные в НИР задачи, могла бы быть модель POM (Princeton Ocean Model), которая также как и INMOM использует по глубине  $\sigma$ -координату, но обладает более низким быстродействием. Кроме того, два последних из пп. недостатков MIKE, также присущи POM. Предлагаемый в настоящей НИР комплексный подход обходит эти три проблемы.

### **3. Назначение и область применения результатов проекта**

Результаты работ позволяют проводить оценку экономического ущерба и экологических рисков в акватории Большого Сочи. Использование разработанных методов оценки экологической обстановки в прибрежных экосистемах должно существенно снизить вероятность значительных последствий техногенных катастроф и технологических ошибок на стадии проектных работ тех или иных добывающих и промышленных комплексов в морских регионах РФ.

Настоящая НИР пока носит научный исследовательский характер, поэтому согласно регламенту пп. 3.2 не заполняются. Однако описанное в п. 3.1., можно надеяться, вполне может найти практическое применение.

### **4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта (этапа Перспективы развития исследований)**

Успешное выполнение настоящих НИР невозможно без привлечения молодых исследователей, которое придает уверенности в достижении поставленных целей. Именно молодые специалисты, обладающие современным уровнем знаний и навыков в области компьютерных вычислений и технологий способны воплотить задачи НИР до конечного технологического результата. В более общем плане, результаты работ позволят быстро реализовать отработанную на акватории Большого Сочи технологию для проведения оценки экономического ущерба и экологических рисков на других морских акваториях при различных видах антропогенного воздействия. На их основе будут выработаны

предложения проведения экономически эффективных мер по оздоровлению экологической обстановки, минимизации ущерба хозяйственной деятельности на прибрежных акваториях морей.

Мониторинг (с применением моделирования) состояния среды существования промысловых гидробионтов и объектов их питания должен способствовать повышению эффективности рыбохозяйственного комплекса, информированности рыбодобывающих организаций об экологических рисках.

В рамках выполнения данного осуществляется сотрудничество с Морским гидрофизическим институтом (МГИ) Национальной академии наук Украины (НАНУ), г. Севастополь.

По тематике настоящей НИР в целях развития модели М1 циркуляции Черного и Азовского морей научный коллектив участвует в проекте Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ 12-05-90415-Укр-а «Исследование особенностей формирования и изменчивости циркуляции вод Черного моря на основе мультимодельного подхода» (руководитель д.ф.-м.н. Дианский Н.А.) и Программы президиума РАН П 23 «Черное море как имитационная модель океана» - совместный проект с НАНУ, руководитель с российской стороны акад. Марчук Г.И.). В рамках этих проектов проведены и проанализированы результаты воспроизведения циркуляции Черного моря за 2007-2008 гг. с помощью  $\sigma$ -модели INMOM (модель М1). Результаты численного моделирования показывают хорошее соответствие данным наблюдений, а так же результатам расчета динамики Черного моря по модели МГИ НАНУ.

В рамках настоящей НИР сотрудничество с МГИ НАНУ может способствовать наибольшей отдаче для развития в России технологий в области исследования.

## **5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников проекта (этапа проекта) в области науки, образования и высоких технологий**

*Закреплены следующие специалисты:*

Богданов Ю.А., 21.01.1986 года рождения, выпускник МФТИ, в 2012 году принят в очную аспирантуру ФГБУ «ГОИН», а так же принят на работу на 0,5 ставки на должность младшего научного сотрудника в ФГБУ «ГОИН».

Фомин В.В., 20.10.1989 года рождения, выпускник МФТИ, в 2012 году принят в очную аспирантуру Факультета аэрофизики и космических исследований МФТИ, а так же принят на работу на 0,5 ставки на должность младшего научного сотрудника в ФГБУ «ГОИН».

### **Руководитель организации-исполнителя:**

И.о. директора ФГБУ «ГОИН»

\_\_\_\_\_ А.А.Постнов

### **Руководитель работ по проекту:**

Ведущий научный сотрудник,

\_\_\_\_\_ Н.А.Дианский

д.ф.-м.н.

05 декабря 2012 г.

М.П.