

**КРАТКИЙ ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ ЗА 2016 г.  
по гранту Российского фонда фундаментальных исследований № 16-35-60046 мол\_а\_дк  
«Исследование гидрологического режима Каспийского моря в 20-21 веках и его  
экстремальных проявлений»**

Руководитель проекта: с.н.с. к.г.н. Яицкая Н.А.

Каспийское море – уникальный крупнейший в мире солоноватоводный замкнутый бессточный водоем, характерной особенностью которого являются значительные периодические колебания уровня. Вследствие особенностей географического положения и геоморфологического строения дна северная часть моря покрывается льдом в зимний период. Соленость вод залива Кара-Богаз-Гол в отдельные годы превышает 40‰ (рапа залива имеет соленость 150‰ и выше). Этот залив используется как источник технической и пищевой соли на протяжении столетий. Акватория моря является крупной морской транспортной артерией, соединяющей пять государств. На шельфе ведется разведка углеводородов. Каспийское море – водоем с исключительными потенциальными возможностями, создающими основу всестороннего социально-экономического развития региона. Вместе с прибрежными территориями Каспийское море формирует единый природно-хозяйственный комплекс. Эффективность функционирования этого комплекса определяется, прежде всего, особенностями динамики внутренних процессов замкнутого водоема. Наряду с этим Каспийское море является чувствительным к флуктуациям внешних факторов и быстро реагирует на такие изменения.

В 19-20 вв. выполнен ряд комплексных исследований Каспийского моря, результаты которых опубликованы в статьях, монографиях и обобщающих климатических справочниках. Выявлены основные закономерности в сезонном и многолетнем ходе гидрологического режима моря. Но значительная часть исследований проводилась для отдельных временных отрезков, выбор которых был обусловлен не климатической и гидрологической изменчивостью водоема, а имеющимся массивом данных.

В 21 веке несколькими независимым группам ученых из разных городов России удалось собрать относительно полные массивы данных исторических наблюдений и выполнить по ним анализ термохалинной структуры вод моря, гидрологического режима и климатических изменений в регионе за период инструментальных наблюдений, результаты которого описаны в многочисленных публикациях.

В 2012 г. инициатор проекта защитила кандидатскую диссертацию на тему «Термохалинный режим Каспийского моря при изменении уровня». В постдиссертационных исследованиях были сформулированы новые фундаментальные задачи об особенностях гидрологического режима Каспийского моря, которые будут решаться в настоящей работе на основе имеющегося массива данных с применением методов численного моделирования и географических информационных систем:

1. Как изменяется циркуляция вод в Каспийском море при изменении уровня моря?
2. Как влияет неоднородность испарения с водной поверхности на формирование поля течений Каспийского моря в условиях многолетнего изменения его уровня?
3. Как изменяется режим солености вод на всей акватории и в толще вод в зависимости от положения уровня моря, циркуляции вод, речного стока и при разных климатических воздействиях?
4. Как проявления экстремальных явлений в Каспийском море (лед, шторма, разрушение берегов) могут повлиять на береговую инфраструктуру?

В результате реализации исследования будут получены следующие основные результаты:

1. Описание общей циркуляции вод Каспийского моря и отдельно района Северного Каспия при различных положениях уровня моря в 20-21 веках, и для наиболее вероятных климатических сценариев в будущем.

2. Описание закономерностей о влиянии неоднородности испарения с водной поверхности на формирование особенностей гидрологического режима Каспийского моря при различных внешних воздействиях - ретроспективных и наиболее ожидаемых в будущем, - на основе первичных океанографических данных и гидродинамического моделирования.

3. Восстановленные поля солёности Каспийского моря для характерных периодов положения уровня моря на основе океанографической базы данных и результатов математического моделирования, их описание.

4. Оценки комплексного влияния экстремальных явлений (кумулятивного эффекта) в Каспийском море (лед, шторма, разрушение берегов) на береговую инфраструктуру.

Для успешного и последовательного достижения цели и получения результатов сформулирован ряд задач на 2016-2018 гг. Порядок выполнения проекта выстроен таким образом, чтобы максимально оптимизировать затраченное время на получение основных результатов. Поэтому работы, запланированные на первый год проекта, являются подготовительными для второго года и будут полностью включены в рабочий процесс в 2017 г. в качестве исходных данных для модели CaSMOD.

В полном отчете о научно-исследовательской работе пошагово рассмотрено решение каждой задачи, запланированной на первый этап в 2016 г. Выполнено описание и анализ полученных результатов. Основное внимание уделено ветровому волнению и его анализу. Эти результаты будут неоднократно использованы на следующих этапах работы. Расчет непрерывных рядов среднесуточных TS-характеристик и параметров циркуляции вод моря выполнялся для восстановления реалистичной картины пространственного распределения этих параметров, поскольку методы объективной интерполяции на нерегулярно распределенных данных допускают большие ошибки. Ниже рассмотрены и проиллюстрированы результаты, полученные в 2016 г.

1 Разработана цифровая модель рельефа дна Каспийского моря высокого разрешения ( $0.001^\circ \times 0.001^\circ$ ) по новейшим батиметрическим данным, которая станет единой основой для создания расчетных сеток и под-сеток всех математических моделей, используемых в проекте (мультикомпарментальной балансовой модели гидрологического режима Каспийского моря CaSMOD, гидродинамической модели Bergen Ocean Model (BOM); спектральной волновой модели Simulating WAves Nearshore (SWAN)).

2 К акватории Каспийского моря адаптирована спектральная волновая модель SWAN:

а) разработана и реализована трехуровневая схема расчетов параметров волнения с применением модели SWAN с использованием последовательности вложенных сеток Каспийское море -> Северный Каспий / Апшеронский полуостров / г. Туркменбаши -> Ключевые участки Северного Каспия для детализации отдельных районов;

б) разработан конструктор сценариев, который позволяет при расчетах в автоматическом режиме учитывать изменение береговой линии и морфометрических значений при среднемноголетнем изменении уровня Каспийского моря, и динамику ледового покрова.

3 Выполнены расчеты длительных непрерывных рядов среднесуточных параметров ветрового волнения (высота значительных волн, средний период, длина, направление волны и др.) Каспийского моря и отдельных районов (вложенные сетки) в 20-21 вв. на основе данных ре-анализа NCEP/NCAR и накопленной информации в собственной ГИС «Каспийское море» с помощью модели SWAN.

4 Выполнен анализ пространственно-временных особенностей характеристик ветрового волнения в Каспийском море, рассчитаны основные статистические характеристики. Показано, что в многолетнем режиме сезонная динамика параметров волнения ярко выражена; максимального развития параметры достигают в конце осени-зимой. Такие результаты согласуются с ранее опубликованными сведениями на основе наблюдений и расчетов по эмпирическим формулам.

5 Выполнена оценка связи ветрового волнения с региональными проявлениями изменения климата в регионе Каспийского моря. Для этого были проведены дополнительные исследования межгодовой изменчивости сезонной динамики температуры и солёности вод моря на основе информация из океанографической базы данных, накопленной в рамках диссертационного исследования руководителя настоящего проекта. Показано, что за более, чем сто лет происходили значительные изменения в гидрометеорологическом режиме Каспийского моря.

6 К условиям акватории Каспийского моря адаптирована гидродинамическая модель Bergen Ocean Model (BOM). Подготовлены исходные начальные и граничные условия для непрерывных многолетних расчетов.

7 Выполнен расчет с помощью WOM непрерывных рядов среднесуточных TS-характеристик и параметров циркуляции вод моря в 20-21 вв. на основе имеющейся метеорологической информации из ГИС «Каспийское море», океанографической базы данных, данных ре-анализа NCEP/NCAR и архива ЕСИМО.

8 Разработан ряд программных модулей:

а) конструктора сценариев – предназначен для учета динамики береговой линии, морфометрии и ледового покрова в автоматическом режиме при расчетах ветрового волнения.

б) экстракции – предназначен для получения универсального и структурированного представления данных вне зависимости от типа источника. На этапе 1 компонент использован для извлечения данных ре-анализа по заданной области Каспийского моря, переструктурирования и сохранения в формат модели;

в) отображения данных, который позволяет быстро визуализировать входные файлы для моделей и результаты расчетов в форматах GeoTIFF и ESRI Shapefile с географической привязкой.

Таким образом, получены исходные данные для компартментальной модели CaSMOD для расчета и описания общей циркуляции вод Каспийского моря и отдельно района Северного Каспия при различных положениях уровня моря в 20-21 веках, и для наиболее вероятных климатических сценариев в будущем (Этап 2, 2017 г. Основной результат 1); описания закономерностей о влиянии неоднородности испарения с водной поверхности на формирование особенностей гидрологического режима Каспийского моря при различных внешних воздействий - ретроспективных и наиболее ожидаемых в будущем, - на основе первичных океанографических данных и гидродинамического моделирования (Этап 2, 2017 г. Основной результат 2). Результаты расчетов по моделям SWAN и Bergen Ocean Model будут направлены на параметризацию межрайонного водообмена модели CaSMOD.

В 2017 г. будут оформлены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ для всех написанных модулей обработки данных, реализованных в рамках проекта.

Результаты проекта включены в 8 публикаций, в том числе 2 статьи в журналах из перечня Scopus/Web of Science и 1 статья в периодическом издании из перечня Scopus/Web of Science, результаты анализа метеорологических элементов включены в коллективную монографию:

Результаты проекта вошли в 7 статей и тезисов, частично представлены в коллективной монографии:

1 Матишов Д.Г., Бердников С.В., Яицкая Н.А. Изменение температуры и солености вод Каспийского моря в XX веке // Океанология, 2017. В печати (Web of Science, Scopus, ВАК)

2 Yaitskaya N., Berdnikov S. Wind waves in the Caspian Sea: results of a hindcast experiments // Oceanologia, 2017. В печати (Web of Science, Scopus)

3 Матишов Г.Г., Бердников С.В., Войнов В.Б., Олейников Е.П., Яицкая Н.А. Каспийский тюлень. Неоднородность среды обитания и полиморфизм вида. Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. В печати. (Коллективная монография)

4 Yaitskaya N., Berdnikov S. Preliminary Results of Assessment of the Wave Climate Changes in the Sea of Azov and the Caspian Sea During the XX and XXI Centuries // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-61-2 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book 3 Vol. 1, 585-592 pp. DOI: 10.5593/SGEM2016/B31/S12.076. (Web of Science, Scopus)

5 Yaitskaya N. The study of the hydrological regime extreme effects of the Caspian Sea during the XX-XXI centuries // Geophysical Research Abstracts. Vol. 18, EGU2016-PREVIEW, 2016. EGU General Assembly 2016 (Scopus)

6 Яицкая Н.А. Цифровая модель рельефа дна Каспийского моря // Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей: в 2-х т. Т. 2: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Выпуск 2. - Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. ISSN 2500-123X. С. 187-196. (РИНЦ)

7 Яицкая Н.А. Адаптация спектральной волновой модели SWAN к условиям бассейна Каспийского моря // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и

биотехнологии: материалы международной научной конференции и молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, Россия, 5-8 сентября 2016 г.) / [глав. ред. акад. Г.Г. Матишов]. - Ростов н/Д: Изд-во Южного научного центра РАН, 2016. - С. 253-256. (РИНЦ)

8 Яицкая Н.А. Изучение экстремальных проявлений гидрологического режима Каспийского моря: ре-анализ и прогноз // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 2: Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции (2-4 декабря 2015 г., Сочи). – Сочи: ГБУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Дониздат, 2015. – С. 358-365. (РИНЦ)

Руководитель проекта выступил на 6 международных и всероссийских конференциях с устными и постерными докладами:

1 II Всероссийская научно-практическая конференция «Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий» (2-4 декабря 2015 г., Сочи). Выступление с устным докладом «Изучение экстремальных проявлений гидрологического режима Каспийского моря: ре-анализ и прогноз».

2 EGU General Assembly 2016 (17-22 April, 2016, Vienna, Austria). Выступление с постерным докладом «The study of the hydrological regime extreme effects of the Caspian Sea during the XX-XXI centuries».

3 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 (June 28 - July 6, 2016, Albena, Bulgaria). Выступление с постерным докладом «Preliminary Results of Assessment of the Wave Climate Changes in the Sea of Azov and the Caspian Sea During the XX and XXI Centuries».

4 Всероссийская конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (11-17 сентября, 2016 г., Дюрсо). Выступление с устным докладом «Цифровая модель рельефа дна Каспийского моря».

5 Международная научная конференция «Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии» (памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова) (5-8 сентября 2016 г., Ростов-на-Дону). Выступление с устным докладом «Адаптация спектральной волновой модели SWAN к условиям бассейна Каспийского моря».

6 IV Международная конференция «Индикаторы климатических изменений в морских экосистемах. GeoID'2016» (3-7 октября, Сухум, Республика Абхазия). Выступление с устным докладом «Результаты экспериментов по ретроспективному анализу волнового климата в Каспийском море».

Все задачи, поставленные на 2016 г., успешно выполнены. Дополнительно решен ряд задач, не предусмотренный исходным планом работ. Выполнен ряд подготовительных исследований для будущих этапов.