

## АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на соискание степени доктора философии (Ph.D)  
по специальности 6D061000 – Гидрология

### ЕЛТАЙ АЙЗАТ ҒАЛИҚЫЗЫ

#### **Исследование ветрового волнения на Каспийском море на основе численного моделирования**

Разработка и развитие нефетегазовых месторождений в Прикаспийском регионе, ведение круглогодичного судоходства на море (для туризма, перевозки груза), необходимость сохранения биоразнообразия привело к возрастающему интересу всестороннего исследования Каспийского моря, в том числе гидрометеорологических процессов (сгонно-нагонных явлений, ветрового волнения, ледовых процессов, течения).

Диссертация посвящена исследованию ветрового волнения в казахстанской части Каспийского моря в многолетнем ретроспективном периоде и его возможные изменения в будущем.

**Объект исследования** – казахстанская часть Каспийского моря.

**Предмет исследования** – динамика изменения характеристик ветрового волнения на открытой акватории Каспийского моря.

**Цель исследования** – изучить процесс ветрового волнения на море, расчет его пространственно-временного изменения в настоящее время и в будущем на основе численного моделирования с применением спектрально-волновой модели SWAN и данных ДЗЗ. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Анализ термических и гидродинамических процессов на акватории Каспийского моря по наблюдаемым данным;
- Разработка «Каталога сильного волнения» по данным о ветровом волнении с наблюдательных станции и постов;
- Ретроспективные расчеты характеристик ветрового волнения с применением численного моделирования за многолетний период, анализ и определение особенностей пространственно-временной изменчивости параметров ветрового волнения;
- Статистическая оценка расчетных данных по сравнению с наблюдениями;
- Расчеты изменения высоты волны на будущее на основе данных климатических проекции моделей CMIP6 до 2050 г. по сценариям изменения климата SSP1.26 и SSP5.85;
- Создание карт пространственно-временного распределения высоты и направления волнения за многолетний ретроспективный период и высоты волны на будущее до 2050 г.;
- Районирование территории казахстанского сектора Каспийского моря по степени волнения.

**Источники материалов исследования** – архивные и литературные материалы, в том числе – данные справочника «Ежегодные данные о режиме Каспийского моря, казахстанское побережье», фондовые материалы РГП «Казгидромет» МЭиПР РК, данные дистанционного зондирования Земли, включающие данные реанализов, спутников альтиметров, данные климатических моделей набора данных NEX-GDDP-CMIP6, картографический материал.

**Методологическая база исследования.** Применяемые в диссертационной работе подходы основываются на применении численного моделирования для описания волновых процессов на море совместно со статистическим анализом текущих данных прибрежных наблюдений. Обработаны полученные фактические, фондовые и картографические материалы, рассчитаны статистические характеристики. Выполнен сравнительно-описательный анализ данных. Проведена оценка точности данных с применением статистических критериев, как коэффициент корреляции, детерминации и эффективности, индекс согласия, средняя абсолютная и среднеквадратическая ошибка. Для расчета характеристик ветрового волнения применена спектрально-волновая модель SWAN, для подготовки входных параметров которой использован язык программирования R, программа DHI.Generic.NetCDF.MIKE. В качестве ветрового форсинга используются данные о ветре из реанализа ERA5 с разрешением  $0,25^{\circ}$ , проекции климата на будущее по сценариям изменения климата SSP1.26, SSP5.85. По собранным входным данным, созданы тематические карты в программе Qgis.

**Актуальность диссертационного исследования.** Акватория Каспийского моря входит в сферу стратегических интересов страны в экономическом, транспортном и инфраструктурном плане. У побережья моря в 1963 году создан порт Актау, в рамках исполнения указа президента «Нурлы жол – путь в будущее» и реализации проекта «Новый Шелковый путь» в 2016 г. открыт порт Курык.

В свою очередь в Прикаспийском регионе успешно развиваются нефтегазовая отрасль республики и расположены три крупнейших месторождения нефти и газа: Тенгиз, Карачаганак, Кашаган. Транспортировка нефти на экспорт производится по различным нефтепроводам, также через морской порт Актау (по маршруту транспортировки Актау-Баку, Актау-Махачкала).

Прибрежные районы подвергаются совокупным действиям нескольких факторов: повышение или понижение уровня моря, увеличение частоты стихийных явлений, разрушению берегов. Развитие технических средств освоения морской акватории (добыча нефти и газа), морского флота, необходимость сохранения биоразнообразия привело к возрастающему интересу всестороннего исследования Каспийского моря, в том числе гидрометеорологических процессов.

В связи с этим, информация о опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях (сильные ветра, сильное волнение, сгонно-

нагонные колебания уровня моря и др.), является востребованной при проведении работ на море, проектировании сооружений на открытой акватории и на побережье, для обеспечения безопасного плавания гражданского и военного флота.

Штормовые волнения могут причинить большой экономический ущерб. Кроме того, изучение волнового режима необходимо для прогнозирования изменения характеристик волнения в целях обеспечения безопасности плавания на море и для накопления натуральных данных о волнении, используемых при теоретических исследованиях в этой области. Этим обуславливается актуальность исследования волновых процессов.

Выполнение любых расчетов, которые связаны с параметрами волнения, затруднены отсутствием продолжительных рядов наблюдений, которые в свою очередь ведутся визуально, поэтому в большинстве случаев характеристики волнения рассчитываются в результате применения математического или численного моделирования.

**Научная новизна** исследования определяется следующим:

- Проведена качественная и количественная оценка пространственно-временных изменений характеристик ветра и волнения казахстанского сектора Каспийского моря по данным прибрежных наблюдений, ДЗЗ (альтиметрия, реанализ), расчетных данных моделей (SWAN, ECWAM);

- Созданы карты пространственно-временного распределения высоты волны на акватории Каспийского моря по результатам численного моделирования с применением модели SWAN и характеристик ветра по данным реанализа ERA5 за 1959–2021 гг. и климатическим проекциям моделей CMIP6 на будущее до 2050 г.

- Проведены расчеты изменения высоты волны до 2050 г. по основным пунктам наблюдений в казахстанском секторе Каспийского моря;

- Разработана карта районирования акватории казахстанского сектора Каспийского моря по степени волнения.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- Новые представления о характере ветрового режима Каспийского моря по данным прибрежных наблюдений и ДЗЗ: выявлена тенденция уменьшения средней скорости ветра; при преобладании восточных, юго-восточных, северных направлений ветра и их количества в северо-восточной части моря;

- Разработка «Каталога сильного волнения», позволило оценить особенности волновых характеристик в казахстанском секторе Каспийского моря и особенностей их сезонного распределения;

- Новые представления о характере волнения на открытой акватории казахстанского сектора Каспийского моря, выявленного на основе численного моделирования с применением данных реанализа ERA5 и моделей изменения климата CMIP6;

- Построены карты зонирования акватории Каспийского моря по степени волнения.

### **Научно-практическая значимость исследовательской работы.**

Значимость заключается в получении новых научных знаний и данных для понимания механизма и выявления особенностей ветрового волнения на акватории казахстанского сектора Каспийского моря в настоящем и в будущем до 2050 г. в условиях изменения климата.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании строительства прибрежных сооружений, определений навигационных путей на море и др.

Экономический эффект заключается в обеспечении безопасности населения от влияния стихийных явлений и связанных с ними чрезвычайных ситуации природного и техногенного характера.

**Личный вклад автора** заключается в решении поставленных задач диссертационного исследования заключается:

- В проведении качественной и количественной оценки пространственно-временных изменений характеристик ветра и волнения казахстанского сектора Каспийского моря;
- В разработке и создании серии карт, схем функционального зонирования районов;
- В подготовке и публикации полученных научных результатов по тематике проведенного исследования в рейтинговых журналах. Основные положения научных статей отражены в разделах диссертации на соискание ученой степени Ph.D.

**Апробация исследования.** Основные результаты диссертационной работы были доложены:

- 17th CAS-TWAS-WMO Forum (2018, Пекин, Китай);
- International Symposium on Water and Land Resources in Central Asia (2018, Алматы, Казахстан);
- Конференция «Ломоносов-2019» (2019, Москва, Россия);
- II Всероссийская научно-практическая конференция, приуроченная к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ (2019, Иркутск, Россия);
- международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря», (2021, Астрахань, Россия);
- IV Международная научная конференция Развитие водных транспортных магистралей в условиях глобального изменения климата на территории Российской Федерации (Евразии) («Опасные явления – IV») памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова: материалы (2022, Ростов-на-Дону, Россия).
- International Scientific Conference «Global Challenges for Global Science II» (2022, София, Болгария).

**По материалам диссертационного исследования опубликовано 23** печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в базу Scopus, 6 статьи в республиканских научных журналах из перечня Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 11 статьи в материалах международных конференций, 2 статьи в научных изданиях.

**Структура диссертации.** Диссертация изложена на 159 страницах и состоит из определений, обозначений и сокращений, введения, 5 разделов, заключения и списка использованных источников из 180 наименований, из них 53 на иностранных языках; содержит 28 таблиц, 47 рисунков и 3 приложения.