

Магаева Анастасия Алексеевна

**ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ АЗОВСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ:
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

1.6.21 Геоэкология
(25.00.36 – Геоэкология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральном исследовательском центре Южном научном центре Российской академии наук» (ЮНЦ РАН)

Научный руководитель: **Яицкая Наталья Александровна**, кандидат географических наук

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2022 года в _____ часов на заседании Д 24.1.049.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29 и на сайте Института: <http://igras.ru/defences>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажных носителях в двух экземплярах, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета Д 24.1.049.02, Белоновская Е.А. e-mail: d00204603@igras.ru.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат географических наук

Е.А. Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Морской лед – один из важных компонентов в круговороте воды, пограничная зона между атмо- и гидросферой, где могут накапливаться различные элементы и частицы, являясь индикатором экологического состояния окружающей среды. Для прибрежных районов наличие сплоченного льда представляет защиту от абразионно-оползневых процессов. В то же время ледяной покров может препятствовать судоходству и экономической деятельности. В совокупности со штормами или нагонами лед представляет серьезную угрозу для безопасности природопользования и эксплуатации морских и прибрежных гидротехнических сооружений.

Азовское и Каспийское моря относятся к периодически замерзающим водоемам. В силу географического положения они имеют важное геополитическое, стратегическое и экономическое значение для нашей страны. Здесь ведется активная хозяйственная деятельность, широко развита морская транспортная сеть, в Северном Каспии производится разработка месторождений углеводородов. На побережье расположены крупные города, туристско-рекреационные зоны и особо охраняемые природные территории регионального и федерального значения.

Вследствие современных флуктуаций климата в азово-каспийском регионе наблюдается рост температуры воздуха в предзимний и зимний периоды, сокращение площади ледяного покрова и изменение сроков образования и разрушения льда, а также увеличение повторяемости опасных гидрометеорологических природных явлений в зимний период. В будущем это может привести к перестройке гидрологического режима и геоморфологических характеристик морей, нарушению биологического баланса и биоразнообразия.

Все это определяет актуальность исследования многолетней динамики ледового режима и опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей.

Степень разработанности темы.

Изучению ледового режима Азовского и Каспийского морей и его многолетней динамики уделяли внимание многие авторитетные ученые XX и XXI вв. (Бердников С.В., Бухарицин П.И., Валлер Ф.И., Веселова Л.Е., Гюль К.К., Думанская И.О., Дьяков Н.Н., Ивкина Н.И., Книпович Н.М., Кошечкин Б.И., Каракаш Е.С., Матишов Г.Г., Соловьев Д.В., Огородов С.А., Федоренко А.В.). Первые обобщающие работы, где собраны данные наблюдений и карты авиаразведок, были опубликованы во второй половине XX в. в виде «Атласа льдов Черного и Азовского морей» (1962) и «Атласа льдов Каспийского моря» (1961). Позднее, на основе накопленных архивов выпускались комплексные гидрометеорологические справочники (Гидрометеорологический..., 1962; Гидрометеорологические..., 1986; Гидрометеорология..., 1991), в которых дано подробное описание ледовых условий Азовского и Каспийского морей и факторов его определяющих. Эти работы до сих пор не потеряли своей значимости.

С начала XXI в. наступил качественно новый этап в наблюдениях за ледовыми условиями морей – стали широко доступны данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые позволяют проводить регулярный мониторинг состояния ледяного покрова. Результаты дешифрирования космоснимков в виде картосхем предоставляют ЕСИМО (Единая государственная система информации об обстановке в Мировом Океане) и НИЦ «Планета». Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт публикует региональные ледовые карты по отдельным морям, которые доступны в электронном каталоге Мирового центра данных по морскому льду. Казахстанская компания «LLP ICEMAN.KZ» проводит мониторинг дрейфа льда и ледяных торосистых образований на акватории Северного Каспия. Исследованию ледяного покрова Азовского и Каспийского морей на основе данных ДЗЗ посвящены работы (Боровская, Лексикова, 2008; Дашкевич и др., 2016; Kouraev и др., 2003; Yaitskaya и др., 2014; Антонюк, 2014).

На сегодняшний день, накопленные и опубликованные (Атлас ..., 2014; Atlas..., 2014; Думанская, 2014, Атлас льдов..., 2015) данные позволяют выявить основные особенности ледового режима рассматриваемых морей.

В связи с активной морехозяйственной деятельностью в акваториях Азовского и Каспийского морей существует необходимость оценки природных опасностей и рисков, в том числе связанных с ледяным покровом. В целях гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на Каспийском море разработан электронный «Атлас ледовых явлений и образований Северного Каспия и дельты Волги» (Болдырев, 2009; Бухарицин, 2012), выполнен анализ рисков при строительстве и эксплуатации нефтегазовых сооружений (Анисимов и др., 2015). Описание ледовых условий на основных судоходных трассах представлено в работах (Думанская, 2013, 2014; Глушков, 2018). Однако остается не решенным ряд вопросов межгодовой динамики ледового режима Азовского и Каспийского морей и опасных ледовых явлений в условиях современного изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки на акватории и береговую зону морей.

Цель исследования – анализ пространственно-временной изменчивости параметров ледового режима и опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей на основе многолетних архивов данных, аккумулированных в базу геоданных и геоинформационную систему.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1) Создать базу геоданных параметров ледового режима Азовского и Каспийского морей за период инструментальных наблюдений и геоинформационную систему (ГИС) для пространственного анализа и визуализации данных.

2) Выполнить пространственно-временной анализ основных параметров ледового режима Азовского и Каспийского морей и факторов, его определяющих, в условиях многолетних климатических изменений.

3) Определить степень опасности ледовых явлений на акваториях Азовского и Каспийского морей в современный период для морского судоходства и прибрежных районов.

Объект исследования – Азовское и Каспийское моря.

Предмет исследования – многолетняя динамика ледового режима и опасные ледовые явления в условиях изменения климата.

Научная новизна результатов исследования:

- С применением современных технологий и программных средств создана база геоданных и геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России», которая включает картографический (1370 картосхем) и численный материал (12126 значений) за период 1916-2022 гг.

- Впервые выделено пять типовых ледовых сезонов, характеризующихся различными количественными показателями фаз ледового режима и гидрометеорологическими условиями, определены закономерности проявления во внутривековой динамике.

- Построены карты вероятности встречи льда и припая Азовского и Каспийского морей для современного периода 2000-2020 гг.

- Впервые выполнен пространственный анализ опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей, на основе которого составлены картосхемы районирования акваторий по степени проявления опасных ледовых явлений.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты научного исследования расширяют теоретические представления о многолетней динамике ледовых условий Азовского и Каспийского морей в условиях климатических изменений. Сведения об опасных ледовых явлениях (в том числе картосхемы) на акваториях Азовского и Каспийского морей могут быть использованы для комплексной оценки воздействия опасных гидрометеорологических явлений (штормовое волнение,

краткосрочные колебания уровня) на береговую зону исследуемых морей. Карты вероятности встречи льда и припая, построенные для современного периода 2000-2020 гг., и карты районирования акваторий по степени проявления опасных ледовых явлений имеют практическую значимость, так как могут быть использованы для морского пространственного планирования, обеспечения безопасности природопользования и эксплуатации морских и прибрежных гидротехнических сооружений.

Методология и методы исследования. Изучение ледового режима морей опирается как на традиционные (математический, статистический, описательный, картографический), так и современные (пространственно-временной анализ с помощью ГИС-технологий) методы анализа и обработки большого объема данных – исторических картосхем, ежегодных справочников о режимных характеристиках исследуемых морей, данных дистанционного зондирования Земли.

В работе использованы специализированные программные средства пространственно-временного анализа данных и графического представления результатов (ArcGIS, Microsoft Access, Microsoft Excel и др.).

Положения, выносимые на защиту:

1. **Вековая база геоданных и геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России»** характеристик ледового режима Азовского и Каспийского морей, включающая картографический и численный материал за период 1916-2022 гг. и инструментарий для анализа пространственно-временной информации.

2. Установлен **режимный сдвиг ледового сезона с начала XXI в. для Азовского и Каспийского морей**, который обусловлен ростом значений гидрометеорологических характеристик в предзимний и зимний периоды.

3. **Карты вероятности встречи льда и припая** в Азовском и Каспийском морях для современного периода 2000-2020 гг.

4. **Выявлены зоны, подверженные высокой и очень высокой степени проявления опасных ледовых явлений** на акваториях Азовского и Каспийского морей.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается 8 публикациями по теме диссертационного исследования в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science (в том числе 6 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК).

Исследования по теме диссертационной работы велись в рамках государственного задания ЮНЦ РАН и ряда научных проектов Российского фонда фундаментальных исследований:

- 16-35-00318 мол_а «Исследование влияния ветрового волнения и нагонных явлений на процессы образования и разрушения ледового покрова в Азовском море»;

- 17-05-41190 РГО_а Исследование кумулятивных опасных природных явлений в зимний период и их воздействие на береговую зону Каспийского моря;

- 18-05-80082 Опасные явления Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений;

- 19-35-90131 Аспиранты Влияние гидрометеорологических условий в предзимний период на формирование и динамику ледового режима Азовского моря в многолетнем аспекте;

- 19-35-50086 мол_нр Ледяной покров Каспийского моря: формирование, динамика, воздействие на берега и дно;

- 20-15-50320 Экспансия Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: реанализ и прогноз.

Апробация результатов. Результаты работы докладывались и обсуждались на 9 российских и международных конференциях: IV International Conference GeoiD'2016 (Сухум, Абхазия, 2016), Международной научно-практической конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных

географических исследований» (Санкт-Петербург, Россия, 2017), POLAR 2018 Open Science Conference (Давос, Швейцария, 2018), Молодежной научной конференции «Морские исследования и рациональное природопользование» (Севастополь, Россия, 2018), XIV ежегодная молодежная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Достижения и перспективы молодых ученых в интересах развития Юга России» (Ростов-на-Дону, Россия, 2018), Всероссийской научной конференции «Моря России: фундаментальные и прикладные исследования» (Севастополь, Россия, 2019), Международной научной конференции «Опасные явления» (Ростов-на-Дону, 2020), XIII Всероссийской конференции «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (п.Дюрсо, Россия, 2020), Международной конференции «Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions» - POAC 2021 (Москва, Россия, 2021).

Личный вклад автора. Постановка целей и задач исследования, разработка и создание геоинформационной системы, работа с ней, обработка и визуализация (создание картосхем) полученных данных, обобщение и интерпретация результатов были выполнены лично автором или при его непосредственном участии в ходе реализации ряда научных проектов Российского фонда фундаментальных исследований и государственного задания ЮНЦ РАН.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 1.6.21 Геоэкология, отрасль Науки о Земле по пунктам: 1.12 Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля; 1.13 Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений; 1.17 Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 157 страницах, включает 63 рисунка и 13 таблиц. Список литературы содержит 214 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность председателю ЮНЦ РАН д.г.н. С.В. Бердникову за предоставленную возможность работать над диссертацией. Автор искренне благодарен научному руководителю к.г.н. Н.А. Яицкой за помощь в постановке цели и задач исследования, критику работы, терпение, всестороннюю поддержку и помощь, оказанную на всех этапах работы. Считаю своим долгом выразить благодарность и признательность д.г.н. С.А. Огородову, к.г.н. И.В. Шевердяеву, С.А. Мисирову, к.г.н. С.В. Мазневу, В.Г. Лаврешину, Н.В. Лихтанской, которые помогли автору на различных этапах подготовки диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, изложена научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения.

Глава 1 Обзор состояния изученности проблемы

В разделе 1.1 описана история изучения ледового режима Азовского и Каспийского морей, приводится обзор справочников, обобщающих монографий и атласов, а также электронных ресурсов и баз данных. В разделе 1.2 представлены современные подходы к исследованию опасных природных явлений (ОПЯ), подробно рассмотрены методы картографирования ОПЯ. Дан обзор работ, посвященных анализу и оценке рисков проявлений природных опасностей, обусловленных ледяным покровом.

Глава 2 Материалы и методы

В главе приведено описание базы геоданных и геоинформационной системы «Ледовый режим южных морей России»; подробно рассмотрены источники данных и методы их обработки.

Геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России»

С целью хранения и систематизации разнородной и разновременной информации о ледяном покрове, пространственного анализа и визуализации данных создана ГИС «Ледовый режим южных морей России». Все первичные данные, полученные в ходе исследования, систематизированы в базе геоданных (БГД) – физическое хранилище географически распределенной информации, — которая является подсистемой ГИС и позволяет осуществлять обработку и анализ пространственных данных. База геоданных, включает следующие наборы данных: векторные данные (пространственные классы и наборы данных); растровые данные (наборы растров и каталоги растров); непространственные таблицы (первичные данные и результаты их анализа).

ГИС содержит следующую информацию о ледяном покрове: картографическая, представленная картосхемами ледовой обстановки в морях за период 1953-2022 гг. с обозначением положения кромки льда, форм плавучего льда, сплоченности льда в баллах, ледяных торосистых образований, всего 1370 картосхем; табличная (численная), представленная данными многолетних наблюдений (1916-2022 гг.) за характеристиками ледового режима на прибрежных гидрометеостанциях (даты появления льда, даты окончательного очищения моря ото льда, число дней в ледовый период со льдом, даты образования устойчивого припая, даты окончательного разрушения припая, ширина припая, наибольшая измеренная толщина льда). Вся информация тематически сгруппирована в два ГИС-проекта по Азовскому и Каспийскому морям, которые дают возможность просмотра, анализа и визуализации пространственных данных.

Источники данных – историческая информация, доступная в библиотечных архивах на бумажных носителях, открытые электронные ресурсы и базы данных:

1. Справочное издание «Основные гидрометеорологические сведения о морях СССР»;
2. Ежегодное периодическое издание «Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек»;
3. Климатический атлас Азовского моря (Атлас..., 2014);
4. Атласы льдов Черного и Азовского морей (Атлас..., 1962; Атлас..., 2015);
5. Атлас льдов Каспийского моря (Атлас..., 1961);
6. Единая система информации об остановке в Мировом океане (ЕСИМО);
7. Информационная система Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета»);
8. Мировой центр данных по морскому льду (<http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> – Архив региональных ледовых карт ААНИИ // Мировой центр данных по морскому льду);
9. Информационная система LLP ICEMAN.KZ;
10. Глобальный реанализ льда OSI-450 (1979-2015);
11. Результаты расчетов балансовой гидрологической модели Азовского моря (Бердников, 2004).
12. ВНИИ Гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (meteo.ru) (Булыгина и др.).

Накопленные первичные данные имеют различный формат – численный, векторный, растровый (преимущественно без картографической привязки), поэтому обработка данных проводилась в несколько этапов (рис.1).

Работа с картографическим материалом выполнялась последовательно: именование картосхем; географическая привязка картосхем; оцифровка картосхем; перепроецирование и расчет площади льда; оцифровка ледяных торосистых образований (ЛТО).

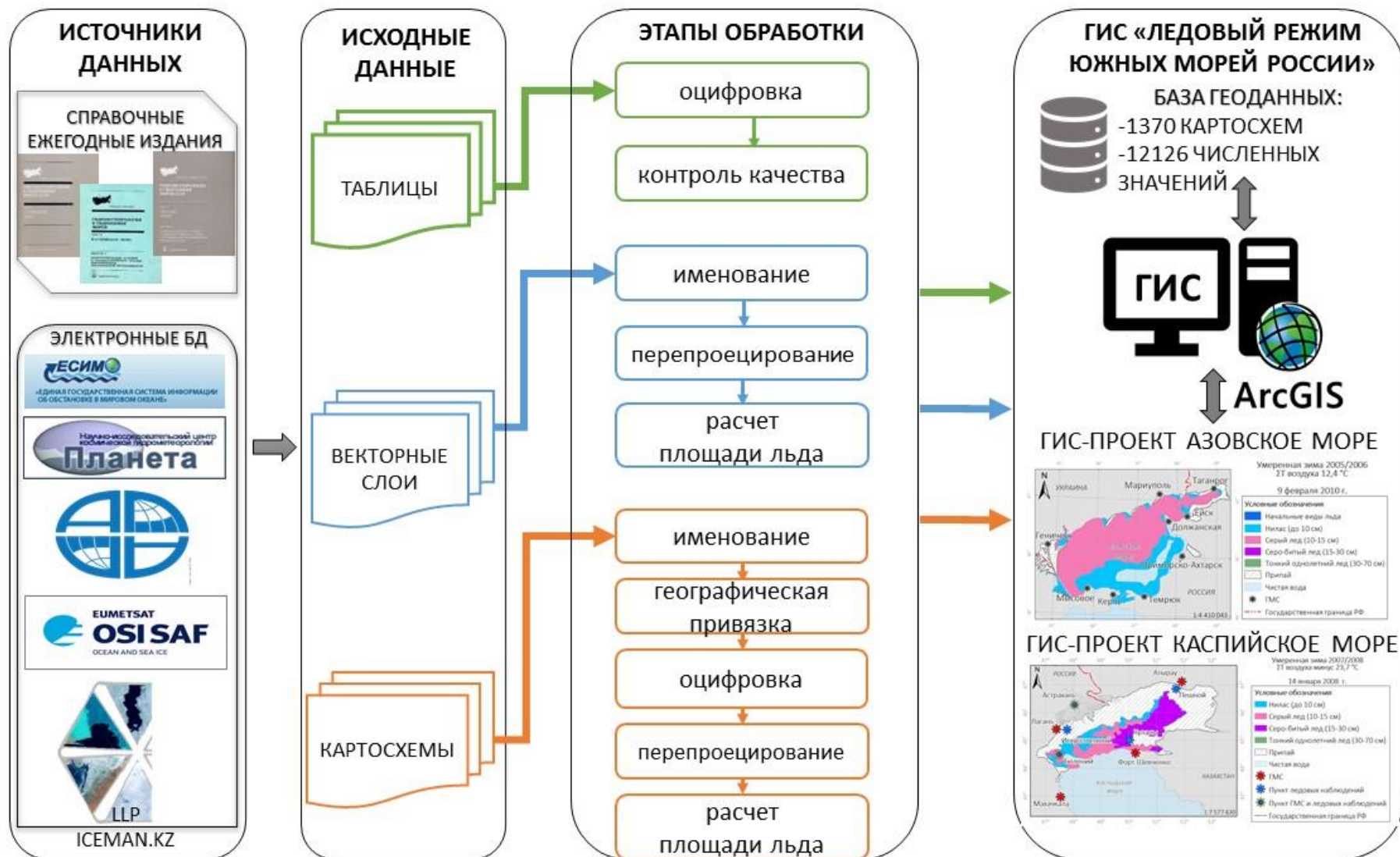


Рисунок 1 – Структура ГИС «Ледовый режим южных морей России»

Работа с численной информацией и статистический анализ данных наблюдений.

В табличном виде были получены некоторые данные о площади ледяного покрова, а также сведения об основных ледовых фазах – сроки образования и разрушения льда, продолжительность ледового сезона. Вся информация переведена в цифровой формат, и прошла контроль качества на выбросы и корректность значений, затем экспортирована в базу геоданных. Рассчитаны среднемноголетние значения, максимумы, минимумы, среднеквадратические ошибки и отклонения, климатические нормы, аномалии для каждого параметра ледового режима исследуемых морей по годам и десятилетиям. Климатические нормы рассчитаны для периодов, рекомендуемых Всемирной метеорологической организацией – 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. Расчет аномалий производился путем нахождения разности между среднемноголетним значением и данными за определенный год/период наблюдений.

Типизация зим по степени суровости. Взаимосвязь ледового режима и температурных условий региона обуславливает необходимость проведения типизации зим по степени суровости, которая позволяет унифицировать и обобщить длительный ряд наблюдений, выявить тенденции внутривековых изменений температуры воздуха. Для вычисления критериев суровости был использован ряд наблюдений средних месячных значений температуры воздуха за зимний период (декабрь, январь, февраль, март) по трем метеопунктам: для Азовского моря – Таганрог, Геническ, Керчь; для северной части Каспийского моря – Астрахань, Атырау, Махачкала.

Период наблюдений составил 123 года, с 1892/93 гг. по 2019/20 гг. с некоторыми перерывами (периоды Гражданской и Великой Отечественной войн). Наибольшие отклонения от средней многолетней суммы температур за зимний период как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных сумм температур делятся на три равные части, которые характеризуют мягкие, умеренные и суровые зимы. Рассчитанные таким образом критерии дают общее представление о степени суровости, так как значения на отдельных пунктах не всегда характеризуют температурный режим всего моря.

Типовые ледовые сезоны были выделены на основе количественных показателей основных ледовых фаз Азовского и Каспийского морей и их сочетаний путем определения среднемноголетних значений (норма), положительных и отрицательных аномалий (отклонения от нормы). На основе полученных результатов выделено 5 типов ледовых сезонов (рис.2).

Тип I. Все параметры фаз ледового режима находятся в пределах нормы (среднемноголетних значений).

Тип II. Аномально большая продолжительность ледового сезона – раннее начало ледового сезона, большая продолжительность, позднее окончание.

Тип III. Сдвиг ледового сезона на ранние сроки – начало ледового сезона раньше среднемноголетних значений, большая (в некоторых случаях в пределах нормы) продолжительность, окончание в пределах нормы.

Тип IV. Сдвиг ледового сезона на поздние сроки – начало в пределах нормы, большая продолжительность (в некоторых случаях в пределах нормы), окончание позже среднемноголетних значений.

Тип V. Аномально малая продолжительность ледового сезона – позднее начало ледового сезона, небольшая продолжительность и раннее окончание.

Метод IPTA (Innovative Polygonal Trend Analysis) – сравнение статистических параметров данных многолетних наблюдений, разделенных на 2 временных ряда (Sen et al., 2019; Achite et al., 2021). Применен для анализа среднемесячных температур воздуха и воды холодного периода (октябрь-апрель) с целью выявления закономерностей гидрометеорологических условий для каждого типа ледового сезона. В работе в качестве 1 ряда используются среднемесячные температуры воздуха и воды для 1 типа ледового сезона, ледовые условия которого наиболее близки к среднемноголетним, а в качестве

2-го ряда – остальные типы, характеризующиеся положительными или отрицательными аномалиями (см. главу 4, рис. 4.13, 4.15).

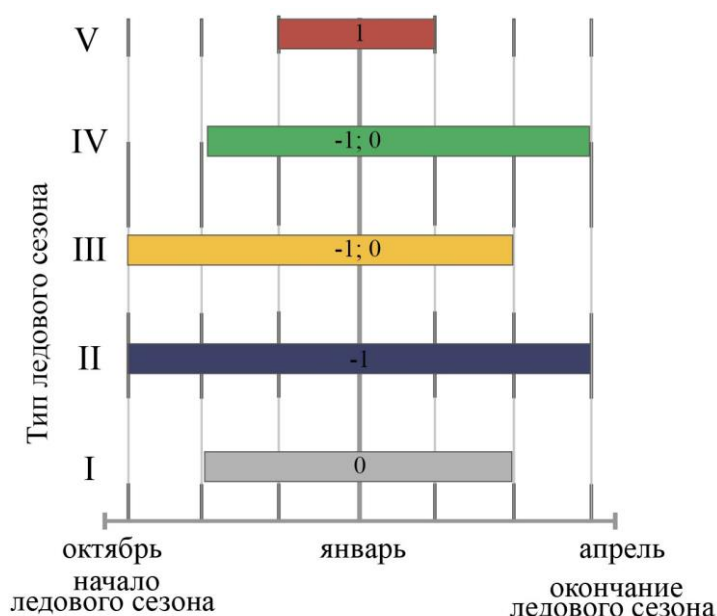


Рисунок 2 – Схематическое изображение типовых ледовых сезонов. Цифрами внутри блоков обозначена продолжительность ледового сезона
 «- 1» - отрицательная аномалия, «0» - в пределах среднемноголетних значений, «1» - положительная аномалия

Для создания картосхем вероятности встречи льда, припая и районирования по степени проявления опасных ледовых явлений акватории исследуемых морей разбиты на ячейки (полигоны), размером 10x10 км. Всего 442 ячейки для Азовского моря и 1371 ячейка для Северного Каспия. Для каждой ячейки был выполнен расчет вероятности наличия ледяного покрова и припая для каждого месяца (ноябрь-апрель) по формуле (1):

$$P_k = \frac{N_k}{n_k} * 100\% \quad (1)$$

где N_k – число встреч льда, припая, n_k – количество наблюдений в k -й ячейке.

На основе полученных данных построены карты частоты формирования ледяного покрова для ноября-апреля и припая для декабря – марта (см. главу 4, рис. 4.16, 4.19, 4.22, 4.24).

На сегодняшний день отсутствует общепринятая методика прогнозирования и оценки риска проявления ОПЯ. Более того, в нормативных документах Росморречфлота и Росгидромета не указано какие ледовые условия можно считать легкими, средними, тяжелыми (или опасными). Наиболее распространенными являются метод баллов, экспертных оценок или районирование территории по степени опасности, где выделены районы с одинаковой вероятностью развития какой-либо опасности.

На исследуемых акваториях в пространственно-временном масштабе наиболее распространены следующие опасные ледовые явления (ОЛЯ):

- 1) установление ледяного покрова, непроходимого судами и ледоколами, в период навигации на судовых трассах и в районе промысла, т.е. припай;
- 2) ледяные торосистые образования (ЛТО), как результат активного торошения льда, которые угрожают морским портовым, нефтепромысловым и береговым сооружениям.

Исходя из этого, для каждой ячейки акватории рассчитана вероятность встречи каждого ОЛЯ по формуле (1). Далее, полученные показания были ранжированы по формуле (2):

$$(P_{kmax}-P_{kavr})/3+P_{kavr} = X1 \quad (2)$$

$$(P_{kmin}-P_{kavr})/3+P_{kavr} = X2; \quad (3)$$

$V_{l;p} < X1$ – 1 балл низкая степень опасности,
 $X1 < V_{l;p} < X2$ – 2 балла средняя степень опасности,
 $V_{l;p} > X2$ – 3 балла высокая степень опасности

где, *min* – минимальная вероятность возникновения ОЛЯ;

max – максимальная вероятность возникновения ОЛЯ;

avr – средняя вероятность возникновения ОЛЯ;

X1, *X2* – пороговые значения для определения интегрального показателя опасности, выраженного в баллах от 1 до 3;

V_l – степень опасности ледяных торосистых образований;

V_p – степень опасности припая;

Для составления комплексной карты районирования по степени проявления опасных ледовых явлений выполнено суммирование баллов. В результате, комплексный показатель опасности варьируется от 1 до 6 баллов:

1 балл – очень низкая степень опасности,

2 балла – низкая,

3 балла – средняя,

4 балла – высокая,

5 баллов – очень высокая,

6 баллов – чрезвычайно высокая.

Глава 3 Физико-географическое описание

В главе представлено три раздела. В первом разделе даны общие сведения и геоморфологическое описание Азовского и Каспийского морей. Во втором разделе рассмотрены климатические особенности исследуемых акваторий. В третьем разделе на основе литературных источников и коллективных работ при участии автора, а также наблюдений на гидрометеорологических постах дан анализ гидрометеорологических условий.

Температура воздуха характеризуется интенсивным потеплением с середины 70-х гг. по настоящее время. Для Азовского моря наибольший вклад в повышение годовых температур воздуха внес рост средних зимних и весенних температур. Для Каспийского моря за последние 30 лет средняя многолетняя температура воздуха стала выше на 1-2 °С, аномально увеличились температуры в холодное время года, особенно в январе, феврале, марте и октябре.

Среднегодовое количество осадков для азовского региона устойчиво растет с начала 1970-х гг. Однако, после 2010 г., наблюдается снижение среднегодового количества осадков. На Каспийском море количество осадков период 2003–2017 гг. уменьшилось примерно на 38 мм, что эквивалентно уменьшению уровня Каспия примерно на 4 см за этот период (Гинзбург, Костяной, 2018).

Ветровая активность в холодный период года характеризуется снижением средних и максимальных скоростей на ГМС Азовского моря (Таганрог, Геническ, Приморско-Ахтарск и Темрюк). Наблюдается увеличение повторяемости юго-восточных ветров и снижение повторяемости северо-восточных, для остальных румбов тенденции разнонаправленные. Для ГМС Каспийского моря (Астрахань, Махачкала и Дербент) также наблюдается снижение средних и максимальных скоростей ветра от 1970-х гг. к современному периоду. Исключение составил ГМС о. Тюлений, для

которого в настоящее время наблюдается небольшой рост средних скоростей ветра для всех рассматриваемых месяцев и большинства румбов. Для всех рассматриваемых станций в современный период в повторяемости направлений ветра можно отметить рост доли юго-восточных ветров и снижение доли северных, для остальных румбов тенденции разнонаправленные.

Температура воды, ввиду мелководности исследуемых акваторий (средняя глубина составляет около 8 метров для обеих морей), характеризуется синхронной динамикой с температурой воздуха, что определяет интенсивность и величину осенне-зимнего охлаждения вод, а, следовательно, сроки и мощность ледообразования. В многолетней динамике температуры воды Азовского и Каспийского морей наблюдается тенденция роста с середины 1990-х годов. Положительные аномалии достигают 3,2°C на ГМС Таганрог и 3,3°C на ГМС Лагань (ноябрь 2010 г.). Сроки ледообразования при этом также характеризуются положительными аномалиями с середины 1990-х годов. Коэффициент корреляции температуры воды ноября и сроков ледообразования на ГМС Таганрог составляет 0,7; на ГМС Пешной – 0,6 (для периода 1938-1993 гг.).

В многолетней динамике выделяют периоды опреснения и осолонения вод исследуемых акваторий. В настоящее время Азовское море находится в очередном периоде осолонения – в 2019 году соленость Азовского моря возросла до 14‰ (среднемноголетнее значение – 11‰). Соленость вод Северного Каспия в период 1996-2015 гг. возросла в среднем на 2 ‰ вследствие снижения объемов речного стока.

Уровень Азовского моря по разным оценкам растет со скоростью от 1,7 до 2,6 мм/год. Для Таганрогского залива Азовского моря свойственны кратковременные колебания уровня в пределах 0,8- 1 м, вследствие продолжительного действия западных и юго-западных ветров. В зимний период возможно увеличение уровня в пределах 1,0-2,0 м, площадь ледяного покрова при этом не превышает 20%. Увеличение уровня до 2,0 м как правило происходит при отсутствии ледяного покрова.

Уровень Каспийского моря с начала проведения инструментальных наблюдений и до XX в. колебался в среднем около отметки минус 25.8 м. С конца XIX в. в многолетнем ходе наблюдалась тенденция понижения, продлившаяся до 1977 г., когда уровень моря находился на самой низкой отметке – минус 29.0 м.

Положение уровня моря играет одну из ключевых ролей в локализации ледяных торосистых образований (ЛТО) Северного Каспия. В ходе исследования, выполненного автором совместно с коллегами из НИЛ Геоэкологии Севера Географического факультета МГУ, проанализированы ЛТО для периода 2013-2019 гг., который характеризуется повышением уровня моря \approx на 1 м и сокращением ледовитости по сравнению с периодом 1973-1980 гг. В результате, установлено, что локализация ЛТО в равной степени объясняется динамикой положения уровня моря и ледовитостью.

Глава 4 Многолетняя динамика ледового режима

В главе рассмотрены основные параметры ледового режима и их динамика в многолетнем аспекте: сроки образования и разрушения льда, продолжительность ледового сезона, площадь ледяного покрова (или ледовитость, т.е. степень покрытия льдом акватории моря, выраженная в процентах), и припая. Выделено пять типовых ледовых сезонов, каждый из которых характеризуется различными сроками образования и разрушения льда. Представлено описание каждого типа ледового сезона и их количественные показатели.

Азовское и Каспийское моря относятся к периодически замерзающим водоемам. Ключевой фактор формирования ледового режима морей – динамика атмосферных процессов, определяющая температурные условия в регионе. Это обуславливает схожую в многолетнем аспекте продолжительность ледового сезона – с конца ноября по март. Ввиду мелководности и низкой солёности акватории быстро реагируют на изменения температур – спустя несколько дней после установления отрицательных температур

воздуха в прибрежных районах образуется ледяной покров. Дополнительное воздействие оказывает ветровая активность – северные ветра способствуют быстрому охлаждению поверхности моря, а устойчивые ветра восточного направления – взлому припая, образованию торосов, стамух и наслоений льда.

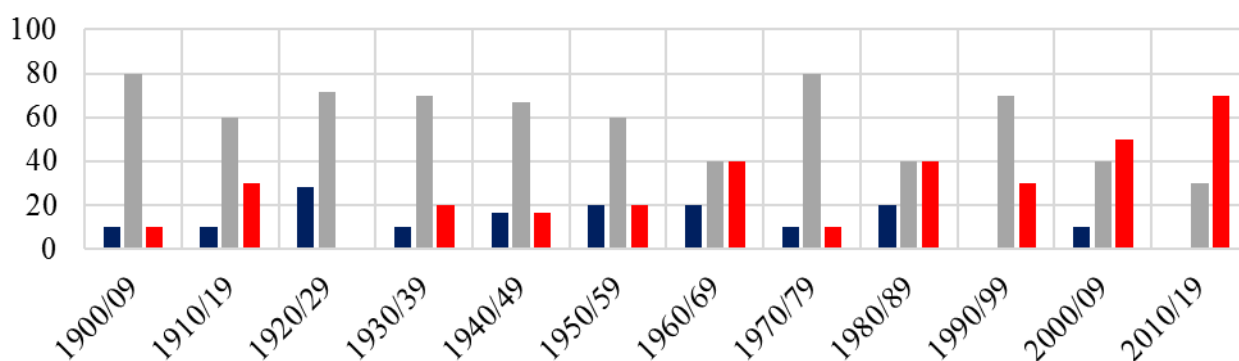
Типизация зим по степени суровости. В соответствии с полученными результатами с 1900 г. по 2020 г. в регионах Азовского и Каспийского морей в целом преобладают зимы умеренного типа (табл.1), но в междесятилетней динамике изменяется соотношение суровых, мягких и умеренных зим. Обработка и анализ более, чем векового ряда натуральных наблюдений позволяют сделать вывод о том, что количество суровых зим уменьшается, и с 1960 г. они отмечаются раз в 15-20 лет (рис.3), при этом 2-3 сезона подряд повторяются умеренные и мягкие зимы.

Таблица 1 Градации и количество зим различной суровости в Азовском и Каспийском морях

Тип	Азовское море			Каспийское море		
	$\sum t_{вздх.}, ^\circ C$	Количество	%	$\sum t_{вздх.}, ^\circ C$	Количество	%
Суровая	$\leq -31,3$	14	12,4	$\leq -51,6$	16	13,8
Умеренная	от $-31,3$ до $12,9$	66	58,4	от $-51,6$ до $-7,5$	73	63,0
Мягкая	$\geq 12,9$	33	29,2	$\geq -7,5$	27	23,2

Примечание: $\sum t, ^\circ C$ – сумма температур воздуха

АЗОВСКОЕ МОРЕ



КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

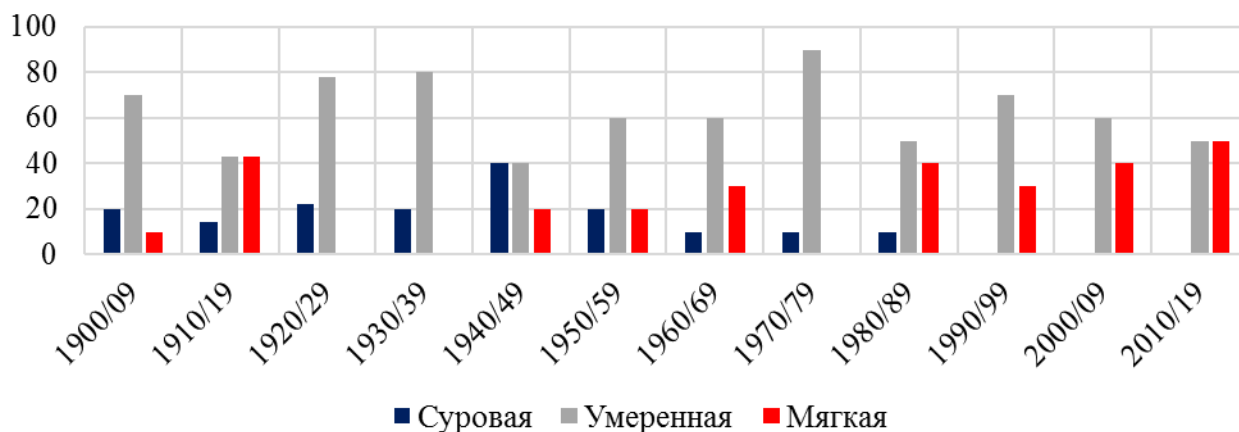


Рисунок 3 – Типизация зим по степени суровости с 1900 по 2019 гг.
ось Y – количество зим каждого типа, выраженное в %

Самой суровой зимой в исследуемом районе является зима 1953/1954 гг. Сумма среднемесячных температур воздуха для трех пунктов Северного Каспия (Астрахань, Атырау, Махачкала) составила минус 100,7°C (при абсолютном максимуме – минус 33°C 2 февраля 1954 г. в пункте Астрахань), для пунктов Азовского моря (Таганрог, Геническ, Керчь) – минус 84,3°C (при абсолютном максимуме – минус 29,5°C 2 февраля 1954 г. в пункте Таганрог). Самая теплая зима в исследуемом регионе – зима 2019/2020 гг. Сумма среднемесячных температур воздуха Азовского моря составила 48,7°C, для Северного Каспия – 31,4°C.

В зависимости от суровости зимы варьируется площадь ледяного покрова – коэффициент корреляции сумм среднемесячных температур воздуха и ледовитости составляет -0,87 для Азовского моря и -0,72 для Северного Каспия. Ледовитость Азовского моря в суровые зимы в среднем составляет ~ 53%, в умеренные ~ 30%, в мягкие ~12% (см. главу 4, рис. 4.5-4.7). Ледовитость Северного Каспия в среднем для зим составляет: суровые ~ 75%, умеренные ~ 60%; мягкие ~ 46% (см. главу 4, рис. 4.7-4.10). Таким образом, изменение количества суровых зим, а значит изменение температурных условий, ведет к изменению ледовых характеристик исследуемых морей.

Сроки образования и разрушения льда на Азовском и Каспийском морях проанализированы за период 1950-2020 гг. по данным наблюдений на прибрежных ГМС. Для обоих рассматриваемых акваторий установлено, что за более, чем полвека продолжительность ледового сезона сократилась на всех пунктах наблюдений. С начала 1980-х годов началось смещение сроков образования и разрушения льда, интенсивностью 5-7 дней за 10 лет, вследствие увеличения повторяемости мягких по температурным условиям зим. В результате, в современный период 2000-2020 гг. увеличилась повторяемость V типа ледового сезона – от 40% (ГМС Таганрог) до 50% (ГМС Пешной) ледовых сезонов относится к этому типу, когда ранее – всего лишь 5-15%. Данный тип характеризуется образованием льда позже среднемноголетних значений на 7-15 дней (в зависимости от ГМС), и малой продолжительностью ледового сезона: 48-68 дней для Азовского моря и 40-90 дней для Северного Каспия (при среднемноголетних значениях 85-110 и 89-122 соответственно).

Среднемноголетнее значение ледовитости Азовского моря составляет 27% (1950-2020 гг.), Северного Каспия (1940-2020) – 55%. Для анализа многолетних изменений рассчитаны аномалии ледовитости исследуемых морей относительно среднемноголетнего значения, построена интегральная кривая. Установлено устойчивое сокращение площади льда на рассматриваемых акваториях с начала 1990-х гг. по настоящее время. В результате ледовитость сократилась на ~ 10% по отношению к среднемноголетнему значению 1950-2020 гг. В Азовском море увеличилась повторяемость малоледных зим (с отрицательной аномалией ледовитости). На основе анализа картосхем вероятности встречи льда установлено, что сокращение вероятности встречи льда в ноябре, декабре, марте и апреле современный период 2000-2020 гг. по сравнению с периодом 1947-1958 гг. На Каспийском море вероятность встречи льда в целом не изменилась – исключения составляют прибрежные восточные районы средней части моря.

Площадь припая проанализирована для современного периода 2000-2020 гг. Среднемноголетняя площадь припая Азовского моря составляет 1800 км² (площадь моря – 39300 км²), Каспийского моря – 20500 км² (площадь северной части – 90080 км²). В последние года на фоне роста суммы среднемесячных температур воздуха за зимний период площадь припая сокращается – на Азовском море площадь припая не превышает 400 км² за сезон, а в зиму 2019/2020 г. припай вовсе не наблюдался.

Таблица 2 – Характеристики типовых ледовых сезонов Азовского и Каспийского морей

Тип	Общее описание ледового сезона	АЗОВСКОЕ МОРЕ - ГМС ТАГАНРОГ					КАСПИЙСКОЕ МОРЕ - ГМС ПЕШНОЙ				
		Повторяемость, %	Ледовый сезон			Гидрометеорологические условия	Повторяемость, %	Ледовый сезон			Гидрометеорологические условия
			начало	продол- жительность	конец			начало	продол- жительнос	конец	
I	в пределах среднеголетних значений	50	5.12	102	16.03	в пределах среднеголетних значений	39	25.11	119	24.03	в пределах среднеголетних значений
II	аномально большая продолжительность ледового сезона	9	6.11	155	8.04	отрицательные аномалии Т воздуха (до 1,9 °С) и воды (до 0,9 °С)	15	6.11	154	7.04	отрицательные аномалии Т воздуха и воды в ноябре и декабре – минус 3,5°С и минус 2,8°С соответственно
III	сдвиг ледового сезона на ранние сроки	11	4.11	135	19.03	отрицательные аномалии Т воздуха и воды в течение всего холодного периода с октября по март. Наибольшие для ноября, февраля – минус 2,7°С и марта – минус 2,8°С	3	22.1	152	22.03	отрицательные аномалии Т воздуха и воды – минус 5,4°С и минус 2,2°С
IV	сдвиг ледового сезона на поздние сроки	12	12.12	117	7.04	отрицательные аномалии Т воздуха октября и ноября – минус 0,2°С и минус 0,6°С соответственно и Т воды ноября – минус 0,4°С	19	27.11	131	7.04	положительные аномалии Т воздуха и воды в октябре-ноябре до 0,5°С
V	аномально малая продолжительность ледового сезона	18	26.12	68	3.03	положительные аномалии Т воздуха и воды в октябре-декабре (1,1°С и 1,6°С соответственно) и марте (0,2°С)	24	10.12	95	15.03	положительные аномалии Т воздуха в течение всего холодного периода с октября по март до 0,7°С

За период 1950-2020 гг. в многолетней динамике ледового режима Азовского и Каспийского морей и факторов, его определяющих (рис.4), выделены следующие закономерности:

Период 1950-1979 гг. 5 из 8 суровых (т.е. более 60%) зим, отмеченных для 1950 – 2020 гг., приходится на этот период. Самая суровая зима для азово-каспийского региона отмечена в 1953/54 гг. – акватории Азовского моря и Северного Каспия были полностью покрыты припаем, толщиной 30-40 см и 60-65 см соответственно. Ледовитость Азовского моря составила в среднем 31%, положительные аномалии ледовитости достигают 20-25%. Ледовитость северной части Каспийского моря – 64%, положительные аномалии 15-30%. В этот период наибольшую повторяемость имеют II и III типы ледовых сезонов, характеризующиеся ранним ледообразованием и продолжительным ледовым сезоном. Максимальная продолжительность ледового сезона отмечена в 1953/54 гг. на ГМС Таганрог – 166 дней, в 1949/50 гг. на ГМС Пешной – 179 дней.

Период 1980-1990 гг. С этого периода начинается увеличение повторяемости мягких по температурным условиям зим. В динамике ледовитости наблюдается переход от роста к снижению. На фоне роста суммы зимних среднемесячных температур воздуха началось смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно.

Период 1991-2020 гг. Увеличивается повторяемость мягких зим. В этот период на Северном Каспии суровые зимы не наблюдались, на Азовском море – единожды в сезон 2002/2003. Минимальные температуры воздуха зимой наблюдаются непродолжительный период в середине января. С начала 1990-х годов началось устойчивое сокращение ледовитости – отрицательные аномалии превышают положительные и достигают 20-25%. Площадь припая также сокращается, а в последние годы даже не наблюдается на Азовском море. С начала 2000-х годов увеличилась повторяемость V типа ледового сезона – от 40% (ГМС Таганрог) до 50% (ГМС Пешной) ледовых сезонов относится к этому типу, когда ранее – всего лишь 5-15%. При этом продолжительность ледового сезона составляет 68 дней на ГМС Таганрог и 95 дней на ГМС Пешной.

Таблица 3 Сравнительные характеристики параметров ледового режима Азовского и Каспийского морей

Параметр/Период	АЗОВСКОЕ МОРЕ			КАСПИЙСКОЕ МОРЕ		
	1950-2020	1950-1979	1991-2020	1950-2020	1950-1979	1991-2020
Σ твздх. декабрь-март, °С	2.5 °С	минус 4.9°С	11.1°С	минус 19.7°С	минус 30.9°С	минус 10.2°С
T воды в ноябре, °С	4.1	3.9	4.4	7.2	6.7	7.8
Ледовитость,%	27	32	21	55	65.5	46
Продолжительность ледового сезона, дни	110	124	96	121	130	110

Таким образом, установлен **режимный сдвиг параметров ледового сезона, произошедший после 1990 г.**, который выражен в значительном сокращении площади ледяного покрова и продолжительности ледового сезона на фоне роста гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха и воды) в предзимний и зимний периоды. Стоит отметить, что аналогичные закономерности получены для Охотского и Каспийского (на основе оценки изменения толщины льда) морей.

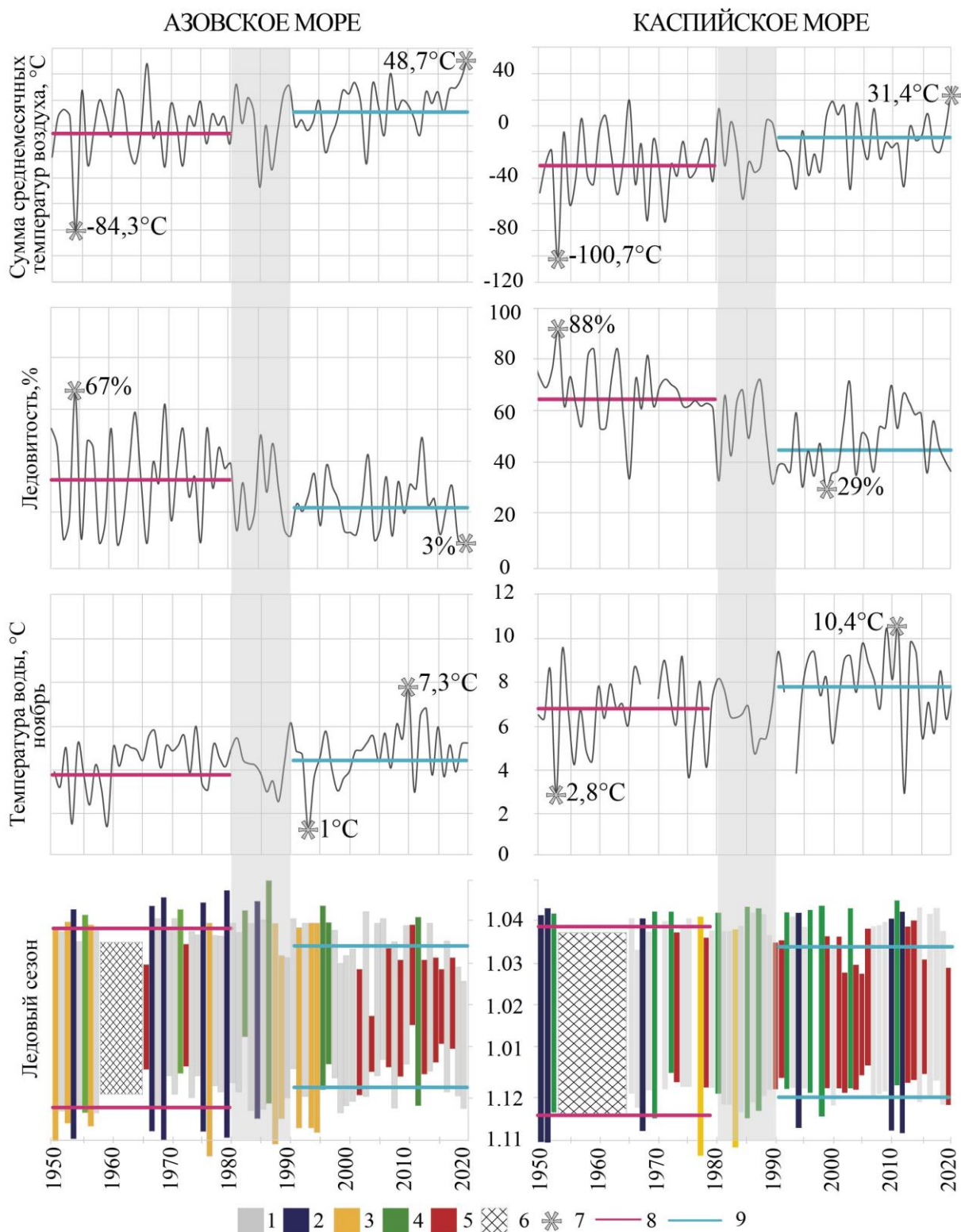


Рисунок 4 – Гидрометеорологические и ледовые параметры Азовского и Каспийского морей

1-5 – типы ледовых сезонов, 6 – нет данных, 7 – максимальные и минимальные значения, 8 – среднемноголетние значения для периода 1950-1979, 9 – среднемноголетние значения для периода 1991-2020 гг.

Глава 5 Опасные ледовые явления и морехозяйственная деятельность

В разделе 5.1 представлены различные определения термина «опасное природное явление», найденные в литературе. Рассмотрены опасные ледовые явления, характерные для акваторий Азовского и Каспийского морей: раннее появление льда – конец октября

– начало ноября; обледенение судов; дрейф ледяных полей; появление льда, непроходимого судами в период навигации на судовых трассах и в районах рыбного промысла; навалы льда на берега и морские гидротехнические сооружения; отрыв прибрежных льдов в местах выхода людей на лёд.

В разделе 5.2 описано влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность. Ввиду выгодного географического положения Азовское и Каспийское моря имеют важное геополитическое, стратегическое и экономическое значение для нашей страны. Здесь широко развита транспортная морская сеть, а также ведется активное освоение месторождений полезных ископаемых на шельфовой зоне Северного Каспия. Для обеспечения безопасного мореплавания на акваториях в зимний период организована ледовая проводка судов. Но иногда, ледовые условия бывают настолько сложными для судоходства, что ледоколы не справляются со своей задачей. Например, в январе 2008 года около 150 судов ожидало ледокольной проводки у кромки льда в Керченском проливе (Думанская, 2014). В экстремально суровую зиму 1953/1954 гг. вся акватория Северного Каспия была занята припаем толщиной 60-65 см, ледокольная проводка была приостановлена ввиду ее неэффективности, несколько нефтяных вышек были разрушены. Зимой 2012/2013 г. на Северном Каспии в результате подвижек ЛТО были повреждены четыре нитки трубопровода, проложенные по дну без заглубления. Таким образом, активное торошение льда, в результате которого образуются ледяные торосистые образования, и устойчивый ледяной покров – припай могут значительно препятствовать судоходству, нарушать безопасную эксплуатацию морских и прибрежных инженерных и гидротехнических сооружений, что ведет к экономическим потерям. Для оценки потенциальных угроз и рисков на основе данных ГИС «Ледовый режим южных морей России» выполнено районирование исследуемых акваторий по степени проявления ОЛЯ, которое представлено в разделе 5.3. Выполнен анализ вероятности их проявления, определены интегральные показатели опасности (таблица 4). Путем суммирования баллов был определен комплексный показатель опасности и составлены картосхемы районирования акваторий по степени проявления ОЛЯ.

Таблица 4 Интегральные показатели проявления опасных ледовых явлений на исследуемых акваториях

Число случаев ОЛЯ/Акватория	Припай	Ледяные торосистые образования	Балл
Азовское море	1-6	1-5	1
	7-12	6-10	2
	13-18	11-15	3
Северный Каспий	1-7	1-23	1
	8-14	24-46	2
	15-22	49-72	3

Для акватории Азовского моря высокая и очень высокая степень опасности характерны для всего побережья Таганрогского залива и его восточной части – здесь расположены крупные порты, сосредоточены судоходные пути и каналы, районы рыбного промысла (рис.5). Малые глубины – до 5 м еще больше усложняют здесь морехозяйственную деятельность в зимний период. Побережье Арабатской стрелки и Утлюкского лимана также подвержены высокой и очень высокой степени опасности, но морехозяйственная деятельность здесь минимальна по сравнению с Таганрогским заливом. Вероятно, в этих районах ледяной покров активно оказывает экзарационное воздействие на берега и дно, однако этот вопрос требует дополнительных исследований, в первую очередь полевых.



Рисунок 5 – Районирование Азовского моря по степени проявления опасных ледовых явлений

Керченский пролив характеризуется средней и высокой степенью опасности. Через пролив проходит Керчь-Еникальский канал – судоходный путь между Азовским и Черным морями, годовой транзит судов по каналу достигает 19 тыс. проходов. Здесь расположен второй по грузообороту РФ порт в Азово-Черноморском бассейне – порт Кавказ, а также порт Керчь. Через Керченский пролив проходит важная для юга страны транспортная переправа – Крымский мост. Ледяной покров в проливе может значительно осложнять морехозяйственную деятельность – в 1944 г. мост через Керченский пролив уже строился, но в феврале 1945 г. после 15 дней непрерывающихся штормовых условий вместе с движением ледовых полей этот мост был деформирован и разрушен. Современные технологии позволяют осуществлять строительство и эксплуатацию таких инженерных конструкций, однако знания о возможных проявлениях опасных ледовых явлений позволяют избежать негативных последствий. Для центральной части моря характерна очень низкая степень опасности, что обусловлено малой вероятностью встречи припая и в целом сокращением площади ледяного покрова на современном этапе.

Большая часть акватории Северного Каспия подвержена высокой, местами очень высокой степени опасности (рис.6), что обусловлено динамичностью припая в течении зимнего сезона и как следствие активному торошению льда. Это мелководные районы акватории, глубина которых не превышает 5 м. В этих местах располагаются рыбопромысловые районы и месторождения Западно-Ракушечная (российский сектор), Кашаган, Кайран и Актота (казахстанский сектор), а также подходы к портам Оля и Атырау.

Чрезвычайно высокая степень опасности характерна для очень малых областей вблизи острова Большой Сетной на взморье дельты Волги и острова Морской (Тюленьи острова), что обусловлено геоморфологией дна – глубины не превышают 1 м. При сгонно-нагонных колебаниях уровня ЛТО могут заноситься на мелководье, а затем при падении уровня садиться на дно, и даже оказываться на суше.

Средняя степень опасности присуща району взморья дельты Волги и впадине Уральская бороздина, где располагаются месторождения Абай и Исатай, проходят судоходные пути. Низкая и очень низкая степени опасности свойственны западному побережью от острова Чечень до порта Махачкала и южной части Северного Каспия.

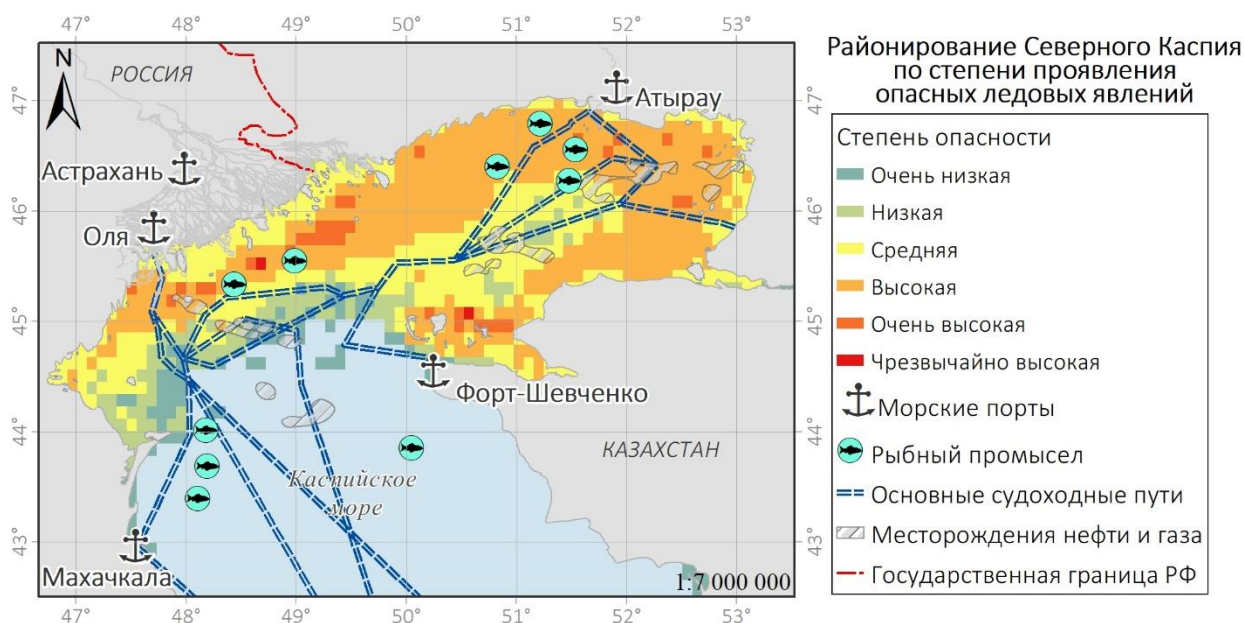


Рисунок 6 – Районирование Северного Каспия по степени проявления опасных ледовых явлений

В заключении сформулированы основные результаты и выводы исследования:

1) Создана база геоданных и геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России», которая включает весь накопленный картографический и численный материал за период с 1916 по 2022 гг. ГИС разработана как уникальная среда, для сбора, хранения, анализа и мониторинга пространственно-временной динамики ледовых условий Азовского и Каспийского морей. Для визуализации данных настроен картографический шаблон.

2) Построены карты вероятности встречи льда и припая для современного периода 2000-2020 гг., выполнен сравнительный анализ с ранее опубликованными данными. В результате, показано сокращение вероятности встречи льда в ноябре, марте и апреле на Азовском море. Для Каспийского моря в целом вероятность встречи льда не изменилась, за исключением прибрежных восточных районов средней части моря, где ледяной покров наблюдается в 25% случаев или не наблюдается вовсе.

3) Проанализировано местоположение ледяных торосистых образований северной части Каспийского моря для современных ледовых условий (2013-2020 гг.). Показано, что площадь ледяного покрова и положение уровня моря в равной степени оказывают влияние на локализацию ледяных торосистых образований.

4) Выполнена типизация зим по степени суровости как показатель температурных условий в регионе. Для Азовского моря зима является суровой, если среднее значение суммы температур за зиму ниже минус 31.3°C, а при сумме 12.9 С и выше зима является мягкой. Сумма температур, находящаяся между этими значениями, означает, что зима умеренная. Для северной части Каспийского моря зима является суровой, если среднее значение суммы температур за зиму менее минус 51.6°C, а при сумме минус 7.5°C и более зима является мягкой. Умеренную зиму характеризует сумма температур, находящаяся между этими значениями. В соответствии с полученными градациями в регионах Азовского и Каспийского морей преобладают зимы умеренного типа, но изменяется повторяемость суровых и мягких зим. Обработка и анализ более, чем векового ряда натуральных наблюдений позволяют сделать вывод о том, что 2-3 сезона подряд повторяются умеренные и мягкие зимы, при этом количество суровых зим уменьшается, и с 1960 г. они отмечаются раз в 15-20 лет, что может говорить о некотором потеплении в регионе.

5) Установлена взаимосвязь температуры воды в ноябре и сроков ледообразования на прибрежных ГМС – коэффициент корреляции температуры воды ноября и сроков ледообразования на ГМС Таганрог (Азовское море) составляет 0,7; на ГМС Пешной (северная часть Каспийского моря) – 0,6 (для периода 1938-1993 гг.).

6) Проанализированы основные ледовые фазы для Азовского и Каспийского морей. Установлено сокращение продолжительности ледового сезона, смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно. На всех прибрежных ГМС исследуемых морей интенсивность смещения сроков составляет 5-7 дней за 10 лет. В результате, в современный период 2000-2020 гг. на Азовском море образование льда начинается на 7-15 дней (в зависимости от ГМС) позже среднемноголетних значений, а продолжительность ледового сезона сократилась на ~ 1-1,5 месяца. На ГМС Керчь в период 2000-2020 гг. в 35% случаев ледяной покров вовсе не наблюдался. На южных ГМС северной части Каспийского моря образование льда начинается на 10-20 дней позже среднемноголетних значений, а продолжительность ледового сезона сократилась на ~ 1-1,5 месяца.

7) Выделено 5 типовых ледовых условий, характеризующихся различными количественными показателями фаз ледового режима, для каждого типа установлены закономерности гидрометеорологических условий. С начала 2000-х годов увеличилась повторяемость V типа ледового сезона, который характеризуется малой продолжительностью: 48-68 дней для Азовского моря и 40-90 дней для Северного Каспия. Для Азовского моря причиной V типа ледового сезона являются положительные аномалии температуры воздуха в октябре-декабре (1,1°C и 1,6°C соответственно) и марте (0,2°C), что в итоге приводит к сокращению продолжительности ледового сезона и его сдвига на более поздние и ранние сроки. В северной части Каспийского моря положительные аномалии температуры воздуха характерны для всего холодного периода с октября по март.

8) Проанализирована многолетняя динамика ледовитости Азовского и Каспийского морей за период 1950-2020 гг. С начала 1990-х гг. на исследуемых акваториях наблюдается устойчивое сокращение ледовитости. Установлено сокращение ледовитости на ~ 10% по отношению к среднемноголетнему значению. Площадь припая Азовского и северной части Каспийского морей рассмотрена за период 2000-2020 гг. – на фоне роста среднемесячных температур воздуха зимнего периода площадь припая сокращается, при этом в зиму 2019/2020 г. на Азовском море припай вовсе не наблюдался.

9) Выполнена оценка опасных ледовых явлений на акваториях Азовского и Каспийского морей и их влияние на морехозяйственную деятельность. Выявлены наиболее повторяющиеся в пространственно-временном масштабе ОЛЯ – припай и ледяные торосистые образования. Установлена их вероятность проявления. Разработан и реализован метод районирования акваторий по степени проявления опасных ледовых явлений. Построены картосхемы районирования по степени опасности припая отдельно и совместного воздействия припая и ледяных торосистых образований. Выявлены зоны, подверженные высокой и очень высокой степени проявления опасных ледовых явлений.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, включенных в базы Scopus, Web of Science:

1. Яицкая Н.А., Магаева А.А. Многолетняя динамика ледового режима Азовского моря в XX – XXI вв. // Лед и снег. 2018. №58 (3). С. 373-386. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386

2. Яицкая Н.А., Магаева А.А. Ледовый режим Северного Каспия // Вестник МГУ. Серия 5 География. 2020. №6. с.63-72.

3. Ogorodov S. A., **Магаева А. А.**, Maznev S. V., Yaitskaya N. A., Vernyayev S., Sigitov A., Kadranov Y. Ice features of the Northern Caspian under sea level fluctuations and ice coverage variations // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. Т. 13. № 3. С. 129-138. DOI: 10.24057/2071-9388-2020-77

4. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Динамика припая Азовского моря в XXI веке // *ИнтерКарто.ИнтерГИС*. 2021. Т.27. №3. с.74-84. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-74-84

5. **Магаева А. А.**, Yaitskaya N.A. Hydrometeorological hazards during the winter periods in the Sea of Azov and dynamics under the influence of climatic changes // *Proceedings of the 26 th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*.2021. P.1-7.

6. Яицкая Н.А., **Магаева А.А.** Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: нормативно-правовые аспекты, терминология и классификация (обзор) // *«Морской гидрофизический журнал»*.2022. Т.38, № 3. С. 256-275. DOI: 10.22449/0233-7584-2022-3-256-275

7. Яицкая Н.А., **Магаева А.А.** Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: математическое моделирование, системы поддержки принятия решений, геонформационные системы // *«Морской гидрофизический журнал»*.2022. Т.39, № 4. – *в печати*.

8. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Гидрометеорологические опасные природные явления Северного Каспия в зимний период на фоне климатических изменений // *ИнтерКарто.ИнтерГИС*. 2022. Т.28. – *в печати*.

Иные публикации:

1. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А., Лихтанская Н.В., Дашкевич Л.В. Развитие геоинформационной системы ледового режима южных морей России // *Экология, экономика, информатика*. Сборник статей: В 3 Т. - Ростов-на-Дону. Изд-во Южного федерального университета, 2015. Т.3: Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 2015. С. 269-275.

2. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Типизация зим в регионе Азовского моря по степени суровости // *Экология. Экономика. Информатика*. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Сб. материалов III Всерос. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. С. 240–248.

3. Яицкая Н.А., Третьякова И.А., **Магаева А.А.** О проекте «Исследование влияния ветрового волнения и нагонных явлений на процессы образования и разрушения ледового покрова в Азовском море» // *Экология. Экономика. Информатика* Институт аридных зон, Южный научный центр РАН, Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону, 2016. С. 437-444.

4. **Магаева А.А.** Предварительный анализ параметров ледового режима Каспийского моря // XIII Ежегодная молодежная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки передовых научных направлений»: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 17–27 апреля 2017 г.). – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. – с 46 - 47.

5. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Классификация зимних периодов в зависимости от ледовых условий в Азовском море // *Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований»*, посвященной 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф.П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля. – СПб: Свое издательство, 2017. [Электронное издание]. С. 84-87.

6. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Типизация зим по степени суровости в Каспийском регионе // Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук. 2017. С. 258-260.

7. Яицкая Н.А., **Магаева А.А.** Типизация зим по степени суровости Азовского и северной части Каспийского морей // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 4: Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции (1–3 ноября 2017 г., Сочи). – Сочи: ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Дониздат, 2017. – с. 311 – 314.

8. Яицкая Н.А., Третьякова И.А., **Магаева А.А.**, Шагаров Л.М., Лычагина Ю.М., Лесной А.С., Макаровский Г.В. Некоторые результаты исследования гидрологического режима Азовского и Каспийского морей во второй половине XX-начале XXI вв. и его экстремальных проявлений // Моря России: наука, безопасность, ресурсы / Тезисы докладов научной конференции. – г. Севастополь, 3 – 7 октября 2017 г. – Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017.- с. 173-175.

9. Yaitskaya N.A., **Magaeva A.A.** Interannual Dynamics of the Ice Regime of the Sea of Azov in the XX-XXI Century // POLAR 2018: Where the Poles come together - Abstract Proceedings. P.1710.

10. **Магаева А.А.** Ранжирование ледовых фаз Азовского моря // Достижения и перспективы молодых ученых в интересах развития Юга России Тезисы докладов. Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук. 2018. С. 45.

11. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Исследование ледовых фаз Азовского и Каспийского морей // Морские исследования и рациональное природопользование Материалы молодежной научной конференции. 2018. С. 124-126.

12. Яицкая Н.А., Третьякова И.А., **Магаева А.А.** Особенности подхода к выявлению и анализу опасных гидрометеорологических явлений с кумулятивным эффектом // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2018. № 3. С.86-89.

13. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Классификация зим Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2019. № 4. С. 147-151.

14. Maznev S., Magaeva A., Ogorodov S., Yaitskaya N. Ice gouging conditions of the Northern Caspian depending on the severity of winters // Proceedings of the 25th International Symposium on Ice. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR). Trondheim, Norway, 23rd – 25th November 2020— 2020. — P. 935-943.

15. Магаева А.А., Огородов С.А., Мазнев С.В., Яицкая Н.А., Верняев С., Сигитов А., Кадранов Е. Ледяные торосистые образования Северного Каспия в условиях колебания уровня и ледовитости // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (Опасные явления – II): материалы II Международной научной конференции. — ЮНЦ РАН Ростов-на-Дону, 2020. — С. 177–181.

16. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Использование данных реанализа для исследования ледяного покрова Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2020. Т. 2. № 5. С. 37-42.

17. Яицкая Н.А., **Магаева А.А.** Ледовые условия Северного Каспия как основа классификации зим // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. 2020. С. 85-91.