

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр
Южный научный центр Российской академии наук»

На правах рукописи

МАГАЕВА Анастасия Алексеевна

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

Специальность – 1.6.21 Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат географических наук
Н.А. Яицкая

Ростов-на-Дону – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ	12
1.1 Ледовый режим	12
1.2 Опасные природные явления	18
Выводы к главе 1	24
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	25
2.1 Геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России»	25
2.2 Источники данных	29
2.3 Методы обработки данных.....	31
Выводы к главе 2	46
ГЛАВА 3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ	47
3.1 Общие сведения и геоморфологическое описание.....	47
3.2 Климатические особенности	50
3.3 Гидрологические условия.....	61
Выводы к главе 3	70
ГЛАВА 4 ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ:МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	71
4.1 Типизаций предзимий и зим по степени суровости	72
4.2 Фазы ледового режима	80
4.3 Типы ледовых сезонов и их экологическая опасность.....	83
4.4 Ледовитость	93
4.5 Припай.....	101
4.6 Сравнительный анализ ледового режима Азовского и Каспийского морей ..	105
Выводы к 4 главе	109
ГЛАВА 5 ОПАСНЫЕ ЛЕДОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МОРЕХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	111
5.1 Основные термины и определения.....	111
5.2 Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность.....	116

5.3 Районирование Азовского и Каспийского морей по степени опасности природных явлений, обусловленных ледяным покровом.....	122
Выводы к главе 5	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	139

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Азовское и Каспийское моря – периодически замерзающие акватории, которые в силу географического положения имеют важное геополитическое, стратегическое и экономическое значение для нашей страны. Здесь широко развита морская транспортная сеть, в Северном Каспии производится разработка месторождений углеводородов, на побережье расположены туристско-рекреационные комплексы, в акватории морей ведется рыбный промысел, в Керченском проливе построен самый длинный в Европе автомобильный мост.

Морской лед является лимитирующим фактором антропогенной деятельности в акваториях и береговой зоне этих водоемов, от площади, сроков образования и разрушения льда зависит планирование морехозяйственной деятельности. Помимо этого, ледяной покров является одним из источников экологической опасности для прилегающих территорий – экстремальные ледовые явления крайне усложняют судоходство, нарушают работу гидротехнических сооружений, и могут являться причиной катастроф в портовых комплексах, районах добычи и транспортировки углеводородов, на мостовых переправах. Для обеспечения безопасного мореплавания в зимний период на акваториях морей организована ледовая проводка судов. По данным Министерства транспорта Российской Федерации, наибольшее число ледовых проводок осуществляется в азовском бассейне за счет возможности использования караванного метода.

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. Такие изменения необходимо учитывать при морском пространственном планировании для устойчивого развития южного макрорегиона.

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. Казахская компания «LLP ICEMAN.KZ» проводит мониторинг дрейфа льда и ледяных торосистых образований на акватории Северного Каспия для обеспечения ледовой и гидрометеорологической поддержки морехозяйственной деятельности. 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 акваторий. 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 о межгодовой динамике ледового режима Азовского и Каспийского морей, интенсивности проявления и воздействия опасных ледовых явлений на компоненты природной среды, гидротехнические сооружения и морехозяйственную деятельность в условиях современного изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки в регионе.

Цель исследования – изучение пространственно-временной изменчивости параметров ледового режима и опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей как факторов экологической опасности для морехозяйственной деятельности 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 и картирование основных параметров ледового режима и опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей и факторов, их определяющих, в условиях многолетних климатических изменений.

3) Определить степень экологической опасности ледовых явлений на акваториях Азовского и Каспийского морей в современный период для морехозяйственной деятельности.

Объект исследования – Азовское и Каспийское моря.

Предмет исследования – многолетняя динамика ледового режима и опасные ледовые явления в условиях изменения климата как факторы экологической опасности для морехозяйственной деятельности.

Научная новизна результатов исследования:

- С применением современных технологий и программных средств создана вековая база геоданных и геоинформационная система характеристик ледового режима Азовского и Каспийского морей «Ледовый режим южных морей России», которая включает картографический (1370 картосхем) и численный материал (12126 значений) за период 1916-2022 гг., и инструментарий для анализа пространственно-временной информации.

- Разработан комплект ледовых карт для специализированного обеспечения безопасности морских операций в Азовском и Каспийском морях в ледовый период для современных климатических условий 2000-2020 гг.

- Впервые выполнен пространственный анализ опасных ледовых явлений Азовского и Каспийского морей, как фактора экологической опасности для морехозяйственной деятельности, и районирование 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 картографический материал) 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 на традиционные (математический, статистический, описательный, картографический) 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. Выделены **пять типовых ледовых сезонов** с различными сроками образования и разрушения льда, гидрометеорологическими условиями в предзимний и зимний периоды, **и уровнем экологической опасности**, которые характерны для многолетней динамики ледового режима Азовского и Каспийского морей.

2. Установлено, что **с начала XXI в. в Азовском и Каспийском морях** произошел **режимный сдвиг ледового сезона, фиксируемый по** вековой базе геоданных, который выражен в сокращении площади ледяного покрова, продолжительности и изменении сроков ледового сезона на фоне роста гидрометеорологических характеристик в предзимний и зимний периоды.

3. Оценена повышенная **вероятность встречи льда и припая** в Азовском и Каспийском морях **для современного периода 2000-2020 гг., на основе специально** разработанной геоинформационной системы «Ледовый режим южных морей России».

4. Определены **зоны с высокой и очень высокой степенью проявления опасных ледовых явлений на акваториях Азовского и Каспийского морей, оказывающих негативное воздействие на морехозяйственную деятельность.**

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 – 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 конференция «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.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 162 страницах, включает 63 рисунка и 15 таблиц. Список литературы содержит 223 наименования.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность директору ЮНЦ РАН д.г.н. С.В. Бердникову и научному руководителю ЮНЦ РАН академику РАН Г.Г. Матишову 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 помогали автору на различных этапах подготовки диссертации.

ГЛАВА 1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Ледовый режим

Азовское море

Начало гидрографических работ на Азовском море, сопровождающихся некоторыми гидрологическими и метеорологическими наблюдениями, относится к концу XVII века. Подробные гидрографические исследования в Азовском море начались лишь в конце XIX века. В этот период упоминаний об изучении ледовых условий не найдено, так как исследования того времени были сосредоточены на температуре воздуха и воды, плотности воды. (Гидрологический..., 1936).

В начале XX века была организована сеть прибрежных гидрометеорологических станций (ГМС) и началось систематическое изучение ледового режима Азовского моря (Гидрометеорологические..., 1962). К началу 30-х годов XX века появились первые работы Б.С. Шустова (1930), В.И. Пришлецова (1930), Г.Е. Ратманова (1931) и В.А. Снежинского, посвященные ледовому режиму Азовского моря, которые были основаны на крайне ограниченных наблюдениях. Эти исследования обобщены в Гидрологическом справочнике Азовского моря (1937). В период Второй Мировой войны мониторинг ледового режима был приостановлен, но отдельные наблюдения в южных морях России производились немецкими военными и некоторые картосхемы сохранились до наших дней (Büdel, 1943a; Büdel, 1943b).

С 1950-х годов был организован регулярный авиамониторинг за ледяным покровом, что повысило точность наблюдений в открытом море. Авианаблюдения за 10-летний период обобщены в виде «Атласа льдов Черного и Азовского морей» (Атлас..., 1962). В нем также были использованы сведения с береговых гидрометеостанций (за 20-40 лет) и плавающих судов (с зимы 1927/28 г.).

Наблюдения за основными гидрологическими характеристиками моря, в том числе сведения о ледовом режиме, публиковались в рамках серии «Водный кадастр СССР» (Государственный..., 1988). Позднее, на основе накопленных архивов выпускались обобщающие гидрометеорологические справочники (Гидрометеорологический..., 1962; Гидрометеорологические..., 1986;

Гидрометеорология..., 1991), в которых дано подробное описание ледовых условий Азовского моря и факторов его определяющих. Эти работы до сих пор не потеряли своей значимости.

В начале 1990-х гг. авиамониторинг был прекращен. Регулярные наблюдения в открытом море возобновились лишь в начале XXI века, когда стали широко доступны данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Несомненными преимуществами ДЗЗ являются меньшая трудоемкость и бóльшая регулярность, информативность и качество получаемых данных. Но при этом существует ряд недостатков и в таком подходе. Один из основных – наличие плотного облачного покрова в зимний период над акваторией Азовского моря, что может приводить к частичной потере информации. Несмотря на это, результаты дешифрирования космических снимков регулярно публикуются в открытых источниках (<http://planet.iitp.ru>; <http://portal.esimo.ru/portal>). С этого времени наступил качественно новый этап в наблюдениях за ледяным покровом, так как данные ДЗЗ позволяют систематически получать информацию о состоянии поверхности акватории.

На сегодняшний день, накопленные данные позволяют выявить основные особенности ледового режима Азовского моря, которые опубликованы в ряде статей и монографий (Атлас ..., 2014; Atlas..., 2014; Думанская..., 2014, Атлас льдов..., 2015;). Общее описание ледового режима моря представлено в работе (Букатов и др., 2001). В статье анализируются: изменение ледовитости, положение кромки и толщины льда в течение сезона при среднеклиматических условиях, а также в зависимости от суровости зимы. В работе (Дьяков и др., 2014) проведено исследование ледовых условий Азовского моря на основе многолетнего ряда данных наблюдений (1950-2012 гг.). Авторами выполнен анализ всех характеристик ледового режима водоема, дано подробное описание ледообразования и очищения моря ото льда. В работах (Федоренко, 2011; Думанская, 2013; Букатов, Павленко, 2012) изложены результаты исследований связи атмосферных процессов и ледовых условий Азовского моря. Доказано, что Скандинавское колебание определяет изменчивость ледовитости и толщину льда

как внутри сезона, так и межгодовую (Федоренко, 2011). Анализ климата, температурного и ледового режимов Азовского моря описан в работах академика Матишова Г.Г. и сотрудников Южного научного центра РАН (Матишов и др., 2008; Матишов и др., 2014; Матишов и др., 2020): проанализирован 120-летний ряд термохалинных данных моря; показано, что для региона характерно чередование холодных циклов с замерзанием и высокой степенью ледовитости всей акватории и теплых безледных фаз в течение всей зимы (Матишов и др., 2008); в Таганрогском заливе налажен регулярный мониторинг ледовой обстановки. Опыт применения данных ДЗЗ для мониторинга и исследования ледяного покрова Азовского моря также представлен в публикациях (Боровская, 2006; Боровская, Лексикова, 2008; Дашкевич и др., 2016).

Каспийское море

Первые исследования ледового режима Каспийского моря относятся к концу XIX в. – А.Ф. Мюллер проанализировал данные по ледовому режиму за 1770-1885 гг. для района Астрахани (Мюллер, 1888). В 1903-1904 гг. появилась краткая характеристика состояния льдов в Красноводском заливе, выполненная при портовых изысканиях инженером Балинским (Гюль, 1973). Первая оценка ледового режима всей акватории Каспийского моря выполнена Н.М. Книповичем. В 1914-1915 гг. под его руководством проводилась экспедиция, в ходе которой выполнялись судовые наблюдения за ледяным покровом (Книпович, 1921). В работе описаны границы распространения льда, факторы их определяющие, подробно описаны ледовые условия четырех пунктов наблюдений: 1) маяк Четырехбугорный; 2) маяк Чеченский; 3) маяк Верхний Тюб-Караганский; 4) маяк Петровский. Представлены данные о состоянии льда в вышеперечисленных пунктах – появление льда, полное замерзание, вскрытие льда, очищение ото льда, число дней без льда, наибольшая толщина льда, а также данные о состоянии льда восточнее дельты р. Волги в 1901-1913 гг. Дано описание зимы 1913-1914 гг. и сравнительная характеристика с другими зимними периодами, проанализирован процесс ледообразования в Каспийском море. Автором (Книпович, 1921) отмечено:

«что массовое образование льда происходит лишь в северной области и в особенности в северной части его. Большие массы плавучего льда, передвигаясь на юг у западного берега, достигают Чечня и Петровская, где происходит значительный размах и образование прибрежного льда, а иногда появляются и еще южнее; образование льда у берегов наблюдается иногда и далее на юг, но относительно Южной области отмечен лишь случай появления «сала» в Баку. Зафиксированы различия в ледообразовании – у западного берега граница льда продвигается дальше на юг, число дней со льдом больше нежели у восточного побережья».

С 1927 г. начинаются единичные ледовые наблюдения с судов и самолетов, которые с 1930-х годов становятся систематическими. В этот же период расширяется сеть прибрежных гидрометеорологических станций (ГМС) – их количество к тому времени составляет 12. Проводятся стационарные и судовые наблюдения за ледяным покровом, специальные наблюдения над льдом на ледоколах и других судах. С зимы 1927-28 гг. силами Астраханской метеообсерватории проводятся ледовые авиаразведки для нужд флота, рыболовства и зверобойного промысла. Авиаразведочные работы позволили изучить время формирования стамух, продолжительность их существования, локализацию. Также изучались торосистость ледяного покрова и места формирования торосов.

По результатам экспедиционных исследований Н.М. Книповича в 1935 г. вышел гидрологический справочник (Книпович, 1935), в котором дано обширное физико-географическое описание Каспийского моря. Относительно ледового режима Каспийского моря дан анализ климатических факторов и данных, обуславливающих ледообразование на Каспии. Для отдельных пунктов даны сроки появления льда, замерзания, вскрытия и очищения моря ото льда, повторяемость этих элементов. Приводятся сведения о ледообразовании в отдельных районах Среднего и Южного Каспия (Книпович, 1935).

Данные о ледовом режиме за период с 1932 по 1957 гг. обобщены в «Атласе льдов Каспийского моря» (Атлас ..., 1961), который является практическим и

справочным пособием (Плахотник, 1996). В справочнике собраны карты авиаразведок, таблицы ледовых фаз, данные наблюдений.

Условиям образования и развития льда, характеристике особенностей ледового режима Каспийского моря также посвящены работы (Гюль, 1955; Веселова, 1955; Валлер, 1970). Исследования воздействия льда на дно Северного Каспия впервые представил Б.И. Кошечкин (1958). Были исследованы следы деятельности «нагромождений» подвижных льдов («шрамы выпахивания») в районе архипелага Тюленьих островов. Показано, что при высоте торосов в 35-40 см осадка составляет около 3 м, что превышает преобладающие глубины в том районе. Анализ распределения основных направлений «шрамов» и сопоставление этих направлений с направлением преобладающих ветров показали, что движение масс нагроможденного льда подчиняется господствующим ветрам и возбуждаемым ими течениям.

В период 1960-70-е гг. осуществляются первые попытки предсказания ледовитости Каспийского моря (Лукьянов, 1962; Каракаш, 1964). В работе (Каракаш, 1964) представлены уравнения для прогнозирования положения кромки льда. Данные о ледовитости в предшествующем месяце, интенсивности атмосферной циркуляции в октябре-ноябре по мнению автора позволяют предсказать положение кромки льда на будущий месяц (Каракаш, 1964). Исследованию синоптических процессов, оказывающих влияние на ледообразование в Каспийском море, посвящены работы (Соловьев, 1973; Федоренко, 2011). Исследования показали, что во время активности широтных процессов в Европе, в том числе на юге европейской территории России, Кавказе и Каспийском море, наблюдаются мягкие зимы, и наоборот при меридиональной активности холодный воздух из арктического бассейна чаще проникает далеко к югу, обуславливая на этой территории резкие и длительные похолодания, снегопады, а также быстрое развитие ледовых процессов на южных морях (Соловьев, 1973).

С зимы 1978-79 гг. для определения характеристик ледяного покрова и идентификации ледяных образований начало проводиться дешифрирование

спутниковых данных, что позволяет получать информацию о пространственно-временной динамике ледяного покрова на всей акватории, а не только на прибрежных ГМС. Большое количество космических снимков предоставляется в свободном доступе, а некоторые организации публикуют уже результаты обработки данных. Например, НИЦ «Планета», ЕСИМО (Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане) и ААНИИ (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт) публикуют в течение зимнего сезона примерно раз в неделю картосхемы и шейп-файлы ледяного покрова морей (<http://planet.iitp.ru>; <http://portal.esimo.ru/portal>; <http://www.aari.ru/>). Исследования ледяного покрова Каспийского моря с помощью данных ДЗЗ представлены в работах (Koungaev и др., 2003; Yaitskaya и др., 2014; Антонюк, 2014).

С начала 2000-х годов в связи с разведкой и освоением крупных нефтегазовых месторождений на шельфе Каспийского моря проводятся детальные исследования параметров стамух, их осадки и внутренней структуры (Миронов, Порубаев, 2011) и воздействий на дно, а также моделирование (Andreev, Ivanov, 2012) и мониторинг ледовой обстановки (Фролов и др., 2009). О воздействиях стамух и торосов на дно на глубинах до 12 м говорится в работе Огородова С.А. и Архипова В.В. (2010). Большое внимание уделяется исследованию и моделированию ледовых условий в районах гидротехнических сооружений, нефтяных платформ и портов (Evers и др., 2001; Новиков, Бухарицин, 2009; Клячкин, 2011; Непоменко и др., 2013; Политько, Кантаржи, 2015; Нестеров и др., 2022). Для обеспечения нефтедобывающих компаний всем комплексом ледовой информации в 2014 году Казахской компанией «Iceman» (<https://iceman.kz/>) начат полноценный мониторинг дрейфа льда (Kadranov et al., 2019), расположения, формирования и таяния стамух, других характеристик ледяного покрова на всей акватории Северного Каспия.

Особо стоит отметить цикл работ Бухарицина П.И. (Бухарицин, 1983; Бухарицин, 1992; Бухарицин, 2006), который всесторонне освещает ледовый режим Каспийского моря, начиная от многолетней изменчивости ледяного покрова

(Бухарицин, 2008), заканчивая воздействием ледяных образований на дно Северного Каспия (Бухарицин, 2010).

Исследованию ледового режима Каспия за многолетний период также посвящены статьи (Ивкина, Султанов, 2012; Ивкина, Наурозбаева, 2015; Думанская, 2014; Лобанов, Наурозбаева, 2018; Гинзбург и др., 2021). В работах представлены данные и за современный период, что позволяет оценить происходящие изменения в связи с климатическими изменениями. Отмечено, что для акватории Каспийского моря характерно увеличение повторяемости умеренных и теплых зим (Ивкина, Наурозбаева, 2015), сдвигаются даты начала и конца ледостава в сторону более поздних и более ранних соответственно.

1.2 Опасные природные явления

Согласно специальному докладу «Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата» Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) приблизительно с 1950 г. наблюдается увеличение повторяемости природных опасностей, причиной которых является изменение климата.

С середины 1990-х гг. на территории России наблюдается увеличение числа опасных явлений, нанесших значительный ущерб экономике и населению. В среднем происходит около 200 опасных природных явлений в год (Badina, Porfiriev, 2019). При этом, опасные явления погоды (ОЯ), стали более интенсивными и разрушительными, чем ранее, и повлекли за собой техногенные чрезвычайные ситуации. Ежегодный ущерб от воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на территории России составляет не менее 30-60 млрд рублей в год (Доклад..., 2020). Значительно растет, особенно в последние годы, материальный ущерб от наводнений, переработки берегов, подтопления, заболачивания и засоления земель (прежде всего из-за нерационального расхода воды при орошении), водной эрозии (Данилов-Данильян, 2020). По данным (Бондур и др., 2009) с начала 2000-х гг., число и масштабность природных катастроф возросли примерно в 5 раз, а их опасность — в 9 раз. При

этом в развивающихся странах зависимость потерь от природных катастроф существенно выше, чем в экономически развитых регионах.

Увеличение повторяемости опасных природных явлений (ОПЯ) с начала XXI века, наряду с развитием информационных технологий, таких как создание электронных баз данных, геоинформационных систем, использование спутниковой информации и математического моделирования позволяет анализировать, прогнозировать, оценивать и минимизировать (хоть и в неполной мере) риски проявления опасных природных явлений. Современные подходы к исследованию ОПЯ можно разделить на:

1. Мониторинг ОПЯ и создание баз данных;
2. Системы поддержки принятия решений;
3. Моделирующие системы (отдельных явлений или совокупности явлений);
4. Картографирование и создание различных картографических систем.

Подходы 1-3 подробно освещены в статьях автора настоящего исследования (Яицкая, Магаева, 2022а, Яицкая, Магаева, 2022б). Подход 4 рассмотрим более подробно.

Картографирование и создание различных картографических систем сегодня широко применяется для различного рода исследований, в том числе для анализа, прогнозирования и оценки риска проявления опасных природных явлений. Еще в 1978 году компания Munich Re (Германия; <https://www.munichre.com/>) опубликовала первое издание своей карты природных опасностей мира. За этим в 1988 г. последовало второе издание, которое было полностью переработано и значительно расширено. И в 1998 г. сформировано третье издание, объединившее результаты ранних работ, последние достижения и открытия в области ОПЯ (Berz et al., 2001). Все основные данные впервые были записаны, скорректированы и проанализированы с помощью географических информационных систем (ГИС). Полученная карта в формате DIN A0 (841×1189 мм) и соответствующий 30-сантиметровый глобус были изготовлены исключительно с использованием методов цифровой картографии. На карте Мира отображены ОПЯ (интенсивность, частота и учетный период), такие как:

- землетрясения, вулканизм, цунами и связанные с этими явлениями риски;
- тропические циклоны, внутритропические штормы, региональные штормы, торнадо, град, молнии;
- штормовые нагоны и сильные дожди;
- природные опасности, связанные со льдом – паковый лед и дрейф айсбергов;
- последствия Эль-Ниньо и антропогенного изменения климата.

В (Miriana et al., 2010) представлено картографирование опасностей и рисков возникновения стихийных бедствий в глобальном масштабе. В частности, проведена классификация стран мира на основе расчета индекса DRI (Disaster Risk Index), определяющего риск смерти в зависимости от физического воздействия ОЯ, а также – индекса WRI (World Risk Index), указывающего вероятность того, что страна или регион будут затронуты стихийным бедствием. При расчете учитываются следующие виды опасных природных явлений: наводнения, ураганы, землетрясения, засухи и повышение уровня моря (Абдуллин, 2016).

Карты вероятности множественных опасностей (например, оползней, наводнений и землетрясений) разработаны для иранской провинции Лорестан с использованием ансамблевой модели SWARA-ANFIS-GWO (Pourghasemi et al., 2019). Карты наводнений, оползней и землетрясений были объединены для создания карты вероятности множественных опасностей, которая служит ценным инструментом для планирования землепользования и устойчивого развития инфраструктуры в данной провинции.

Та же группа исследователей разрабатывает карты риска множественных опасностей – наводнений, оползней и лесных пожаров для провинции Фарс на юге Ирана (Pourghasemi et al., 2020). Для прогнозирования распределения этих природных опасностей используются два алгоритма машинного обучения - SVM и MARS. Были изучены и нанесены на карты произошедшие наводнения, оползни и лесные пожары, выполнены расчеты риска от множественных опасностей.

Для территории республики Беларусь разработан «Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси» (Атлас..., 2016), в котором

опубликованы карты пространственных закономерностей опасных метеорологических опасностей.

Для территории Российской Федерации и федеральных округов построены карты вероятности чрезвычайных ситуаций, вызванных опасными гидрометеорологическими явлениями. Карты представлены в цикле Атласов природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций (Атлас..., 2005; Атлас..., 2007; Атлас..., 2008; Атлас..., 2009), выпускаемые Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС). Также составлены карты ««Экологогеоморфологические ситуации в субъектах Российской Федерации» и «Карта районирования территории России по степени экстремальности развития эколого-геоморфологических ситуаций» (Чеснокова и др., 2018).

Карты гидрологического риска для территории Алтайского края представлены в Атласе опасных природных явлений (этого региона) (Ротанова и др., 2017). Тематика карт атласа посвящена как гидрологическим условиям территории Алтайского края, так и гидрологическим опасностям, и рискам (Ротанова и др., 2018).

Касаемо картографирования опасных ледовых явлений, существует ряд работ, посвящённых анализу опасных гидрологических явлений на реках Российской Федерации. Например, для бассейна реки Волги выполнено районирование и построена карта (Антонова, 2011) суммарной опасности гидрологических явлений, в том числе обусловленных ледяным покровом. Аналогичная работа выполнена для рек северной части европейской территории России (Агафонова, Фролова, 2009).

Для арктических морей России разработан Атлас абразионной и ледово-экзарационной опасности прибрежно-шельфовой зоны Российской Арктики (Огородов и др., 2020), который доступен в электронном варианте по адресу <https://arcticcoast.ru/>. В атласе представлены карты абразионной и ледово-экзарационной опасностей. Результаты последних исследований (Либина, Никифоров, 2018; Никифоров и др., 2019) свидетельствуют об активизации ОПЯ,

которые связаны с ледовой экзарацией и представляют геориски практически для всех видов деятельности, включая эксплуатацию Северного морского пути (Никифоров и др., 2019).

Опасные ледово-экзарационные процессы также наблюдаются и на южных замерзающих морях – Азовском, Каспийском, Аральском (Bukharitsin, 2016.; Огородов и др., 2019; Мазнев, Огородов, 2020). В работе (Фролов и др., 2009) впервые были исследованы морфометрические параметры двух навалов льда на берега острова Малый Жемчужный (Северный Каспий). В коллективных работах (Ogorodov et al., 2020; Maznev et al., 2020) при участии автора созданы карты интенсивности ледово-экзарационных воздействий на дно Северного Каспия с учетом изменения ледовой обстановки в зависимости от уровня моря, а также в зависимости от суровости зим.

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. На сегодняшний день в РФ отсутствует общепринятая методика оценки опасных природных явлений и рисков их проявлений. Наиболее распространенными являются метод баллов, экспертных оценок (Агафонова, Фролова, 2009; Белоусова, Руденко, 2020; Коробов и др., 2021) или районирование территории по степени опасности (Любимова, Диковский, 2011; Данилин, Целитан, 2015).

Для акватории Северного Каспия выполнен анализ рисков при строительстве и эксплуатации нефтегазовых сооружений (Анисимов и др., 2015). Одним из факторов природных опасностей являются ледовые условия акватории. На основе экспертных оценок для всех природных опасностей выделено четыре категории (уровня) воздействия, которые выражены в баллах. По полученной сумме баллов проводится ранжирование рисков, выделяются риски высокого ранга, ведущие к возникновению крупных аварий, в результате чего происходит уничтожение платформы, разрушение основного оборудования, смертельные случаи, значительный ущерб для окружающей среды.

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), а также метод прогноза толщины наслоенного льда в судоходных районах северо-западной части Каспийского моря (Бухарицин, 1986). Однако атлас не найден в открытом доступе в сети Интернет или библиотечном фонде. В (Глушков, 2018) дано описание ледовых условий на трассе Волго-Каспийского морского судоходного канала для различных зим по степени суровости.

Опыт плавания судов в Азовском море и анализ их аварийности представлен в (Лобанов, Бобков, 2007). Показано, что за период 2001-2006 гг. во льдах получили повреждения различной степени тяжести более 130 судов при ущербе на сумму около 1,5 млн. долларов США. Основную долю аварий внесли зимние навигации 2002-2003 и 2005-2006 годов, когда судоходство осуществлялось в аномально тяжёлых условиях: температура воздуха часто опускалась до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, лед сплочённостью 9-10 баллов при толщине 50 см и более был подвержен подвижкам и торошению.

В работе (Думанская, 2013) на основе данных многолетних наблюдений представлены типовые ледовые условия на основных судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости. В научно-справочном пособии (Думанская, 2014) представлены карты ледовой обстановки в мягкую, умеренную и суровую зимы, а также графики типичных ледовых условий на основных ледовых трассах морей, дано описание ледовых условий в портах. По мнению автора научно-справочного пособия, карты состояния ледяного покрова для наиболее тяжелых (суровых) зим имеют особую научно-практическую ценность вследствие того, что на фоне потепления климата судоходные компании существенно изменили стереотипы, связанные с тяжелыми ледовыми условиями.

Вышеуказанные работы, несомненно, имеют большое значение как с научной, так и с прикладной стороны. Однако без внимания остались опасные ледовые явления, степень проявления которых необходимо учитывать при

планировании и осуществлении морехозяйственной деятельности для минимизирования экономических потерь.

Выводы к главе 1

Условия формирования ледяного покрова Азовского и Каспийского морей хорошо изучены на сегодняшний день, и по-прежнему представляют научный интерес для большого числа исследователей. Тем не менее, в настоящее время остается не решенным ряд вопросов касаясь динамики ледового режима Азовского и Каспийского морей и опасных ледовых явлений. Ввиду климатических изменений и увеличения антропогенной деятельности в акваториях и береговой зоне исследуемых морей оценка современных ледовых условий, а также их экстремальных проявлений является чрезвычайно важной и актуальной задачей, не только для получения новых фундаментальных знаний о природных процессах, но и для отраслей экономики и хозяйства, так как ледовые условия морей влияют на судоходство, строительные и другие производственные работы в прибрежной открытой частях акваторий.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Геоинформационная система «Ледовый режим южных морей России»

Для хранения и систематизации разнородной и разновременной информации о ледяном покрове, пространственного анализа и визуализации данных создана геоинформационная система (ГИС) «Ледовый режим южных морей России». Все первичные данные, полученные в ходе исследования, систематизированы в базе геоданных (БГД) – физическом хранилище географически распределенной информации, — которая является подсистемой ГИС и позволяет осуществлять хранение, обработку и анализ пространственных данных.

База геоданных, включает следующие наборы данных:

- векторные (пространственные классы и наборы данных);
- растровые (наборы растров и каталоги растров);
- непространственные таблицы (первичные данные и результаты их анализа).

Информация о ледяном покрове, которую содержит ГИС:

1. 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 (рис. 2.1).

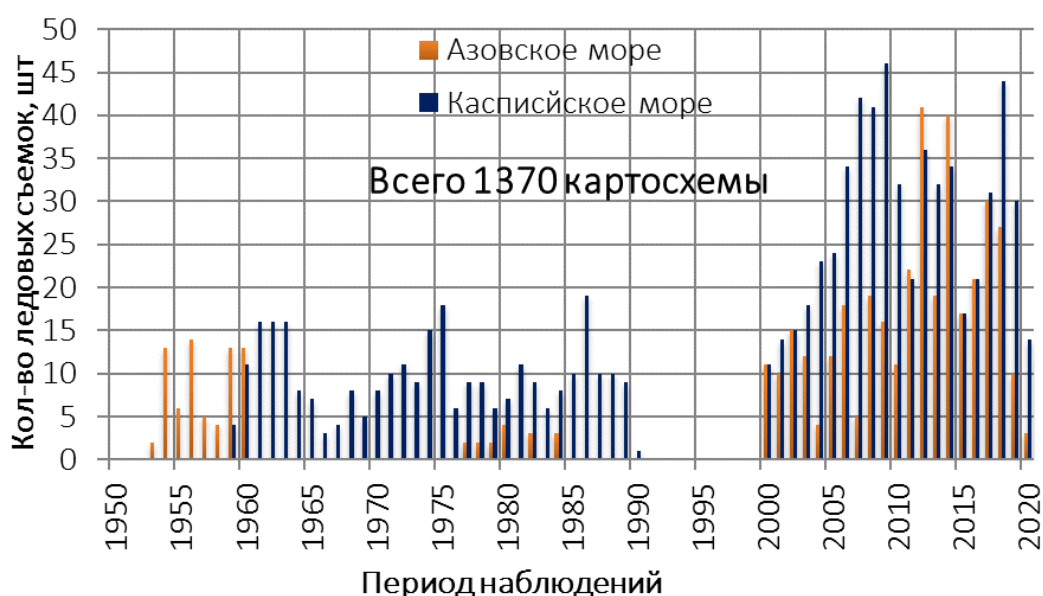


Рисунок 2.1 – Количество накопленных и обработанных картосхем с информацией о состоянии ледяного покрова по годам

2. табличная (численная), представленная данными многолетних наблюдений (1916-2022 гг.) за характеристиками ледового режима на прибрежных гидрометеостанциях (ГМС; рис. 2.2):

- 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.

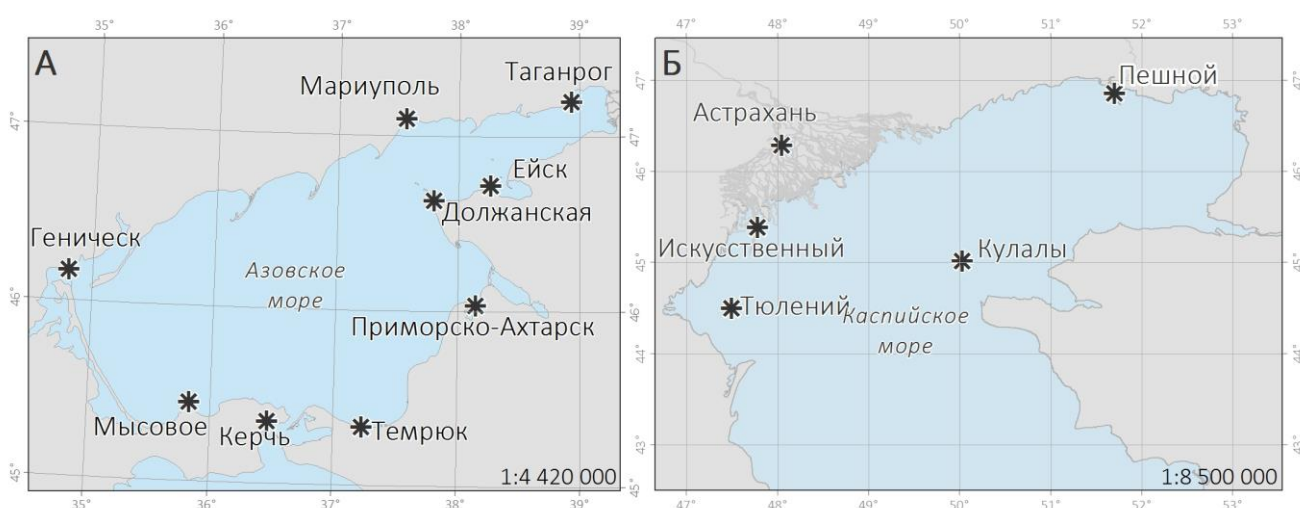


Рисунок 2.2 – Прибрежные ГМС, для которых собраны данные наблюдений за ледовым режимом Азовского (А) и Каспийского (Б) морей

Вся информация тематически сгруппирована в два ГИС-проекта по Азовскому и Каспийскому морям, которые дают возможность просмотра, пространственного анализа и визуализации данных о ледяном покрове. Пространственная организация данных каждого проекта включает следующие фреймы:

1) Базовая пространственная модель – векторные наборы классов объектов: Гидрография, Рельеф, Урбанизированные территории, Транспорт (ГОСТ..., 2006).

2) Рабочая карта – включающая векторные слои и тематические растры. Выполнено наполнение всех фреймов данных тематическими слоями из базы геоданных. Цветовая схема, масштаб отображения слоя и группировка слоев в

групповом слое закреплён в файле слоя, что даёт возможность использовать настройки при создании новых проектов. Цветовые схемы отображения создавались с учётом международных кодификаторов ВМО.

Для визуализации данных настроен картографический шаблон (рис. 2.4, 2.5).

Используемая для отображения проекция: WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere).

Все надписи на карте выполнены шрифтом Calibri Light. Используются следующие размеры шрифта:

- для названий крупных городов кегль 14, полужирный шрифт;
- для названий малых городов кегль 12, полужирный шрифт;
- прочие населённые пункты кегль 10, обычный шрифт;

Надпись с масштабом карты расположена в правом нижнем углу.

Шаг координатной сетки зависит от масштаба карты.

Пространственный экстенд: N – 47,287780; S – 45,062050; E – 35,102510; W – 39,197220. Координатная сетка с шагом 1°.

В качестве программного обеспечения использован лицензионный программный продукт ArcGIS 10.* компании ESRI (рис.2.3). Но поскольку в работе использована база геоданных в качестве хранилища, накопленные и систематизированные данные, могут быть интегрированы в ГИС на основе другого ПО.

Ниже в главе приведены источники данных, которые стали информационной основой геоинформационной системы, и методы обработки исходной информации.

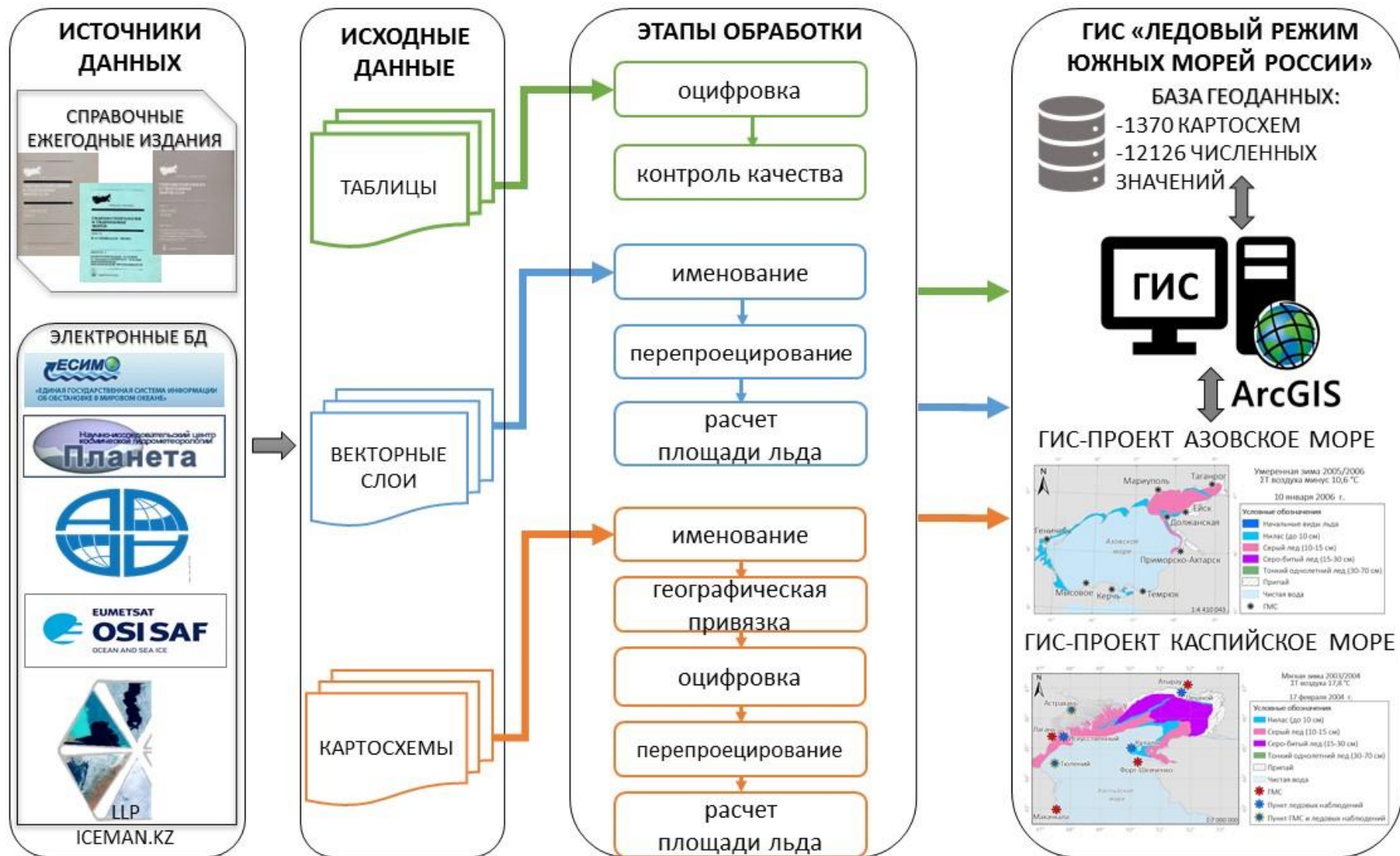


Рисунок 2.3 – Структура ГИС «Ледовый режим южных морей России»



Рисунок 2.4 – Картографический шаблон для визуализации данных Азовского моря

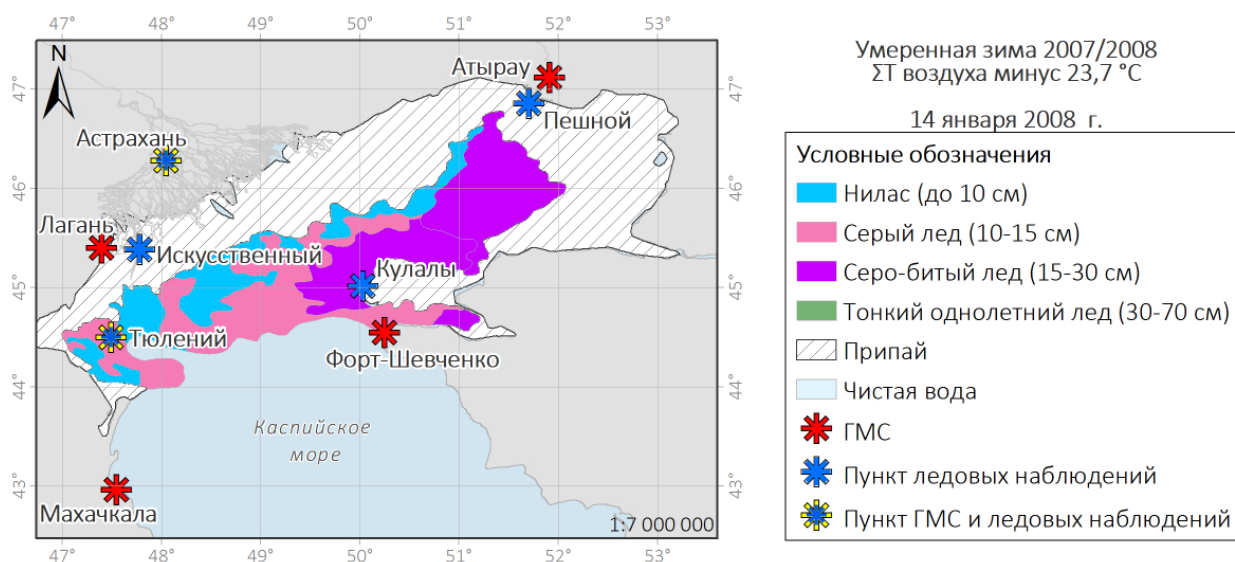


Рисунок 2.5 – Картографический шаблон для визуализации данных Каспийского моря

2.2 Источники данных

Данные систематических наблюдений за ледовым режимом Азовского и Каспийского морей получены из **справочных изданий** «Основные гидрометеорологические сведения о морях СССР» и ежегодном периодическом издании «Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек» и обобщающих **атласов**: Атлас льдов Черного и Азовского морей (Атлас..., 1962; Атлас..., 2015) и Атлас льдов Каспийского

моря (Атлас..., 1962). Эти литературные источники доступны в библиотечных архивах на бумажных носителях. Из них получены сведения о ледовых авиаразведках (картосхемы облетов), наблюдения за характеристиками ледяного покрова на прибрежных гидрометеостанциях (ГМС), а также судовые наблюдения.

Информация о ледяном покрове с 2000 г. и по настоящее время получена из интернет-источников в виде картосхем положения ледяного покрова. **НИЦ «Планета»** выпускает 1-2 раза в неделю цифровые картосхемы ледовой обстановки по заданным районам Азовского и Каспийского морей в стереографической проекции по данным полярно-орбитальных космических аппаратов (НИЦ «Планета», Описание продукции, 2022) при условии отсутствия облачности.

Оперативный модуль **ЕСИМО** (Единая государственная система информации об обстановке в Мировом Океане) еженедельно в течение ледового сезона публикует картосхемы состояния ледяного покрова морей (<http://hmc.meteorf.ru/sea/>). Доступны данные с 2007 г. по настоящее время.

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт публикует региональные ледовые карты по отдельным морям, которые доступны в электронном каталоге Мирового центра данных по морскому льду (<http://wdc.aari.ru/datasets/d0004>). Методика составления этих карт представлена в (Афанасьева и др., 2019). Карты доступны в графическом и векторном форматах. Векторная информация (шейп-файлы) содержит полигоны воды и ледяного покрова с разными характеристиками, представленными в атрибутивной таблице – значения сплоченности льда, возрастные характеристики (толщина) льда, формы плавучего льда и т.д. Файлы с полигонами и структура атрибутов соответствует формату SIGRID (архивный формат для геопривязанной векторной информации о морских льдах).

В качестве альтернативных источников данных о состоянии ледяного покрова исследуемых морей в работе использованы:

– *реанализ OSI-450* – вторая версия SI SAF Global Sea Ice Concentration Climate Data Record (SIC CDR v2.0), – который охватывает временной период с 1979 по 2015 гг. Концентрация морского льда рассчитана инструментами SMMR (1979-1987), SSM/I (1987-2008), и SSMIS (2006-2015), а также с привлечением реанализа ECMWF ERA-Interim (EUMETSAT..., 2017);

– *результаты расчетов балансовой гидрологической модели Азовского моря* (Бердников, 2004). На основе уравнений водного, солевого и теплового балансов для 30 районов (боксов) моря в многолетнем аспекте (1920-2020 гг.) рассчитаны среднемесячные величины температуры и солености воды, ледовитость (доля площади района, занятая льдом) и толщина льда в зависимости от задаваемых внешних факторов (Дашкевич и др., 2020). Полученные модельные значения согласуются с оценками ледовитости по данным наблюдений для периода 1950-1977 гг., приведенными в работе (Гидрометеорологические..., 1986) – коэффициент корреляции равен 0.92 (Дашкевич и др., 2016).

– информационная система **LLP ICEMAN.KZ** (<https://iceman.kz/>) разработанная одноименной компанией, которая предоставляет услуги по ледовой и гидрометеорологической поддержке различного вида деятельности в морских акваториях, в частности в Каспийском, Баренцевом и Карском морях. Одно из направлений деятельности компании – спутниковый мониторинг положения стамух в Каспийском море, данные которого представлены в открытом доступе и использованы в настоящей работе.

2.3 Методы обработки данных

Накопленные первичные данные имеют различный формат, как было показано выше, – численный, векторный, растровый (преимущественно без картографической привязки), поэтому обработка данных происходила в несколько этапов (рис.2.6).

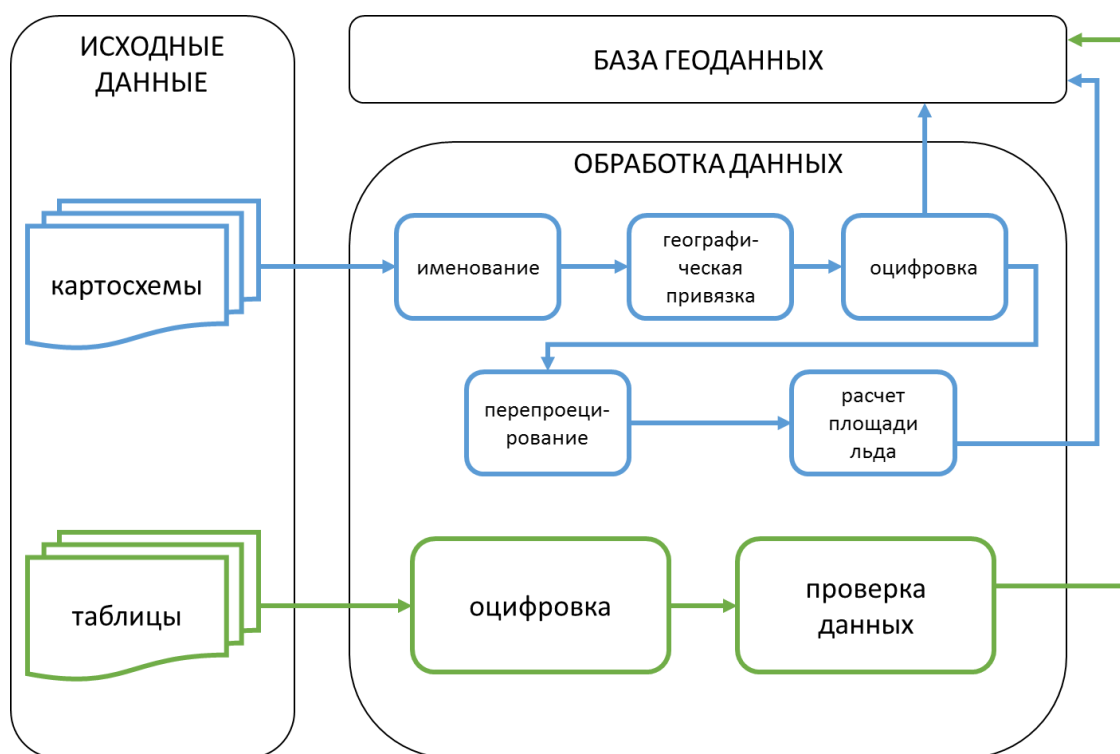


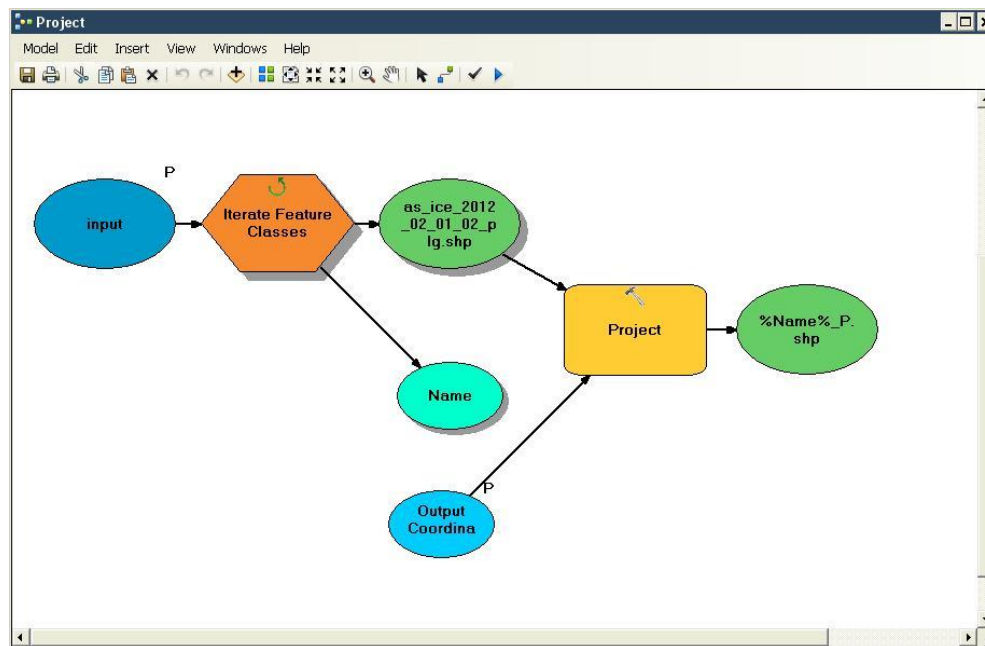
Рисунок 2.6 – Схема обработки данных

2.3.1 Работа с картографическим материалом

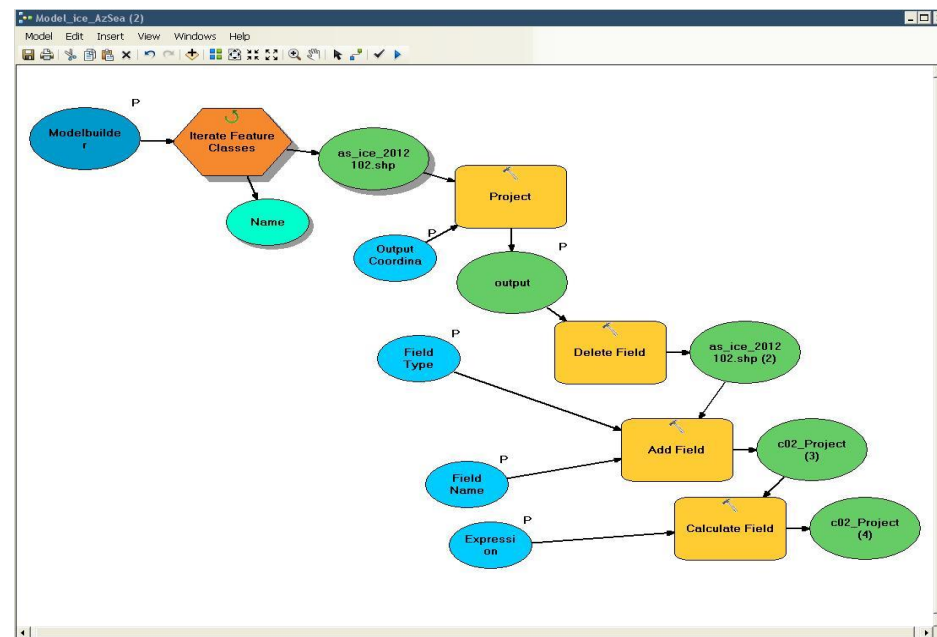
Все картосхемы, опубликованные на бумажных носителях, обрабатывались в ручном и полуавтоматическом режимах. Оцифровку бумажных карт и картосхем зачастую невозможно выполнить автоматически без потери качества и информации.

1) Именованное. Каждой картосхеме было присвоено имя в виде префикса, обозначающего море и даты съемки.

2) Географическая привязка картосхем в среде ArcGIS 10.*. По умолчанию выбрана географическая система координат Pulkovo – 1942 (СК-42). Данная система координат широко используется в российской картографии, на ней основываются все топографические материалы ВТУ ГШ РФ (Военно-топографического управления Генерального штаба Российской Федерации) (Введение..., 2022).



А



Б

Рисунок 2.7 – Инструменты для расчета площади акватории, занятой льдом
 А - перепроецирование из географической проекции в картографическую, Б - расчет площади

3) Оцифровка картосхем – перевод в цифровой векторный формат, путем создания полигональных шейп-файлов.

4 и 5) Перепроецирование и расчет площади льда.

Перепроецирование необходимо для корректного расчета площади льда. Для этого выбрана цилиндрическая равновеликая проекция Ламберта (Cylindrical Equal Area), которая сохраняет площадные характеристики пространственных объектов. Расчет площади выполнялся с помощью инструмента Calculate Area ArcGIS 10.*. На этом этапе был разработан инструмент для автоматической потоковой обработки данных (рис.2.7).

6) Оцифровка ледяных торосистых образований (ЛТО) – создание точечного шейп-файла местоположения ЛТО.

2.3.2 Обработка данных глобального реанализа OSI-450

Данные реанализа представлены в открытом доступе в сети Интернет по адресу (<ftp://osisaf.met.no/reprocessed/ice/conc/v2p0>) в формате NetCDF4. Пространственный охват – весь земной шар, разрешение – 25x25 км, проекция – Lambert Azimutal, временное разрешение – сутки.

Файл содержит 6 переменных:

- ice_conc –концентрация морского льда в процентах (%) от 0 до 100 в каждой ячейке сетки;
- raw_ice_conc_values – данные о концентрации морского льда до фильтрации (обработки) полученных данных;
- total_standard_error, smearing_standard error, algorithm_standard_error – значение стандартной ошибки;
- status flag – информация о шагах обработки.

За период 1979-2015 гг. получено 4 858 файлов.

С помощью программного обеспечения ArcGIS 10* была создана модель автоматической обработки данных (рис. 2.8), которая включает в себя следующие инструменты:

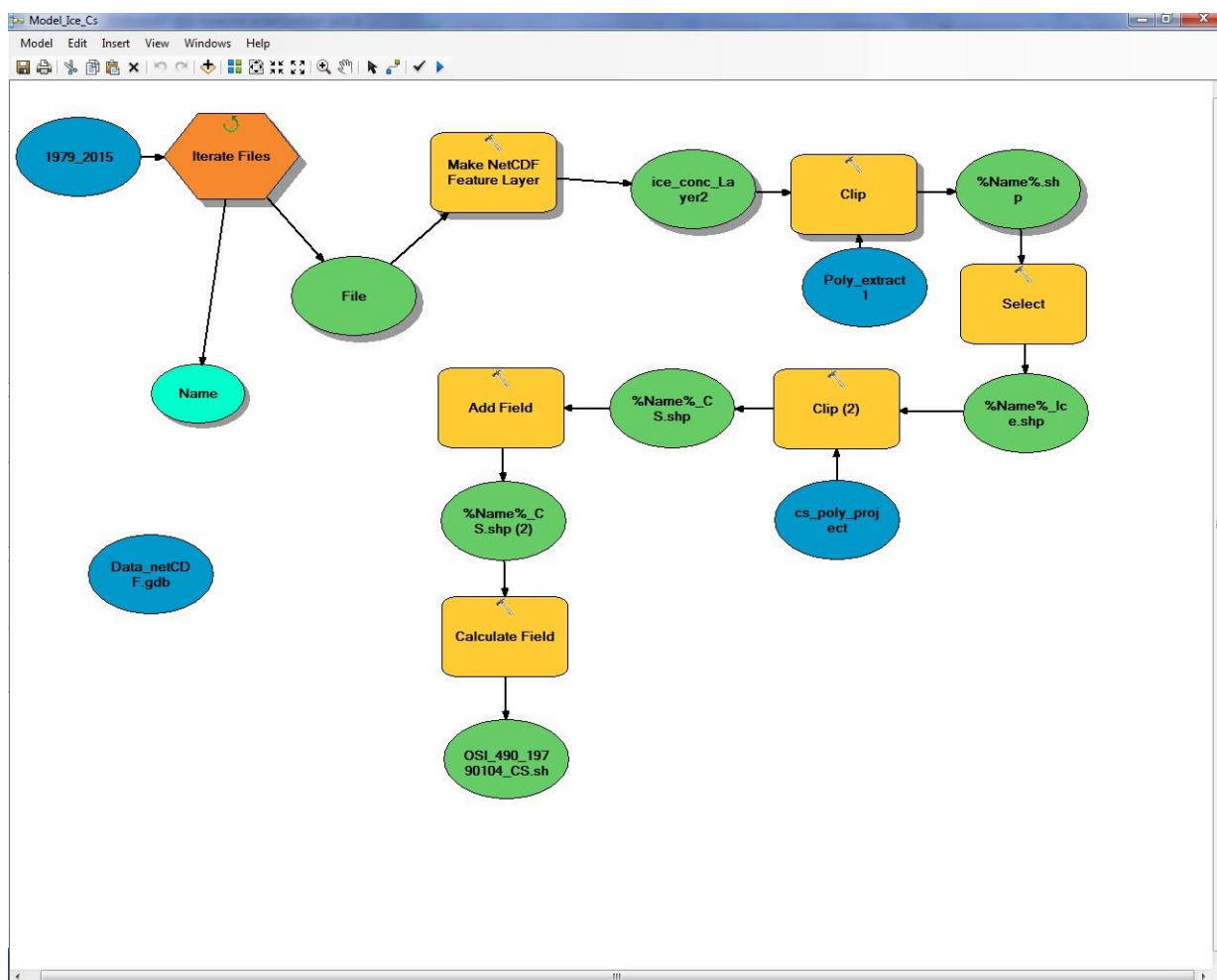


Рисунок 2.8 – Автоматизированная модель обработки данных в ArcGIS

1. Визуализация данных формата netCDF4 и последующий экспорт в формат точечного шейп-файла (.shp) – каждый узел сетки соответствует центру квадрата.
2. Извлечение данных для региона Азовского и Каспийского морей.
3. Выбор значений с ненулевой концентрацией льда.
4. Присвоение даты каждому значению концентрации льда.
5. Объединение всех полученных значений в один файл, что необходимо для удобства последующих расчетов.
6. Экспорт атрибутивной таблицы в текстовый формат.

Далее, обработка данных проводилась с помощью ПО Microsoft Excel и Microsoft Access:

1. Расчет площади льда (км²) для каждого квадрата (25х25 км) по формуле:

$$S = \text{iceconc}/100 * \text{cellarea}, \quad (2.1)$$

где, iceconc – концентрация льда,

cellarea – площадь ячейки.

2. Расчет общей площади льда для каждой даты путем суммирования площадей всех квадратов.

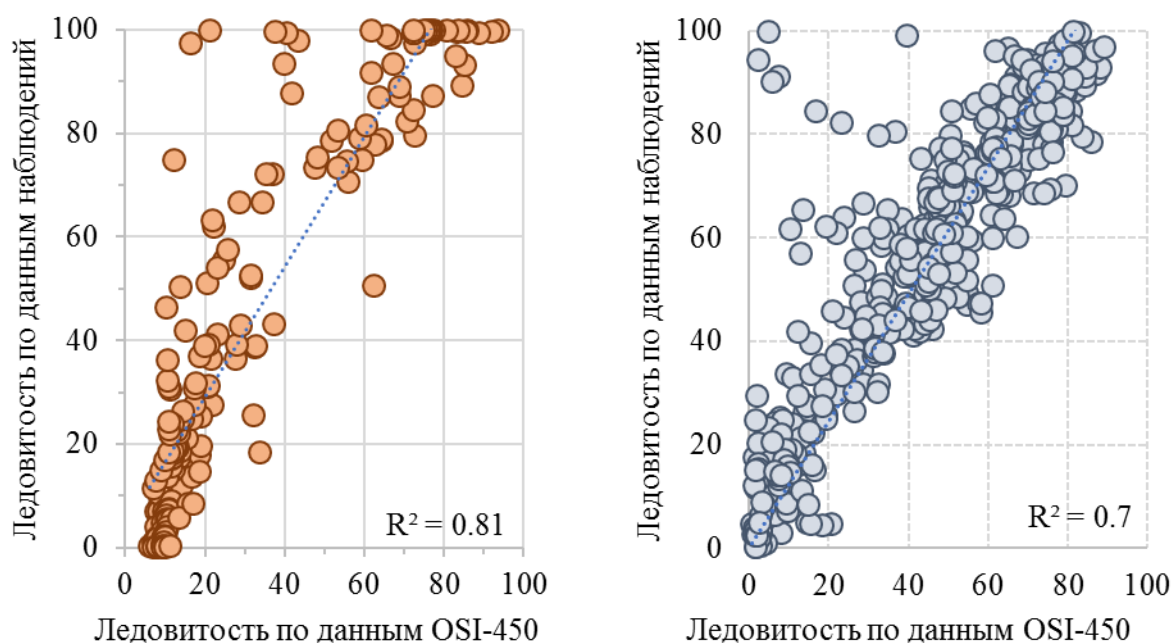
3. Расчет среднемесячного значения площади льда для каждого месяца исследуемого периода.

4. Расчет средней площади льда для каждого зимнего периода.

5. Расчет доли, занятой льдом в процентах (%) для каждого зимнего периода.

В результате получены значения площади ледяного покрова Азовского и Каспийского морей за период 1979-2015 гг. с суточным шагом. Для оценки качества было выполнено сравнение со значениями площади ледяного покрова (выраженными в %) из ГИС «Ледовый режим южных морей России» (рис. 2.9). Реанализ достаточно хорошо воспроизводит ледовитость до 30%. Абсолютная ошибка – 14,6. Коэффициент корреляции данных составляет 0,9.

Далее, были рассчитаны средние значения ледовитости за сезон и сопоставлены с данными из ГИС. Для анализа выбран непрерывный период 2000-2015 гг. Полученные значения представлены в таблице 2.1. Показано, что данные реанализа OSI-450 занижают значения ледовитости за сезон. Для более точного воспроизведения значений ледовитости было составлено уравнение регрессии и введен поправочный коэффициент для данных реанализа OSI-450, что позволило сократить абсолютную ошибку среднесезонных значений до 7. Таким образом реанализ OSI-450 может выступать в качестве альтернативного источника данных о состоянии ледяного покрова и восполнить пробелы в наблюдениях.



А

Б

Рисунок 2.9 – Корреляционная диаграмма реанализа OSI-450 (ось X) и данных наблюдений из ГИС «Ледовый режим южных морей России» (ось Y)
А – Азовское море, Б – Каспийское море

Таблица 2.1 Ледовитость Азовского и Каспийского морей по данным ГИС «Ледовый режим южных морей России» и реанализа OSI-450

Источник данных	ГИС «Ледовый режим южных морей России»	Реанализ OSI-450
	Азовское море	
Среднегодовое значение за период 2000-2015	37.2	23.3
Максимальное	69.4	43
Минимальное	8	8.2
	Каспийское море	
Среднегодовое значение за период 2000-2015	51.4	33.2
Максимальное	69	53.3
Минимальное	34.4	14.6

2.3.3 Работа с численной информацией и статистический анализ данных наблюдений

В табличном виде были получены некоторые данные площади ледяного покрова, а также сведения об основных ледовых фазах – сроках образования и

разрушения льда, продолжительности ледового сезона. Все таблицы переведены в цифровой формат, данные прошли контроль качества на выбросы и корректность значений, и экспортированы в базу геоданных.

Анализ результатов, полученных на предыдущих этапах обработки данных, выполнялся с помощью стандартных инструментов ПО MS Excel – 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. (Руководящие..., 2017) и 1991-2020 гг.

Расчет аномалий производился путем нахождения разности между среднемноголетним значением и данными за определенный год/период наблюдений.

2.3.4 Типизация предзимий и зим по степени суровости

Необходимость типизации зим обусловлена тесной связью ледового режима и температурных условий исследуемых акваторий, что подтверждает ряд опубликованных работ (Гидрометеорологические..., 1986; Гидрометеорологический ..., 1962; Букатов, 2009; Думанская, 2013). Типизация зим позволяет унифицировать и обобщить длительный ряд наблюдений, выявить тенденции внутривековых изменений. Наибольшее распространение получил подход с определением суровости зим, но существуют различные методы расчета. Наиболее часто встречаемой в литературе является методика, подробно описанная в (Думанская, 2013). Она основана на определении (вычислении) сумм градусодней мороза (СГДМ). Для этого необходимо сложить все отрицательные температуры воздуха за зимний период, а затем по предлагаемым градациям определить к какому типу относится зимний период. В своих работах И.О. Думанская к умеренным

относит зимы, для которых СГДМ попадает в интервал от значения, соответствующего «среднее плюс 20% амплитуды» до значения «среднее минус 20% амплитуды». При этом, как наименее характерные, исключаются две крайние аномальные зимы – самая холодная и самая теплая (Думанская, 2013). Данную методику также применяют в своих работах П.И. Бухарицин, А.В. Федоренко и др. (Думанская, 2013; Бухарицин, 2008; Федоренко, 2011), но авторы используют различные градации и не упоминают о том, по какому принципу выделены интервалы СГДМ для каждого типа зимы. СГДМ скорее характеризует динамику отрицательных температур в регионе, но не стоит забывать, что южные акватории являются периодически замерзающими. Здесь нередки случаи, когда зимой наблюдается положительная температура воздуха. В работе (Гидрометеорологический..., 1962) установлено, что как правило, не все месяцы в течении суровой зимы суровы. Зачастую, общий фон суровости задает только один суровый месяц, все остальные при этом могут быть мягкими. А положительные аномалии температуры воздуха, которые могут наблюдаться в зимний период, не учитываются при типизации зим по СГДМ. Следует также иметь в виду, что температурный режим на отдельных пунктах наблюдений не может характеризовать средний температурный фон всего моря (Гидрометеорологический..., 1962). Если рассмотреть динамику температурных условий даже на ближайших ГМС, это становится ясно, как показано в работе автора (Магаева, Яицкая, 2017). Поэтому типизация зим по СГДМ, которая чаще всего выполняется для одного пункта, в случае Азовского моря – это ГМС Таганрог или Ростов-на-Дону, Каспийского моря – ГМС Астрахань, не даст полную картину температурных условий в регионе.

Еще одна методика описана А.Н. Лебедевым и Г.П. Писаревой в (Гидрометеорологический ..., 1962). Здесь для определения критериев суровости зим используются среднемесячные значения температуры воздуха за зимний период (декабрь – март) на трех прибрежных метеопунктах Азовского моря (Таганрог, Геническ, Керчь). 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.

Несмотря на то, что метод А.Н. Лебедева и Г.П. Писаревой представлен пол века назад, на наш взгляд он является более аргументированным, объективным и «прозрачным». Поэтому в данной работе использован именно этот подход. Хотя и он не лишен недостатков – пороговые значения суровости напрямую зависят от длительности ряда исходных данных. Важно отметить, что рассматриваемая методика является универсальной и может быть использована для других акваторий.

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 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). Данные получены из открытого архива ВНИИ Гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (meteo.ru) (Булыгина и др.).

Методику можно условно разделить на шесть шагов.

1. Расчет среднемесячных температур воздуха по годам для каждого метеопункта. Важно отметить, что расчеты ведутся для зимнего периода (например, 2014/2015 гг.), поэтому в данных за декабрь должен быть сдвиг на один год – для января, февраля, марта 2015 г., декабрь - за 2014 г.

2. Вычисление суммы средних месячных температур по трем метеопунктам за каждый месяц каждого года.

3. Вычисление суммы сумм средних месячных температур трех пунктов за каждый месяц каждого года.

4. Вычисление среднего многолетнего значения и многолетней суммы температур, рассчитанных на предыдущем этапе.

5. В диапазоне, полученном на этапе 3, вычисляется минимальное и максимальное значения. Они необходимы для дальнейшего расчета критериев суровости. В приведенном примере $\min$ – минус 59.1, $\max$ 31.52.

6. Далее расчеты производятся в следующем порядке:

$$\begin{array}{ll}
 \min - avr = X1; & -59.1 - 0.28 = -59.35 \\
 \max - avr = X2; & 31.52 - 0.28 = 31.22 \\
 \frac{X1}{3} = Y1; & \frac{-59.35}{3} = -19.78; \\
 \frac{X2}{3} = Y2; & \frac{31.22}{3} = 10.4; \\
 Y1 + avr = \text{минимальный порог}; & -19.78 + 0.29 = -19.49; \\
 Y2 + avr = \text{максимальный порог}. & 10.4 + 0.29 = 10.69.
 \end{array}$$

где $\min$ – минимальное значение суммы сумм температуры воздуха по трем метеопунктам;

$\max$ – максимальное значение суммы сумм температуры воздуха по трем метеопунктам;

avr – среднее значение суммы сумм температуры воздуха по трем метеопунктам, т.н. «норма»;

$X1$, $X2$ – предельное отклонение от «нормы» в большую и меньшую стороны;

$Y1$, $Y2$ – переменные, характеризующие соответствующие отклонения в мягкие, нормальные и суровые зимы.

2.3.5 Выделение типовых ледовых сезонов

Ледовые условия исследуемых морей преимущественно зависят от суровости температурных условий, поэтому год от года даты образования и разрушения льда сильно варьируются. В соответствии с количественными показателями основных ледовых фаз Азовского и Каспийского морей и их сочетаниями все разнообразие сроков образования и разрушения льда сведено в 5 типов ледовых сезонов (рис.2.10), которые были выделены путем определения среднемноголетних значений (норма), положительных и отрицательных аномалий (отклонения от нормы).

Тип I. Все параметры фаз ледового режима находятся в пределах нормы (средне многолетних 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 средне многолетних 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 средне многолетних значений.

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

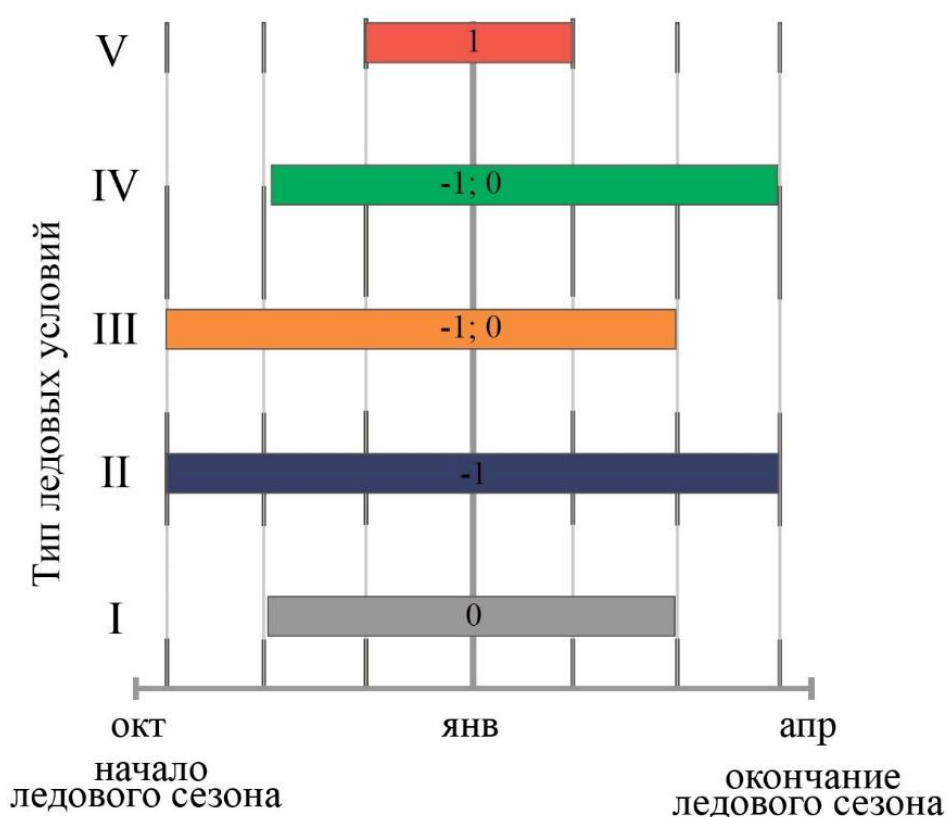


Рисунок 2.10 – Схематичное изображение типовых ледовых сезонов. Цифрами внутри блоков обозначена продолжительность ледового сезона «- 1» - отрицательная аномалия, «0» - в пределах средне многолетних значений, «1» - положительная аномалия

Так как изменчивость гидрометеорологических условий холодного периода обуславливают состояние ледяного покрова исследуемых морей, был выполнен анализ среднемесячных температур воздуха и воды для каждого типа ледового сезона с помощью метода ИРТА. Суть метода – сравнение статистических параметров (средних, максимальных, минимальных или любых других величин) данных многолетних наблюдений, разделенных на 2 временных ряда (Sen et al., 2019; Achite et al., 2021). Результаты анализа представлены в декартовой системе, в которой первый ряд расположен на оси X, а второй ряд размещен на оси Y, что позволяет выявить тот или иной тренд в заданном ряду. В данном случае в качестве 1 ряда используются среднемесячные температуры воздуха и воды для 1 типа, ледовые условия которого наиболее близки к среднемноголетним, а в качестве 2го ряда – остальные типы, характеризующиеся положительными или отрицательными аномалиями температур (рис.4.13, 4.15). В результате для каждого типа ледового сезона установлены закономерности гидрометеорологических условий. Определение уровней экологической опасности каждого типа ледового сезона выполнено путем экспертной оценки.

2.3.6 Построение карт вероятности встречи льда и припая

Пространственный анализ является одним из основных способов (методов) интерпретации данных, используемых в геоинформатике. Это набор алгоритмов (функций), обеспечивающих анализ местоположения (размещения), связей и иных пространственных отношений пространственных объектов, включая анализ зон видимости/невидимости, анализ соседства, анализ сетей, создание и обработку цифровых моделей рельефа и т.д. (Образовательные..., 2014).

Наиболее распространенный вариант анализа той или иной акватории – выделение районов со схожими характеристиками. Так, например, в (Книпович, 1958), представлено физико-географическое районирование Азовского моря, где выделено 12 однородных районов. В настоящем

исследовании для более детального анализа было решено разделить акватории на ячейки размером 10х10 км. с помощью инструмента Intersect ArcGIS 10.*. Всего 442 ячейки для Азовского моря и 1371 ячейка для северной части Каспийского моря (рис.2.11).

Для создания карт вероятности встречи льда и припая использованы данные за период 2000-2020 гг. в формате шейп-файлов (всего 270 шейп-файлов для Азовского моря и 309 для Каспийского).

Для каждой ячейки был выполнен расчет вероятности наличия ледяного покрова и припая для каждого месяца (ноябрь-апрель) по формуле (2.2.):

$$P_k = \frac{N_k}{n_k} * 100\% \quad (2.2)$$

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

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

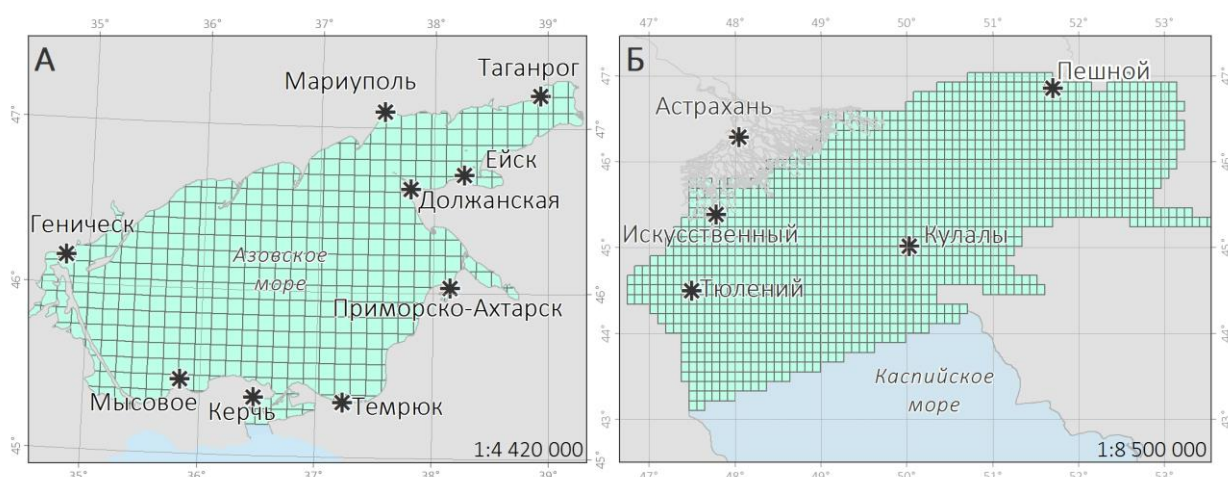


Рисунок 2.11 – Сеточная область (размер ячейки 10х10 км) для расчета вероятности встречи льда

А – Азовское море, Б – Каспийское море

2.3.7 Районирование акватории по степени проявления опасных ледовых явлений

Опасность определяется вероятностью проявления опасного природного явления в пространстве и времени с определенной интенсивностью (Алексеев, Курочкина, 1999; Магрицкий, 2016; Кулыгин, 2017), т.е. вероятность возникновения опасного природного явления на определенном участке акватории. Исходя из этого, для каждой ячейки акватории рассчитана вероятность встречи каждого ОЛЯ по формуле (2.2). Далее, полученные показания были ранжированы по формуле (2.3):

$$\begin{aligned} (max-avr)/3+avr &= X1; \\ (min-avr)/3+avr &= X2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

$Vl;p < X1$ – 1 балл низкая степень экологической опасности,
 $X1 < Vl;p < X2$ – 2 балла средняя степень экологической опасности,
 $Vl;p > X2$ – 3 балла высокая степень экологической 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 экологической опасности, выраженного в баллах:

Vl – степень экологической опасности ледяных торосистых образований;

Vp – степень экологической опасности припая;

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

1 балл – очень низкая степень экологической опасности,

2 балла – низкая,

3 балла – средняя,

- 4 балла – высокая,
- 5 баллов – очень высокая,
- 6 баллов – чрезвычайно высокая.

Выводы к главе 2

Выполнен сбор и систематизация разнородных данных о состоянии ледяного покрова Азовского и Каспийского морей – исторические картосхемы, наблюдения на прибрежных ГМС, результаты дешифрирования космоснимков, математического моделирования и глобального реанализа.

Создана уникальная инфраструктура, объединяющая геоинформационную систему «Ледовый режим южных морей России» и базу геоданных, которая включает весь накопленный картографический и численный материал за более, чем сто лет. ГИС разработана как уникальная среда, для сбора, хранения и пространственного анализа ледовых условий Азовского и Каспийского морей. Для визуализации данных настроен картографический шаблон.

Оцифровано 1370 картосхем состояния ледяного покрова с 1953 г. по 2022 г. Проанализированы данные реанализа OSI-450 и возможность их использования как альтернативного источника информации при анализе ледового режима южных морей России.

Осуществлены эксперименты, по результатам которых выбрана наиболее объективная методика типизации зим по степени суровости. Для определения критериев суровости зим использованы среднемесячные значения температуры воздуха за зимний период на прибрежных ГМС.

Описан метод выделения типовых ледовых условий для Азовского и Каспийского морей. Отработан метод построения карт вероятности встречи льда и припая. Разработан и реализован метод районирования акваторий по степени проявления опасных ледовых явлений. Анализ всех полученных данных представлен в 3, 4 и 5 главах настоящей работы.

ГЛАВА 3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

3.1 Общие сведения и геоморфологическое описание

Азовское море расположено на южной окраине Русской равнины и почти со всех сторон окружено сушей (рис.3.1). Соединено с Черным морем мелководным Керченским проливом (максимальная глубина 5 м, минимальная ширина – 4 км, длина около 40 км). Ввиду мелководности пролива водообмен осуществляется иначе, чем через глубоководные проливы – в зависимости от сезона и более всего от ветра в Керченском проливе наблюдается только азовская или только черноморская вода. Площадь водной поверхности Азовского моря около 39 тыс. км², объем воды – 290 км³, средняя глубина около 7 м, максимальная – 13 м (Гидрометеорологические..., 1986), длина береговой линии составляет 1472 км.

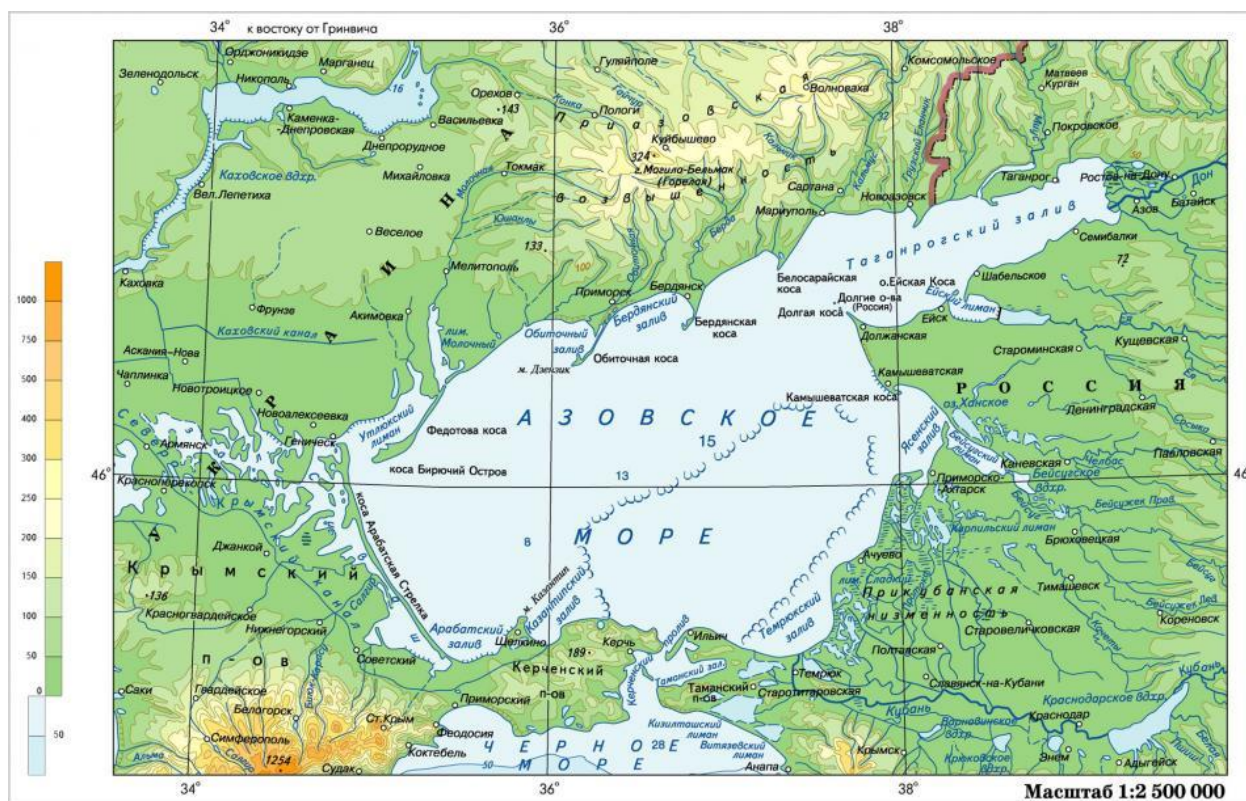


Рисунок 3.1 – Физико-географическая карта Азовского моря (Национальный атлас..., 2007; государственная граница по состоянию на 2007 г.)

Крупных островов в Азовском море нет. Имеются лишь небольшие низкие острова: остров Ляпина – вблизи берега восточнее порта Мариуполь; искусственный островок Черепаха – на подходе к порту Таганрог; Песчаные острова – на подходах к порту Ейск; Тузла – песчаный остров площадью 3

квадратных километра (длина острова — 6.5 км, ширина — около 500 метров) в Керченском проливе между Керченским полуостровом Крыма на западе и Таманским полуостровом Краснодарского края на востоке.

Каспийское море – крупный замкнутый водоём, уровень которого лежит на 28,0 м ниже уровня Мирового океана. Расположено на границе двух крупных частей единого материка Евразии между 47°07' и 36°33' с. ш., 46°43' и 54°50' в. д. (рис.3.2). Общая протяженность береговой линии составляет 5970 км. Наибольшую протяженность береговой линии (без островов) имеет Казахстан – 2320 км, за ним Туркменистан – 1200 км, Иран – 900 км, Азербайджан – 850 км и Россия – 700 км (Водный баланс..., 2016).

Исходя из особенностей морфологического строения и физико-географических условий, Каспийское море принято делить на три части: Северный, Средний и Южный Каспий. За условную границу между Северным и Средним Каспием обычно принимают линию, соединяющую о-в Чечень с м. Тюб-Караган, а между Средним и Южным Каспием линию о-в Жилой – м. Куули. В пределах Северного Каспия выделяют также западную и восточную части, проходящую по линии Кулалинского порога (Каспийское..., 1986).

Общая площадь Северного Каспия равна 91942 км². Северная часть моря мелководная, средняя ее глубина 5-6 м, максимальные глубины 15-20 м расположены на границе со средней частью моря (Книпович, 1923). Глубины увеличиваются в направлении на юг, к средней части моря. От устья Урала на юго-запад протягивается Уральская бороздина – понижение дна с глубинами до 9-11 м, тогда как в окружающем районе глубины не более 5 м. Вдоль северного берега полуострова Тюб-Караган проходит узкая Мангышлакская бороздина с глубинами до 13 м. Рельеф Северного Каспия непрерывно изменяется, особенно в предустьевом взморье, берега довольно изрезаны. Здесь расположены многочисленные заливы – Кизлярский, Аграханский, Мангышлакский и множество мелких бухт; полуострова – Аграханский, Бузачи, Тюб-Караган, Мангышлак. В дельтах Волги и Урала береговая линия усложнена множеством островов и протоков, часто меняющих свое

положение (Гидрометеорология ..., 1992). Наиболее крупными островами являются – о. Чечень (122 км²), о. Кулалы (73 км²), о. Тюлений (68 км²) и о. Морской (65 км²). Характерной особенностью берегов Северного Каспия является также наличие зоны осушки, формирующейся под действием нагонных явлений и волновых движений, и большая динамичность береговой линии в результате колебаний уровня моря (Каспийское..., 1986).

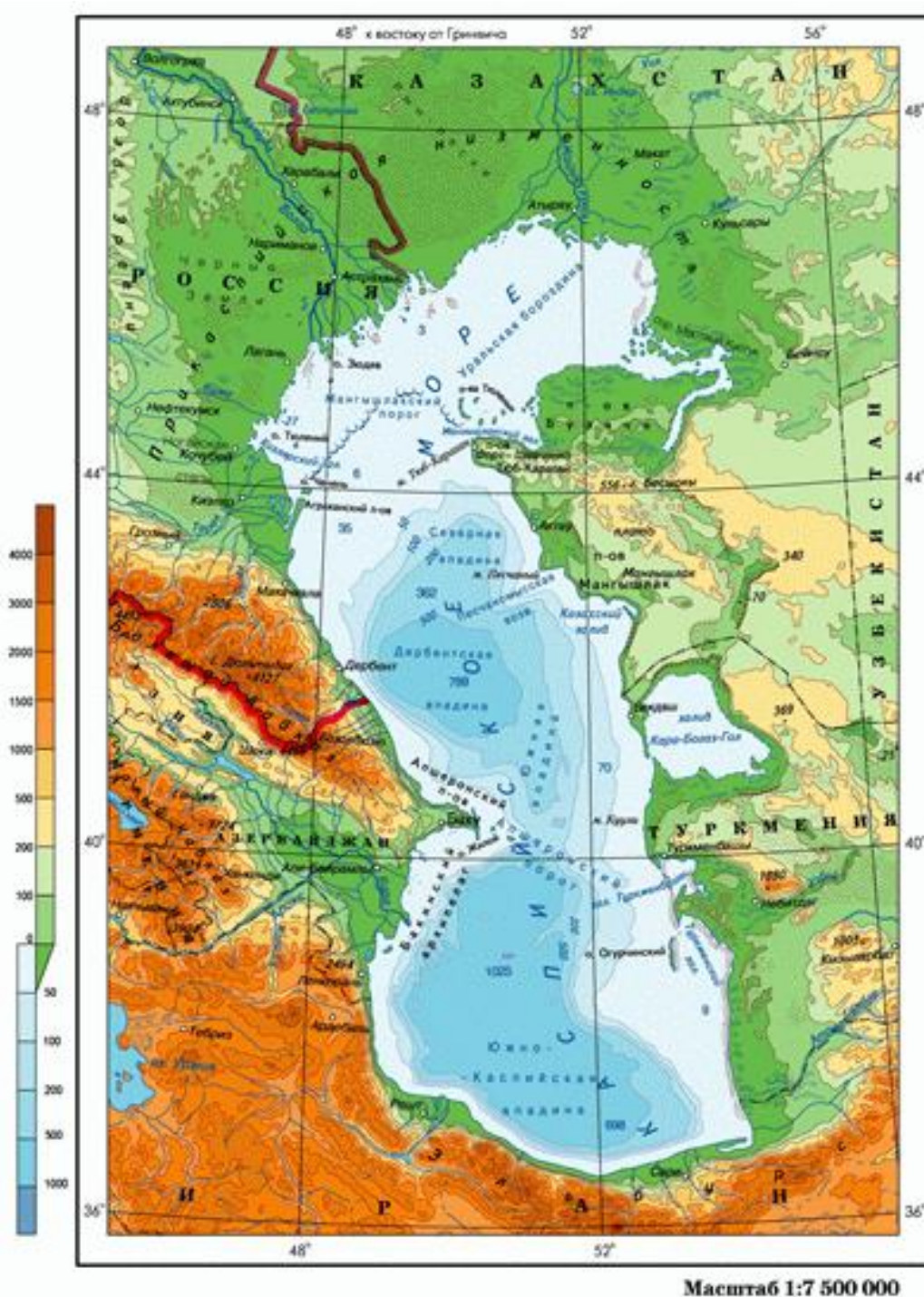


Рисунок 3.2 – Физико-географическая карта Каспийского моря (Национальный атлас..., 2007)

3.2 Климатические особенности

Исследуемые акватории расположены в континентальной зоне умеренных широт. Для региона характерна умеренно мягкая, короткая зима и теплое продолжительное лето. Атмосферные процессы над азово-каспийском регионом складываются под влиянием общей циркуляции атмосферы на Европейско-Азиатском материке и местных факторов: рельефа прибрежных районов и влияния водной поверхности моря. В зимний сезон большая часть акватории находится под влиянием отрога Сибирского антициклона, который образуется в результате вторжения холодного арктического воздуха с Карского моря, континентального и морского воздуха умеренных широт с Баренцева и Норвежского морей на южные районы ЕТС (Каспийское..., 1986).

Температура воздуха

Средняя годовая температура на севере Азовского моря 9°C, на юге 11°C. Самые низкие температуры наблюдаются в северной части Таганрогского залива, самые высокие – вдоль южного побережья и в Керченском проливе. Средняя месячная температура воздуха меняется от -1 до -5°C в январе-феврале до 23-24°C в июле-августе. Температура воздуха зависит от направления ветра. В зимний период наиболее низкие температуры наблюдаются при северо-восточных и восточных ветрах, а повышение температуры, как правило, связано с юго-восточными и южными ветрами. Летом высокие температуры обусловлены восточными и юго-восточными ветрами, понижение температуры – северо-западными (Гидрометеорологический..., 1991).

Анализ сезонной температуры воздуха за более чем 100 лет позволяет говорить о внутривековых колебаниях климата в районе Азовского моря с периодичностью в 20–40–60 лет (Экологический..., 2011). В многолетних колебаниях температуры воздуха с конца XIX века до начала XXI века тренды положительны (рис. 3.3), соизмеримы со среднеквадратическими отклонениями и величинами, характерными в целом для умеренных широт

северного полушария, но пока не выходят за пределы естественной изменчивости, составляя для года около 1°C , холодного и теплого периодов $1.5\text{--}1.8^{\circ}\text{C}$, зимы 2.5°C (Гаргопа, 2006). В многолетнем ряду выделяют (Горбач и др., 2009) два периода потепления: первый в 1910 – 1940 гг. (с угловым коэффициентом линейного тренда $+ 0,14^{\circ}\text{C}/10$ лет) и второй, более интенсивного потепления, с середины 70-х гг. по настоящее время ($+ 0,42$ до $+ 0,55^{\circ}\text{C}/10$ лет). Разделяет эти периоды сравнительно небольшое похолодание – с 1950 по 1960 гг. Наибольший вклад в повышение годовых температур воздуха внес рост средних зимних температур (мах до $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в Ейске) и весенних температур (мах до $0,03^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в Ейске). Наименьшее повышение средних сезонных температур воздуха отмечено осенью ($0\text{--}0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$) (Дашкевич, 2020). С конца 1990-х гг. увеличились в среднем и минимальные зимние среднемесячные значения температуры воздуха, однако заметно и более частое повторение экстремально низких среднемесячных значений температуры в 2000-е гг. с ярко выраженными отрицательными аномалиями (зимы 2002/2003, 2005/2006 и 2011/2012 гг.) по сравнению с 1980-ми–1990-ми гг. (Гинзбург и др., 2021).

В Северном Каспии среднемесячная температура воздуха в январе составляет $-5\ldots -10^{\circ}\text{C}$. Летом среднемесячная температура воздуха в целом по всему морю составляет $24\text{--}26^{\circ}\text{C}$. (Гидрометеорология ..., 1992). Согласно (Островская и др., 2020) за последние 30 лет средняя многолетняя температура воздуха стала выше на $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$, аномально увеличились температуры в холодное время года, особенно в январе, феврале, марте и октябре (рис.3.4). По другим оценкам (Казьмин, 2019; Kazmin, 2021, Гинзбург и др., 2021), диапазон изменения среднегодовых значений температуры воздуха над Каспийским морем составил $2,8^{\circ}\text{C}$ для периода 1982–2017 гг.

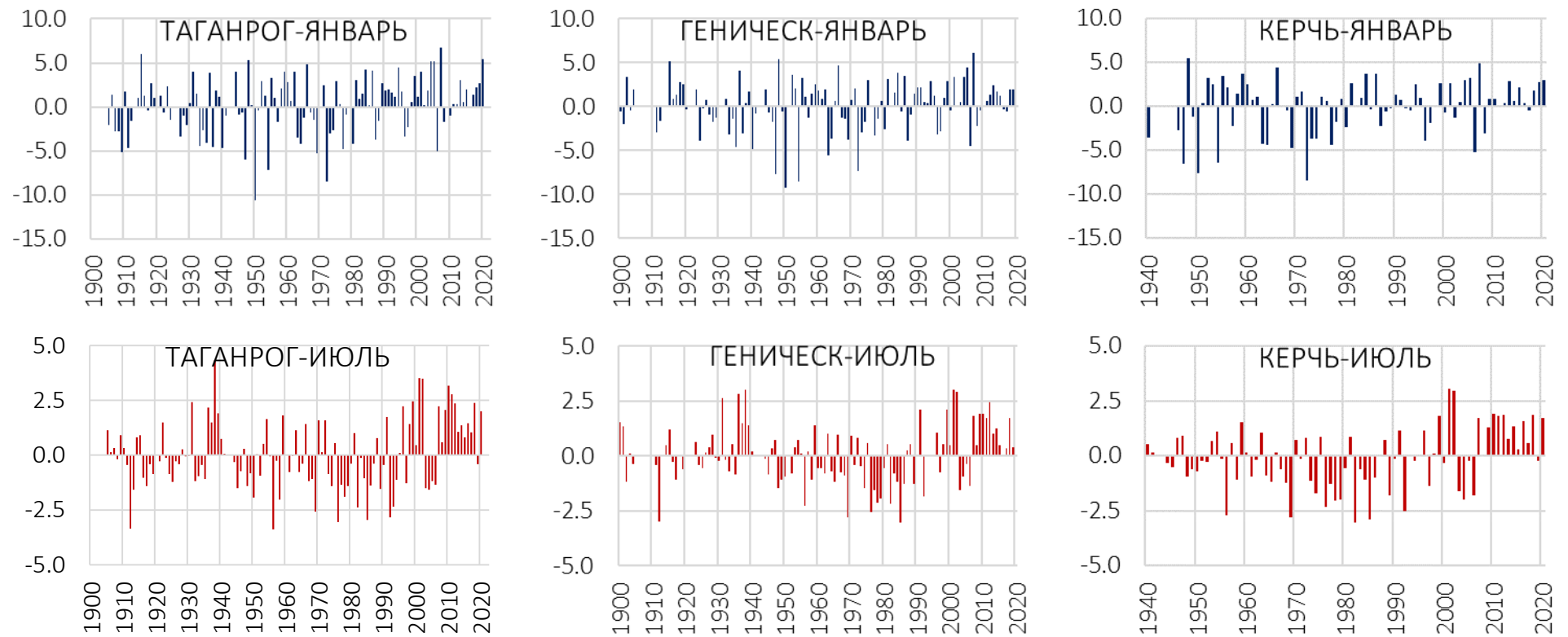


Рисунок 3.3 – Аномалии температуры воздуха на прибрежных ГМС Азовского моря

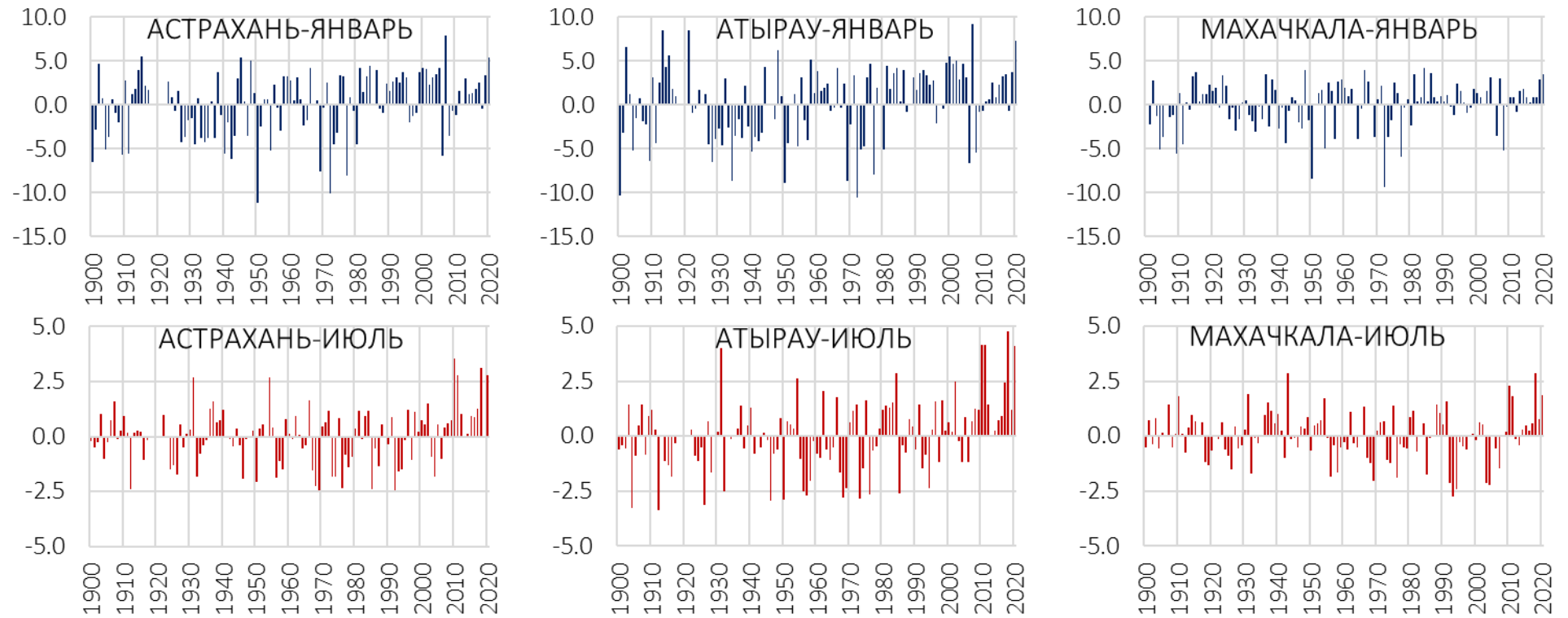


Рисунок 3.4 – Аномалии температуры воздуха на прибрежных ГМС Каспийского моря

Осадки

Режим осадков над азово-каспийским регионом определяется циркуляцией атмосферы. Так, увеличению осадков в бассейне Волги способствует западный (зональный или широтный) тип циркуляции атмосферы, уменьшению – восточный и центральный (меридиональный) (Яготинцев, Поставик, 2013).

На Азовском море среднее годовое количество осадков составляет 300-500 мм. Годовой ход количества осадков имеет главный зимний максимум, когда в разных районах моря выпадает от 29 до 38% годовой суммы осадков, и вторичный летний максимум, обусловленный высокой интенсивностью ливневых осадков. Среднемесячные суммы осадков могут в 5-7 раз превышать норму. В отдельные месяцы осадков может не быть или их сумма составляет менее 5 мм. Среднегодовые суммы могут превышать норму в 1.5-2 раза или быть в 2- 3 раза меньше ее (Гидрометеорология..., 1991).

В многолетнем ряду атмосферных осадков для района Азовского моря выделяется пик максимума в 40-х гг. и минимума в начале 60- гг. С начала 70-х гг. отмечается устойчивый рост количества осадков. Годовой тренд на прибрежных станциях составляет 20,9 – 47,3 %/100 лет (82 – 200 мм/100 лет). По другим оценкам (Дьяков, 2010; Костяной и др., 2014), среднегодовое количество осадков с 1979 по 2010 г. увеличилось на 54 мм. Следует отметить, что с 1975 г. и по настоящее время рост осадков наиболее выражен осенью. Годовое количество выпадающих осадков увеличивается с юго-запада, на северо-восток от 390 мм в Геническе до 592 мм в Ростове-на-Дону (по оценкам для базового периода 1961 – 1990 гг.). За 1991 – 2004 гг. среднее годовое количество осадков в районе Азовского моря составило 389 – 650 мм (минимальное годовое количество осадков соответствует Геническу, максимальное Ростову-на-Дону) (Горбач и др., 2004). Однако после пика, пришедшегося на 2010 г., в последующие годы наблюдается снижение годового количества осадков в Азовском регионе (Дашкевич, 2020).

В Северном Каспии, при равнинном характере прилегающей суши, атмосферные осадки распределены относительно равномерно. Среднее годовое количество составляет 160-200 мм (Каспийское..., 2007). Во внутригодовом (сезонном) ходе осадков наблюдаются два максимума: осенне-зимний (сентябрь-январь) и весенний (март-апрель), когда на акваторию Северного Каспия выпадает 41–48 % годового количества осадков, и два минимума: весенне-летний (май-август) и зимний (февраль). Причем в Северном Каспии внутригодовое распределение осадков более равномерно по сравнению со всем морем: в отдельные месяцы здесь выпадало в среднем от 5 (май-август) до 16 % (декабрь) годовой их суммы (Водный..., 2016). По данным (Гинзбург, Костяной, 2018), среднегодовое количество осадков за 15-летний период 2003–2017 гг. уменьшилось примерно на 38 мм, что эквивалентно уменьшению уровня Каспия примерно на 4 см за этот период.

Ветер

В период с октября по апрель Азовское море находится под влиянием отрога сибирского антициклона, в результате чего над акваторией преобладают ветра восточного и северо-восточного направления. В связи с этим, лёд чаще подвержен сжатиям на западе, реже - на крайнем востоке моря. На востоке ветры восточных румбов отжимают лед от припая или берега к западу, в результате чего образуются зоны разрежений или чистой воды (Думанская, 2014). Под воздействием сильных восточных, северо-восточных и северных ветров лед интенсивно выносится из прибрежных районов северной части в открытое море, что способствует охлаждению поверхностного слоя воды в районах выноса льда. Поэтому при интенсивном выхолаживании и сильных ветрах северных и восточных направлений лед в открытом море появляется раньше, чем при штиле.

В многолетней динамике, по данным (Гаргопа, 2001), с 1940-х до 1980-х гг. отмечено снижение скорости ветра как в среднем за год, так и для всех сезонов. Смена циркуляционной эпохи в 1970-1975 гг. (Лурье, Панов, 1999;

Гаргопа, 2001, Луц, 2001; Гаргопа, 2003) привела к увеличению повторяемости западных ветров в течение года.

Для ГМС Азовского моря (Таганрог, Геническ, Примосрко-Ахтарск и Темрюк) в холодный период года наблюдается снижение средних и максимальных скоростей ветра (рис.3.5, 3.6). Для всех рассматриваемых станций наблюдается увеличение повторяемости юго-восточных ветров и снижение повторяемости северо-восточных, для остальных румбов тенденции разнонаправленные.

На Каспийском море сильные северные ветра способствуют быстрому охлаждению поверхности моря, устойчивые ветра восточного направления – взлому припая, образованию торосов, стамух и наслоений льда. Гряды торосов располагаются перпендикулярно направлению ветра, на границе припая и дрейфующего льда. Ввиду того, что на Северном Каспии положение кромки припая в течение холодного сезона постоянно изменяется полоса активного торошения захватывает большую площадь (Огородов и др., 2019).

Согласно литературным данным (Гидрометеорология ..., 1992), зимой циркуляция над Северным Каспием, восточным побережьем (за исключением крайнего юго-востока) и центральной частью Среднего Каспия в основном обусловлена влиянием западной и юго-западной периферий азиатского максимума, а также термическими различиями между морем и сушей. Все это объясняет преобладание на восточном побережье юго-восточных и восточных ветров. Над Северным Каспием в зоне наиболее выраженного восточного потока повторяемость ветров восточных румбов возрастает до 60 - 70 %.

В период с 1949 по 2000 г. скорость ветра над Северным и Средним Каспием в среднем уменьшалась (Тужилкин и др., 2011). Важным явилась смена в 1977—1978 гг. направления зональной компоненты ветра над Северным Каспием с восточной на западную.

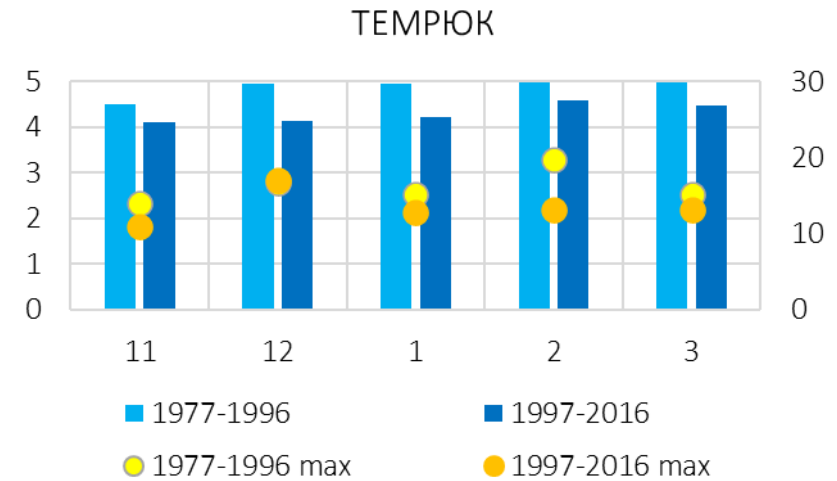
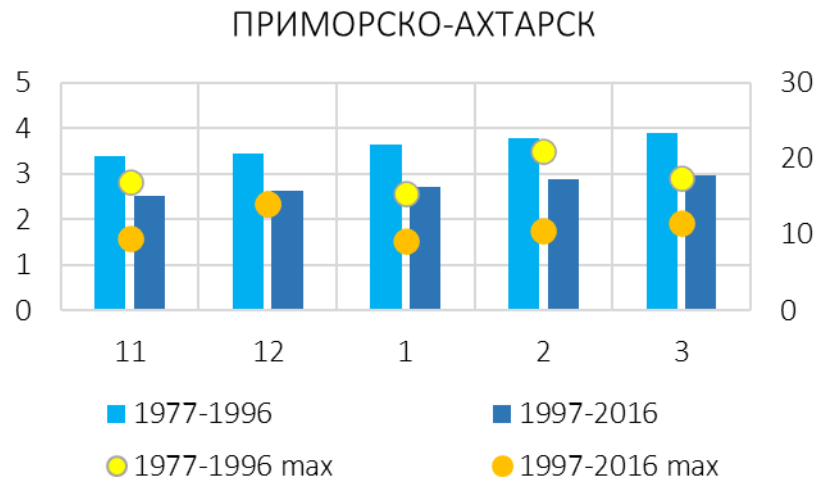
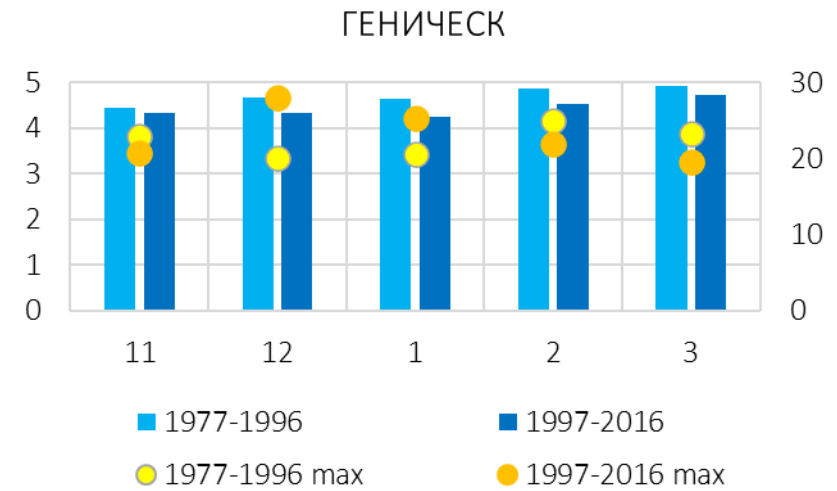
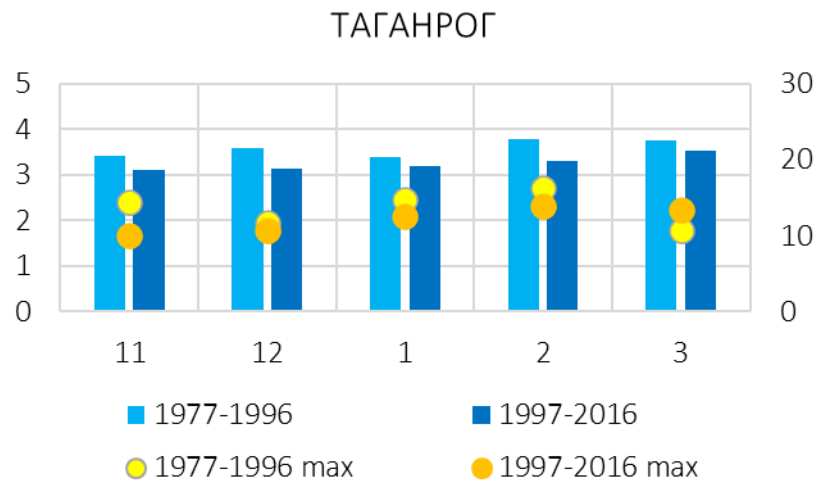


Рисунок 3.5 – Средние и максимальные скорости ветра за периоды 1977-1996 и 1997-2016 гг. на прибрежных ГМС Азовского моря

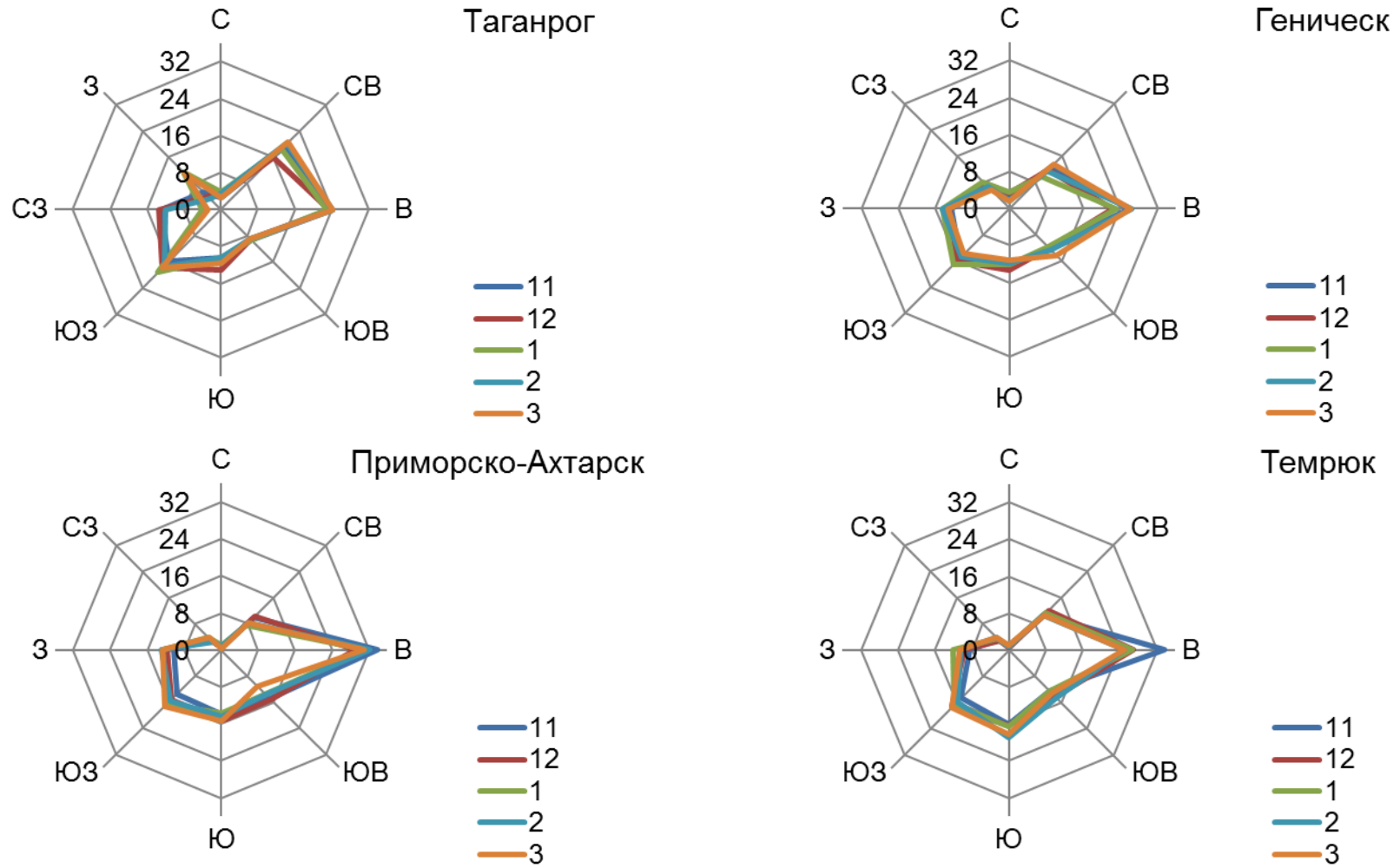


Рисунок 3.6 – Средние многолетние (1977-2017) розы ветров на прибрежных ГМС Азовского моря

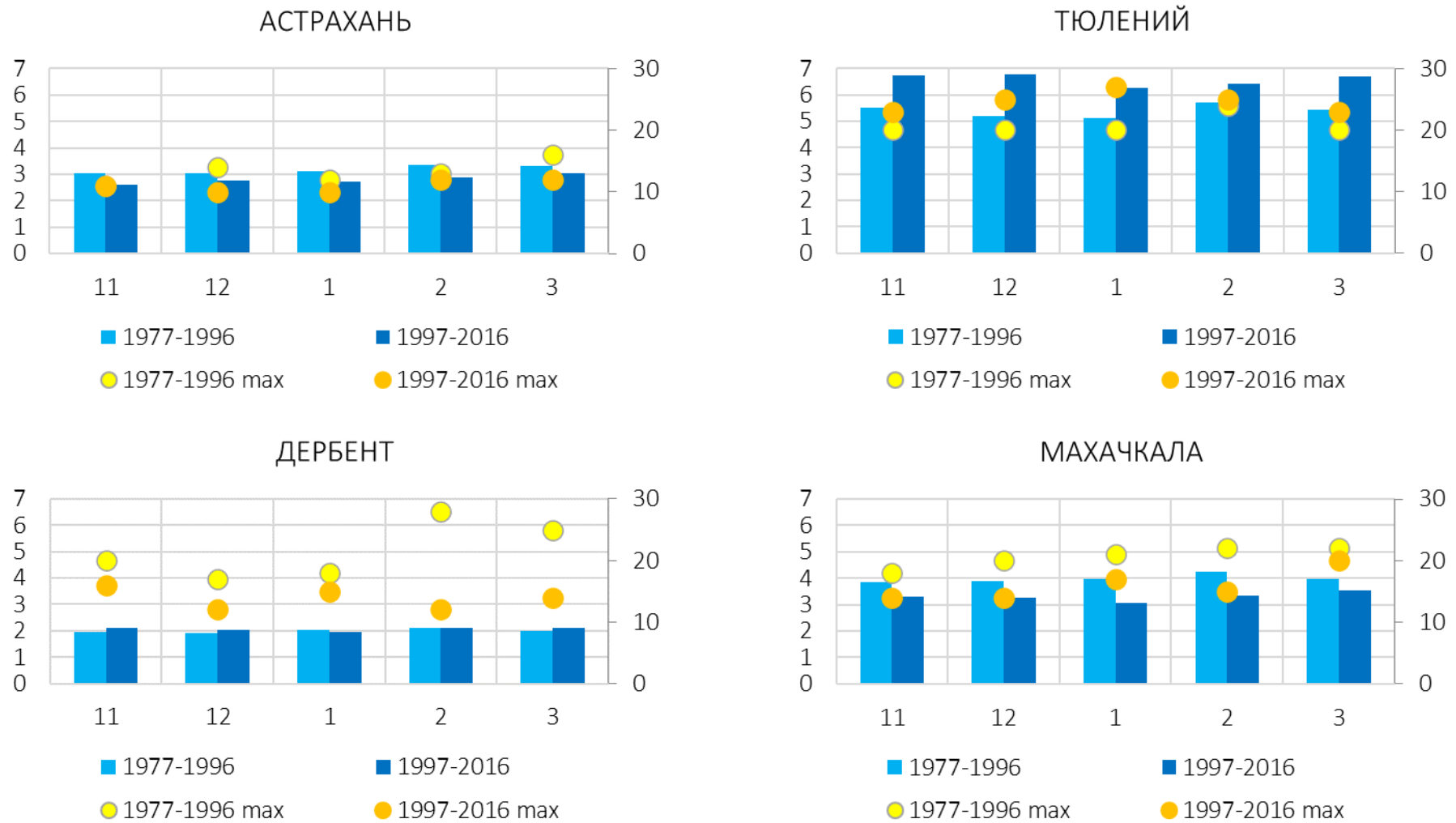


Рисунок 3.7 – Средние и максимальные скорости ветра за периоды 1977-1996 и 1997-2016 гг. на прибрежных ГМС Каспийского моря

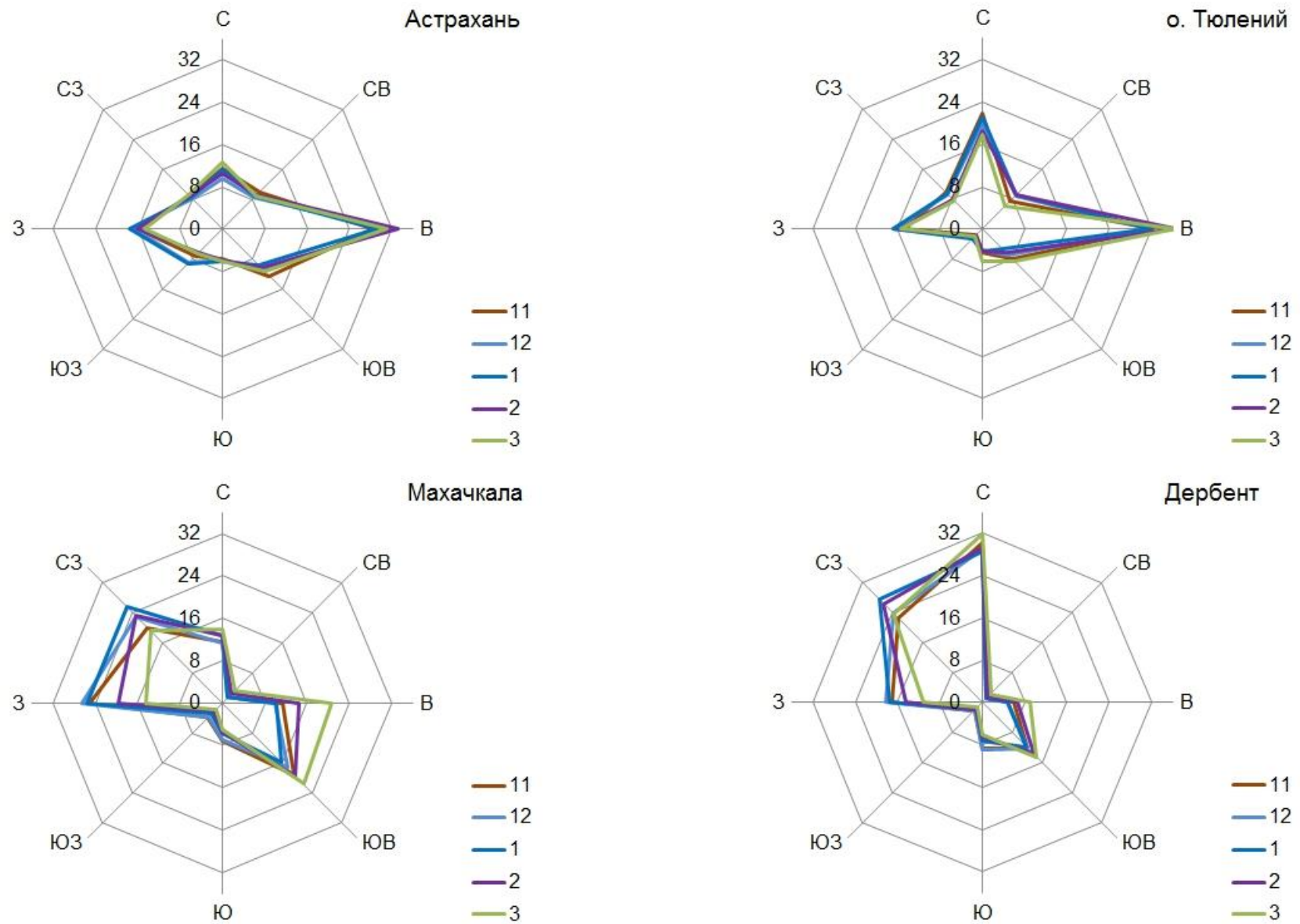


Рисунок 3.8 – Средние многолетние (1966-2016 гг.) розы ветров на прибрежных ГМС Каспийского моря

Для ГМС Северного и Среднего Каспия (Астрахань, Махачкала и Дербент) в холодный период года наблюдается снижение средних и максимальных скоростей ветра от 1970-х гг. к современному периоду (рис.3.7, 3.8). 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.

3.3 Гидрологические условия

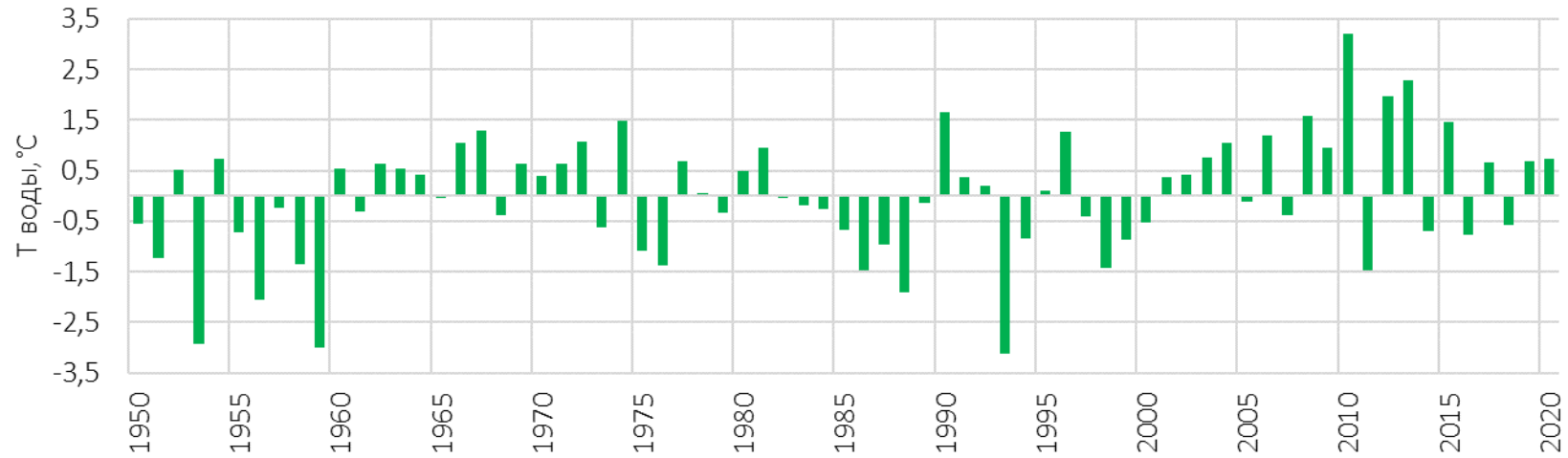
Температура воды

Ведущую роль в формировании термического режима Азовского моря играет поступающая на поверхность моря солнечная радиация, ввиду чего температуры воды на прибрежных ГМС имеет зональное распределение. Среднегодовые температуры постепенно увеличиваются с $11,2^{\circ}\text{C}$ в северной части моря до $12,2\text{-}12,4^{\circ}\text{C}$ в южной (Гидрометеорология..., 1992). На Северном Каспии температура воды на поверхности имеет значительный сезонный ход, среднегодовые значения в прибрежных районах возрастают с севера на юг на $0,8\text{-}1,0^{\circ}\text{C}$ и с востока на запад на $0,6\text{-}1,2^{\circ}\text{C}$ и составляют $11\text{-}13^{\circ}\text{C}$.

Ввиду мелководности Азовского и северной части Каспийского морей (средняя глубина составляет около 8 метров для обеих акваторий) их теплозапас незначителен. Вследствие этого, изменения температуры воздуха и температуры воды практически синхронны, что определяет интенсивность и величину осенне-зимнего охлаждения вод, а, следовательно, сроки и мощность ледообразования (Атлас..., 1962). Отрицательные аномалии температуры воздуха в сезоне предзимья вызывают интенсивное выхолаживание вод моря и быстрое последующее ледообразование, приводящее к повышенным (по сравнению с нормой) значениям ледовитости

ТАГАНРОГ

А



Б

ТАГАНРОГ

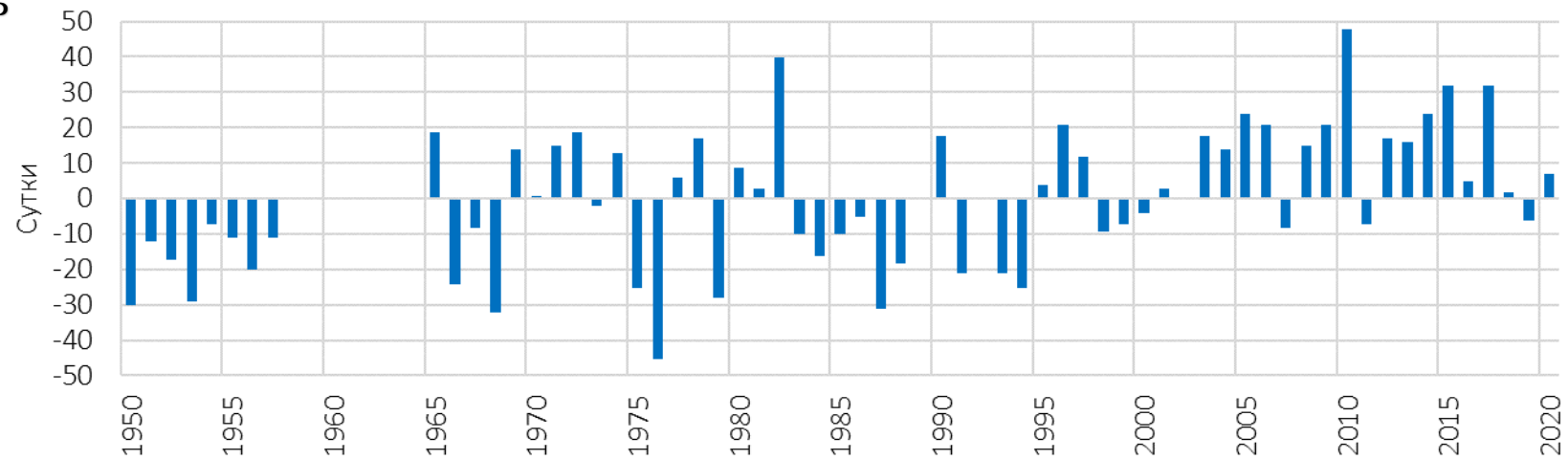
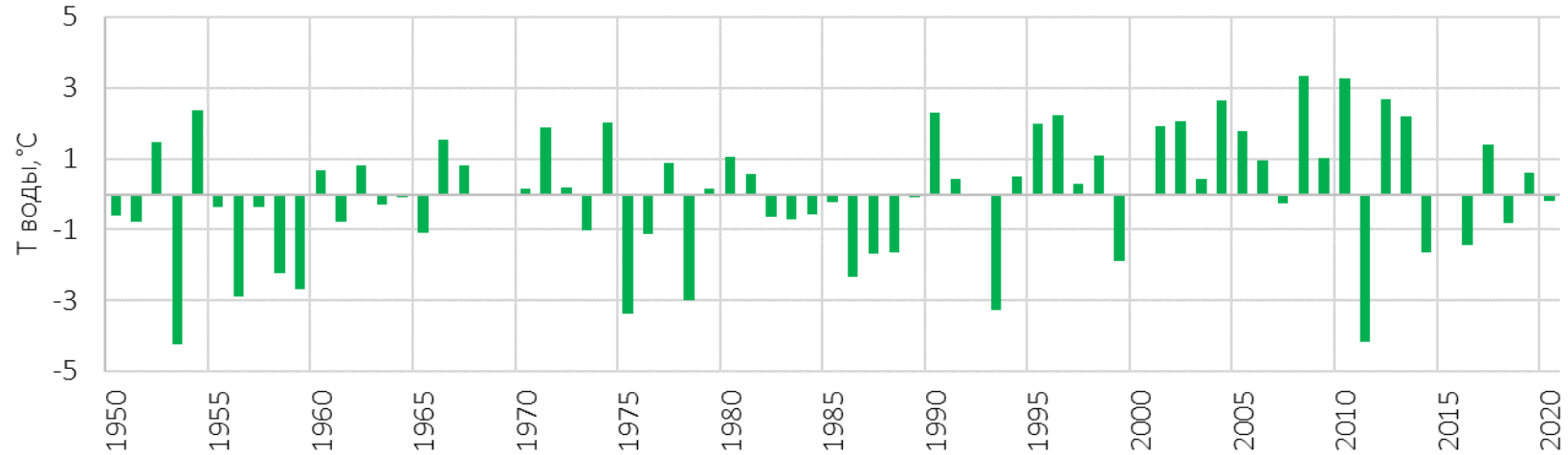


Рисунок 3.9 – Аномалии температуры воды в ноябре (а) и сроков образования льда (б) на ГМС Таганрог (Азовское море)

ЛАГАНЬ

А



ПЕШНОЙ

Б

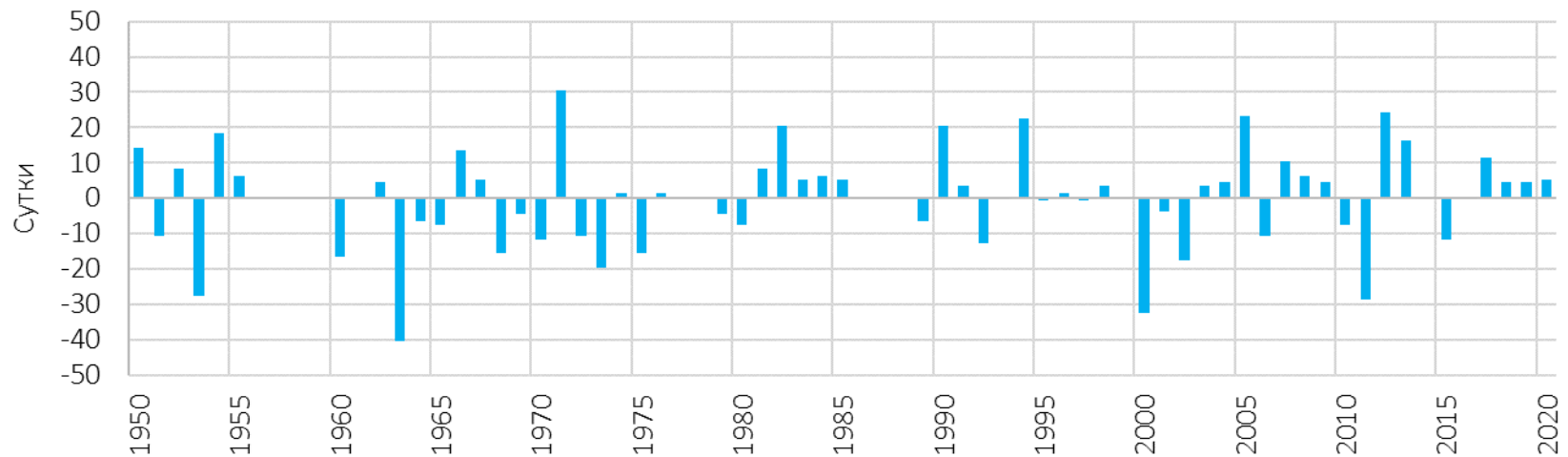


Рисунок 3.10 – Аномалии температуры воды в ноябре на ГМС Лагань* (а) и сроков образования льда (б) на ГМС Пешной (Каспийское море)

*ГМС Лагань имеет полный ряд наблюдений за температурой воды в отличие от ГМС Пешной (1938-1993 гг.)

и толщины льда. При положительных аномалиях температуры, наоборот, подготовка водной массы к замерзанию и само ледообразование проходит замедленно, вяло; сформировавшийся при этих условиях ледяной покров отличается малыми значениями ледовитости и толщины (Крындин..., 1964).

В многолетней динамике с середины 1990-х годов наблюдается рост температур воды, что в целом характерно и для Азовского, и для Каспийского морей. Положительные аномалии достигают $3,2^{\circ}\text{C}$ на ГМС Таганрог и $3,3^{\circ}\text{C}$ на ГМС Лагань (ноябрь 2010 г.). Сроки ледообразования при этом также характеризуются положительными аномалиями (рис. 3.9, 3.10) 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.).

Соленость

Дополнительное влияние на ледообразование оказывает малая соленость воды, при которой температура наибольшей плотности достигается раньше температуры замерзания (Доронин, 1986). Однако менее соленые воды после окончания конвекции до появления льда должны под влиянием внешних факторов терять больше тепла, чем более солёные (Гидрометеорология..., 1991).

Соленость Азовского моря (рис.3.11) характеризуется относительно большими горизонтальными градиентами (от практически пресных вод в приустьевых областях рек до вод значительной солености Керченского пролива близ Геническа). Средняя соленость в естественных условиях менялась от 9.5 до 12.6‰ (Болгов и др., 2020). В многолетнем ряду солености Азовского моря наблюдается чередование периодов опреснения и осолонения (Дашкевич и др., 2017). С 2007 г. море находится в очередном периоде осолонения – соленость Азовского моря возросла до 14‰ в 2019 г. (Бердников и др., 2022).

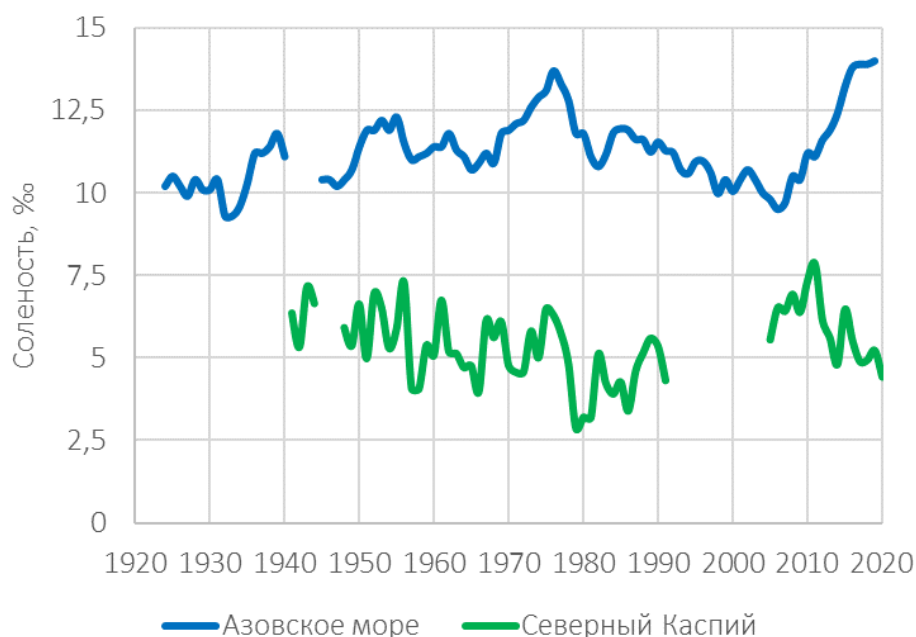


Рисунок 3.11 – Средняя солёность Азовского (Бердников и др., 2022) и Каспийского морей (на ГМС Тюлений по данным ЕСИМО)

Солёность Северного Каспия преимущественно зависит от стока рек Волги и Урала, которые распресняют воду до 3-10 ‰ (Матишов и др., 2012), а также скорости и направления ветра, водообмена между отдельными районами и уровня моря. В многолетней динамике различные исследователи (Винецкая, 1959; Тужилкин, 2009; Матишов и др., 2012) выделяют периоды опреснения и осолонения. По данным (Островская и др., 2020) в период 1996-2015 гг. солёность вод Северного Каспия увеличилась в среднем на 2‰ по сравнению с периодом 1978-1995 гг. (10,67‰ и 8,63‰ соответственно) благодаря снижению объёмов речного стока (Гельфан и др., 2021).

Уровень

Годовой ход и многолетние колебания уровня Азовского моря (рис.3.12) обусловлены изменением общего объёма воды в море вследствие изменения соотношений между составляющими водного баланса: речным стоком, количеством атмосферных осадков, испарением и водообменом через Керченский пролив с Черным морем.

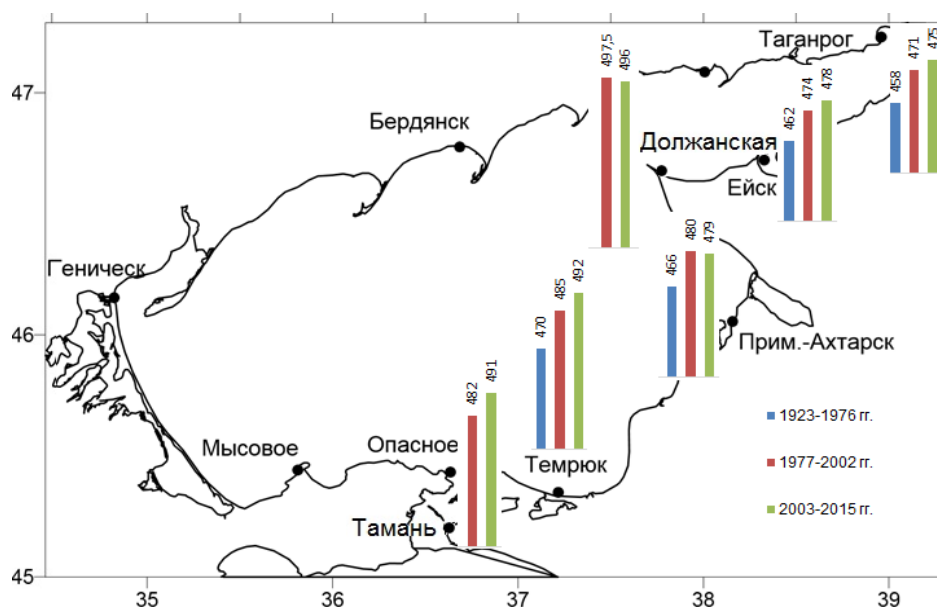


Рисунок 3.12 – Многолетняя динамика уровня по данным прибрежных ГМС Азовского моря (Bespalova, Ivlieva, et al 2017)

Современное повышение уровня Азовского моря началось с 20-х годов прошлого века. В среднем с 1923 по 2016 гг. эвстатическое повышение уровня моря составило 1,7 мм/год (Беспалова и др., 2020). До 1985 года средняя скорость его повышения составляла 2,4 мм/год (Филиппов, 2009). Во второй половине XX века эвстатическое повышение уровня моря оценивается в 2 мм/год (Михайлов, Михайлова, 2015).

Вследствие продолжительного действия сильных западных и юго-западных ветров в Таганрогском заливе и дельте р. Дон происходит кратковременное изменение уровня – от нескольких часов до нескольких суток, однако амплитуда этих колебаний достигает 5,9 м (Бронфман, Хлебников, 1985). Среднее повышение уровня моря во время ветрового нагона на границе дельты Дона составляет 80-100 см, а средний период подъема уровня составляет 20 часов (Пономаренко и др., 2012; Сорокина и др., 2020). Однако экстремальный подъем при скорости западного ветра более 15 м/сек может достигать высоты двух метров.

В коллективной работе при участии автора (Magaeva, Yaitskaya, 2021) выполнен ретроспективный анализ опасных гидрометеорологических природных явлений (ОГЯ) за 1950-2015 гг., возникающих в зимний период.

Установлено что в зимний период нагонное увеличение уровня моря на 2,0 м и более происходит при 3-ЮЗ направлениях ветра и практически полном отсутствии льда в Азовском море. Увеличение уровня моря в пределах 1,0-2,0 м – при Ю-З, ЮЗ-З с максимальными скоростями (более 15 м/с). При этом до 20% акватории покрыто льдом. Увеличение уровня моря до 1,0 м происходит при ЮВ, СЗ и ЮЗ ветрами. При этом возрастает доля площади моря, занятая льдом, и колеблется в широких пределах – от 0 до 40%. При максимальном развитии ледяного покрова зимой наблюдается минимальное увеличение уровня моря и небольшое по силе волнение.

В теплое время года при спокойной погоде в Азовском море наблюдаются своеобразные колебания уровня моря с довольно отчетливым суточным ходом – с одним максимумом и одним минимумом. Это так называемые сейши (стоячие волны), зависящие не от ветра, а от изменения атмосферного давления над разными участками моря. Амплитуды сейшевых колебаний составляют для большинства мест моря от 5 до 20 см. Наиболее сильно они выражены в Таганрогском заливе, где составляют в среднем около 55 см, но могут достигать почти 1 м. Сейши довольно быстро затухают. Приливы в Азовском море, вследствие малой площади его и отсутствия непосредственной связи с океаном практически отсутствуют (Гидрометеорология и гидрохимия, 1991).

Колебания уровня – главная особенность гидрологического режима Каспийского моря. С начала проведения инструментальных наблюдений и до XX в. уровень колебался в среднем около отметки минус 25.8 м. С конца XIX в. в многолетнем ходе уровня Каспийского моря наблюдалась тенденция понижения, продлившаяся до 1977 г. (рис. 3.13), когда уровень моря находился на самой низкой отметке – минус 29.0 м.

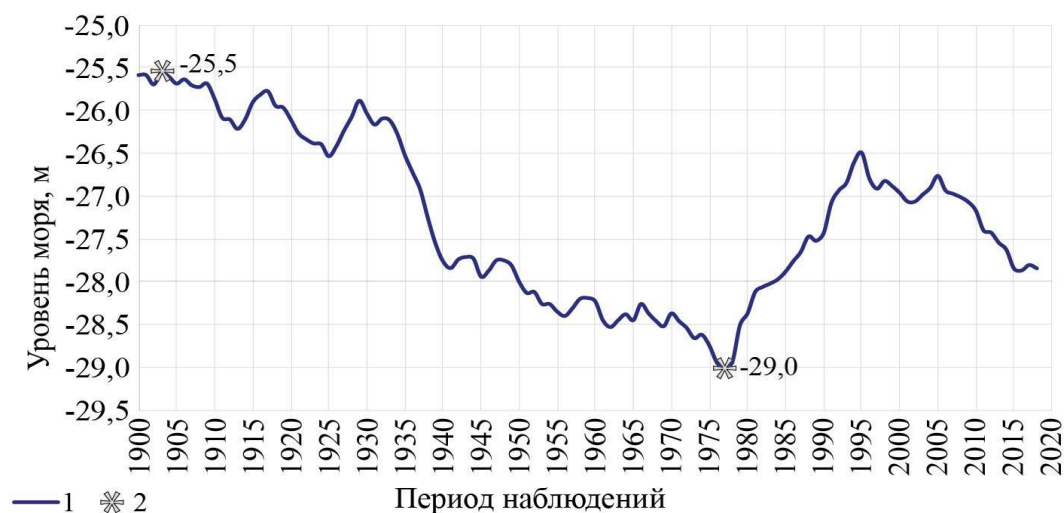


Рисунок 3.13 – Многолетняя динамика уровня Каспийского моря
1 – уровень на ГМС Махачкала, 2 – max и min значения

В XX в. в многолетнем ходе уровня Каспийского моря прослеживались несколько характерных периодов. Так, на фоне общей тенденции понижения уровня 1900-1929 гг. изменения были незначительными и происходили около средней отметки минус 26.2 м. Состояние относительно равновесного положения уровня сменилось периодом резкого его падения в 1930-1941 гг. (на 1.8 м). С начала 1940-х до конца 1950-х гг. прослеживается замедленное понижение уровня моря. В 1960-е гг. в многолетнем ходе отмечалась некоторая стабилизация на отметках около минус 28.4 м, сменившаяся в 1970 г. резким падением, до самой низкой отметки минус 29.0 м (Матишов и др., 2018). Общее понижение уровня моря с 1900 г. до 1977 г. составило 3.2 м.

В зависимости от положения уровня моря меняется локализация ледяных торосистых образований Северного Каспия. Ранее в работе (Бухарицин, 1984) было показано, что падение уровня Каспийского моря в 1973 - 1980 гг. привело к смещению зоны максимальной торосистости на юг от берега, в сторону больших глубин. В аналогичной ситуации исследование зон ледовой экзарации на Аральском море (Maznev et al., 2019) показало, что при падении уровня ледяные образования и зоны максимальных воздействий смещаются вслед за уровнем, удаляясь от изначальной береговой черты. Исследование (Ogorodov et al., 2020; Магаева и др., 2020), выполненное

автором совместно с коллегами из НИЛ Геоэкологии Севера Географического факультета МГУ, показало, что в настоящее время подъем уровня $\approx$ на 1 м по сравнению с периодом 1973-1980 гг. привел к значительному уменьшению расстояния до берега и глубины посадки стамух на мель (рис. 3.14).

При относительно стабильном положении уровня моря, но при этом самом низком за весь период исторических наблюдений, площадь ледяного покрова в зимы 1975/1976 и 1977/1978 различна. В частности, средняя площадь ледяного покрова составляет 47% и 58% соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается в зимы 2014/2015 и 2018/2019. Анализ данных при относительно стабильном уровне моря показал, что площадь ледяного покрова определяет местоположение стамух, т.е. при увеличении площади ледяного покрова стамухи располагаются глубже. При этом, при равных ледовых условиях ключевую роль играет положение уровня моря, что было отмечено ранее в работе (Бухарицин, 1994; Бухарицин и др., 2015), и что подтверждают полученные нами данные за 1977/1978 и 2014/2015 гг.

В результате, можно сделать вывод, что локализация ЛТО в равной степени объясняется динамикой положения уровня моря и ледовитостью. При этом, при равных ледовых условиях ключевую роль играет положение уровня моря, что было отмечено ранее в работе (Бухарицин и др., 2015), и что подтверждают полученные данные за 1977/1978 и 2014/2015 гг. При прочих равных ледовых условиях положение стамух определяется уровнем моря: зона их массового образования обычно синхронно смещается вместе с миграцией береговой линии.

Таблица 3.1 Гидрологические параметры и местоположение стамух Каспийского моря

Параметр / Период	1975/ 1976	1977/ 1978	1973/ 1980	2014/ 2015	2018/ 2019	2013/ 2019
Ледовитость (среднее значение), %	47	58	61	57	40	46
Уровень моря, м (среднее значение за зимний период на ГМС Махачкала)	-28,99	-29,0	-28,8	-27,8	-28,0	-27,7
Расстояние до береговой линии, км	25,6	41,3	27,7	36	27,8	24,9
Глубина, м	2,2	4,0	3,0	3,3	2,3	2,3

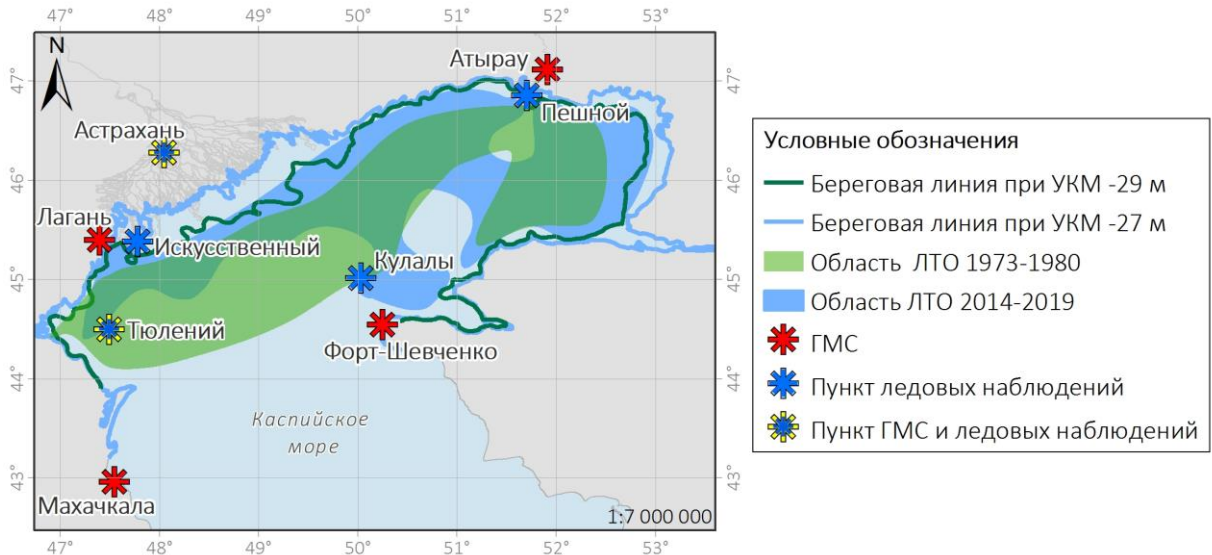


Рисунок 3.14 – Распределение ледяных торосистых образований в зависимости от положения уровня Каспийского моря (выполнено автором)

Выводы к главе 3

Представлено общее физико-географическое описание и климатические особенности Азовского и Каспийского морей. Наряду с глобальными климатическими изменениями (Гулев и др., 2008; IPCC, 2018; AR6 Climate Change 2022), проявление региональных изменений выражено в росте температур воздуха и воды, снижении средних и максимальных скоростей ветра, уменьшении повторяемости ветров северного направления, снижении количества атмосферных осадков.

Проанализированы гидрологические факторы, влияющие на ледовый режим исследуемых акваторий. Установлена взаимосвязь температуры воды в ноябре и сроков ледообразования на прибрежных ГМС – коэффициент корреляции составляет 0,7. Показано, что положение уровня моря определяет локализацию ледяных торосистых образований.

ГЛАВА 4 ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Ключевой фактор формирования ледового режима Азовского и Каспийского морей – динамика атмосферных процессов, определяющая температурные условия в регионе. Во время активности широтных процессов в Европе, в том числе на юге Европейской территории России, Кавказе и исследуемых морях, наблюдаются теплые по температурным условиям зимы. При меридиональной активности холодный воздух из арктического бассейна чаще проникает далеко к югу, обуславливая резкие и длительные похолодания, снегопады, а также быстрое развитие ледовых процессов (Соловьев, 1973). Вопрос взаимосвязи динамики атмосферных процессов и ледовых условий исследуемых акваторий широко освещен в ряде работ (Думанская 2011; Думанская, 2018; Федоренко, 2011; Лобанов, Наурозбаева, 2021), поэтому в настоящем исследовании рассматриваться не будет.

Помимо прочего, на ледовый режим оказывают влияние мелководность, изрезанность берегов и низкая соленость (вследствие притока пресных вод из крупных впадающих рек – Дон, Кубань, Волга, Урал, Терек). Непосредственное влияние на ледяной покров оказывает динамическое воздействие ветра, краткосрочные колебания уровня моря, ветровое волнение. В совокупности все эти факторы формируют чрезвычайно сложную картину изменчивости ледовых условий во времени и пространстве.

В настоящей 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, их количественные показатели и уровень экологической опасности.

4.1 Типизаций предзимий и зим по степени суровости

Аномальность термических условий в предзимье и зимой формирует своеобразную для каждого года ледовую обстановку в азово-каспийском регионе. Для анализа температурных условий в исследуемом регионе выполнена типизация предзимий и зим, согласно методике, представленной в разделе 2.3.4 настоящей работы. Период предзимья – с октября по ноябрь, зимний период – с декабря по март. Такой временной интервал обусловлен методикой типизаций зим, представленной в (Гидрометеорологические..., 1962), где для анализа температурных условий использована сумма среднемесячных температур воздуха с декабря по март за период 1883-1957 гг. В ходе настоящего исследования расчеты были продолжены для периода 1958-2020 гг. Анализ температурных условий предзимних периодов выполнен как для сезона, определяющего сроки и мощность ледообразования (Крындин, 1964).

Для вычисления критериев суровости использован ряд наблюдений средних месячных значений температуры воздуха за предзимний (октябрь, ноябрь) и зимний (декабрь – март) периоды по трем метеопунктам – Таганрог, Геническ, Керчь для Азовского моря; Астрахань, Атырау, Махачкала – для Северного Каспия. Рассчитанные критерии дают общее представление о степени суровости, так как значения на отдельных пунктах не всегда характеризуют температурный режим всего моря (Гидрометеорологические..., 1962). Градации типов предзимий представлены в таблице 4.1.

В исследуемом регионе преобладают предзимья умеренного типа. С 1970-х годов наблюдается сокращение количества суровых предзимий, возрастает число умеренных и мягких (рис.4.2). Самое холодное предзимье в северо-каспийском регионе отмечено осенью 1959 года – сумма температур составила $16,1^{\circ}\text{C}$, самое теплое – осень 1905 года сумма температур – $66,7^{\circ}\text{C}$. С 2006 года по 2020 гг. холодных предзимий в северо-каспийском регионе не наблюдалось.

Таблица 4.1 Градации и количество предзимий различной суровости в Азовском и Каспийском морях

Тип предзимья	Азовское море			Каспийское море		
	$\sum t_{\text{вздх.}}, ^\circ\text{C}$	Количество	%	$\sum t_{\text{вздх.}}, ^\circ\text{C}$	Количество	%
Суровое	$\leq 41,2$	15	19,5	$\leq 34,3$	20	17,4
Умеренное	от 41,2 до 55,2	45	58,4	от 34,3 до 51,2	76	66,1
Мягкое	$\geq 55,2$	17	22,1	$\geq 51,2$	19	16,5

Примечание: $\sum t, ^\circ\text{C}$ – сумма температур воздуха за предзимний период

В азовском регионе самое холодное предзимье – осень 1993 года, сумма температур составила 26.0°C , самое теплое – осень 2012 г. с суммой температур 68.8°C . Холодные предзимья не наблюдались с 2012 по 2020 гг.

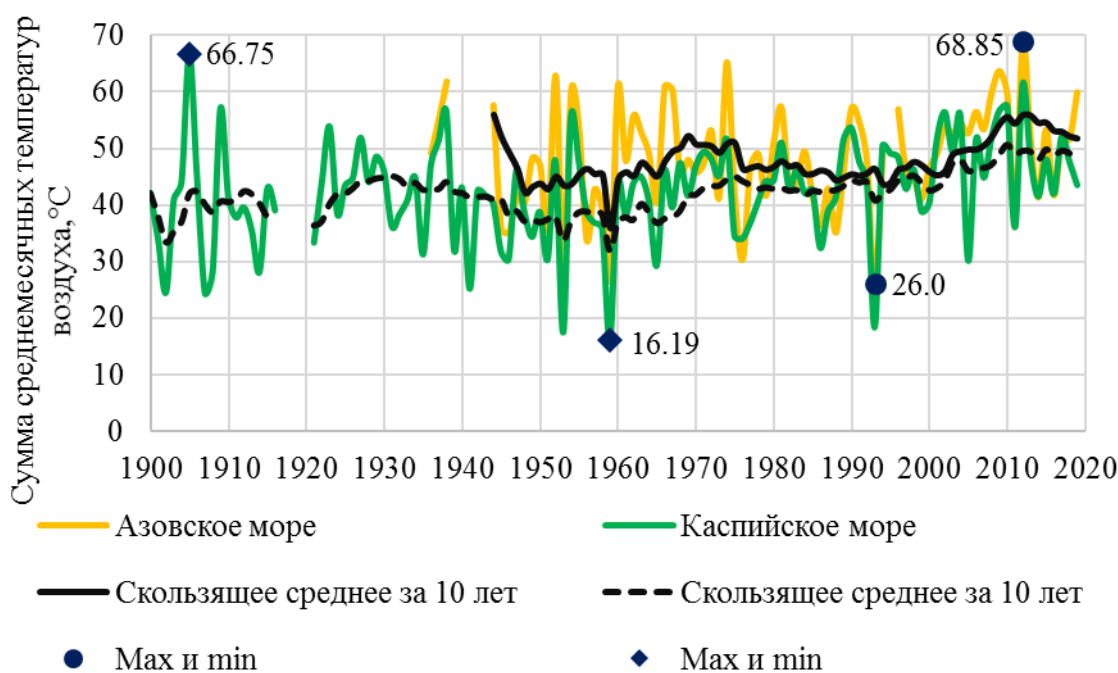
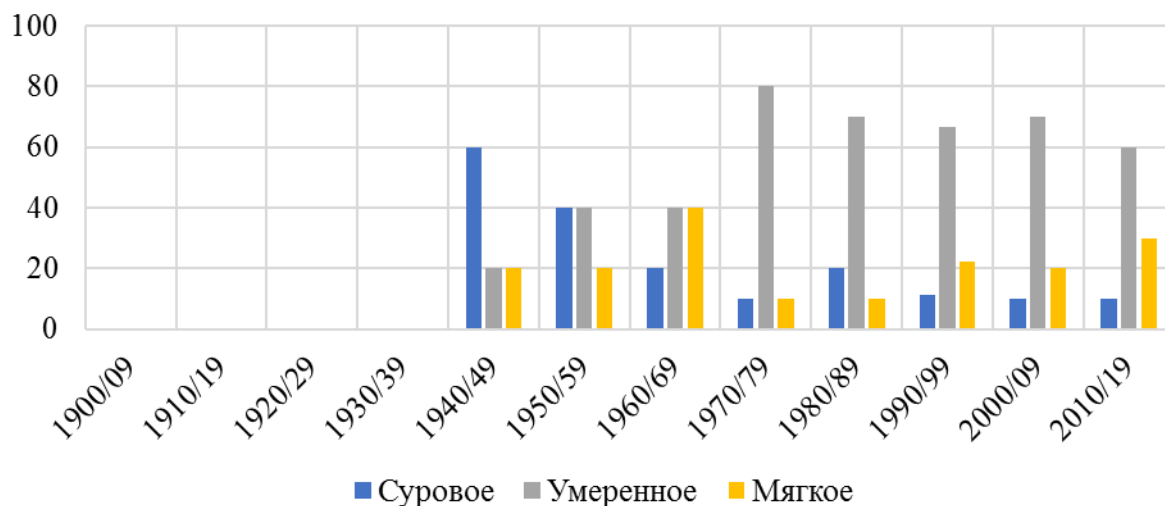


Рисунок 4.1 – Сумма среднемесячных температур воздуха за предзимний период

Азовское море – ГМС Таганрог, Геническ, Керчь
Каспийское море – ГМС Астрахань, Атырау, Махачкала

АЗОВСКОЕ МОРЕ



КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

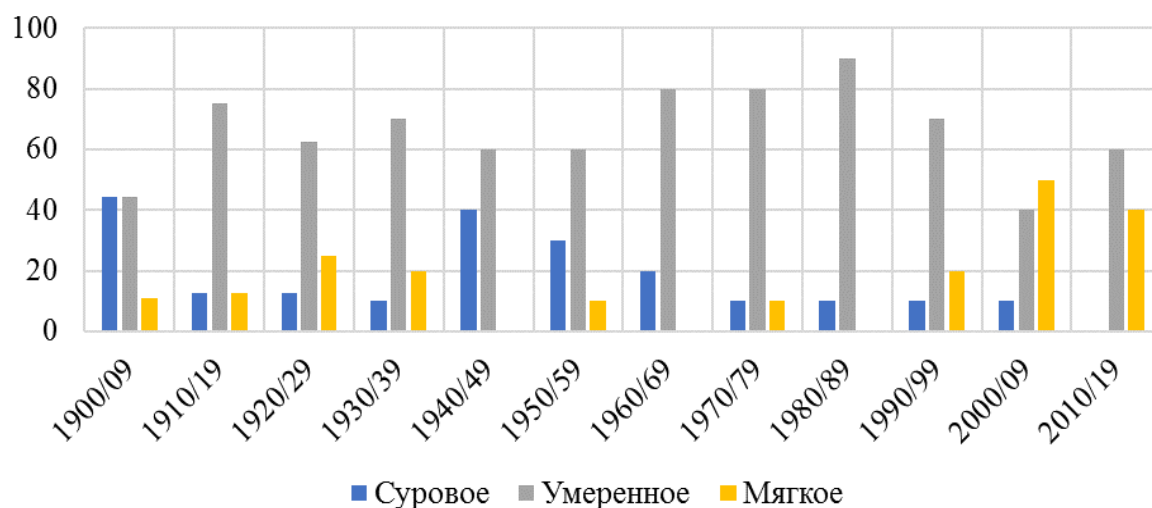


Рисунок 4.2 – Типизация предзимий по степени суровости с 1900 по 2019 гг.
ось Y – количество предзимий каждого типа зим, выраженное в %

В соответствии с полученными результатами с 1900 г. по 2020 г. в регионах Азовского и Каспийского морей в целом преобладают зимы умеренного типа (табл.4.2), но в междесятилетней динамике изменяется соотношение суровых, мягких и умеренных зим. Ранее в литературе (Гидрометеорологический...,1962) отмечалось, что закономерности в последовательности зим различной суровости не выявлено. Но обработка и анализ более, чем векового ряда натурных 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 (рис.4.4). Это говорит об изменениях в многолетней динамике температур и некотором потеплении в регионе, причиной которых может служить пик меридиональной активности в зиму 1968/1969 гг., о котором говорится в (Соловьев, 1973), и климатический сдвиг, характерный для Азовского и Каспийского морей (Тужилкин, 2008).

Таблица 4.2 Градации и количество зим различной суровости в Азовском и Каспийском морях

Тип зимы	Азовское море			Каспийское море		
	$\sum t_{\text{вздх.}}, ^\circ\text{C}$	Количество	%	$\sum t_{\text{вздх.}}, ^\circ\text{C}$	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: $\sum t, ^\circ\text{C}$ – сумма температур воздуха за зимний период

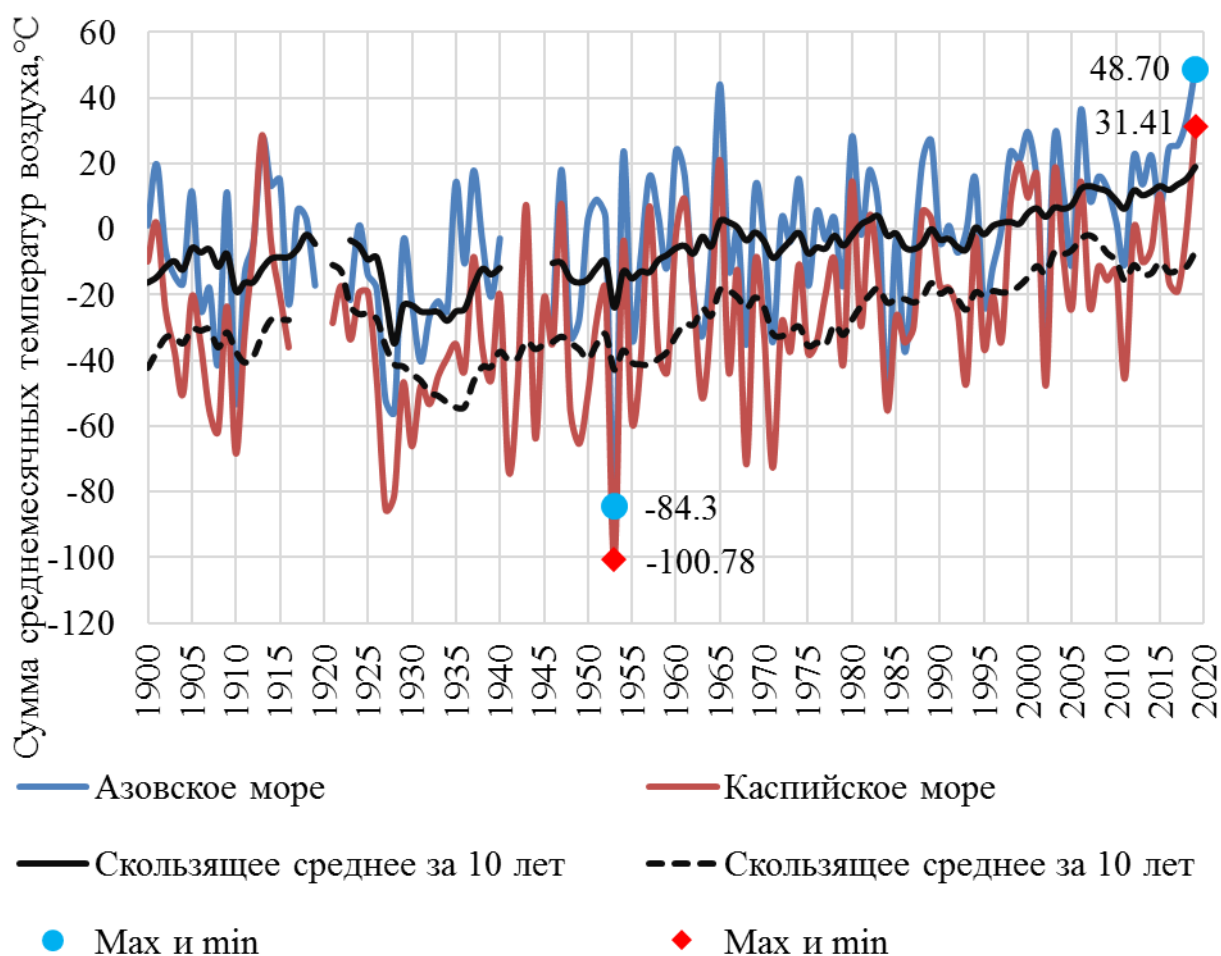
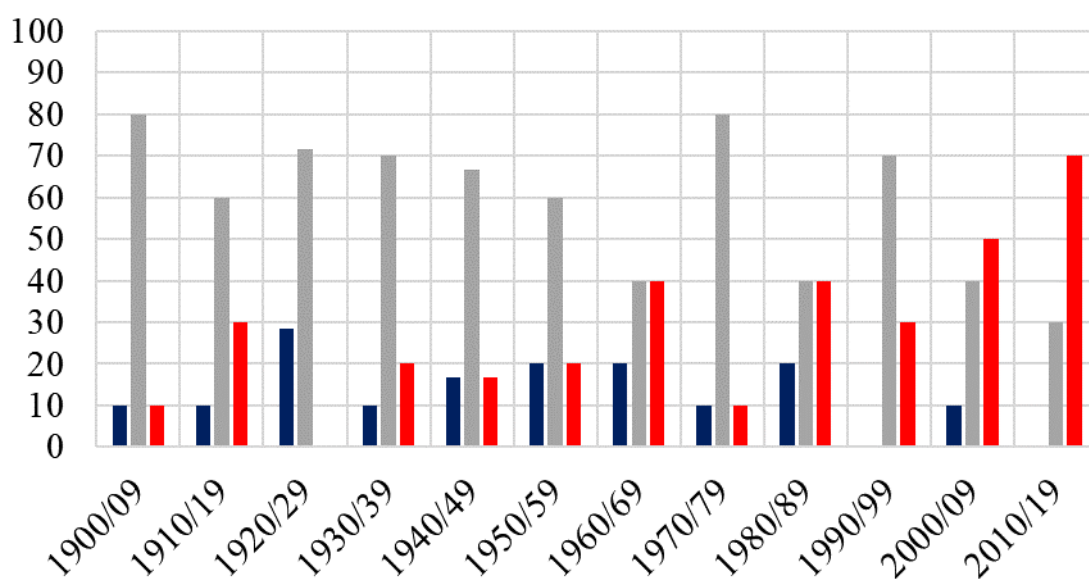


Рисунок 4.3 – Сумма среднемесячных температур воздуха за зимний период
 Азовское море – ГМС Таганрог, Геническ, Керчь
 Каспийское море – ГМС Астрахань, Атырау, Махачкала

АЗОВСКОЕ МОРЕ



КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

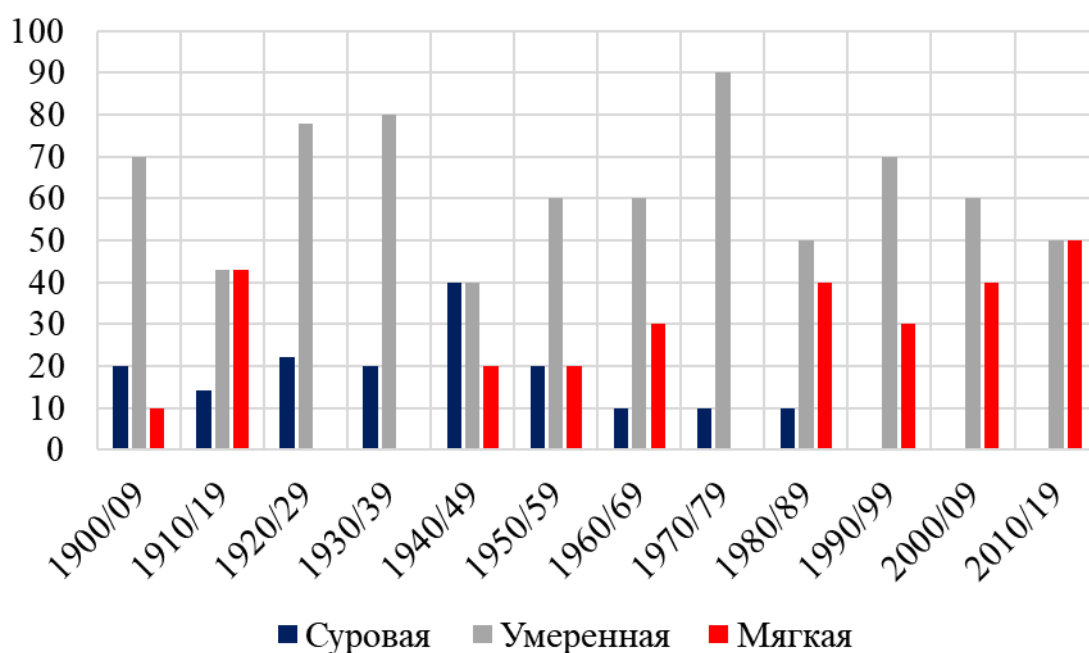


Рисунок 4.4 – Типизация зим по степени суровости с 1900 по 2019 гг.
ось Y – количество зим каждого типа зим, выраженное в %

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.

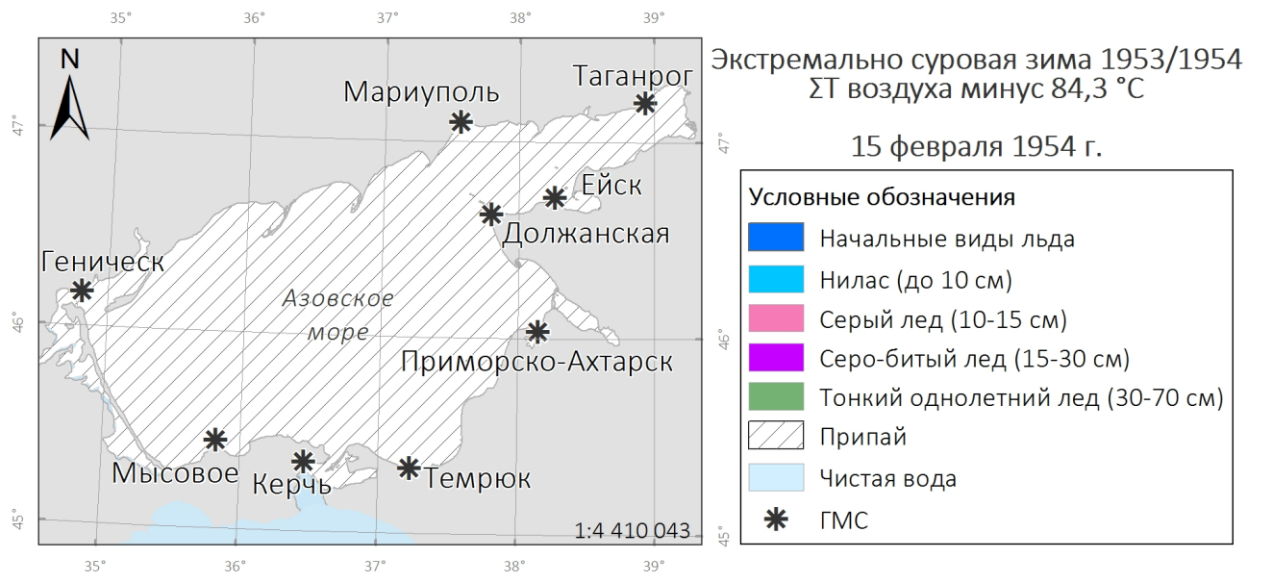
Стоит отметить, что не всегда суровые предзимья предшествуют суровым зимам, как и теплые предзимья – теплым зимам. Потому как не все месяцы в течение сурового предзимья или зимы суровы, за исключением самой суровой в исследуемом регионе зимы 1953/1954 гг. Общий фон суровости задают 2-3 месяца, в то время как остальные месяцы близки к нормальному температурному фону. Вероятно, методику типизации зим необходимо усовершенствовать и для расчетов использовать среднемесячные температуры воздуха за период октябрь-март.

В холодные предзимья ледообразование начинается раньше среднемноголетних значений (табл. 4.3). Например, предзимье 1976 года было холодным для азово-каспийского региона, суммы среднемесячных температур воздуха за октябрь-ноябрь составили 30.3 °C для Азовского моря и 34.0 °C для Северного Каспия. Вследствие чего, уже в середине октября на ГМС Таганрог и ГМС Пешной наблюдался ледяной покров. В теплые предзимья ледообразование начинается позже обычного – в середине - конце декабря.

Таблица 4.3 Тип предзимья и сроки образования льда на прибрежных ГМС

Тип предзимья/ГМС	Азовское море			Северный Каспий
	Таганрог	Геническ	Керчь	Пешной
Суровое	18 ноября	28 ноября	13 января	12 ноября
Умеренное	4 декабря	13 декабря	14 января	23 ноября
Мягкое	14 декабря	26 декабря	19 января	4 декабря

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



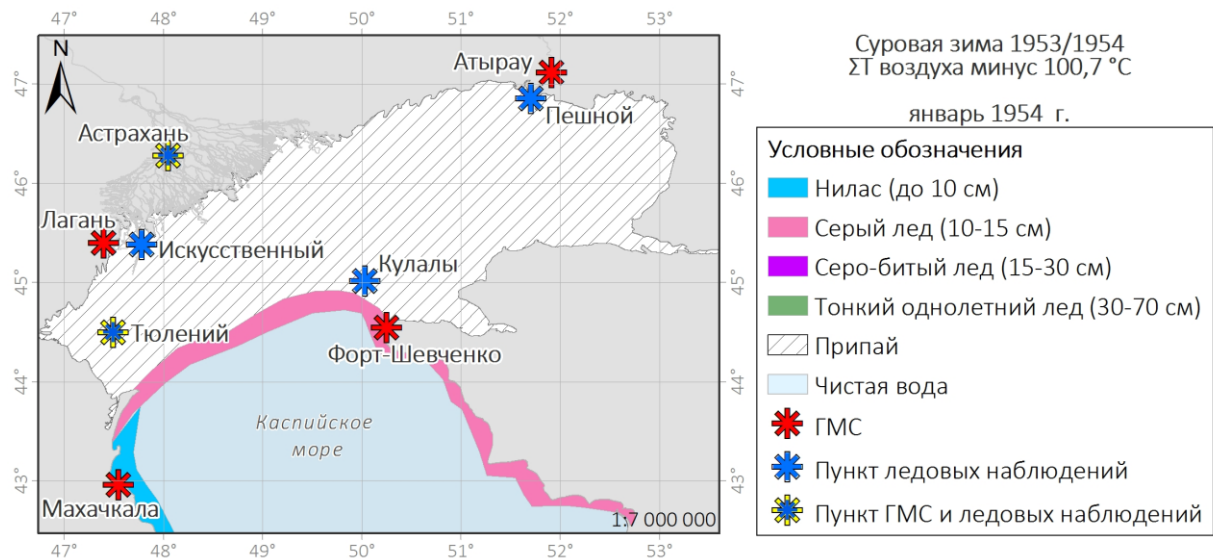


Рисунок 4.8 – Ледяной покров Каспийского моря в суровую зиму

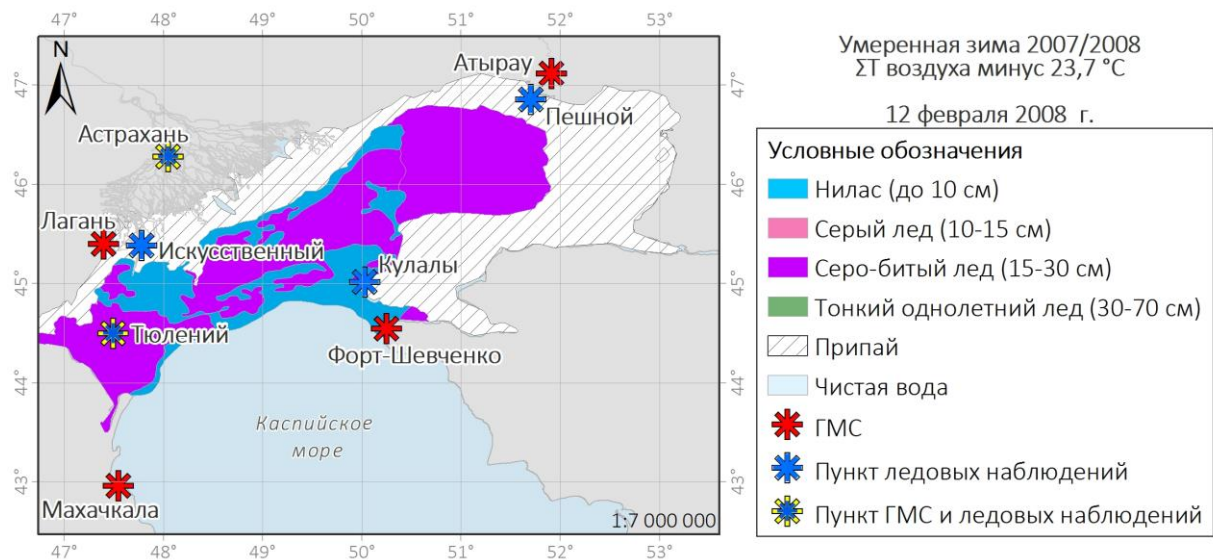


Рисунок 4.9 – Ледяной покров Каспийского моря в умеренную зиму

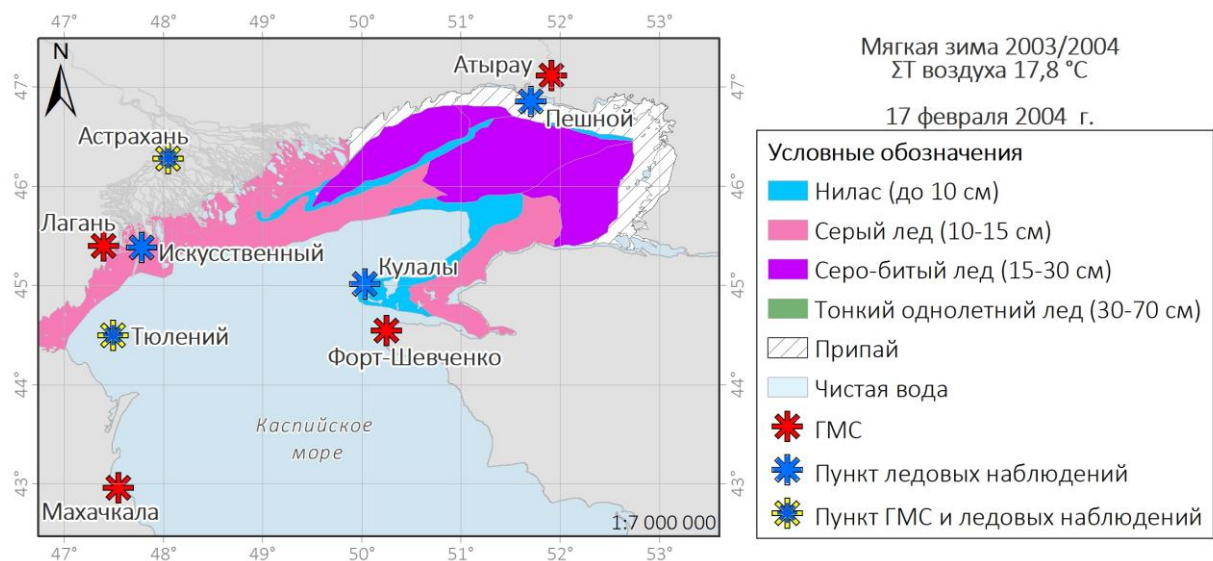


Рисунок 4.10 – Ледяной покров Каспийского моря в мягкую зиму

составляет ~ 53%, в умеренные ~ 30%, в мягкие ~12% (рис.4.5-4.7). Ледовитость Северного Каспия в среднем для зим составляет: суровые ~ 75%, умеренные ~ 60%; мягкие ~ 46% (рис.4.8-4.10). Бóльшая ледовитость Северного Каспия обусловлена более континентальным и суровым климатом северо-каспийского региона по сравнению с азовским.

Тенденция сокращения количества суровых предзимий и зим может говорить о некотором потеплении в регионе (Гаргопа, 2012; Магаева, Яицкая, 2016; Бердников и др., 2019; Наурозбаева, Лобанов, 2019; Назаренко, 2020). Изменение количества суровых предзимий и зим, а значит изменение температурных условий, ведет к изменению ледовых характеристик исследуемых морей.

4.2 Фазы ледового режима

Азовское море

По данным (Гидрометеорологический ..., 1962) в среднем за многолетний период, ледообразование начинается с северных и северо-восточных районов моря, затем распространяется на запад. Первое появление льда отмечается в Таганрогском заливе и приустьевой области р. Дон. Немного позже лед образуется в Приморско-Ахтарске, затем в Ейске. Самое позднее ледообразование за зимний сезон отмечается или не отмечается вовсе в южной части моря. Здесь ледообразование начинается только в конце декабря, что обусловлено влиянием теплых черноморских вод. В таком же порядке изменяется продолжительность ледового сезона: максимальные значения отмечаются в Таганроге, минимальные в Керчи. Основные ледовые фазы прибрежных ГМС Азовского моря, осредненные по 10-летним периодам представлены в таблице 4.4.

Наибольшая продолжительность ледового сезона отмечена в 1950-59 и 1970-79 гг., что обусловлено наиболее низкими зимними температурами – средние значения сумм среднемесячных температур воздуха составляет минус 7,8 °С и минус 5,0 °С. 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. 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. Отметим, что среднее значение сумм среднемесячных температур воздуха для периода 2000-2020 гг. составляет 15,2°С.

Таблица 4.4 Фазы ледового режима прибрежных ГМС Азовского моря

Периоды	ТАГАНРОГ			МАРИУПОЛЬ*			ГЕНИЧЕСК*		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1950-2020	1 дек	110	20 мар	19 дек	83	12 мар	15 дек	93	18 мар
1950-59	14 ноя	138	01 апр	нет данных					
1960-69	25 ноя	120	23 мар	28 дек	81	18 мар	22 дек	91	12 мар
1970-79	24 ноя	124	26 мар	21 дек	86	15 мар	12 дек	114	05 апр
1980-89	27 ноя	110	25 мар	18 дек	86	12 мар	26 ноя	117	23 мар
1990-99	28 ноя	115	21 мар	08 дек	99	16 мар	01 дек	103	14 мар
2000-09	11 дек	89	10 мар	24 дек	76	09 мар	25 дек	80	14 мар
2010-19	17 дек	84	10 мар	25 дек	72	7 мар	31 дек	56	27 фев
Периоды	ЕЙСК			ПРИМОРСКО-АХТАРСК			КЕРЧЬ*		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1950-2020	12 дек	85	12 мар	10 дек	85	1 мар	15 янв	30	24 фев
1950-59	01 дек	116	25 мар	22 ноя	123	24 мар	нет данных		
1960-69	13 дек	102	24 мар	28 дек	73	10 мар	07 янв	48	11 мар
1970-79	01 дек	113	22 мар	01 дек	102	12 мар	13 янв	44	26 фев
1980-89	08 дек	95	11 мар	06 дек	93	08 мар	22 янв	38	11 мар
1990-99	04 дек	94	06 мар	07 дек	84	27 фев	06 янв	25	16 фев
2000-09	07 янв	48	25 фев	20 дек	66	23 фев	13 янв	18	12 фев
2010-19	09 янв	47	24 фев	16 дек	63	17 фев	24 янв	19	19 фев

1 – начало ледового сезона, 2 – продолжительность ледового сезона, 3 – окончание ледового сезона, * - среднемноголетнее значение рассчитано за период 1965-2020 гг.

Каспийское море

Вытянутость моря в меридиональном направлении, мелководность Северного Каспия и различия в гидрометеорологических условиях определяют большую пространственно-временную изменчивость сроков

ледообразования и, процессов формирования и разрушения ледяного покрова (Веселова, 1956).

В нормальные по термическим условиям предзимья процесс ледообразования в Северном Каспии начинается с мелководных прибрежных участков во второй половине ноября. По данным настоящего исследования, первое появления льда отмечается в районе о. Пешной – 24 ноября (20 ноября по данным Думанская, 2014). Затем, лед распространяется на запад, охватывая одновременно мелководные участки и предустьевое взморье р. Волги – в районе о. Искусственный лед появляется в среднем 1 декабря. В течение декабря процесс ледообразования охватывает южные районы Северного Каспия – о. Тюлений – 13 декабря. Основные ледовые фазы прибрежных ГМС Северного Каспия, осредненные по 10-летним периодам представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 Фазы ледового режима прибрежных ГМС Северного Каспия

Периоды	ПЕШНОЙ			ТЮЛЕНИЙ			ИСКУССТВЕННЫЙ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1950-2020	24 ноя	122	26 мар	13 дек	89	21 мар	1 дек	107	17 мар
1950-59	нет данных			03 дек	111	23 мар	17 ноя	133	30 мар
1960-69	23 ноя	125	27 мар	05 дек	100	13 мар	16 ноя	127	22 мар
1970-79	01 дек	117	28 мар	26 ноя	112	16 мар	22 ноя	124	25 мар
1980-89	20 ноя	127	25 мар	17 дек	90	15 мар	04 дек	109	21 мар
1990-99	29 ноя	120	28 мар	нет данных			нет данных		
2000-09	04 дек	107	20 мар	6 янв	60	5 мар			
2010-19	27 ноя	118	24 мар	24 дек	61	05 мар	20 дек	64	3 мар

1 – начало ледового сезона, 2 – продолжительность ледового сезона, 3 – окончание ледового сезона

Наибольшая продолжительность ледового сезона характерна для 1950-79 гг. В эти периоды отмечены наиболее суровые зимы по температурным условиям – сумма среднемесячных температур в эти зимы превышает минус 70 °С. Продолжительность ледового сезона в такие зимы составляет более 160 дней. С начала 1980-х годов на всех прибрежных ГМС Северного Каспия наблюдается сокращение продолжительности ледового сезона, смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно вследствие увеличения повторяемости мягких по

температурным условиям зим. Наибольшие изменения наблюдаются на ГМС южных районов – Тюлений и Искусственный. В результате, в современный период 2000-2020 гг. образование льда начинается на 10-20 дней позже среднемноголетних значений, а продолжительность ледового сезона сократилась на $\sim 1-1,5$ месяца вследствие роста зимних среднемесячных температур воздуха.

4.3 Типы ледовых сезонов и их экологическая опасность

Сроки образования и разрушения льда в Азовском море и Северном Каспии значительно варьируются – размах дат может достигать 70-90 дней. Анализ собранных в рамках работы в ГИС данных многолетних наблюдений позволил выделить пять типовых ледовых сезонов (схематично представлены на рисунке 4.11), каждый из которых характеризуется определенным сочетанием сроков образования и разрушения льда, продолжительностью ледового периода (табл.4.6). Стоит отметить, что аналогичные типовые особенности ледообразования выделены для акватории Карского моря (Егоров, 2012).

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.

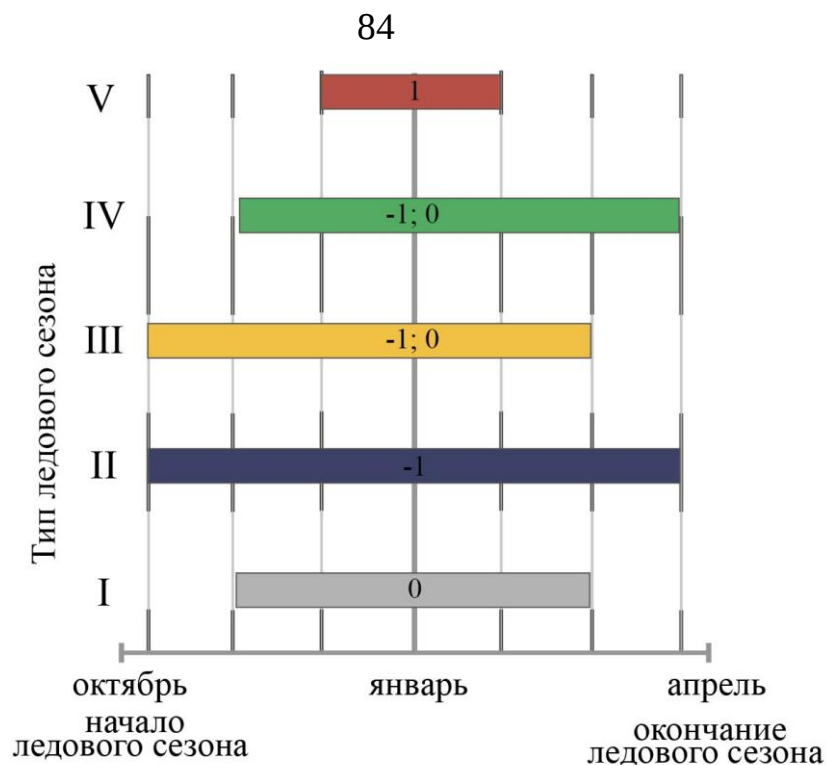


Рисунок 4.11 – Схематическое изображение типовых ледовых сезонов. Цифрами внутри блоков обозначена продолжительность ледового сезона. Ось абсцисс – типы

Азовское море

I тип – ледовый сезон протекает в пределах среднемноголетних значений, имеет наибольшую повторяемость на всех прибрежных ГМС Азовского моря.

II тип – случаи аномального ледового сезона, продолжительностью до 5 месяцев. Образование и разрушение льда происходит на 2-4 недели раньше и позже среднемноголетних значений. Например, в зиму 1979/80 гг. продолжительность ледового сезона в ГМС Таганрог составила 165 дней, ледовый сезон 1975/76 гг. – 153 дня (при среднемноголетнем значении 110); ГМС Геническ – 153 дня в зиму 1983/84 гг. при среднемноголетнем значении 93. Гидрометеорологические условия характеризуются пониженными температурами воздуха и воды в октябре-декабре и феврале-марте (рис.4.13). В частности, температура воздуха ноября на 1,9 °С ниже, а температура воды – на 0,9°С, чем температуры ноября при I типе ледового сезона.

III тип – ледовые сезоны, когда лёдообразование начинается на 3-4 недели раньше среднемноголетних значений, при этом конец сезона – в

пределах нормы, что отличает его от II типа. Например, ледовый сезон 1976/77 гг. на ГМС Таганрог начался 17 октября (среднегодовое значение даты начала ледового сезона – 3 декабря). Стоит отметить, что ранее ледообразование всегда характеризуется продолжительным ледовым сезоном, окончания раньше среднегодовых значений нет. Формирование данного типа ледового сезона происходит при отрицательных аномалиях температур воздуха и воды в течение всего холодного периода с октября по март, наибольшее значение которых характерно для ноября и февраля – минус 2,7°C, марта – минус 2,8°C. Данный тип ледового сезона наблюдается до начала 2000-х гг.

IV тип – сдвиг ледового сезона на сроки позже среднегодовых значений. Характерная особенность данного типа ледового сезона – позднее очищение акватории ото льда. Для ГМС Таганрогского залива – это начало или середина апреля, в то время как при среднегодовом режиме очищение ото льда приходится на 1-2 декаду марта. Например, очищение ото льда ГМС Таганрог в ледовый сезон 1986/1987 гг. пришлось на 22 апреля; на ГМС Мариуполь ледовый сезон 2011/ 2012 гг. закончился 19 апреля. Наибольшие отрицательные аномалии температур свойственны для декабря и марта – минус 0,7°C и минус 1°C соответственно, что объясняет сдвиг ледового сезона в сторону позже среднегодовых значений.

Наибольшая повторяемость II и III типа ледовых сезонов наблюдается в 1975-1994 гг. на ГМС Таганрог, Мариуполь, Геничеськ, Приморско-Ахтарск. Данные ледовые сезоны характеризуются ранним ледообразованием – до 20 ноября в северной части, до 10 декабря в южной части Азовского моря, что является опасным природным явлением.

V тип – ледовый сезон характеризуется поздним началом ледообразования, непродолжительным и ранним окончанием ледового сезона. Повторяемость данного типа ледового сезона увеличивается с начала 2000-х гг. на всех прибрежных ГМС Азовского моря (рис. 4.6). Причиной являются положительные аномалии температуры воздуха и воды 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.

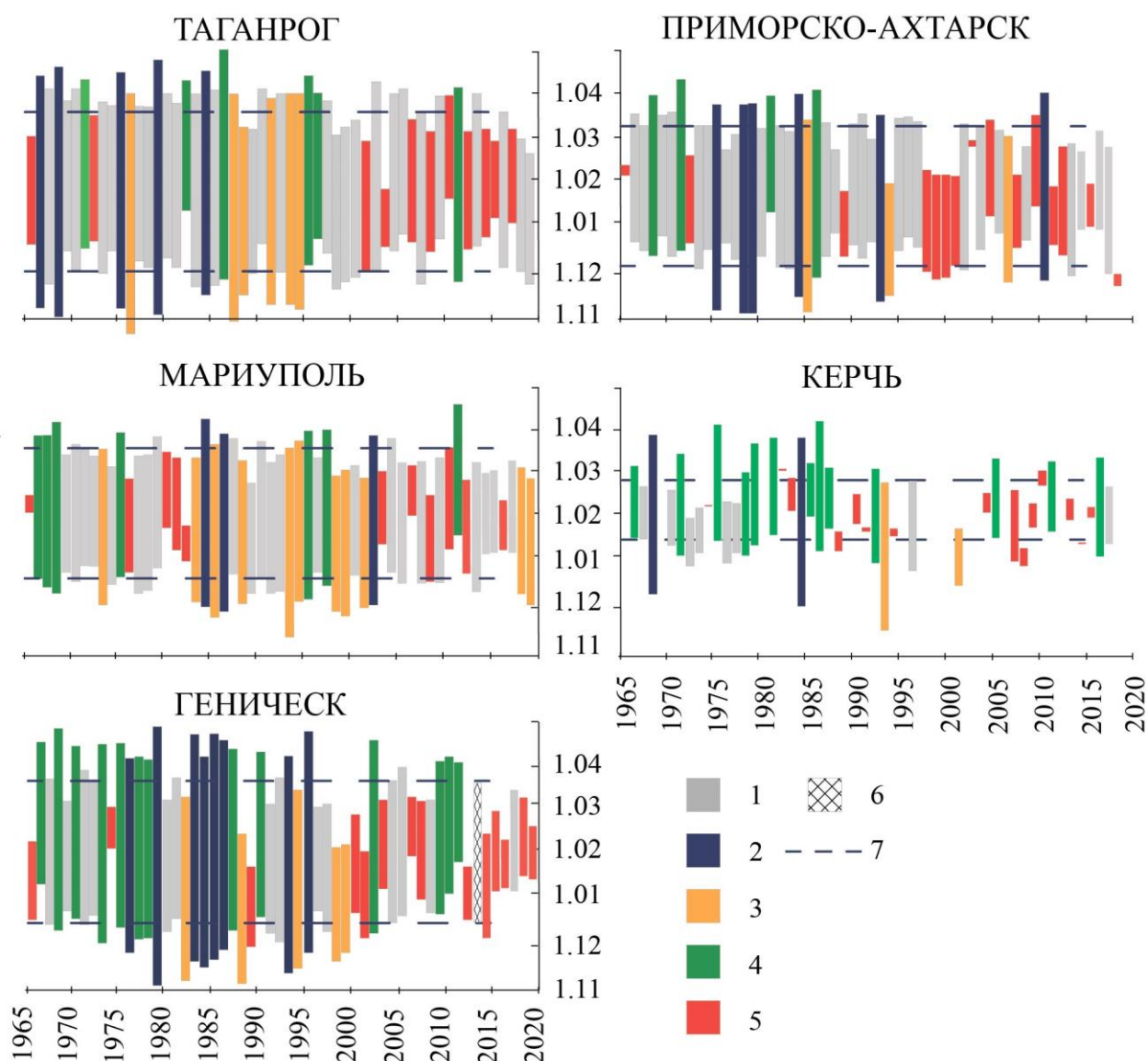


Рисунок 4.12 – Типовые ледовые сезоны ГМС Азовского моря
1 – I тип; 2 – II тип; 3 – III тип; 4 – IV тип; 5 – V тип; 6 – нет данных; 7 –
среднемноголетний ледовый сезон; Ось Y – даты ледовых фаз

Анализ ледовых фаз Азовского моря показал смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно – интенсивность смещения сроков составляет 5-7 дней за 10 лет. В результате на фоне роста температуры воздуха и воды в октябре-декабре с начала 2000-х годов увеличилась повторяемость 5 типа

ледового сезона, для которого характерна малая продолжительность ледового сезона 48-68 дней и позднее ледообразование.

Таблица 4.6 Количественные характеристики типовых ледовых сезонов Азовского моря

ГМС	Характеристика	Тип ледового сезона				
		I	II	III	IV	V
ТАГАНРОГ	Дата начала	5.12	6.11	4.11	12.12	26.12
	Продолжительность, сутки	102	155	135	117	68
	Дата окончания	16.3	8.4	19.3	7.4	3.3
	Кол-во случаев	28	5	6	7	10
	% (от общего кол-ва)	50	9	11	12	18
ПРИМОРСКО-АХТАРСК	Начало	14.12	10.11	14.11	16.12	24.12
	Продолжительность, сутки	80	134	100	106	45
	Конец	4.3	23.3	21.2	31.3	7.2
	Кол-во случаев	29	6	3	4	14
	% (от общего кол-ва)	52	11	5	7	25
МАРИУПОЛЬ	Начало	21.12	2.12	29.11	21.12	9.1
	Продолжительность, сутки	82	120	101	102	48
	Конец	12.3	31.3	9.3	1.4	26.02
	Кол-во случаев	24	3	11	7	11
	% (от общего кол-ва)	43	5	20	12	20
ГЕНИЧЕСК	Начало	17.12	19.11	14.11	19.12	1.1
	Продолжительность, сутки	89	148	99	113	48
	Конец	16.3	16.4	21.2	11.4	19.2
	Кол-во случаев	14	8	5	13	15
	% (от общего кол-ва)	25	15	9	24	27
КЕРЧЬ	Начало	17.01	9.12	17.12	17.01	27.01
	Продолжительность, сутки	37	110	57	63	10
	Конец	23.02	29.03	12.02	21.03	7.02
	Кол-во случаев	13	2	4	9	12
	% (от общего кол-ва)	33	5	10	23	30

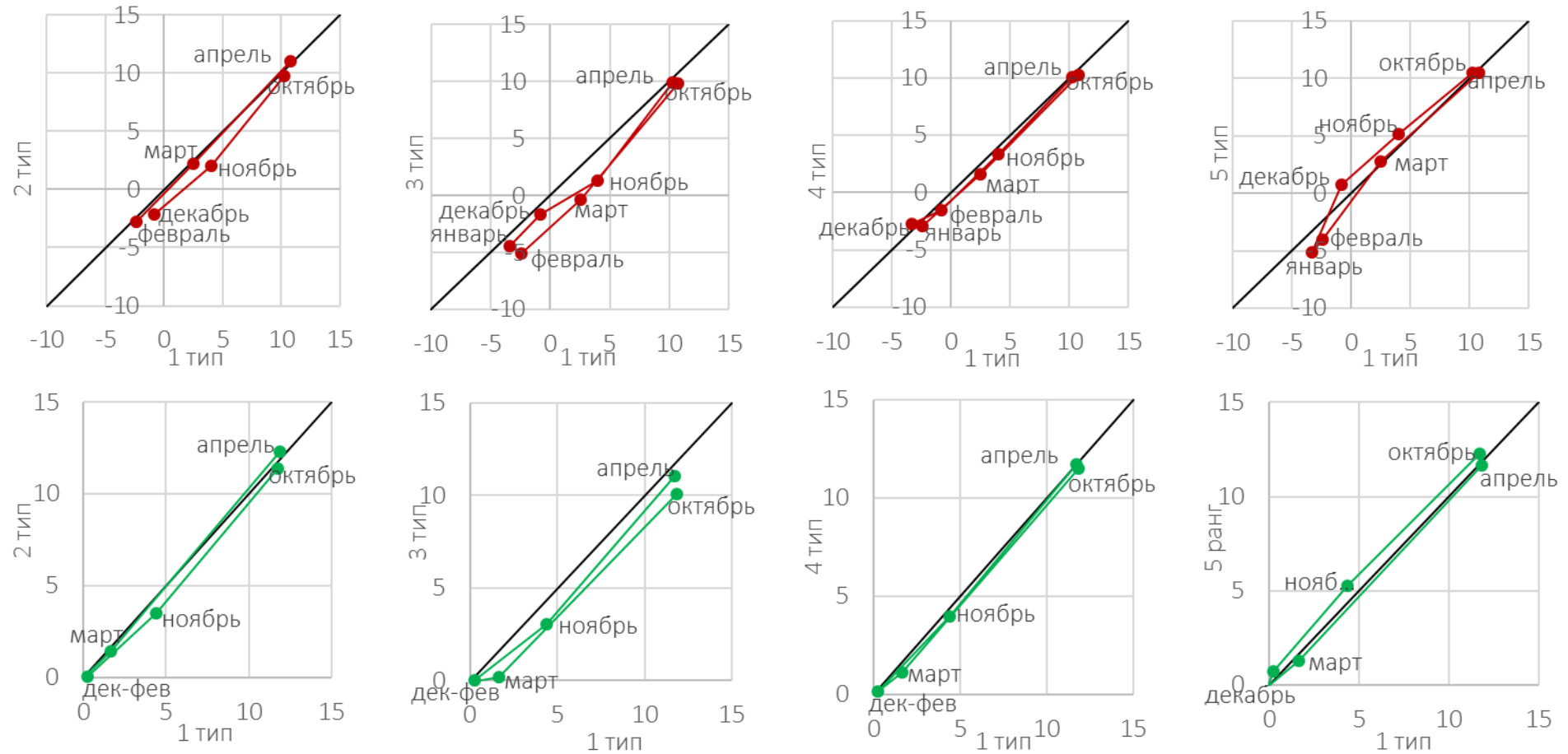


Рисунок 4.13 – Температура воздуха и температура воды на ГМС Таганрог Азовского моря для каждого типа ледового сезона

Каспийское море

I тип – ледовый сезон протекает в пределах среднемноголетних значений. Имеет наибольшую повторяемость (табл.4.7).

II тип – аномальный ледовый сезон, продолжительностью от 130 дней в южной части Северного Каспия (ГМС Тюлений) до 150 дней в северной (ГМС Пешной). Гидрометеорологические условия характеризуются отрицательными аномалиями в ноябре и декабре – минус 3,5°С и минус 2,8°С соответственно (рис.4.15).

III тип – ледовый сезон, характеризующийся ранним ледообразованием, однако окончание сезона приходится на среднемноголетние даты. Формируется при отрицательных аномалиях температур воздуха в течении всего холодного периода с октября по март. Также, как и в Азовском море, ледообразование в эти сезоны начинается на 3-4 недели раньше среднемноголетних значений. Так на ГМС Пешной ледообразование в эти сезоны начинается уже с конца октября при отрицательных аномалиях температуры воздуха и воды, значения которых минус 5,4°С и минус 2,2°С, а продолжительность ледового сезона составляет 116 - 152 дней.

Таблица 4.7 Количественные характеристики типовых ледовых сезонов Каспийского моря

ГМС	Характеристики	РАНГ				
		I	II	III	IV	V
ПЕШНОЙ	Дата начала	25.11	6.11	22.10	27.11	10.12
	Продолжительность, сутки	119	154	152	131	95
	Дата окончания	24.03	7.04	22.03	7.04	15.03
	Кол-во случаев	23	9	2	11	14
	% (от общего кол-ва)	39	15	3	19	24
ТЮЛЕНИЙ	Дата начала	28.12	19.11	14.11	20.12	7.01
	Продолжительность, сутки	85	130	116	110	38
	Дата окончания	13.03	28.03	9.03	29.03	19.02
	Кол-во случаев	26	7	7	7	8
	% (от общего кол-ва)	50	12	12	12	14

IV тип – ледовый сезон, характеризующийся поздним ледообразованием, очищение акватории ото льда позже среднемноголетних значений – в конце марта – начале апреля. Температуры воздуха при данном типе ледообразования характеризуются положительными аномалиями в октябре-ноябре, и отрицательными в декабре.

V тип – ледовый сезон характеризуется поздним началом ледообразования, непродолжительным и ранним окончанием ледового сезона. Продолжительность ледового сезона не превышает 3-х месяцев для северной части моря, чуть больше 1 месяца – для южной. Причиной V типа ледового сезона являются положительные аномалии температуры воздуха в течение всего холодного периода с октября по март. Так же, как и для акватории Азовского моря, повторяемость V типа увеличивается, начиная с 2000-х гг. (рис.4.14).

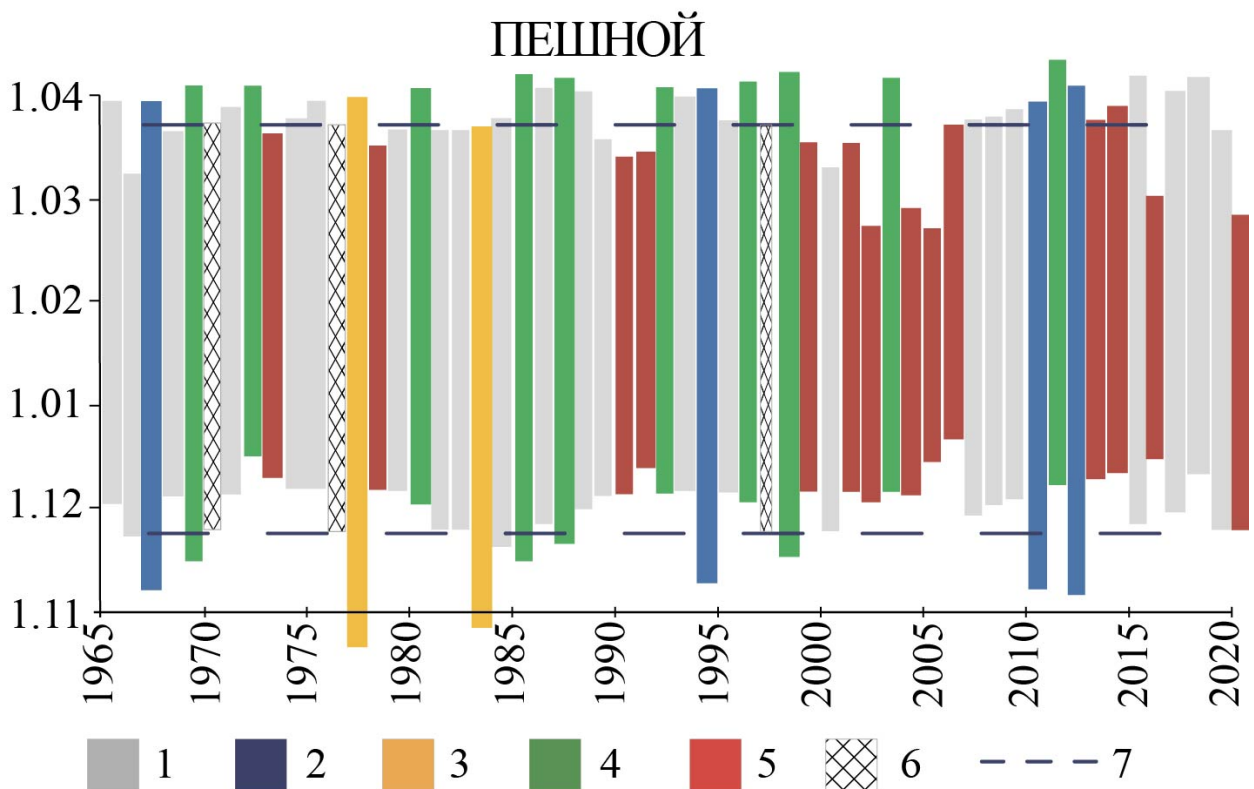


Рисунок 4.14 – Типовые ледовые сезоны Каспийского моря на ГМС
Пешной

1 – I тип; 2 – II тип; 3 – III тип; 4 – IV тип; 5 – V тип; 6 – нет данных; 7 – среднемноголетний ледовый сезон; Ось Y – даты ледовых фаз

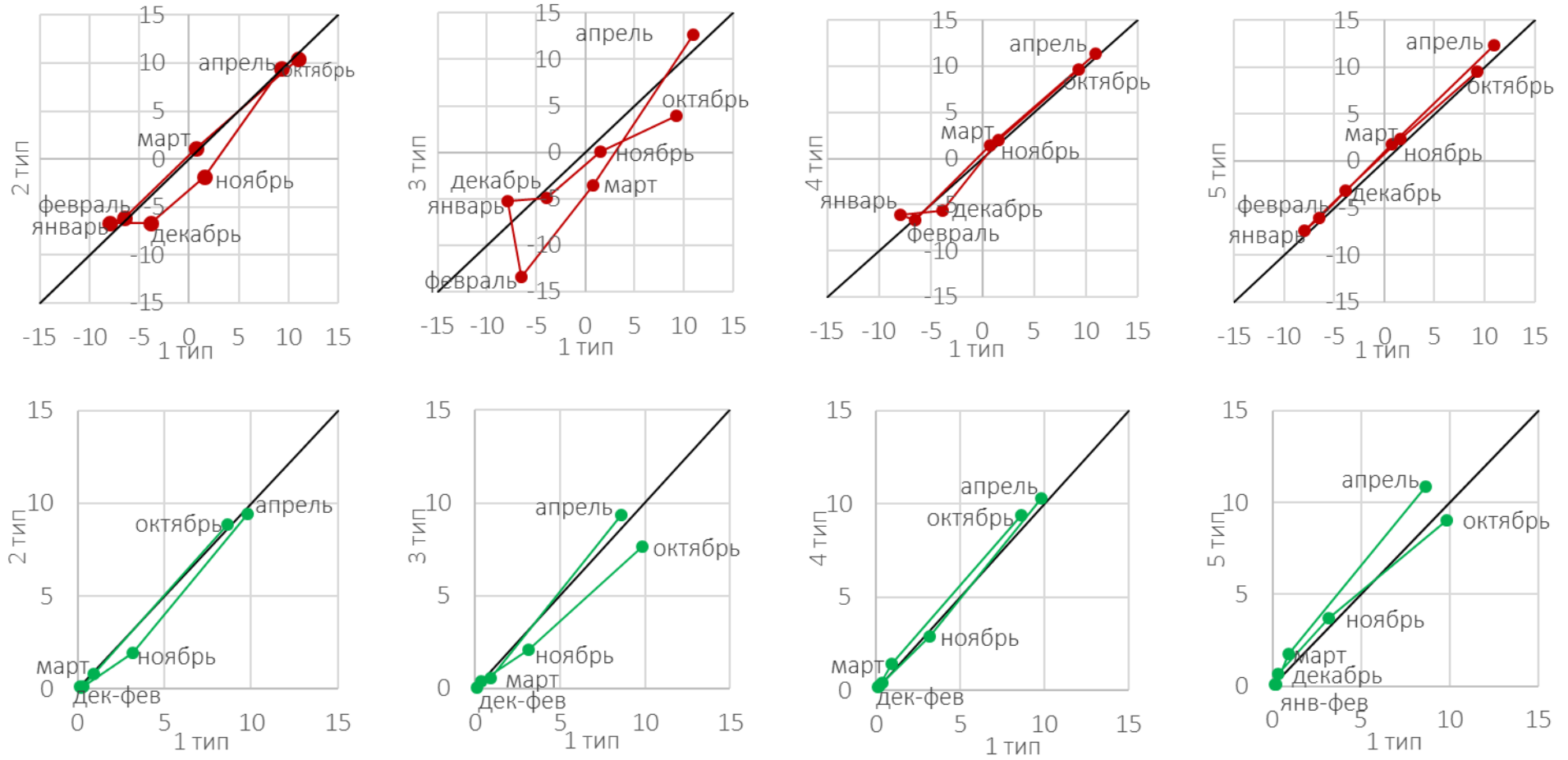


Рисунок 4.15 – Температура воздуха и температура воды на ГМС Пешной для каждого типа ледового сезона
*расчеты температуры воды выполнены для периода 1938-1993 гг.

Также была выполнена оценка вероятности проявления типовых ледовых сезонов для основных портов Азовского – Таганрог и Керчь, и Каспийского морей–Оля. Определены уровни экологической опасности типовых ледовых сезонов и вероятные последствия их проявления (табл.4.8). Установлено, что высокий уровень экологической опасности характерен для II и III типовых ледовых сезонов, в течение которых вероятна приостановка морской навигации и рыбного промысла, повреждение портовой инфраструктуры и судов, обледенение малых судов.

Таблица 4.8 Характеристики типовых ледовых сезонов Азовского и Каспийского морей и их экологической опасности

Тип ледового сезона		II	III	IV	V
Общее описание ледового сезона		аномально большая продолжительность ледового сезона	сдвиг ледового сезона на ранние сроки	сдвиг ледового сезона на поздние сроки	аномально малая продолжительность ледового сезона
Характеристика ледовых условий		раннее ледообразование + продолжительность больше или равно 150 дней	раннее ледообразование + продолжительность больше или равно 130 дней	наличие льда в конце марта-начале апреля	продолжительность менее 90 дней
Гидрометеорологические условия		отрицательные аномалии температуры воздуха и воды в октябре-ноябре	отрицательные аномалии температуры воздуха и воды в течение всего холодного периода с октября по март	отрицательные аномалии температур в декабре и марте	положительные аномалии температуры воздуха и воды в октябре-ноябре и марте-апреле
Вероятность проявления, %	Порт Таганрог	9	11	12	18
	Порт Керчь	5	10	23	30
	Порт Оля	15	3	19	24
Уровень экологической опасности		высокий		средний	низкий
Вероятные последствия		приостановка морской навигации и рыбного промысла, повреждение портовой инфраструктуры и судов, обледенение малых судов		подъем уровня воды при позднем таянии льда, низкие температуры воды и негативное воздействие на биоту	временное ограничение морской навигации

В результате анализа ледовых фаз Северного Каспия установлено смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно – интенсивность смещения сроков составляет 5-7 дней за 10 лет. В результате на фоне роста температуры воздуха и воды в октябре-декабре с начала 2000-х годов увеличилась повторяемость 5 типа ледового сезона, который характеризуется малой продолжительностью ледового сезона. Выполнена оценка вероятности и последствия проявления типовых ледовых сезонов для основных портов Азовского – Таганрог и Керчь, и Каспийского морей– Оля.

4.4 Ледовитость

Азовское море

Ледовитость Азовского моря имеет ярко выраженный внутрисезонный ход. В среднем за зиму (независимо от ее типа) отмечается 8-10 вскрытий и замерзаний акватории моря вследствие изменений погодных условий.

По среднемноголетним данным, ледообразование начинается в середине ноября и заканчивается в середине марта. В ноябре вероятность встречи льда составляет 5-10% – ледяной покров наблюдается в Таганрогском заливе, Утлюкском и Бейсугском лиманах. В декабре вероятность встречи льда в Таганрогском заливе составляет 30-50% (рис.4.16). В январе северное побережье и восточная часть акватории занята льдом практически полностью (вероятность встречи льда 80-100%), в центральной части моря вероятность встречи льда составляет 50-75%. К февралю ледовитость достигает наибольшего развития – максимальные значения за сезон варьируются от 13-20% в мягкие зимы (например, 1954/1955, 2013/2014 гг.) до 90-100% в умеренные (например, 2010/2011, 2011/2012 гг.) и суровые зимы (например, 1953/1954, 1955/1956, 2002/2003 гг.). В марте, аналогично, как и в ноябре, вероятность встречи льда в Таганрогском заливе составляет 30-50%, в северной части Азовского моря – 20-30%, в открытом море около 10%. К апрелю лед практически полностью разрушается и вероятность встречи ледяного покрова составляет лишь 5% в западной части моря.

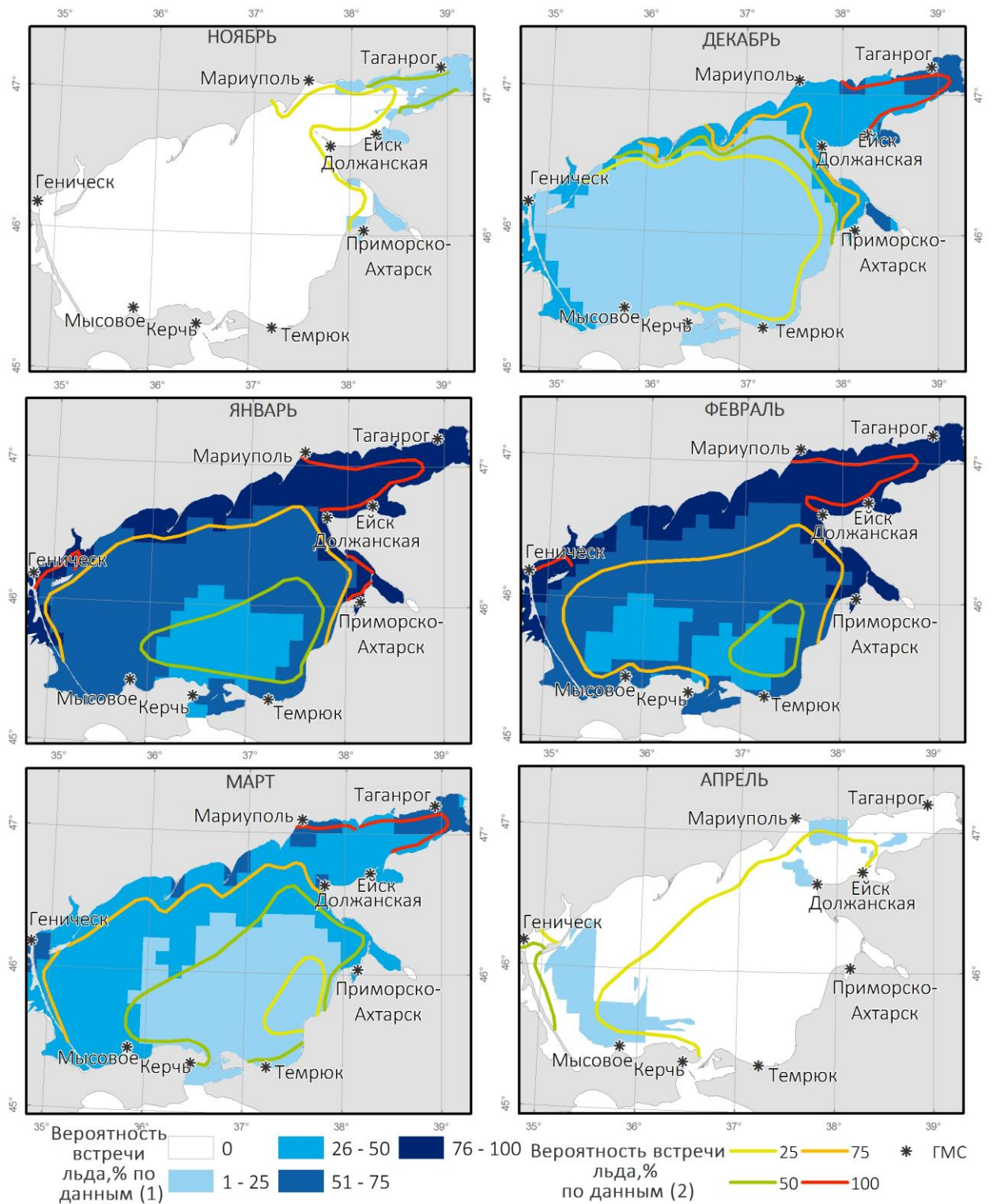


Рисунок 4.16 – Вероятность встречи льда в Азовском море:

- 1 – за период 2000-2020 гг., рассчитанные на основе данных Международного Центра Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ; <http://wdc.aari.ru/datasets/>),
 2 – за период 1947-1958 гг. по сведениям из (Гидрометеорологические..., 1962)

В сравнении с ранее опубликованными данными (Гидрометеорологические..., 1962) для периода 1947-1958 гг., в современный

период 2000-2020 гг. вероятность встречи льда сократилась в ноябре с 50 до 25%, в декабре с 75-100% до 30-50% в Таганрогском заливе и северо-западном побережье. Для января и февраля в целом картина неизменна. Значительно сократилась вероятность встречи льда в марте с 50% до 25% в открытой части моря, с 75% до 50% в северной части, и со 100% до 75% в вершине Таганрогского залива.

Многолетняя динамика ледовитости Азовского моря за период 1950-2020 гг. представлена на рисунке 4.17. Среднесезонное значение ледовитости Азовского моря значительно варьируется: от 4% в 2019/2020 гг. до 67% в 1953/1954 гг. Среднемноголетнее значение ледовитости с 1950 по 2020 гг. составляет 27%, климатическая норма за период 1961-1990 гг. – 30%, 1991-2020 гг. – 21% (базовые периоды, определенные Всемирной метеорологической организацией для расчета климатических норм (Руководящие..., 2017).

Для анализа многолетних изменений рассчитаны аномалии ледовитости Азовского моря относительно среднемноголетнего значения 1950-2020 гг. Построена интегральная кривая аномалий ледовитости (рис.4.8). В целом многолетний ход ледовитости можно разделить на 2 периода:

1) период роста ледовитости, который наблюдается с 1950 по 1987 гг. (рис.4.18);

2) период сокращения ледовитости с 1988 по настоящее время.

При этом внутри этих периодов выделяются 2-5-летние циклы положительных и отрицательных аномалий ледовитости. В течение всего периода наблюдений отрицательные аномалии ледовитости Азовского моря варьируются в пределах 10-20%. В отдельные малоледные зимы, как например зимы 2018/2019, 2019/2020, аномалии достигают 25%. Значения положительных аномалий составляют 15-25%, в особо ледовитые зимы – 1953/1954, 1968/1969 достигают 35-40%. Однако стоит отметить, что с 1993 г. значения положительных аномалий не превышают 10%, за исключением двух ледовитых суровых зим 2002/2003 и 2011/2012.

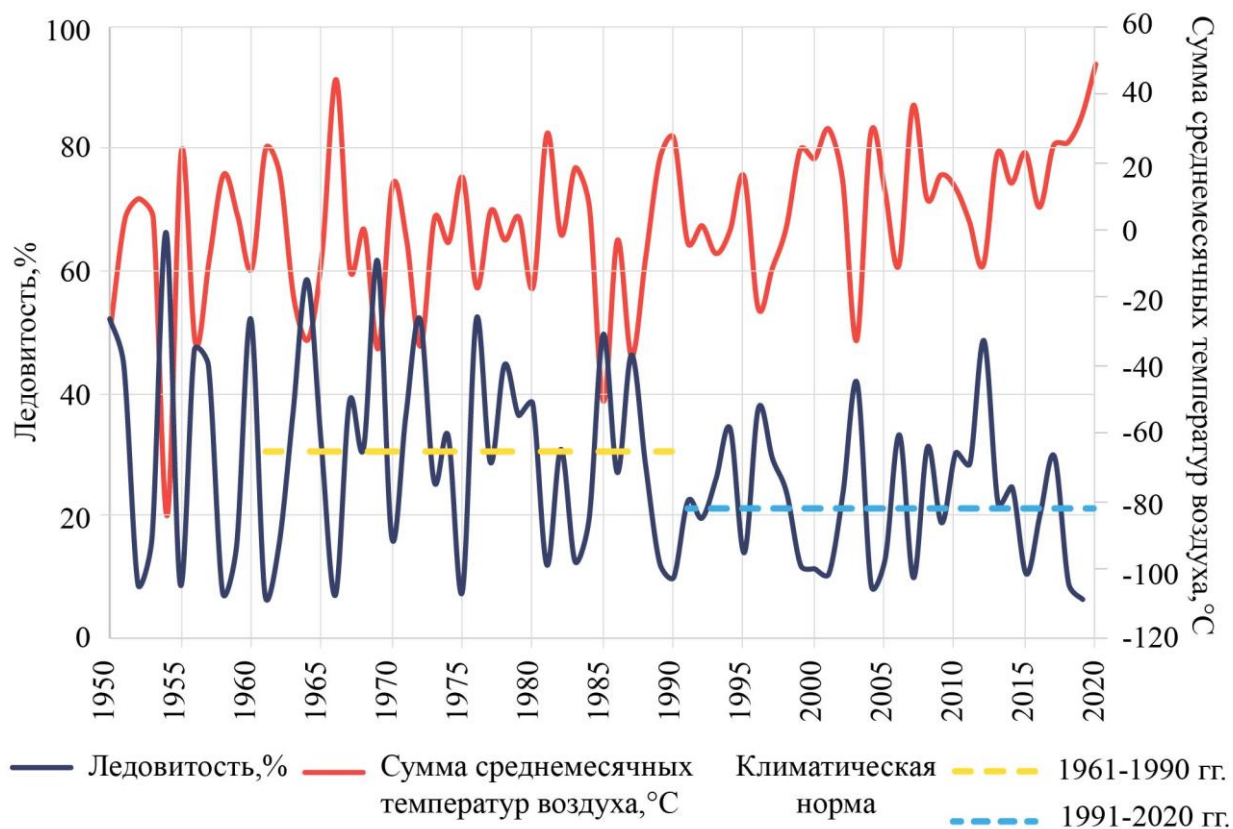


Рисунок 4.17 – Ледовитость (%) Азовского моря и сумма среднемесячных температур воздуха (°C) трех ГМС Таганрог, Геническ, Керчь

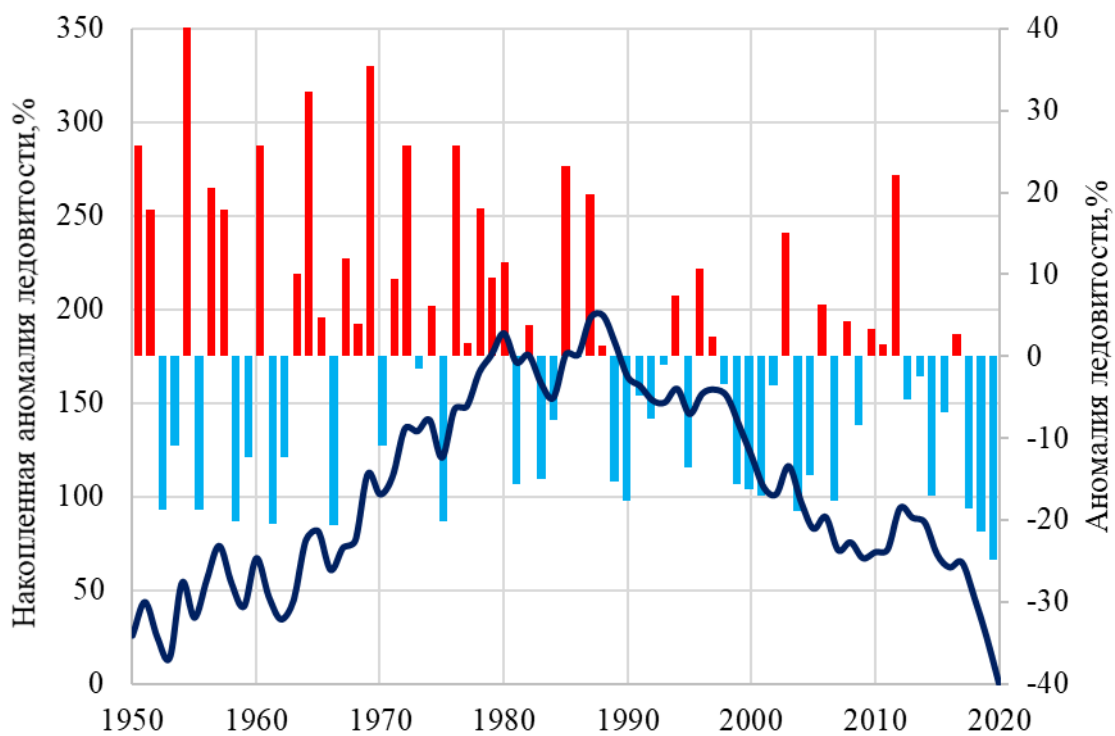


Рисунок 4.18 – Интегральная кривая аномалий ледовитости Азовского моря относительно среднемноголетнего значения 1950-2020 гг.

Таблица 4.9 Число зим с положительной и отрицательной аномалиями ледовитости

Число зим/Период	1950-2020		1961-1990		1991-2020	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Ледовитость >27% (положительная аномалия)	34	48	18	60	10	33
Ледовитость <27% (отрицательная аномалия)	37	52	12	40	20	67

В результате анализа многолетней динамики ледовитости Азовского моря установлено сокращение ледовитости на ~ 10% как по отношению к климатической норме 1961-1990 гг., так и в целом к среднемноголетнему значению 1950-2020 гг. Увеличилась повторяемость малоледных зим (с отрицательной аномалией ледовитости; табл.4.9). Современный период 2000-2020 гг. характеризуется сокращением вероятности встречи льда в декабре, марте и апреле по сравнению с периодом 1947-1958 гг.

Каспийское море

В особо суровые зимы кромка льда в Каспийском море может достигать берегов Махачкалы на западном побережье и Форт-Шевченко на восточном (Яицкая, Глущенко, 2010), а в мягкие зимы льдом покрываются северные и северо-восточные прибрежные районы Каспийского моря. В средней части моря ледяной покров занимает незначительную площадь, а в мягкие зимы его совсем не бывает. В южной части Каспийского моря лед появляется лишь в исключительно суровые зимы. Например, зимой 1968/1969 г. припаем были покрыты Северный и часть Среднего Каспия, а в районе Апшеронского полуострова наблюдались плавучие льды (а также в зимы 1928/1929, 1949/1950, 1953/1954, 1971/1972 гг.) (Гидрология...,1986).

При среднеклиматических условиях процесс ледообразования в Северном Каспии начинается в первой декаде ноября в районе полуострова Пешной и северо-восточных районах моря. Вероятность встречи льда в ноябре в этих районах составляет 35-40%. (рис. 4.19). Чуть позже лед образуется в районе острова

Искусственный и Кулалы – вероятность встречи льда в ноябре здесь составляет 20-30%.

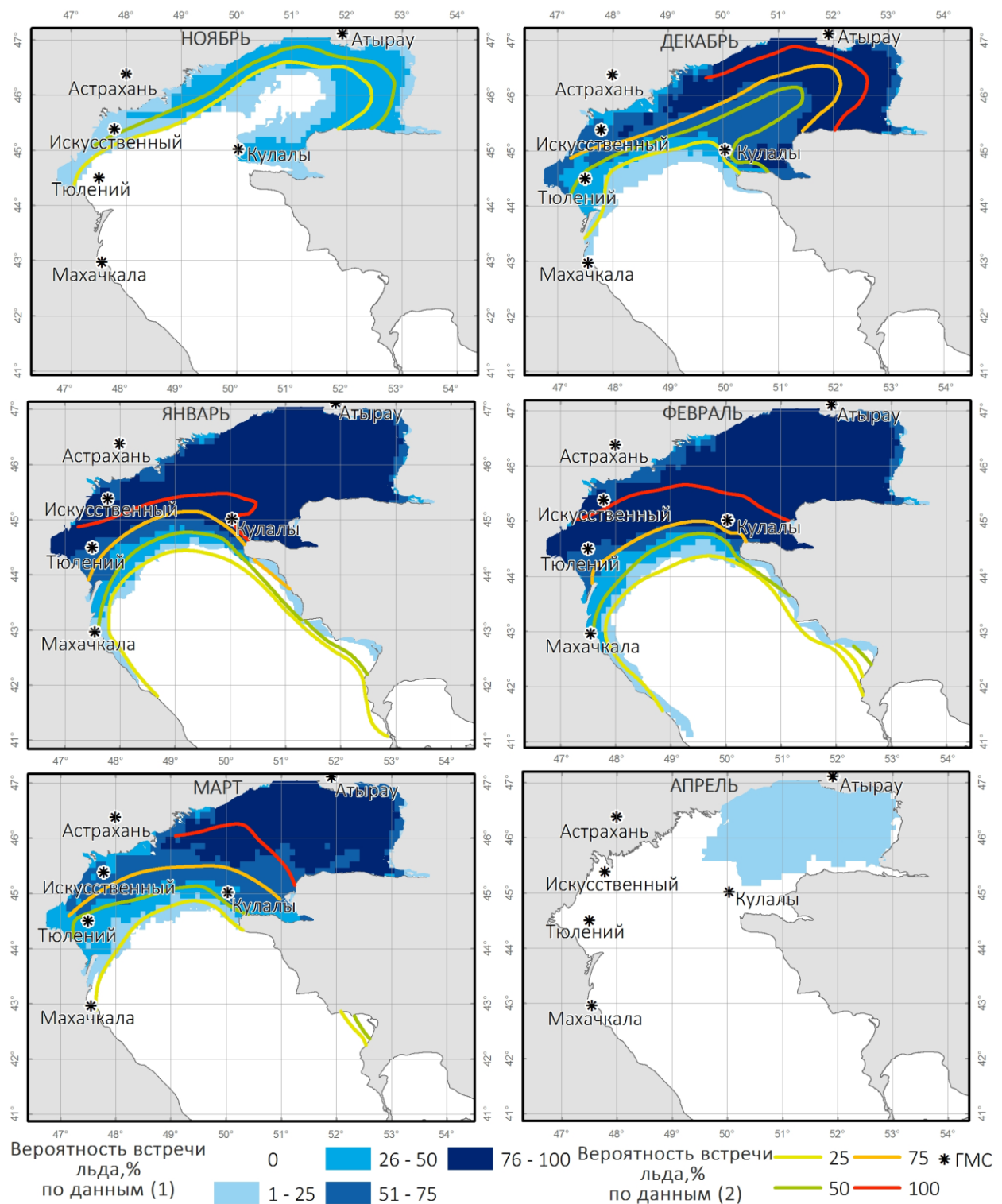


Рисунок 4.19 – Вероятность встречи льда в Каспийском море по данным:
 1 – за период 2000-2020 гг, рассчитанные по данным Международного Центра
 Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ; <http://wdc.aari.ru/datasets/>),
 2 – за период 1927-1978 гг. (Каспийское море, выпуск 3).

К середине декабря лед достигает острова Тюлений и вероятность встречи льда составляет около 35-40% (Гидрометеорология и ..., 1992). В январе вся акватория севернее островов Тюлений – Кулалы покрыта льдом с вероятностью 95-100%, в 5-20% случаев ледяной покров достигает берегов Махачкалы на западе и залива Кендерли на востоке. В феврале ледяной покров развит максимально, в 10-20% случаев достигая берегов Дербента на западе. В марте ледяной покров начиная с южных районов постепенно разрушается, но при этом вся северо-восточная часть Северного Каспия покрыта льдом в 80-90% случаев. В апреле акватория полностью очищается ото льда и лишь в 10-20% случаев до конца месяца может наблюдаться ледяной покров в северо-восточной части моря.

По сравнению с картами вероятности встречи льда за период 1927-1978 гг., опубликованными в (Каспийское море, выпуск 3), вероятность встречи льда в Каспийском море в целом не изменилась – исключение составляют прибрежные восточные районы средней части моря.

Средние значения ледовитости (рис.4.20) за сезон варьируются от 20% до 88% северной части Каспийского моря. Среднемноголетнее значение за период 1940-2020 гг. составляет 55%. Анализ 30-летних климатических периодов показал, что ледовитость Северного Каспия за 1961-1990 гг. составила 56%, за 1991-2020 гг. – 46%. Максимальные значения ледовитости (среднее значение ледовитости за сезон $> 80\%$) отмечены в зимы 1940/1941, 1953/1954, 1968/1969, 1978/1979, минимальные (ледовитость $< 30\%$) – 1989/1990, 1994/1995, 1998/1999.

Для анализа многолетних изменений относительно среднемноголетнего значения 1940-2020 гг., рассчитаны аномалии ледовитости Северного Каспия (рис.4.21). В многолетнем ходе выделены периоды роста и сокращения ледовитости Северного Каспия:

- 1940-1979 гг. период положительных аномалий ледовитости, для которого характерны зимы с максимальной ледовитостью – 1940/1941, 1953/1954, 1959/1960, 1963/1964 и др. Значения аномалий ледовитости в эти зимы превышают 20%;

- 1980-1988 гг. «переходный» период, характеризующийся колебаниями положительной и отрицательной аномалий ледовитости;

- 1989-2020 гг. 30-летний период отрицательных аномалий ледовитости, в котором выделяется только один зимний сезон с положительной аномалией, значение которой составляет 12,5%.

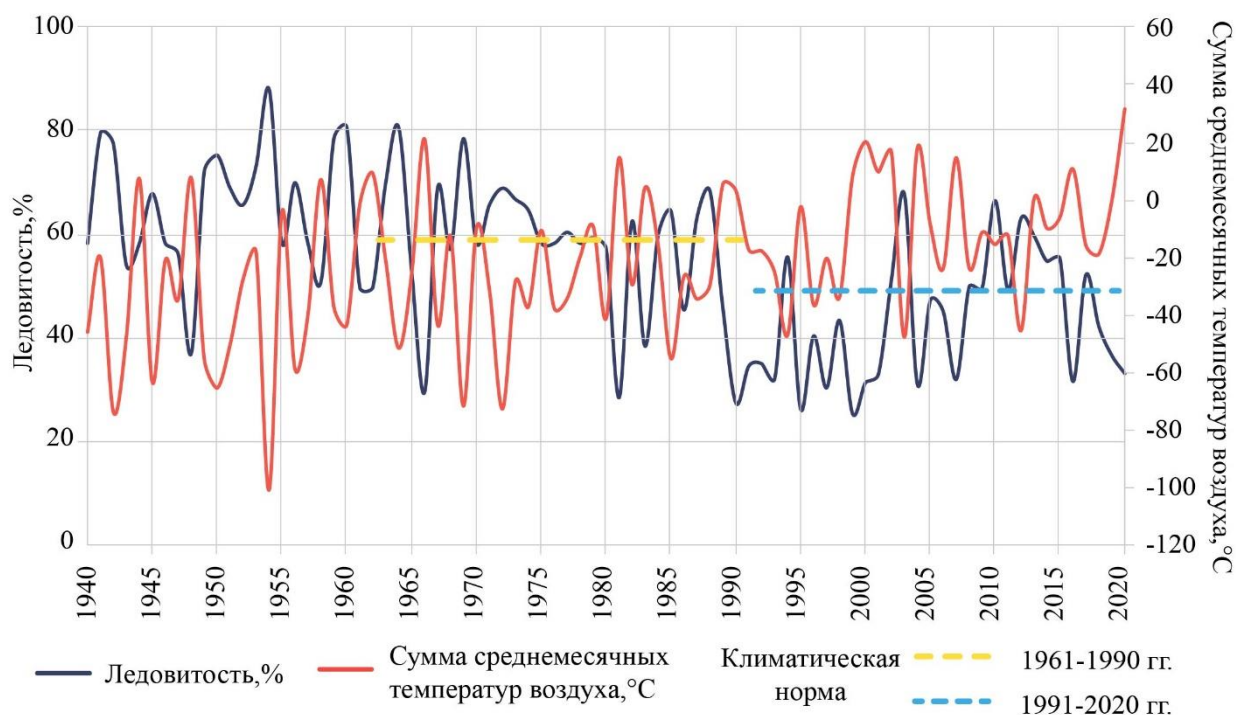


Рисунок 4.20 – Ледовитость (%) Северного Каспия и сумма среднемесячных температур воздуха (°С) трех ГМС Астрахань, Атырау, Махачкала

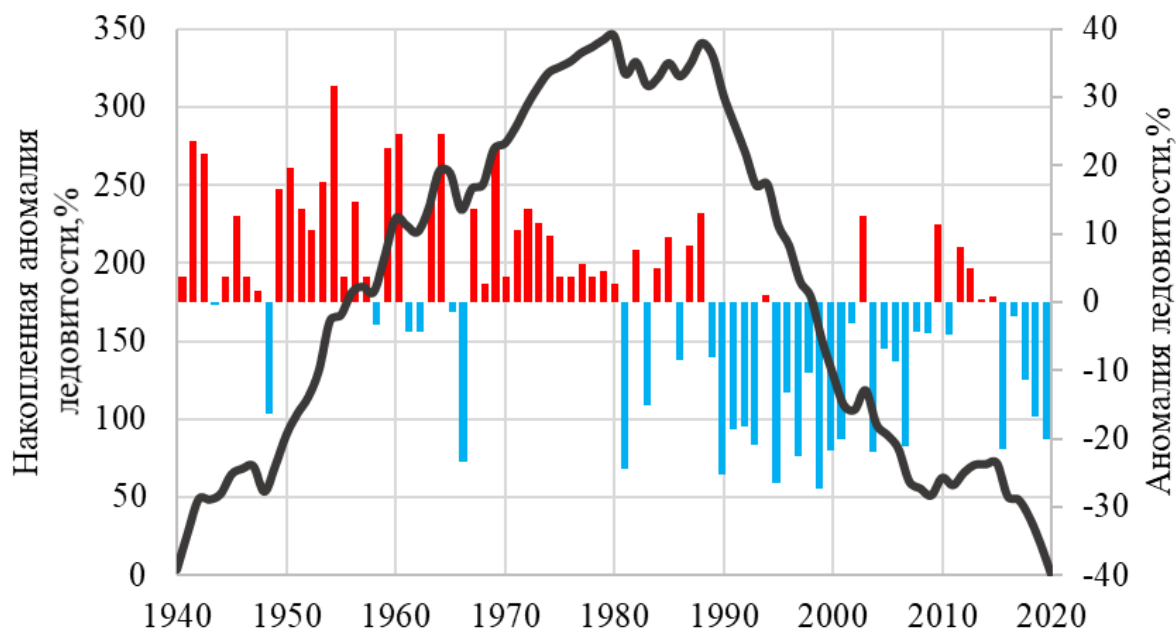


Рисунок 4.21 – Интегральная кривая аномалий ледовитости Северного Каспия относительно среднемноголетнего значения 1940-2020 гг.

Анализ многолетней динамики ледовитости Северного Каспия показал сокращение ледовитости на ~ 10% как по отношению к климатической норме 1961-1990 гг., так и в целом к среднемноголетнему значению ледовитости.

4.5 Припай

Азовское море

Характерная особенность ледовых условий Азовского моря – неоднократные замерзания и вскрытия акватории вследствие колебаний температур воздуха. Припай – наиболее устойчивая характеристика ледового режима моря, так как образование устойчивого неподвижного ледяного покрова происходит спустя 5-7 дней после первого появления льда.

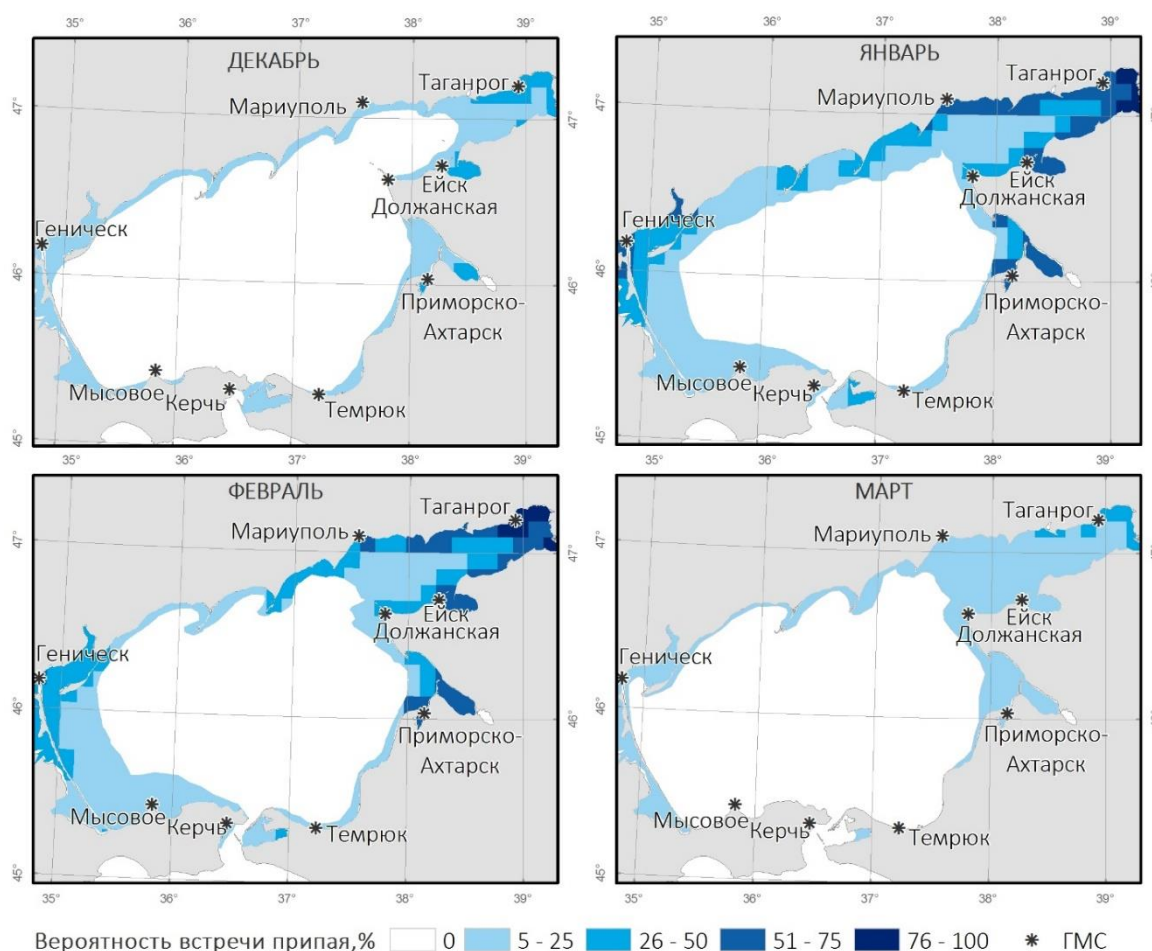


Рисунок 4.22 – Вероятность встречи припая в Азовском море за период 2000-2020 гг. рассчитанная по данным Международного Центра Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ; <http://wdc.aari.ru/datasets/>)

К концу декабря почти на всём Таганрогском заливе, Утлюкском, Ахтарском и Бейсугском лиманах отмечается припай, достигая наибольшего развития в конце января – начале февраля (Гидрометеорологический..., 1962) (рис.4.22).

Среднемноголетняя площадь припая за 2000-2020 гг. составляет 1800 км² (площадь Азовского моря – 39300 км²; рис.4.23). Максимальная площадь припая за исследуемый период отмечена в зимний период 2005/2006 гг. и составила 7600 км². Однако, в последние годы на фоне роста среднемесячных температур воздуха и как следствие уменьшения ледовитости, площадь припая сократилась и не превышает 400 км² за сезон, а в зиму 2019/2020 г. припай вовсе не наблюдался. Стоит отметить, что зима 2019/2020 г. – самая теплая за весь период инструментальных наблюдений начиная с 1883 г.

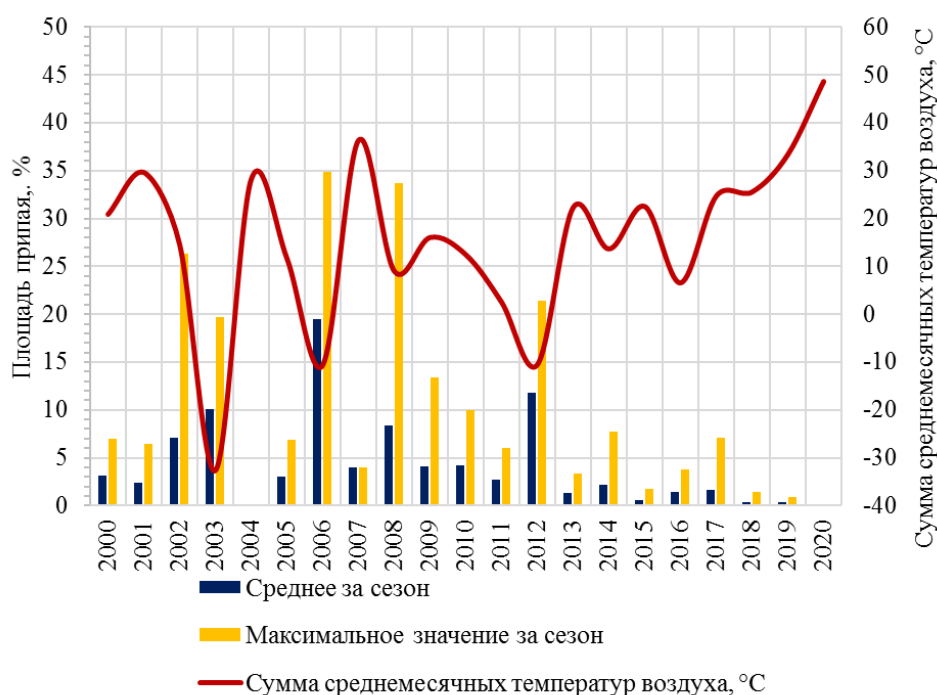


Рисунок 4.23 – Средняя и максимальная за сезон площади припая Азовского моря и сумма среднемесячных температур воздуха с 2000 г по 2020 г.

Каспийское море

Устойчивый припай на Северном Каспии образуется в среднем через одну-две недели после начала ледообразования (Думанская, 2014). Площадь припая, как и общая площадь льда, характеризуется явно выраженной сезонной изменчивостью с максимумом в середине зимы (Гидрология..., 1992).

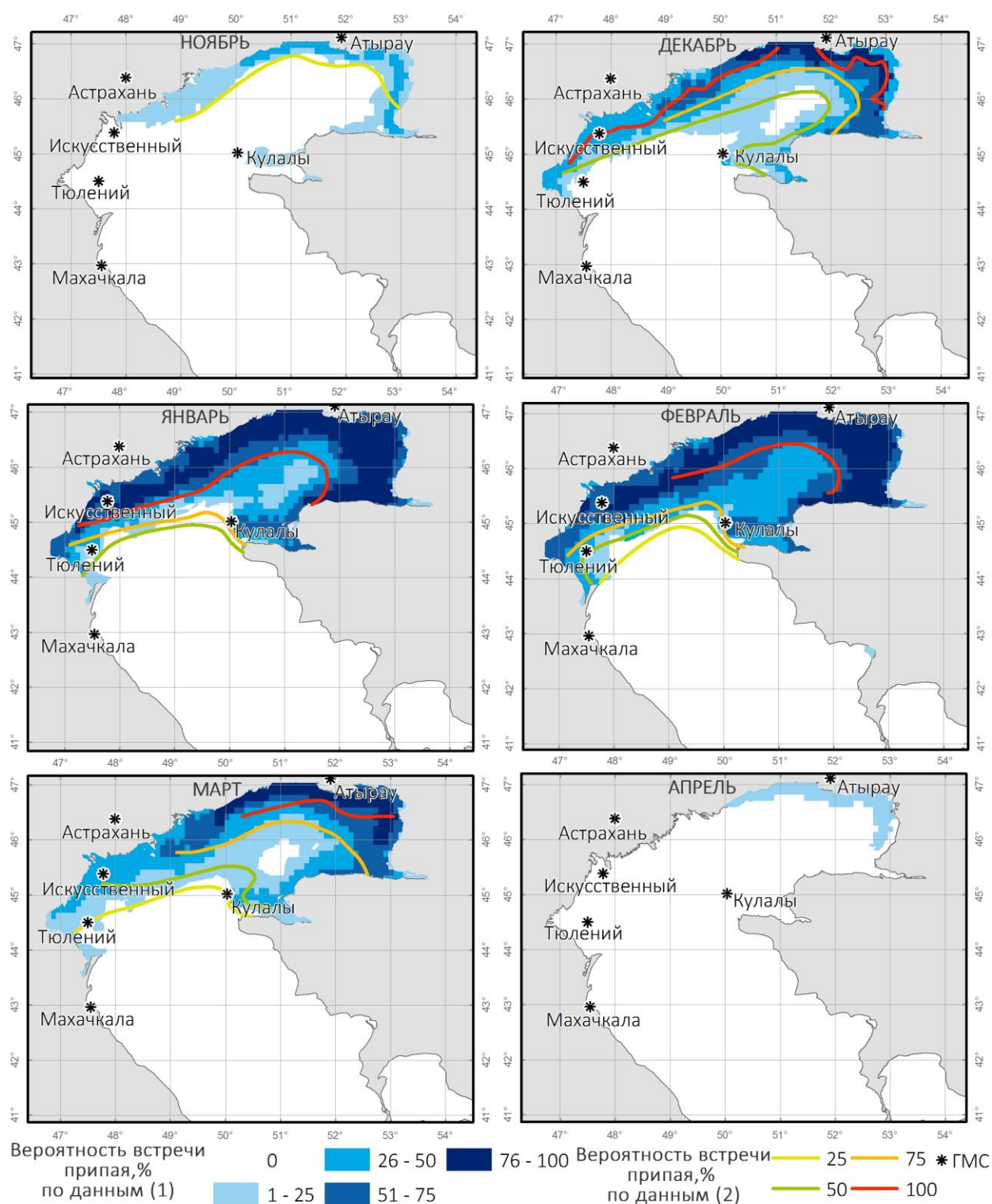


Рисунок 4.24 – Вероятность встречи припая в Каспийском море по данным:
 1 – за период 2000-2020 гг, рассчитанные по данным Международного Центра
 Данных – Морской Лед (МЦД-МЛ; <http://wdc.aari.ru/datasets/>),
 2 – Веслова, 1956.

Начиная с ноября в северо-восточной части Северного Каспия в 20-30% случаев образуется припай, а к декабрю вероятность его встречи достигает – 70-

85%, 10-20% – в районе островов Искусственный и Тюлений (рис.4.24). В январе практически вся акватория Северного Каспия покрыта припаем – вероятность его встречи составляет 80-100% в северо-восточной части и на взморье Волги, 20-50% в центральной части. В феврале припай достигает максимального развития и в 5-15% случаев наблюдается в районах п-ова Аграханский, Махачкалы и залива Кендерли.

Среднемноголетняя площадь припая за 2000-2020 гг. составляет 20500 км² (площадь Северного Каспия – 90080 км²; рис.4.25). Максимальная площадь припая за исследуемый период отмечена в зимний период 2011/2012 гг. и составила 46000 км².



Рисунок 4.25 – Средняя и максимальная за сезон площади припая Северного Каспия и сумма среднемесячных температур воздуха за период 2000-2020 гг.

В суровые зимы (1941/42 гг., 1953/54 гг., 1968/69 гг.) припайный лед может занимать всю северную часть Каспийского моря. Кроме того, припай образуется и в Среднем (вдоль п-ова Аграханский и в изолированных бухтах и заливах восточного побережья) и в Южном Каспии, достигая здесь наибольшего развития

в феврале. В умеренные зимы припай занимает большую часть Северного Каспия (Байдин, Косарев, 1986). В теплые зимы припай образуется лишь на прибрежных мелководных участках.

4.6 Сравнительный анализ ледового режима Азовского и Каспийского морей

Азовское море и северная часть Каспийского морей – это южные замерзающие акватории, которые имеют как общие черты, так и ряд особенностей ледовых условий и формирующих их факторов, присущие каждой акватории.

Как уже было сказано ранее, ключевой фактор формирования ледового режима Азовского и Каспийского морей – динамика атмосферных процессов, определяющая температурные условия в регионе. Это обуславливает схожую в многолетнем аспекте продолжительность ледового сезона – с конца ноября по март. Однако, климат Северного Каспия является в большей степени континентальным, чем Азовского моря ввиду географического положения, что обуславливает бóльшую площадь ледяного покрова. Более того, восточная часть Северного Каспия более подвержена влиянию Азиатского максимума, что обуславливает более частое и устойчивое ледообразование в восточных районах (закрытые бухты и заливы) по сравнению с западными, что сказывается в различии сроков наступления ледовых фаз и характере развития ледяного покрова на обоих побережьях в близких географических широтах (Веселова, 1956).

Средние значения ледовитости Северного Каспия больше Азовского моря (рис.4.26), устойчивый ледяной покров – припай, также имеет бóльшее распространение на Северном Каспии – за период 2000-2020 гг. максимальная площадь припая составила здесь более 50%, в том время как на Азовском море – менее 20%.

Ввиду мелководности и низкой солености 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 (Огородов и др., 2019). Однако на Северном Каспии ввиду большего распространения припая и его динамики в течение зимнего сезона, зона активного торошения льда захватывает большую площадь, нежели на Азовском море.

Тем не менее, в многолетней динамике (за период 1950-2020 гг.) ледового режима и факторов, его определяющих, выделены общие закономерности:

Период 1950-1979 гг. 5 из 8 суровых зим (т.е. более 60%) приходится на этот период. Самая суровая зима за весь период инструментальных наблюдений 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 в среднем 31% (табл.4.10), 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 ледовый сезон 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. Каждое десятилетие увеличивается повторяемость мягких зим. На Северном Каспии суровые зимы не наблюдались, на Азовском море – единожды в сезон 2002/2003. 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%.

Таблица 4.10 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
Т воды в ноябре, °С	4.1	3.9	4.4	7.2	6.7	7.8
Ледовитость, %	27	32	21	55	65	46
Продолжительность ледового сезона, дни	110	124	96	121	130	110

Подытожив, можно сделать вывод, что для исследуемых морей характерен **режимный сдвиг ледового сезона, произошедший после 1991 г.**, который выражен в значительном сокращении площади ледяного покрова, продолжительности и изменении сроков ледового сезона на фоне роста гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха и воды) в предзимний и зимний периоды. Стоит отметить, что аналогичные выводы получены для Охотского (Минервин, Пищальник, 2015), Баренцева (Матишов и др., 2020) и Каспийского (Лобанов, Наурозбаева, 2018, где оценивались изменения толщины льда) морей.

Во второй половине 1970-х гг. произошли существенные изменения в характере многих крупномасштабных процессов в Мировом океане и глобальной атмосфере. 1990 г. выступает как важнейший рубеж в истории циркуляции атмосферы Северного полушария (Дьяконов, Ретеюм, 2016). В частности, многолетнее уменьшение значений индекса западной формы атмосферной циркуляции Северного полушария по Вангенгейму и Восточно-Атлантического колебания в эти годы сменилось на столь же многолетнее их увеличение, существенно снизилась повторяемость антициклонов над южной частью Европы (Тужилкин и др., 2009).

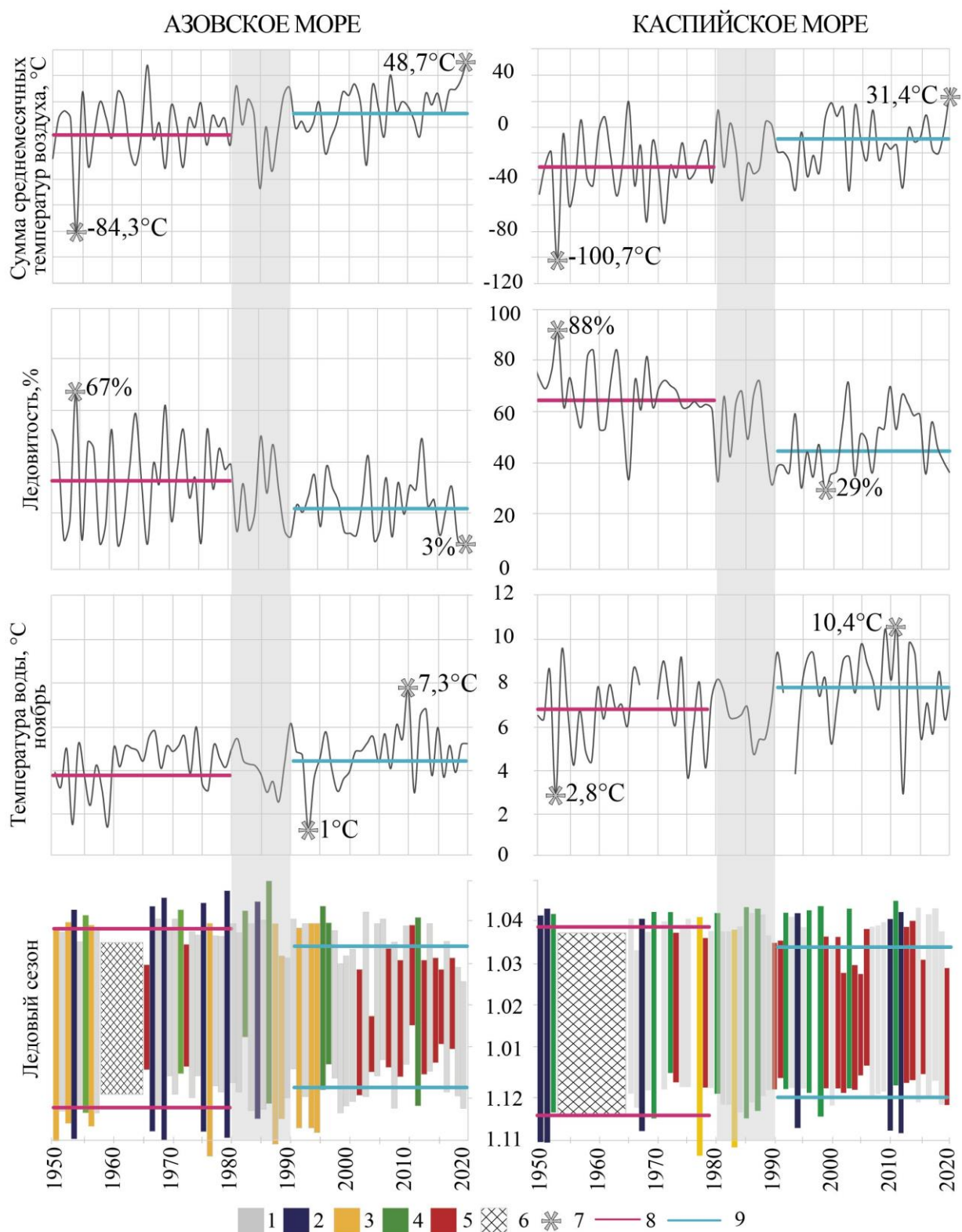


Рисунок 4.26 – Гидрометеорологические и ледовые параметры Азовского Каспийского морей

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.

Выводы к 4 главе

Выполнена оценка многолетней динамики параметров ледового режима Азовского и Каспийского морей. Выполнена типизация зим по степени суровости. Построены карты типовой ледовой обстановки для зим различной суровости. Проанализированы площадь (ледовитость) ледяного покрова и припая, фазы ледового режима – сроки образования и разрушения льда, продолжительность ледового сезона. Построены карты вероятности встречи льда и припая. Выделено пять типовых ледовых сезонов, характеризующихся различными количественными показателями фаз ледового режима, для каждого типа установлены закономерности гидрометеорологических условий, определены уровни экологической опасности для портовых комплексов Азовского и Каспийского морей.

Среднемноголетнее значение ледовитости Азовского моря составляет 27% (1950-2020 гг.), Северного Каспия (1940-2020) – 55%. Установлено сокращение ледовитости исследуемых морей на ~ 10%. Вероятность встречи льда на Азовском море уменьшилась в ноябре, марте и апреле. На всех прибрежных ГМС исследуемых морей наблюдается сокращение продолжительности ледового сезона, смещение сроков образования и разрушения льда в сторону более поздних и ранних дат соответственно – интенсивность смещения сроков составляет 5-7 дней за 10 лет. В результате на фоне увеличения температуры воздуха и воды в октябре-декабре с начала 2000-х годов увеличилась повторяемость V типа ледового сезона, который характеризуется малой продолжительностью ледового сезона (48-68 дней для Азовского моря и 40-90 дней для Северного Каспия), поздним ледообразованием и ранним освобождением моря ото льда. Выполнена оценка вероятности и последствия проявления типовых ледовых сезонов для основных портов Азовского – Таганрог и Керчь, и Каспийского морей – Оля. Высокий уровень экологической опасности характерен для II и III типовых ледовых сезонов, в течение которых вероятна приостановка морской навигации и рыбного промысла, повреждение портовой инфраструктуры и судов, обледенение малых судов.

Режимный сдвиг ледового сезона, произошедший после 1991 г. и характерный для обеих акваторий, выражен в сокращении площади ледяного покрова, продолжительности и изменении сроков ледового сезона на фоне роста гидрометеорологических характеристик (температуры воздуха и воды) в предзимний и зимний периоды.

ГЛАВА 5 ОПАСНЫЕ ЛЕДОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МОРЕХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

5.1 Основные термины и определения

Вопросами опасностей, как природного, так и техногенного характера озабочены ведущие мировые организации – Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC), Всемирная метеорологическая организация (WMO, ВМО), Организация объединенных наций (UN, ООН). Решение проблем, связанных с терминологией, стало приоритетной задачей Управления ООН по снижению риска бедствий (UNDRR, ранее UNISDR) после принятия Хиогской рамочной программы действий 2005–2015 (UNISDR..., 2005) и документа «UNISDR 2009» Терминология по снижению риска бедствий» (UNISDR..., 2009). Впоследствии Сендайская рамочная программа действий 2015–2030 (UNISDR..., 2015) дополнила предыдущие публикации и охватила вопросы, касающиеся возникновения мелко- и крупномасштабных опасностей, с различной частотой и скоростью распространения, вызываемых природными факторами или антропогенной деятельностью, а также связанными с ними экологическими, техногенными и биологическими угрозами и рисками (Снижение..., 2018, Monte et al., 2021).

Несмотря на это, в ходе анализа литературы было найдено несколько различных определений для одних и тех же процессов, и явлений (Яицкая, Магаева, 2022).

Опасное природное явление (ОПЯ) – это гидрометеорологическое или гелиогеофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб (Федеральный..., 1998).

Опасность экологическая – вероятность ухудшения показателей качества природной среды (состояний, процессов) под влиянием природных и техногенных факторов, представляющих угрозу экосистемам и человеку (Инструкция..., 1997).

Опасное гидрометеорологическое явление (ОЯ) — метеорологическое, агрометеорологическое, гидрологическое и морское гидрометеорологическое явление и (или) комплекс гидрометеорологических величин, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению (Акимов, Дурнев, Соколов, 2009).

Неблагоприятное гидрометеорологическое явление (НГЯ) — гидрометеорологическое явление, которое значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных предприятий и отраслей экономики и по своим значениям не достигает критериев ОЯ (Акимов, Дурнев, Соколов, 2009).

К гидрометеорологическим ОПЯ относятся отдельные гидрометеорологические явления или их сочетания, воздействие которых может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить материальный ущерб (Инструкция..., 2013).

Для каждого Географического региона Земли характерен свой набор опасных явлений. Так же одни и те же явления могут быть опасными в одном районе и нет в другом. Для азово-каспийского региона, вследствие географического положения, орографии и гидрометеорологических особенностей, характерно периодическое проявление опасных природных явлений, таких как штормовые и сгонно-нагонные явления; дождевые паводки и наводнения; аномально жаркая погода; раннее ледообразование и суровые зимы, а также их различные сочетания. Их проявление не постоянно во времени и пространстве и зависит не только от глобальных климатических процессов, но и от антропогенных преобразований окружающей среды. А сами явления могут прямо или косвенно оказывать влияние на социальную и политическую стабильность в макрорегионе.

Говоря об опасных природных явлениях, причиной которых является морской лёд, традиционно рассматривают арктические и субарктические регионы, где риски, связанные с деятельностью человека и ледовыми процессами, являются наибольшими. Выделяют три типа опасности, связанные с морским льдом (Eicken, Mahoney, 2015):

- 1) обширные, долгосрочные опасности и связанные с ними риски, быстрое сокращение площади летнего льда;
- 2) краткосрочные опасности, возникающие в результате изменений протяженности и динамики морского льда, такие как усиление береговой эрозии и угрозы прибрежной инфраструктуре;
- 3) непосредственные риски и возможность стихийных бедствий, возникающих в результате сочетания опасности морского льда и человеческой деятельности, такой как судоходство или разработка морских ресурсов.

Применительно к Азовскому и Каспийскому морям к опасным явлениям, связанным со льдом, можно отнести как аномально большую площадь ледяного покрова, так и аномально малую, которая с одной стороны не препятствует морехозяйственной деятельности, а с другой – не защищает береговую зону от волновой нагрузки; навалы льда на берега, которые создают опасность для прибрежной инфраструктуры; большую продолжительность ледового сезона и раннее ледообразование.

Мониторинг гидрометеорологической обстановки, в том числе опасных природных явлений, на территории российского сектора Азовского и Каспийского морей осуществляет ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», которым разработан перечень и критерии ОПЯ для территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов (утверждено приказом ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 № 22 с изменениями, утверждёнными приказами ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 17.05.2016 № 69 и от 22.06.2016 № 81). Перечень и критерии ОПЯ, составлены с учетом рекомендаций Всемирной метеорологической организации (ВМО). На основании этого перечня территориальные органы (совместно с ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р и ЦГМС) разрабатывают региональные перечни и критерии ОПЯ с учетом природно-климатических особенностей и хозяйственно-экономических условий.

Перечень и критерии опасных ледовых явлений, характерных для Азовского и Каспийского морей, представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 Наблюдаемые опасные ледовые явления и их критерии, утвержденные Росгидрометом (Приказ..., 2016)

<i>Опасное явление</i>	<i>Локализация</i>	<i>Критерии</i>
Раннее появление льда*	Появление ледяного покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет на Азовском, Каспийском морях	Северный Каспий: Конец октября – начало ноября. Азовское море: 20 ноября северная часть, 10 декабря - южная
Интенсивный дрейф льда	Дрейф ледяных полей (льдин размером не менее 500 м) со скоростью не менее 1 км/ч на Азовском, Каспийском морях	
Появление льда, непроходимого судами и ледоколами в период навигации на судовых трассах и в районах рыбного промысла	Азовское, Каспийское моря	
Отрыв прибрежных льдов в местах выхода людей на лёд	Азовское, Каспийское моря	
Навалы льда на берега и морские гидротехнические сооружения	Каспийское море	
Обледенение судов	Северный Каспий	0.7 см/ч и более

Согласно *ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации* к опасным морским гидрометеорологическим явлениям, связанным со льдом, относятся:

Раннее появление льда – появление ледяного покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет.

Интенсивный дрейф льда – дрейф ледяных полей (льдин размером не менее 500 м) со скоростью не менее 1 км/ч.

В работе (Гидрометеорология и гидрохимия.... 1992), выделены опасные гидрометеорологические явления, которые считаются стихийными, если по своей

интенсивности, продолжительности и району распространения они достигают следующих критериев:

- 1) появление ледяного покрова или припая в ранние сроки, повторяющиеся не чаще чем 1 раз в 10 лет;
- 2) напор льдов, интенсивный дрейф льдов, угрожающие морским портовым, нефтепромысловым и береговым сооружениям;
- 3) установление ледяного покрова, непроходимого судами и ледоколами, в период навигации на судовых трассах и в районе промысла;
- 4) быстрое и очень быстрое обледенение судов (0.7 см/ч и более).

Авторы работы (Новиков, Бухарицин, 2009) выделяют следующие опасные гидрологические явления, наблюдающиеся в *Каспийском море*, не указывая при этом критерии опасности этих явлений:

- быстрое обледенение судов, подъёмно-транспортных машин, гидротехнических сооружений и навигационных буй в море, каналах и на берегу (Бухарицин. 2007);

- раннее появление льда в море и каналах, вследствие чего повреждается мелкий рыболовный флот и орудия лова, срываются с якорей и уносятся в море навигационные буи;

- суровые зимы, когда вся акватория Северного Каспия покрывается толстым неподвижным льдом – припаем. При этом затрудняется ледокольное плавание на участке г. Астрахань – порты Каспийского моря, а также рыбный и тюлений промыслы. Большой ущерб наносят суровые зимы водоплавающим птицам, остающимся на зимовку на Северном Каспии. На мелководьях происходят заморы рыбы;

- интенсивный дрейф, подвижки, заторы и торошение льда: деформации ледяного покрова, вызываемые устойчивыми восточными и юго-восточными ветрами, преобладающими на Северном Каспии при всех типах зим, создают сложную ледовую обстановку в районе Астраханского морского рейда и в морской части Волго-Каспийского канала. Этому способствует наличие здесь большого числа мелководных банок. Они снижают скорость движения судов и создают

угрозу их выжимания за габариты судового хода Волго-Каспийского канала и посадки на мель в период зимних плаваний. Тяжелые ледовые условия возникают не только в суровые и умеренные, но и в очень мягкие зимы. Это объясняется тем, что дрейфующий вдоль границы припая на запад плавучий морской лед создает препятствие выходу из канала речного льда. Происходит образование заторных перемычек, причем их мощность может достигать 2-3 м, иногда лед набивается до дна.

В настоящей работе рассматриваются следующие ОПЯ, связанные со льдом:

- 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;
- 3) ранее ледообразование – рассмотрено в разделе 4.3.

5.2 Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность

Азовское и Каспийское моря, расположенные на юге Российской Федерации, имеют важное геополитическое, стратегическое и экономическое значение, что обусловлено выгодным географическим положением. Через Азовское (и Черное) и Каспийское моря Россия граничит с Турцией, Болгарией, Румынией, Ираном и Туркменистаном, а также внутри страны являются транзитными по направлению к европейской территории России и имеют выходы к федеральным округам – Центральному и Поволжскому. Как результат – широко развитая транспортная сеть, в особенности морская (рис.5.1, 5.2). В Азово-Черноморском бассейне расположено 8 портов, в Северном Каспии – 3.

Основными особенностями портов российского сектора Азовского и Каспийского морей являются относительно небольшие глубины и сезонный ледяной покров. Для обеспечения безопасного мореплавания здесь ежегодно проводятся дноуглубительные работы, а в зимний период организована ледовая проводка судов.

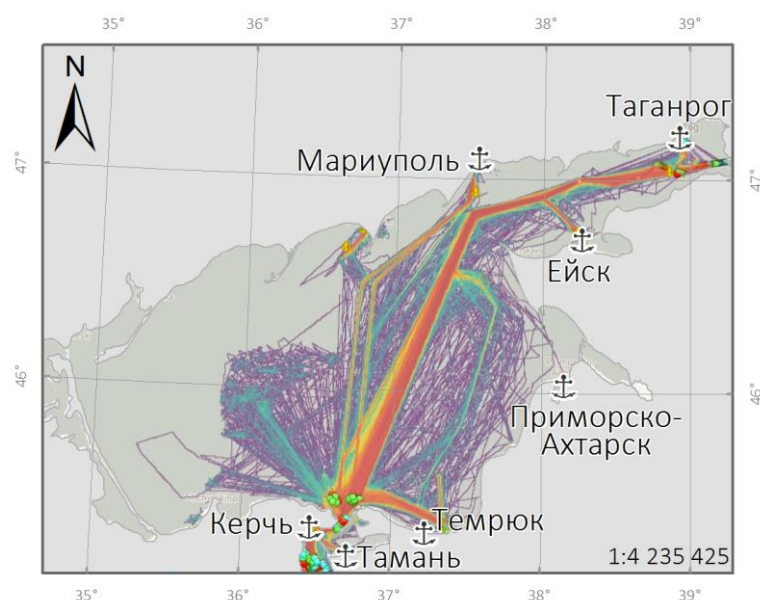


Рисунок 5.1 – Карта движения судов в акватории Азовского моря по данным сайта <https://www.marinetraffic.com/>

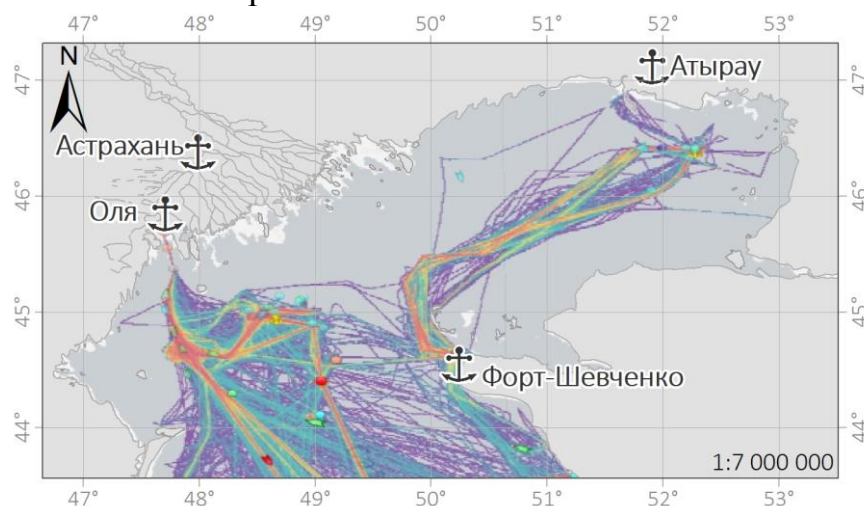


Рисунок 5.2 – Карта движения судов в акватории Каспийского моря по данным сайта <https://www.marinetraffic.com/>

По данным Министерства Транспорта Российской Федерации (Официальный..., 2020) наибольшее число ледовых проводок осуществляется в Азовском бассейне (рис. 5.3) за счет возможности проводки небольших судов караванным методом. Ледокольную проводку здесь осуществляют три ледокола: «Капитан Демидов», «Капитан Мошкин» и «Капитан Чудинов», ледокол-буксир-толкач-спасатель «Фанагория», ледокольный буксир «Георгий Седов» (Морские..., 2021), в Каспийском море – ледоколы «Капитан Чечкин», «Капитан Мецайк» и «Капитан Букаев» (Морские..., 2021).

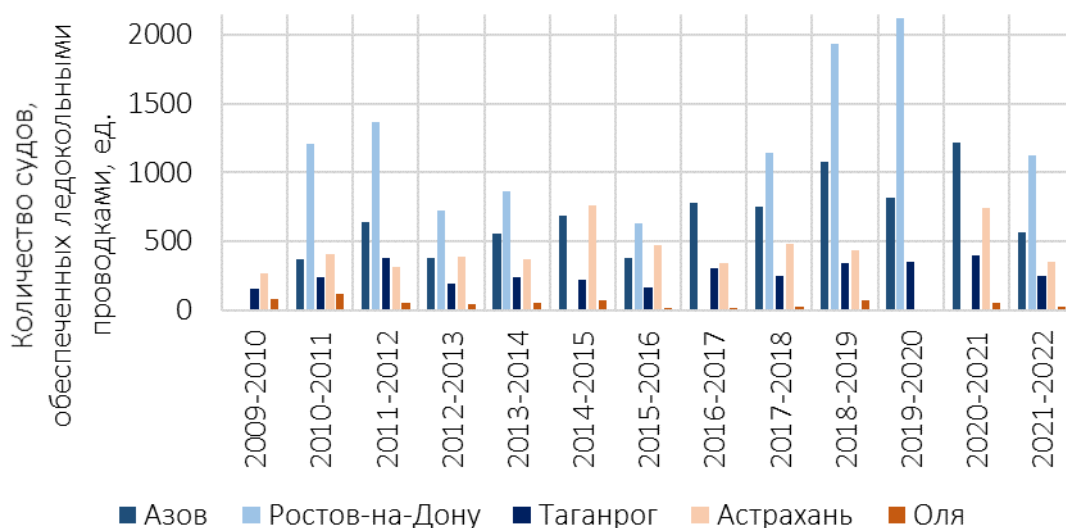


Рисунок 5.3 - Количество судов, обеспеченных ледокольными проводками, осуществивших судозаходы в морские порты Азовского (Азов, Ростов-на-Дону, Таганрог) и Каспийского (Астрахань, Оля) морей по данным ФГУП «Росморпорт»

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. 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. Усложняет судоходство и работу ледоколов активное торшение льда. Вот для примера сообщение с л/к «Афанасий Никитин» от 3.02.1972 г.: «В районе каравана судов (45 37 с.ш., 36 37 в.д.) восточный ветер усилился до 20-25 м/с, началось интенсивное сжатие, продвижение судов прекратилось. В районе дрейфа т/х «Кореиз» началась подвижка льда, торшение. Высота торосов – 6-7 м. Лед был выжат на главную палубу. Судно получило крен» (Думанская, 2014).

Результатом зимы 2005/2006 гг. на Северном Каспии, в Керченском проливе и Азовском море стали арктические ледовые условия с типичными явлениями торшения. Толщина льда достигала 0,5 м, а высота торосов 1,5-2,5 м. судоходство было «заморожено» почти на два месяца (Матишов, 2008).

В открытой части Азовского моря наибольшая торосистость и максимальное число барьеров торосов образуются в юго-западной части моря, что связано с

преобладающим выносом льда в этот район. Это создает благоприятные условия для начала образования подсовов, наслоений, торосов и гряд торосов (рис.5.4). Часто эти гряды садятся на мель и образуются сплошные ледяные барьеры, непроходимые для ледоколов (Гидрометеорологические..., 1992; Атлас..., 1961). Наибольшее количество торосов обычно отмечается у восточных сторон кос северного берега и вдоль Арабатской стрелки. Вдоль береговой линии торосистость велика повсеместно, что объясняется сильной изрезанностью береговой линии, неоднократными вскрытиями и замерзаниями. Исключение составляют Таганрог и Геническ в силу устойчивого существования припая. Высота торосов в открытом море, как правило не превышает одного метра, на прибрежных отмелях торосистые нагромождения иногда достигают 5-10 м.

В отдельные годы на Азовском море могут образовываться гряды торосов высотой до 10-12 м. Например, в аномально-холодные зимы (такие как 2006 и 2012 гг.) в Азовском море наблюдались торосы до 2 м высотой (Матишов и др., 2010).

На Северном Каспии положение кромки припая в течение холодного сезона постоянно изменяется, поэтому полоса активного торошения захватывает большую площадь. Следствием этих процессов является формирование гряд торосов, перпендикулярных направлению ветра, как на границе устойчивого, так и в зоне неустойчивого припая (Огородов и др., 2019). При посадке торосов на грунт и последующем их нагромождении на мелководье образуются стамухи.

Подвижки ледяных торосистых образований приводят к механическому выпахиванию дна, образованию специфических ледово-экзарационных форм (Barnes et al. 1984, Кошечкин, 1958). Данные процессы представляют опасность для гидротехнических и др. инженерных сооружений. Так, подводные трубопроводы, в Российском и Казахстанском секторах Северного Каспия, проложены без заглубления в грунт. Результат долго не заставил себя ждать: в зимний сезон 2012-2013 годов подвижки и наслоение льдин, толщина которых достигала нескольких десятков сантиметров, привели к аварии на нефтепромысле «Кашаган» в Казахском секторе Северного Каспия, где льдом были повреждены четыре нитки трубопровода, проложенного по дну без заглубления (Огородов и др, 2019).



Рисунок 5.4 – Торосы в Азовском море (<http://www.fgids.com/news/2235/>)

Также серьезную опасность для морских операций представляет раннее появление льда или припая – при раннем появлении льда в море и каналах срываются с якорей и уносятся в море навигационные буи. Однако, как было показано ранее (см. раздел 4.3 настоящей работы) с начала 2000-х случаи раннего ледообразования не наблюдаются на исследуемых акваториях, за исключением единичного случая на ГМС Пешной Северного Каспия.



Рисунок 5.5 – Навалы льда на берег в районе с. Красный Десант (северное побережье Таганрогского залива) 14.03.2021 г.

Регулярно наблюдаются случаи навалов льда на берега Азовского моря – например, в зимы 2009/2010, 2010/2011, 2019/2020 (рис.5.5). На Северном Каспии широко распространены навалы льда, погребаящие под собой многочисленные острова и банки, находящиеся выше и ниже текущего положения уровня моря. По своей природе они имеют аналогичное стамухам происхождение. Весной после очищения акватории ото льда, они могут еще достаточно долго сохраняться в рельефе (Огородов и др., 2014).

Таблица 5.2 Виды воздействия опасных ледовых явлений на окружающую среду и морехозяйственную деятельность

ОПАСНОЕ ЛЕДОВОЕ ЯВЛЕНИЕ ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ	Раннее ледообразование	Торошение льда	Припай*
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ	- нарушение процесса миграции и нагула рыб; - нарушение транспорта наносов	- экзарация дна и берегов; - транспорт наносов	- защита береговой зоны от разрушения; - замор, нарушение миграции и промысла рыбы
Биоразнообразие	X		X
Геоморфология		X	
ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МОРЕХОЗЯЙСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ		- повреждение трубопроводов, морских судов и портовой инфраструктуры; - разрушение нефтяных вышек, мостовых переходов	- повреждение морских судов, ограничение их эксплуатации; - остановка морской навигации, разрушение береговой инфраструктуры
Судоходство	X	X	X
Трубопроводы, мостовые переходы		X	X
Рыбный промысел	X	X	X
ПОСЛЕДСТВИЯ	- изменение рельефа дна и берегов; - нарушение биопродуктивности; - экономические потери; - риск техногенных катастроф с человеческими жертвами		

Примечание. * – Установление ледяного покрова, непроходимого судами и ледоколами, в период навигации на судовых трассах и в районе промысла.

Исходя из вышесказанного, наибольшую угрозу для морехозяйственной деятельности представляют ледяные торосистые образования и образование устойчивого ледяного покрова – припая. Данные опасные ледовые явления (ОЛЯ) могут препятствовать судоходству, нарушать безопасную эксплуатацию морских и прибрежных инженерных и гидротехнических сооружений, что ведет к экономическим потерям (табл. 5.2). Для оценки потенциальных угроз и рисков на основе данных из созданной автором ГИС «Ледовый режим южных морей России» в работе выполнено районирование исследуемых акваторий по степени проявления ОЛЯ.

5.3 Районирование Азовского и Каспийского морей по степени опасности ледовых явлений

Для более эффективного морского пространственного планирования, обеспечения безопасности природопользования и эксплуатации морских и прибрежных гидротехнических сооружений необходимы знания о проявлениях опасных природных явлений, в том числе обусловленных ледяным покровом.

На сегодняшний день отсутствует общепринятая методика прогнозирования и оценки риска ОПЯ. Более того, в нормативных документах Росморречфлота и Росгидромета не указано какие ледовые условия можно считать легкими, средними, тяжелыми (или опасными). Одним из способов анализа ОПЯ является составление карт природных опасностей (природного риска), на которых выделяются площади с одинаковой вероятностью развития какой-либо опасности с определенными физическими параметрами в течение заданного интервала времени (Иванова, 2017). Например, районирование территории Томской области по степени климатической и гидрологической напряженности (Невидимова, Янкович, 2009), районирование Краснодарского края по числу нагонных наводнений (Гниломедов, 2018), комплексное районирование территории Северо-Кавказского экономического района по природным рискам (Любимова, Спиридонова, 2012), районирование по степени опасности наводнения в регионе Ясудж, Иран (Rahmati et al., 2016), и др.

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.

В ходе настоящего исследования выполнен анализ вероятности проявления ОЛЯ, определены интегральные показатели экологической опасности (табл. 5.3). Путем суммирования баллов были определен комплексный показатель экологической опасности и составлены картосхемы районирования акваторий по степени проявления ОЛЯ.

Таблица 5.3 Интегральные показатели проявления опасных ледовых явлений на исследуемых акваториях

Вероятность встречи ОЛЯ, %	Балл	Экологическая опасность
0-25	1	Низкая
26-75	2	Средняя
76-100	3	Высокая

Припай

Припай – устойчивый ледяной покров, с одной стороны является опасным ледовым явлением, так как препятствует нормальному функционированию морских и гидротехнических сооружений, с другой выступает в качестве рельефообразующего фактора береговой зоны. Берега подвержены ледовым воздействиям как в период осеннего ледообразования, так и во время весеннего разрушения припая и очищения моря ото льдов. В замерзающих морях с неустойчивым ледяным покровом, где припай не образуется или часто взламывается, надвиги и навалы морских льдов на берег случаются в течение всего ледового сезона (Огородов, 2011). Исходя из этого, припай в работе рассмотрен отдельно. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для

комплексной оценки воздействия опасных гидрометеорологических явлений (штормовое волнение, краткосрочные колебания уровня) на береговую зону исследуемых морей.

Высокая степень экологической опасности припая (т.е. вероятность возникновения опасного ледового явления) характерна для мелководных прибрежных районов и заливов – Таганрогский и Таманский заливы, Бейсугский и Утлюкский лиманы (рис. 5.6, 5.7). Здесь расположены порты – Таганрог, Мариуполь, Ейск и Тамань и, следовательно, крупные судоходные пути. Низкая степень экологической опасности – в открытой части моря ввиду того, что припай здесь образуется исключительно в суровые и экстремально суровые зимы, например, 1928/1929, 1931/1932, 1953/1954. Однако в современный период на фоне климатических изменений площадь припая сокращается, а в последние годы не наблюдается вовсе (см. раздел 4.5).

Так в Арктике, прибрежно-шельфовая зона которой большую часть времени покрыта припайными и дрейфующими льдами, величина суммарного расхода волновой и приливной энергии сокращается в 5–10 раз (Сафьянов, 1978; Огородов, 2011). Следовательно, сокращение площади и продолжительности припая приводит к увеличению нагрузки на берега и интенсификации опасных абразионных процессов (Магаева, Яицкая, 2021).

Сравнительный анализ районирования по степени экологической опасности припая для периодов 2000-2009 и 2010-2019 гг. показал, что степень экологической опасности припая снижается, что с одной стороны, оказывает положительное влияние на судоходство, так как устойчивый ледяной покров не препятствует движению морских судов, с другой стороны, установившийся припай защищает береговую зону от динамического воздействия, замедляя абразионные процессы, а там, где образуется припай прекращается перемещение наносов на подводном склоне (Зенкович, 1962).



Рисунок 5.6 – Районирование Азовского моря по степени опасности припая для периода 2000-2009 гг.



Рисунок 5.7 – Районирование Азовского моря по степени опасности припая для периода 2010-2019 гг.

Большая часть акватории Северного Каспия подвержена высокой степени экологической опасности припая, при этом эта область увеличивается в 2010-2019 гг. по сравнению с 2000-2009 гг. (рис. 5.8, 5.9). Опасные береговые процессы на Северном Каспии распространены слабо, так большая часть берегов относится к аккумулятивным. Однако здесь активно осваиваются месторождения нефти и газа, для инфраструктуры которых припай представляет большую опасность.

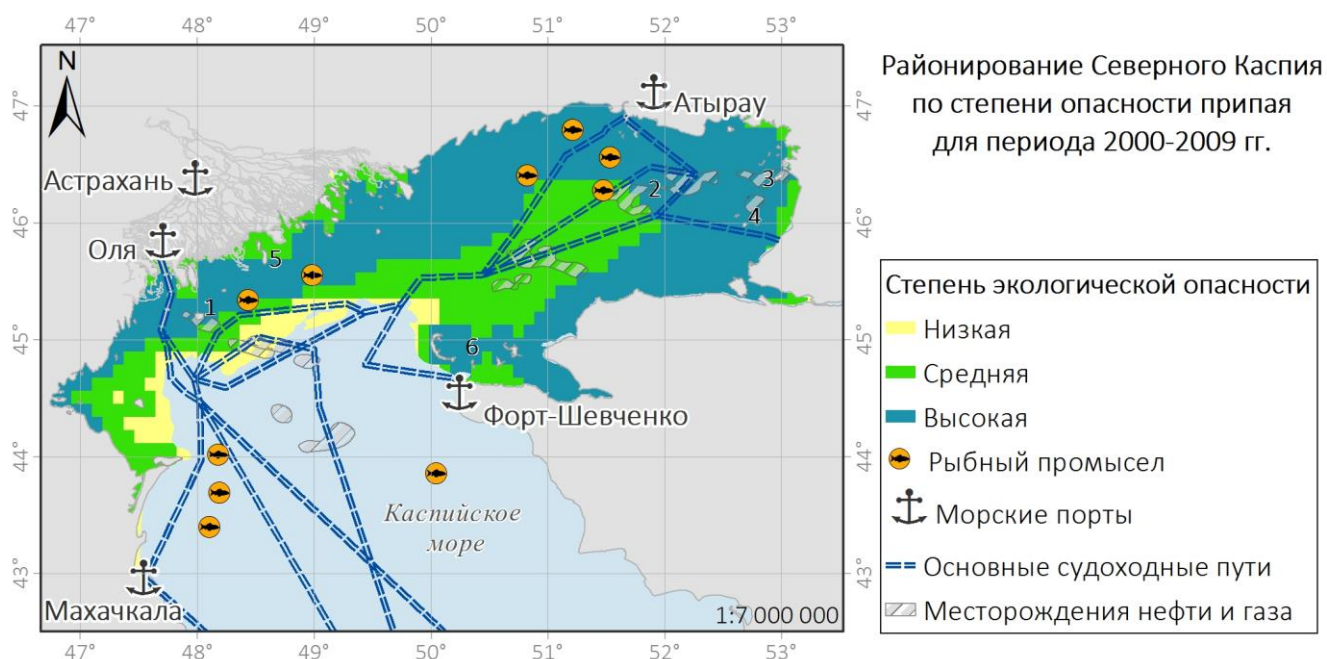


Рисунок 5.8 – Районирование Северного Каспия по степени экологической опасности припая для периода 2000-2009 гг.

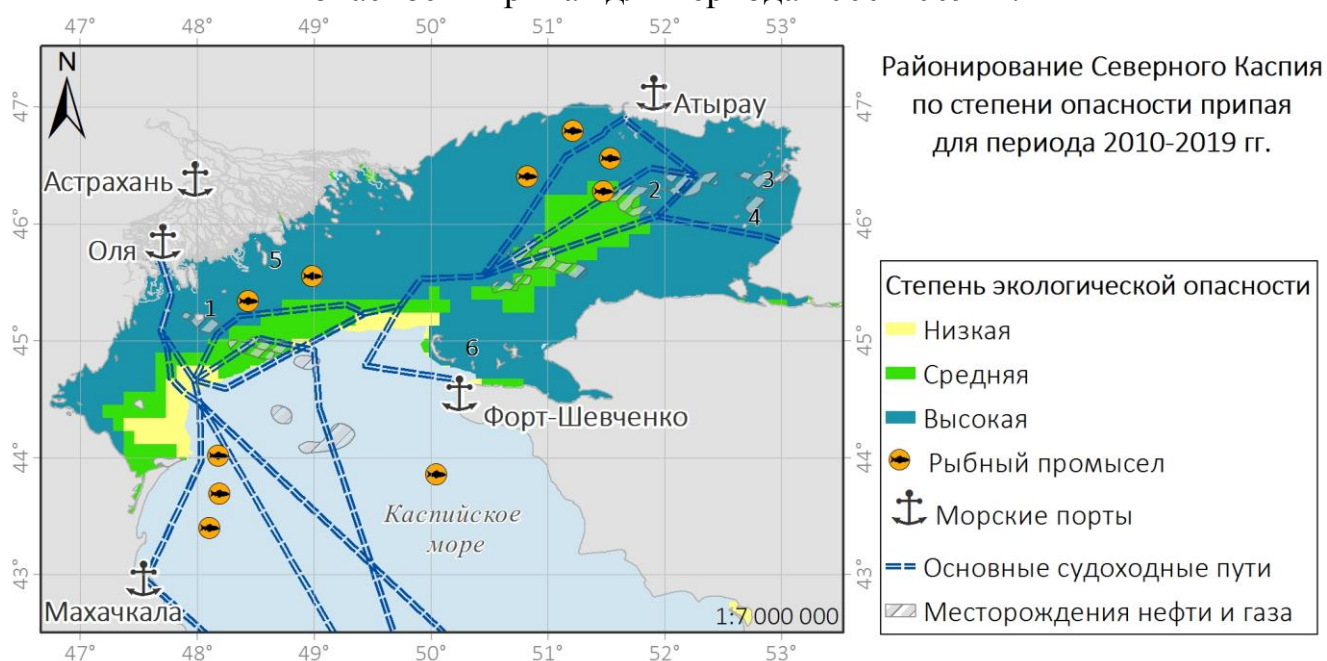


Рисунок 5.9 – Районирование Северного Каспия по степени экологической опасности припая для периода 2010-2019 гг.

Районирование по степени проявления опасных ледовых явлений

Для акватории Азовского моря высокая и очень высокая степень экологической опасности характерны для всего побережья Таганрогского залива и его восточной части – здесь расположены крупные порты, сосредоточены судоходные пути и каналы, районы рыбного промысла (рис. 5.10). Малые глубины – до 5 м еще больше усложняют здесь морехозяйственную деятельность.

Побережье Арабатской стрелки и Утлюкского лимана также подвержены высокой и очень высокой степени экологической 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.

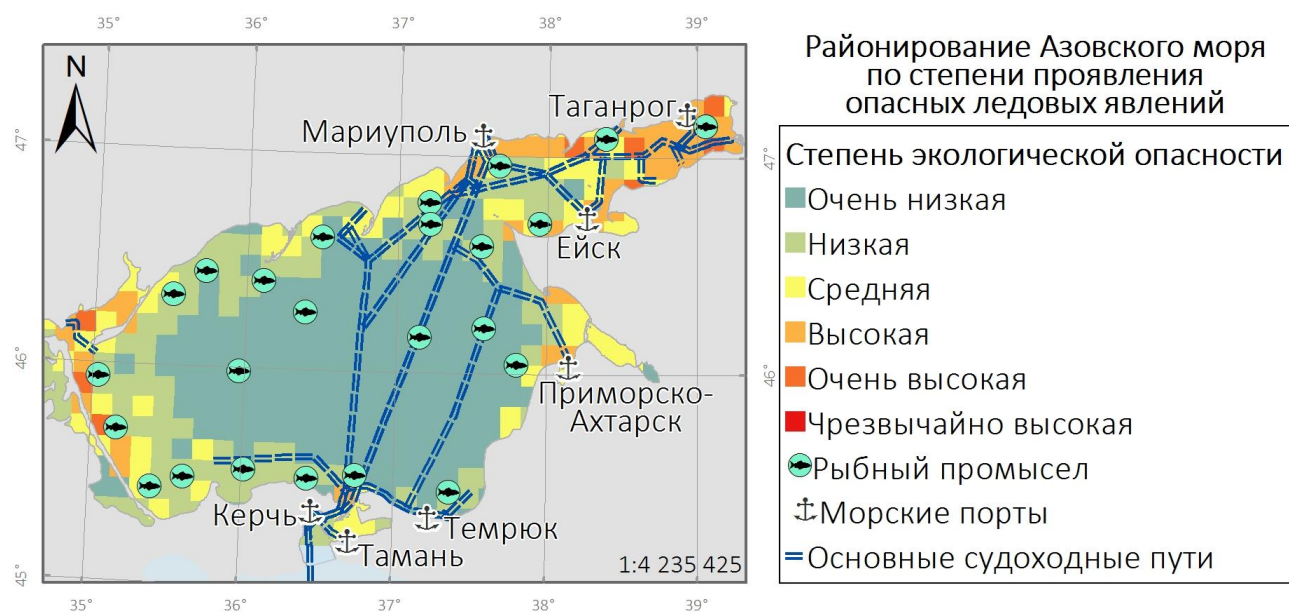


Рисунок 5.10 – Районирование Азовского моря по степени проявления опасных ледовых явлений

Керченский пролив характеризуется средней и высокой степенью экологической опасности. Через пролив проходит Керчь-Еникальский канал – судоходный путь между Азовским и Черным морями, годовой транзит судов по каналу достигает 19 тыс. проходов (Крымский..., 2018). Здесь расположен второй по грузообороту РФ (Транспортный..., 2016) порт в Азово-Черноморском бассейне – порт Кавказ, а также порт Керчь. Через Керченский пролив проходит важнейшая для юга страны транспортная переправа – Крымский мост. Ледяной покров в проливе может значительно осложнять морехозяйственную деятельность (рис. 5.11). В 1944 г. мост через Керченский пролив уже строился, но в феврале 1945 г. после 15 дней непрекращающихся штормовых условий вместе с движением ледовых полей этот мост был деформирован и разрушен. Сильный северо-восточный ветер нагнал лед толщиной 0,5–1 м в пролив, который 18 февраля 1945

г. разрушил 32 опоры моста, которые не имели ледорезов (Лаврова и др., 2017). Современные технологии позволяют осуществлять строительство и эксплуатацию таких инженерных конструкций, однако знания о возможных проявлениях опасных ледовых явлений позволят избежать негативных последствий.



Рисунок 5.11 – Суда, пересекающие крупное ледяное поле, на выходе из Керченского пролива (вверху) и «нарезка» ледяного покрова опорами моста на отдельные льдины-блоки шириной ~20 м (внизу) на фрагментах снимка спутника SPOT-6 от 11.02.2017 (07:54 UTC). © Airbus Defence and Space, СКАНЭКС (Официальный..., 2017)

Для центральной части моря характерна очень низкая степень экологической 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 экологической опасности (рис.5.12), 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 Актоты (казахстанский сектор), а также подходы к портам Оля и Атырау.

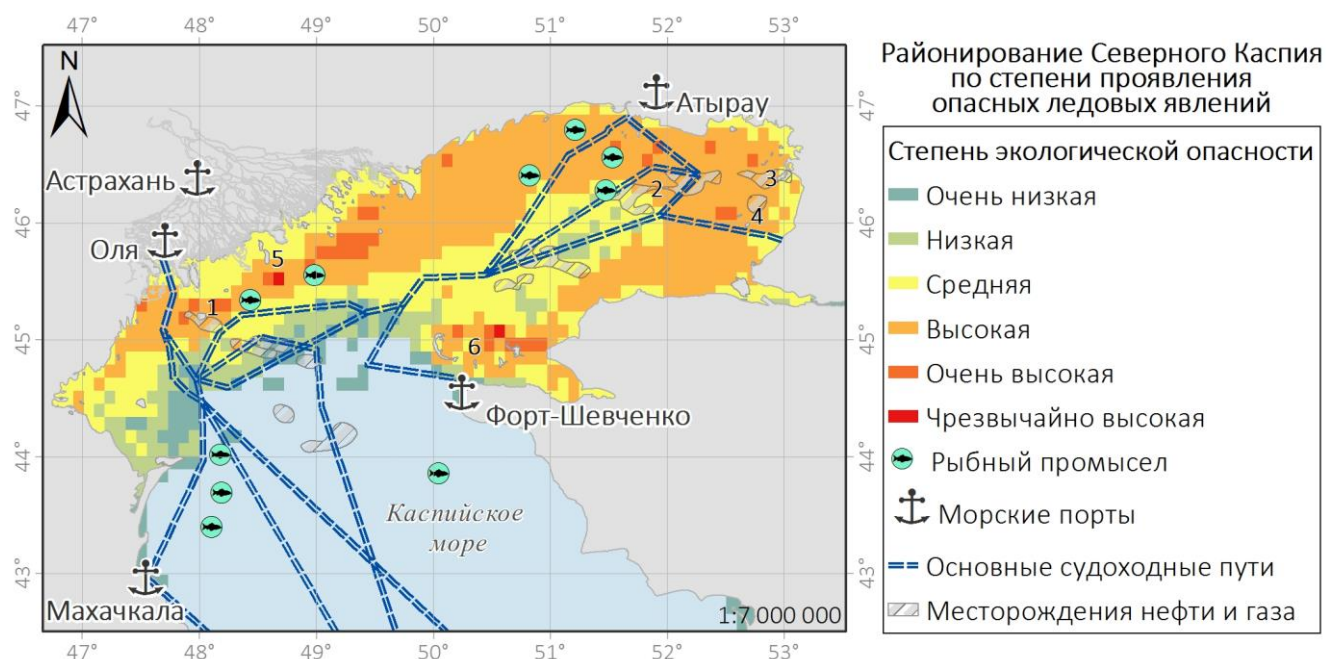


Рисунок 5.12 – Районирование Северного Каспия по степени проявления опасных ледовых явлений

Месторождения нефти и газа: 1 – Западно-Ракушечная, 2 – Кашаган, 3 – Кайран, 4 – Актоты;
5 – о. Большой Сетной, 6 – Тюленьи острова

Чрезвычайно высокая степень экологической 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., и сгонно-нагонными колебаниями уровня, во время которых ЛТО могут заноситься на мелководье, садясь на дно при падении уровня, и даже оказываться на суше. В работе (Бухарицин, 1984) описаны примеры переноса льдов через острова.

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

Выводы к главе 5

Проанализированы опасные ледовые явления на акваториях Азовского и Каспийского морей и их влияние на окружающую среду и морехозяйственную деятельность. Последствия проявления ОЛЯ выражены в изменении рельефа дна и берегов, нарушении биопродуктивности, экономических потерях из-за приостановки морской навигации и повреждения морского флота и гидротехнических сооружений, увеличении риска техногенных катастроф с человеческими жертвами. Выявлены наиболее повторяющиеся в пространственно-временном масштабе ОЛЯ – припай и ледяные торосистые образования. Установлена их вероятность проявления.

Выполнено районирование акваторий по степени опасности припая отдельно и совместного воздействия припая и ледяных торосистых образований. Определены интегральные показатели экологической опасности. Для акватории Азовского моря высокая и очень высокая степень экологической опасности характерны для всего побережья Таганрогского залива и его восточной части. Бóльшая часть акватории Северного Каспия подвержена высокой, местами очень высокой степени экологической опасности, что обусловлено динамичностью припая в течении зимнего сезона и как следствие активному торошению льда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования получены следующие результаты:

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) С помощью ГИС-технологий создан комплект ледовых карт Азовского и Каспийского морей:

- ежемесячные карты вероятности встречи льда и припая,
- карты типовой ледовой обстановки для зим различной суровости,
- карты распределения ледяных торосистых образований,
- карты вероятности проявления опасных ледовых явлений.

Карты имеют самостоятельную ценность для специализированного обеспечения безопасности морских операций в Азовском и Каспийском морях в ледовый период.

3) Выполнена оценка и картирование 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. В прибрежных восточных районах средней части Каспийского моря ледяной покров наблюдается в 25% случаев или не наблюдается вовсе.

4) 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.

5) 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 °C 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 натурных 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.

6) 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.).

7) 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.

8) Выделено пять типовых ледовых сезонов, 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 ($1,1^{\circ}\text{C}$ и $1,6^{\circ}\text{C}$ соответственно) и марте ($0,2^{\circ}\text{C}$), 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.

9) Выполнена оценка вероятности и последствия проявления типовых ледовых сезонов для основных портов Азовского – Таганрог и Керчь, и Каспийского морей – Оля. Определены уровни экологической опасности – высокий уровень характерен для II и III типовых ледовых сезонов, в течение которых вероятна приостановка морской навигации и рыбного промысла, повреждение портовой инфраструктуры и судов, обледенение малых судов.

10) 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 $\sim 10\%$ 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.

11) На основе вековой базы геоданных установлен режимный сдвиг ледового сезона – в климатический период 1991-2020 гг. на фоне роста температур воздуха и воды ледовитость сократилась на 6-9%, продолжительность ледового сезона – на 11-14 дней для Азовского и Каспийского морей соответственно.

12) Проанализированы опасные ледовые явления на акваториях Азовского и Каспийского морей и их влияние на окружающую среду и морехозяйственную деятельность. Последствия проявления ОЛЯ выражены в изменении рельефа дна и

берегов, нарушении биопродуктивности, экономических потерях из-за приостановки морской навигации и повреждении морского флота и гидротехнических сооружений, увеличении риска техногенных катастроф с человеческими жертвами.

13) 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 ПО 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., **Magaeva A. A.**, 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. Vol. 13. No3. Pp. 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. **Magaeva A.A.**, 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.38, № 4. с.372-388. DOI: 10.22449/0233-7584-2022-4-372-388
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. С. 709–718. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-709-718

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. **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.

4. **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.

5. **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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. **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.

10. **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.

11. 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.

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

13. 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.

14. Магаева А.А., Огородов С.А., Мазнев С.В., Яицкая Н.А., Верняев С., Сигитов А., Кадронов 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.

15. **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.

16. 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.

17. **Магаева А.А.**, Яицкая Н.А. Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность Азовского и Каспийского морей // Развитие водных транспортных магистралей в условиях глобального изменения климата на территории Российской Федерации (Евразии) («Опасные явления – IV») памяти членакорреспондента РАН Д.Г. Матишова: материалы IV Международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 5–9 сентября 2022 г.). — Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2022. С.81-84.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин Р.К. Современное состояние картографирования опасных гидрометеорологических явлений // Географический вестник. 2016. №3 (38). с.151-160.
2. Абузьяров З. К., Думанская И. О., Нестеров Е. С. Оперативное океанографическое обслуживание //Обнинск:«ИГ–СОЦИН. – 2009, 286 с.
3. Агафонова С. А., Фролова Н. Л. Влияние ледового режима рек севера европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. №4. с.55-61.
4. Алексеев А. Г., Курочкина Т. Ф. Экологическая безопасность при проведении геологоразведочных работ на Северном Каспии //Естественные науки. 2008. №. 4. С. 8-15.
5. Анисимов Л. А., Банькин К. И., Донцова О. Л. Анализ рисков при строительстве и эксплуатации нефтегазовых сооружений в Северном Каспии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 39. №. 58. С. 54-67.
6. Антонов Л. Материалы по гидрологии Азовского моря // Записки по гидрографии т.51. Л. 1926. С. 195-224.
7. Антонова М. М. Комплексная оценка опасных гидрогеологических явлений в бассейне Волги //Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 1. С. 48-54.
8. Антонюк А. Ю. Особенности океанологических процессов в Каспийском море, выявленные с помощью дистанционного зондирования //Труды Государственного океанографического института. 2014. №. 215. С. 302-318.
9. Архив региональных ледовых карт ААНИИ // Мировой центр данных по морскому льду <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> [Электронный ресурс].
10. Атлас льдов Каспийского моря. 1961. Сост. ГУГМС, ГОИН, УГМС Азербайджанской ССР. Л., Гидрометеиздат.

11. Атлас льдов Черного и Азовского морей / Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю., Белогудов А.А., Горбач С.Б.; Севастопольское отделение федерального государственного бюджетного учреждения "Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова". Севастополь, 2015. 219 с.
12. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: учеб. пособие / В.Ф. Логинов [и др.]. – М. : Мещер. Ф-л ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2016 – 58 с.
13. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2005. 269 с.
14. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций: Российская федерация. Дальневосточный федеральный округ / под общ.ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2007. 324 с.
15. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций: Российская Федерация. Приволжский федеральный округ / под общ.ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2008. 323 с.
16. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций: Российская Федерация. Сибирский федеральный округ / под общ.ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2009. 382 с.
17. Афанасьева Е.В., Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Демчев Д.М., Чуфарова М.С., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С. Методика составления ледовых карт ААНИИ //Российская Арктика. 2019. №. 7. С. 5-20.
18. Байдин С., Косарев А. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. 262 с.
19. Белоусова А. П., Руденко Е. Э. Диагностика экологического состояния бассейна реки Волги //Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №. 2 (82). С. 12-26.
20. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Мисиров С.А. Штормовые нагоны в Азовском море и их влияние на абразионные процессы // Труды Южного научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 8. С. 111-121.

21. Бердников С.В. Разработка и применение компартментальных моделей для изучения пространственных характеристик морских экологических систем. Дисс. на соиск. учен. степ. доктора географ. Мурманск, 2004. 335 с.
22. Бердников С. В., Дашкевич Л. В., Кулыгин В. В. //Доклады Российской Академии Наук. 2022. Т. 503. №. 1. С. 65-70.
23. Бердников С. В., Дашкевич Л. В., Кулыгин В. В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX-начале XXI вв //Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. №. 2. С. 7-19.
24. Бердников С.В. Моделирование крупномасштабных изменений океанологических характеристик экосистемы Азовского моря // Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. С. 137-229.
25. Болгов М. В., Беляев А. И., Пугачева А. М., Власенко М. В., Шульгин М. В. Азово-Донская водная проблема //Водные ресурсы. 2020. Т. 47. №. 6. С. 755-766.
26. Болгов М.В., Красножон Г.Ф, Любушин А.А. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.:Наука, 2007. 381 с.
27. Болдырев Б. Ю. Разработка концепции комплексной системы гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания на Каспийском море : дис. – Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ), 2009.
28. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М.: Научный мир, 2009. 692 с.
29. Боровская Р.В. Особенности ледового режима Керченского пролива за последние 15 лет по данным спутниковых наблюдений //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. 2006. Т. 14. С. 253.
30. Боровская Р.В., Лексикова Л.А. Особенности ледового режима Азовского моря в зимний период 2007-2008 гг. // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона: Материалы IV Международной конференции, 8-9 октября 2008 г., Керчь, ЮгНИРО. — Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 2008. С. 30-35.
31. Букатов А. Е., Бабий М. В., Моисеева Е. А. Климатическая изменчивость температуры воздуха, количества осадков и режима облачности в районе

Азовского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2009. №. 18. С. 168-179.

32. Букатов А.Е., Павленко Е.А. Анализ связи климатической изменчивости метеорологических характеристик и ледового режима Азовского моря с индексами атмосферной циркуляции // Физические проблемы экологии. 2012. Т.18. С. 48-72.

33. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> [Электронный ресурс].

34. Бухарицин П. И. Влияние дрейфующих льдов на формирование рельефа дна и состава донных отложений мелководных районов Северного Каспия // Научно-технический журнал. Геология, география и глобальная энергия. 2010. №. 2. С. 98-101.

35. Бухарицин П. И. Ледовые условия на Северном Каспии // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. №. 5. С. 64-67.

36. Бухарицин П. И. Метод расчета и прогноза толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия // Водные ресурсы. 1992. №. 5. С.60-64.

37. Бухарицин П. И. Обледенение на Каспийском море // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. №. 6. С. 154-156.

38. Бухарицин П. И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. 1984. №. 6. С. 115-123.

39. Бухарицин П. И. Расчет и прогноз толщины наслоенного льда в судоходных районах северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 1986. №. 4. С. 87-93.

40. Бухарицин П. И. Сравнительные характеристики многолетней изменчивости ледяного покрова северной части Каспийского и Азовского морей

//Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. №. 3. с.207-213.

41. Бухарицин П. И., Огородов С. А., Архипов В. В. Воздействие ледяных образований на дно Северного Каспия в условиях колебаний уровня и ледовитости //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2015. №. 2. С. 101-108.

42. Бухарицин П.И. Использование снимков ИСЗ «Метеор» для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии// Тр. ГМЦ, 1983. Вып. 255.С.70-75.

43. Бухарицин П.И. Создание электронного архива карт ледовых авиаразведок по Северному Каспию // Вестник АГТУ. 2012. №1. с.18-20.

44. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 271 с.

45. Валлер Ф.И. Некоторые черты ледового режима северной части Каспийского моря // Сб. работ Астрах. ГМО. 1970. Вып.1. С.103-112.

46. Винецкая Н. И. Соленость вод Северного Каспия // Труды ВНИРО. 1959. Т.38. С.26-51.

47. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада лтд, 2016. 378 с.

48. Врангель Ф.Ф. О физических исследованиях в Черном и Азовском морях // Мор. сб. 1875. №12. С. 9-29.

49. Гаргопа Ю.М. Крупномасштабные колебания в системе Азовского моря // Новейшие экологические феномены в Азовском море (вторая половина XX века). Т.V. – Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2003. С. 14-220.

50. Гаргопа Ю.М. Климатические изменения экосистем южных морей // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей. Т.VIII. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. – с.17-31.

51. Гаргопа Ю.М. Закономерности многолетней динамики океанографических процессов и компонентов биоты Азовского моря // Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С.44-71.

52. Гаргопа Ю. М. Климатические изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий //Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона. 2012. С. 219-225.

53. Гельфан А. Н., Фролова Н. Л., Магрицкий Д. В., Киреева М. Б., Григорьев, В. Ю., Мотовилов Ю. Г., Гусев Е. М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз //Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. №. 1. С. 36-79.

54. Гидрологический справочник морей СССР. Т. III. Азовское море / ред. Книпович Н.М., Брегман Г.Р. // ЦУЕГМС, Москва, Ленинград, 1936. 221 с.

55. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3. Азовское море. Л: Гидрометеиздат, 1986. 218 с.

56. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 270 с.

57. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море. - СПб.: Гидрометеиздат. 1991. 237 с.

58. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI Каспийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 360 с.

59. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI Каспийское море. Выпуск 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1996. 224 с.

60. Гинзбург А. И., Костяной А. Г. Тенденции изменений гидрометеорологических параметров Каспийского моря в современный период (1990-е-2017 гг.) //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. №. 7. С. 195-207.

61. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Серых И. В., Лебедев С. А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря (1980–2020) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. №. 5. С. 277-291.

62. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Серых И. В., Лебедев С. А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Черного и Азовского морей (1980–2020) //Океанология. 2021. Т. 61. №. 6. С. 900-912.
63. Глушков С. В. Планирование ледокольных проводок судов в Волго-Каспийском бассейне //Научные проблемы водного транспорта. 2018. №. 56. С. 112-119.
64. Гниломедов Е. В. Обзор опасных гидрологических явлений Краснодарского края //Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации-Мирового центра данных. 2018. №. 183. С. 105-134.
65. Горбач С. Б., Дьяков Н. Н., Фомин В. В., Мартынов Е. С. Многолетние изменения температуры воздуха в Азовском регионе //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. №. 18. С. 158-167.
66. Горбач С. Б., Иванов В. А., Дьяков Н. Н., Фомин В. В. Современный режим атмосферных осадков Азовского моря //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. 2004. Т. 10. С. 27-33.
67. ГОСТ Р 52439-2005 «Модели местности цифровые. Каталог объектов местности. Требования к составу». М.: Стандартинформ, 2006. – 54 с.
68. ГОСТ Р. 22.0. 03-95 //Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. М. – 1995.
69. Государственный водный кадастр: Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек: Разд. 1 Поверхностные воды: Сер. 2. Ежегодные данные. Т.13 Азовское море / Государственный Океанографический институт, Севастопольское отделение. ВНИИГМИ, 1988. 114 с.
70. Гулёв С. К., Катцов В. М., Соломина О. Н. Глобальное потепление продолжается //Вестник РАН. 2008. Т. 78. №. 1. С. 20-27.
71. Гюль К.К. Ледовый режим Каспийского моря // Тр. Ин-та географии АН АзССР. 1955. Т.5. С.72-95.

72. Гюль К.К. Состояние изученности ледового режима Каспийского моря и перспективы его дальнейшего изучения // Исследования льдов южных морей СССР.: Сборник статей. 1973. с. 7-18.

73. Данилин И.М., Целитан И.А. Геоэкологическая оценка аграрных территорий Красноярского края по воздействию опасных природных явлений. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. №3. с.100-106.

74. Данилов-Данильян В. И. Глобальные климатические изменения и водные проблемы России и мира //Век глобализации. 2020. №. 4. С. 65-78.

75. Дашкевич Л. В. Климатиндуцированные изменения гидрологического режима Азовского моря //Труды Южного научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 8. С. 30-40.

76. Дашкевич Л. В., Кулыгин В. В. Оценка средней температуры поверхностного слоя Азовского моря на основе данных спутниковой съёмки и наблюдений прибрежных гидрометеостанций //ИнтерКарто. ИнтерГис. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. Материалы международной конференции. 2019. С. 112-120.

77. Дашкевич Л. В., Немцева Л. Д., Бердников С. В. Моделирование многолетнего ледового режима Азовского моря //Труды Южного научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 8. С. 50-60.

78. Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 5. С. 563–572.

79. Дашкевич Л.В., Немцева Л.Д., Бердников С.В. Оценка ледовитости Азовского моря в XXI веке по спутниковым снимкам Terra/Aqua MODIS и результатам математического моделирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 91–100.

80. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). – Санкт-Петербург; Саратов : Амирит, 2020. – 120 с.

81. Доронин Ю.П. Региональная океанология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 502 с.

82. Думанская И. О. Анализ влияния центров действия атмосферы на характер зим на морях европейской части России //Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2011. №. 345. С. 51-73.

83. Думанская И. О. Ледовые условия морей европейской части России. М.:ИГ–СОЦИН. – 2014. 608 с.

84. Думанская И. О. Ледовые условия Северного Каспия в различные макроциркуляционные эпохи XX и XXI веков //Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. №. 3. С. 87-103.

85. Думанская И.О. Типовые условия на основных судоходных трассах морей европейской части России для зим различной суровости // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2013. №350. С.142-166.

86. Дьяков Н.Н. Современный гидрометеорологический режим Азовского моря: автореф. дис. канд. географ. наук.Севастополь, 2010. 21 с.

87. Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю., Белогудов А.А. Изменение ледовых условий Азово-черноморского бассейна // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря 2014. №28. С.122-137.

88. Дьяконов К. Н., Ретеюм А. Ю. Астрогеография природных аномалий //Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. №. 6. С. 108-115.

89. Егоров А. Г. Прогноз сроков устойчивого ледообразования в юго-западной части Карского моря //Современные проблемы науки и образования. 2012. №. 4. С. 328-328.

90. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане «ЕСИМО» <http://portal.esimo.ru/portal> [Электронный ресурс].

91. Иванова О. А. Опыт исследования опасных природных явлений в Российской Федерации на современном этапе //Астраханский вестник экологического образования. 2017. №. 2. С. 29-34.

92. Ивкина Н.И., Наурозбаева Ж.К. Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата//Гидрометеорология и экология. 2015. № 2 (77). С. 28-35.

93. Ивкина Н.И., Султанов Н.К. Особенности ледообразования в северо-восточной части Каспийского моря//Экология. 2012. № 4. С. 42.

94. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями: руководящий документ. РД 52.04.563-2013. СПб., 2013. 52 с.

95. Инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности // Экологическая безопасность. Библиотека журнала "Социальная защита" Вып. № 11. М., 1997. С. 108-133.

96. Казьмин А. С. Долгопериодная изменчивость гидрометеорологических параметров в акватории Каспийского моря. Часть 1: Описание данных //Океанологические исследования. 2019. Т. 47. №. 5. С. 65-73.

97. Каракаш Е.С. Об изменчивости положения кромки льда в Северном Каспии и возможности ее предсказания // Тр. ГОИН / Вып. 76, 1964. с.80-88.

98. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. [Ред. С.С. Байдин, А.Н. Косарев]. Москва: Изд-во «Наука», 1986. 261 с.

99. Каспийское море. Выпуск 3 Ледовые условия / Веселова Л.Е., Валлер Ф.И., Мухамеджанова Х.Ю. под ред. Волкова Н.А. / Закавказский научно-исследовательский региональный институт. Бакинское отделение. С.208-229.

100. Клячкин С.В. Оценки интенсивности и частоты образования навалов льда на северо-западном побережье Каспийского моря по результатам модельных расчетов // Метеорология и гидрология. 2011. № 3. С. 72-81.

101. Коробов В. Б., Котова Е. И., Кочуров Б. И. Интегральные и интегрированные показатели в геоэкологических оценках территорий и акваторий //Проблемы региональной экологии. 2021. №. 4. С. 107-111.

102. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Каспийском море в 1914-1915 гг. //Тр. Касп. экспедиции. 1921. 943 С.

103. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Азовском море // Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции. М.: 1932. Вып. 5. 495 с.

104. Книпович Н.М. Гидрологический справочник морей СССР. Том 2 Каспийское море. Выпуск 1 Справочник Каспийского моря – Ленинград, 1935. 185 С.

105. Костяной А. Г., Гинзбург А. И., Лебедев С. А. Климатическая изменчивость гидрометеорологических параметров морей России в 1979-2011 годах // Труды Главной геофизической обсерватории им. АИ Воейкова. 2014. №. 570. С. 50-87.

106. Кошечкин Б.И. Следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна мелководных участков Северного Каспия // Труды Лаборатории аэрометодов АН СССР. 1958. т. 6. С. 227-234.

107. Красножон Г. Ф., Любомирова К. С. Изучение ледового режима Северного Каспия по данным метеорологических спутников Земли // Исследование Земли из космоса. 1987. №. 5. С. 14.

108. Красножон Г. Ф., Любомирова К. С. Ледовый режим Северного Каспия // Комплексные исследования Северного Каспия: сборник научных трудов. 1988. С. 106.

109. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на Черном и Азовском морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Труды ГОИН. 1964. № 76. С. 7-79.

110. Кулыгин В. В. Подход к оценке рисков опасных природных явлений в морехозяйственных системах // Проблемы анализа риска. 2017. Т. 14. №. 2. С. 64-73.

111. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Ледовая обстановка в Керченском проливе в текущем столетии. Ретроспективный анализ на основе спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. №. 2. С. 148-166.

112. Либина Н. В., Никифоров С. Л. Экзарационные явления на восточном арктическом шельфе России //Вестник Мурманского государственного технического университета. 2018. Т. 21. №. 1. С. 139-149.

113. Лобанов В. А., Бобков А. П. Опыт ледового плавания судов в Азовском море // Научные проблемы водного транспорта. 2007. №23. с.40-46.

114. Лобанов В. А., Наурозбаева Ж. К. Климатические изменения толщины льда на северном Каспии //Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. №. 53. С. 172-187.

115. Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. СПб.: РГГМУ, 2021. 140 с.

116. Лукьянов В.В. К вопросу о прогнозировании ледовитости Каспийского моря // Труды Ин-та океанологии АН СССР. Т. 57. 1962.

117. Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI века. // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90 – 97.

118. Луц Н.В. Многолетняя изменчивость скорости ветра в восточном Приазовье. // Метеорология и гидрология. № 2. 2001. С. 98-102.

119. Любимова А. В., Диковский И. А. ГИС-анализ и типизация природных и техногенных факторов и рисков на территории Российской Федерации //Геоинформатика. 2011. №. 2. С. 61-68.

120. Любимова А. В., Спиридонова В. В. Комплексное районирование территории Северо-Кавказского экономического района по природным рискам //Геоинформатика. 2012. №. 1. С. 42-50.

121. 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: "Международного научного форума" Достижения академической науки на Юге России"; Международной молодежной научной конференции" Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства" памяти члена-корреспондента

РАН ДГ Матишова; Всероссийской научной конференции" Аквакультура: мировой опыт и российские разработки". 2017. С. 258-260.

122. 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.

123. Магаева А. А., Огородов С. А., Мазнев С. А., Яицкая Н. А., Вереняев 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 индустриальных вызовов ("Опасные явления-II"). 2020. С. 177-181.

124. 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: сборник материалов III Всероссийской конференции. - Ростов-на-Дону. Изд-во Южного федерального университета, 2016. С.240-248.

125. Магрицкий Д. В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации //Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2016. №. 2. С. 35-61.

126. Мазнев С. В., Огородов С. А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озёр умеренных и субарктических широт //Лёд и снег. 2020. Т. 60. №. 4. С. 578-591.

127. Матишов Д. Г., Яицкая Н. А., Бердников С. В. Изменение температуры и солености вод Каспийского моря в XX веке //Океанология. 2018. Т. 58. №. 6. С. 864-874.

128. Матишов Г. Г. Влияние изменчивости климатического и ледового режимов на судоходство //Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78. №. 10. С. 896-902.

129. Матишов Г. Г., Дашкевич Л. В., Кириллова Е. Э. Лед как индикатор изменения климата (на примере Баренцева и Азовского морей) //Наука Юга России. 2020. Т. 16. №. 2. С. 27-40.

130. Матишов Г. Г., Яицкая Н. А., Бердников С. В. Особенности внутривекового режима солености Каспийского моря //Доклады академии наук. 2012. Т. 444. №. 5. С. 549-549.

131. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л., Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Поважный В.В., Шевердяев И.В., Кумпан С.В., Третьякова И.А., Цыганкова А.Е. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Чёрное, Азовское и Каспийское моря – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2014. – 256 с.

132. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Сорокина В.В., Левитус С., Смоляр И.В. Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет) //Доклады Академии наук. 2008. Т. 422. №. 1. С. 106-109.

133. Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Чикина Л.Г. Ледовый режим Азовского моря и климат в начале XXI века. //Доклады академии наук. 2014. Т. 457. №. 5. С. 603 - 607.

134. Минервин И. Г., Пищальник В. М. Особенности развития ледовых процессов в Охотском море в зимнем сезоне 2013-2014 гг //Ученые записки Сахалинского государственного университета. 2015. №. 1. С. 16-25.

135. Миронов Е.У., Порубаев В.С. Морфометрические параметры торосов и стамух по данным экспедиционных исследований в северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 68–76.

136. Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Влияние многолетних изменений морских факторов на устья рек. Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 4. С. 420-431.

137. Введение в геоинформационные системы. Системы координат и проекции URL: <https://gis-lab.info/docs/giscourse/08-coords.html> (дата обращения: 20.03.2022).

138. Крымский сайт [Электронный ресурс]: Рекордное количество судов прошло через Керченский пролив в 2017 году, 2018. URL: <https://taurica.net/310332-Rekordnoe-kolichestvo-sudov-proshlo-cherez-Kerchenskiiy-proliv-v-2017-godu.html> (дата обращения: 20.03.2022).

139. Морские вести России [Электронный ресурс]: Астрахань – стратегический порт на Каспии, 2022. URL: <http://morvesti.ru/analitika/1688/94473/> (дата обращения: 25.04.2022).

140. Морской гидрометеорологический ежегодник 1958 г. Азовское море ч.1, Прибрежные наблюдения. Севастополь, 1977. 138 с.

141. Мюллер А.Ф. 1888. О времени замерзания и вскрытия р. Волги у г.Астрахани и максимума полой воды. – Протоколы Петров. Об-ва изучения Астраханского края, т. 1-4. Астрахань.

142. Назаренко О. В. Изменение некоторых метеорологических показателей в бассейне Азовского моря //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2020. №. 1 (205). С. 62-70.

143. Наурызбаева Ж. К., Лобанов В. А. Основные климатические характеристики и ледовый режим Каспийского моря //Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. 2019. С. 508-520.

144. Национальный атлас России Том.2. Природа и экология. ФГУП "ГОСГИСЦЕНТР" Москва, 2007. 495 с.

145. Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Подход к ранжированию территории по степени безопасности природопользования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. №2. с.73-77.

146. Непоменко Л. Ф., Попова Н. В., Зубанов С. А. Ледовые условия на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» //Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. №. 5. С. 44-52.

147. Нестеров Е. С., Жупанов В. Д., Федоренко А. В. Моделирование характеристик ледяного покрова Каспийского моря на основе модели CICE // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. №1 (383). С. 57-70.

148. Никифоров С. Л., Ананьев Р. А., Либина Н. В., Дмитриевский Н. Н., Лобковский Л. И. Ледовая экзарация на арктическом шельфе России //Океанология. 2019. Т. 59. №. 3. С. 466-468.

149. НИЦ «Планета». Описание продукции. URL: http://planet.rssi.ru/index.php?page_type=oper_prod&page=product&prod=68 (дата обращения: 20.03.2022).

150. Новиков В. И., Бухарицин П. И. Особенности работы портов и портовых комплексов Астраханской области в условиях зимней навигации //Проблемы и перспективы современной науки: межвуз. сб. науч. тр. 2009. №. 1. С. 136-140.

151. Образовательные ресурсы Института Космических и Информационных технологий http://ikit.edu.sfu-kras.ru/files/gis/7_MapInfo.pdf [Электронный ресурс].

152. Огородов С. А., Мазнев С. В., Бухарицин П. И. Ледово-экзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей //Изв. РГО. 2019 Т. 151. №. 2. С. 35- 50.

153. Огородов С.А. и др. Атлас абразионной и ледово-экзарационной опасности прибрежно-шельфовой зоны Российской Арктики. Электронное издание. Версия 12.2020. Москва, НИЛ геоэкологии Севера географического ф-та МГУ, 2020. 69 стр.

154. Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 171 с.

155. Огородов С.А., Архипов В.В. Экзарация дна Каспийского моря ледяными торосистыми образованиями // Доклады Академии наук. 2010. том 432. № 3. с. 403–407.

156. Осипов В. И. Опасные природные процессы-стратегические риски России //Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2008. №. 68. С. 5-9.

157. Островская Е. В., Гаврилова Е. В., Курапов А. А., Варначкин С. А. Влияние изменений климата на гидролого-гидрохимические характеристики Северного Каспия // Астраханский вестник экологического образования. 2020. №. 6. С. 25-35.

158. Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]: Завершена подготовка всех 12 портовых ледоколов ФГУП «Росморпорт» к зимнему сезону, 2020. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9752> (дата обращения: 20.03.2022).

159. Официальный сайт Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН [Электронный ресурс]: Лёд в Керченском проливе и Керченский мост: Взгляд из космоса, 2017. URL: <https://www.ocean.ru/index.php/novosti-left/novosti-instituta/item/1392-ljod-v-kerchenskom-prolive-i-kerchenskiy-most-vzglyad-iz-kosmosa> (дата обращения: 20.03.2022)

160. Плахотник А.Ф. История изучения морей Российскими учеными до середины XX века. М.: Наука, 1996. 160 с.

161. Политько В. А., Кантаржи И. Г. Исследуемые характеристики льда, необходимые для определения ледовых нагрузок // Вестник МГСУ. 2015. №. 12. С. 106-117.

162. Пономаренко Е.П., Сорокина В.В., Бирюков П.А. Сгонно-нагонные явления в дельте реки Дон в период с 2007 по 2010 г. и их прогнозирование. // Вестник южного научного центра РАН / гл. ред. акад. Г.Г. Матишов. 2012. Т.8. №1. С. 28-37.

163. Приказ ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 № 22 с изменениями. утверждёнными приказами ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 17.05.2016 № 69 и от 22.06.2016 № 81. <https://yugmeteo.donpac.ru/hazards/> [Электронный ресурс].

164. Пришлепов Б.И. Ледяной покров на Азовском море в зиму 1928/29 г. // Изв. ЦГМБ. 1930. Вып. IX.

165. Ратманов Г.Е. Вероятность встречи со льдами на Азовском море // Бюлл. Погоды и сост. Моря. 1931. №35.

166. Ротанова И. Н., Харламова Н. Ф., Барышников С. Г. Карты гидрологического риска в атласе опасных природных явлений Алтайского края // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии: сб. международной науч. конф. 2018. С. 922-927

167. Ротанова И. Н., Харламова Н. Ф., Плехова А. В., Поддубнова Е. А. Методические основы разработки регионального атласа опасных природных явлений Алтайского края // География и природопользование Сибири. 2017. №. 24. С. 111-118

168. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. Всемирная метеорологическая организация, 2017. 32 с. [Электронный ресурс] https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168.

169. Снежинский В., Воронцов Б. Донный лед в Азовском море // Записки по гидрологии. 1932. №3.

170. Снижение риска бедствий. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 20 декабря 2018 года. [online] Available at: [Electronic resources]. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/73/231> (Accessed 14 December 2020).

171. Соловьев Д.В. Некоторые особенности ледообразования на Каспийском море и синоптические процессы, их обуславливающие // Исследование льдов южных морей СССР. М.: Наука. 1973. с. 52-56.

172. Сорокина В.В., Московец А.Ю., Клещенко А.В. Экстремальные гидрологические явления в дельте Дона, связанные с действием ветра, в 2015-2017 гг. В сборнике: 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 памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 95-100.

173. Транспортный портал Gudok.ru [Электронный ресурс]: Грузооборот морских портов России по итогам 2015 год составил 676,7 млн тонн, 2016. URL: <https://www.gudok.ru/news/freighttrans/?ID=1324002> (дата обращения: 20.03.2022).

174. Тужилкин В. С., Косарев А. Н., Архипкин В. С. Многолетняя изменчивость поверхностной солености вод на северных шельфах Черного и Каспийского морей //Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. №. 6. С. 54-59.

175. Тужилкин В. С., Косарев А. Н., Архипкин В. С., Никонова Р. Е. Многолетняя изменчивость гидрологического режима Каспийского моря в связи с вариациями климата //Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 2. С. 62-71.

176. Тужилкин В.С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования: автореферат дис. на соиск. уч. степ. докт. геогр. наук: спец. 11.00.08 "Океанология". М., 2008. 45 с.

177. ФГБУ «Научно-исследовательский центр «Планета» <http://planet.iitp.ru/> [Электронный ресурс].

178. Федеральный закон от 19 июля 1998 г. N 113-ФЗ "О гидрометеорологической службе" (ред. от 05.04.2016) // «Собрание законодательства РФ», 19.07.1998.

179. Федоренко А. В. Исследование сезонных и внутривековых колебаний основных ледовых параметров на южных морях (Азовское и Каспийское) //Тр. ГОИН. 2011. Т. 215. С. 15-25.

180. Федоренко А.В. Исследование связи между атмосферными процессами над Скандинавским полуостровом и ледовыми условиями на Азовском море //Труды Гидрометцентра России. 2011. №. 345. С. 94-104.

181. Филиппов Ю. Г. Изменчивость уровня Азовского моря на современном этапе //Труды Государственного океанографического института. 2009. №. 212. С. 107-115.

182. Фролов А.В., Асмус В.В., Землянов И. В., Зильберштейн О. И., Кровотынцев В. А., Мартыщенко В. А., Миронов Е. А. Комплексные исследования гидрометеорологической и ледовой обстановки в северо-западной части шельфа

Каспийского моря на основе данных спутниковых и экспедиционных наблюдений и модельных расчетов // Метеорология и гидрология. 2009. №3. с. 20-34.

183. Чеснокова И. В., Лихачева Э. А., Кошкарев А. В. Разработка методов оценки природных опасностей и рисков с помощью геоинформационных технологий // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата" ГЕОРИСК-2018". 2018. С. 147-152.

184. Шпиндлер И.Б., Врангель Ф.Ф. Материалы по гидрологии Черного и Азовского морей по экспедициям 1890-1891 // Приложение к выпуску XX записок по гидрографии. СПб, 1899, 80 с.

185. Шустов Б.С. Ледяной покров Азовского моря // Изв. Ассоц. НИИ при физ.-мат. факультете МГУ. 1930. Т III. №1.

186. Экологический атлас Азовского моря / гл. ред. акад. Г.Г. Матишов; отв. ред. Н.И. Голубева, В.В. Сорокина. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. – 328 с. – ISBN 978-5-4358-0020-3

187. Яготинцев В. Н., Поставик П. В. Уровень Каспийского моря в прошлом и настоящем //Труды Географического общества Республики Дагестан. 2013. №. 41. С. 26-40.

188. Яицкая Н. А., Глущенко В. В. Исследование ледовой обстановки Северного Каспия с помощью данных спутникового мониторинга //III конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (8-10 сентября 2010 г.). 2010. С. 140.

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

190. Яицкая Н.А., Магаева А.А. Ансамбли опасных гидрометеорологических явлений: математическое моделирование, системы поддержки принятия решений, геоинформационные системы (обзор) // Морской гидрофизический журнал. 2022б. Т.38, № 4. С. 372-388. DOI: 10.22449/0233-7584-2022-4-372-388Морские вести России [Электронный ресурс]: В Азовском море стартовал сезон ледокольных

проводок, 2021. URL: <http://morvesti.ru/news/1679/93276/> (дата обращения: 25.04.2022).

191. Achite M.; Ceribasi G.; Ceyhunlu A.I.; Wałęga A.; Caloiero T. The Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) as a Simple Qualitative Method to Detect Changes in Environment—Example Detecting Trends of the Total Monthly Precipitation in Semiarid Area. *Sustainability* 2021. 13. 12674. DOI: 10.3390/su132212674

192. Andreev O. M., Ivanov B. V. The use of one-dimensional thermodynamic model for computing the level ice thickness and hummock freezing intensity in the Northern Caspian Sea // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2012. Т. 37. №. 1. С. 34-38.

193. AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability [online] Available at: [Electronic resources]. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/> (Accessed 20 June 2021).

194. Badina S., Porfiriev B. *Natural Hazards Governance in Russia*. Oxford University Press, United Kingdom. 2019. 26 p. DOI: 10.1093/acrefore/9780199389407.013.244

195. Barnes P.W., Rearic D.M., Reimnitz E. Ice gouging characteristics and processes // *The Alaskan Beaufort Sea: Ecosystems and Environments* / Eds.: P.W. Barnes, D.M. Schell, E. Reimnitz. Acad. Press Inc., Orlando, Florida. 1984. P. 185-212.

196. Berz G., Kron W., Loster T., Rauch E., Schimetschek J., Schmieder J., Siebert A., Smolka A., Wirtz A. World map of natural hazards—a global view of the distribution and intensity of significant exposures // *Natural hazards*. 2001. Vol. 23. No. 2. Pp. 443-465.

197. Bespalova L. A., Ivlieva O. V., Bespalova E. V., Kazachkova E. M. Extreme levels of the Sea of Azov // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. 2017. Т. 17. p. 863-869.

198. Büdel J. Das Eis im Kaspisee // *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie*. Jg. 71. 1943. S.118-121.

199. Büdel J. *Schwarzes und Asowsches Meer. Geographische Übersicht, Eisverhältnisse., Beiheft z. Handbuch f. d.Schwarze Meer*. Berlin. 1943.

200. Bukharitsin P. I. Role of drifting ice in bottom relief formation of freezing shallow waters of the south of Eurasia //Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice. Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR), Michigan, USA. 2016. C. 1-9.

201. Eicken H., Mahoney A. R. Sea ice: Hazards, risks, and implications for disasters //Coastal and marine hazards, risks, and disasters. Elsevier, 2015. C. 381-401.

202. EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility. Global sea ice concentration climate data record 1979-2015 (v2.0, 2017), [Online]. Norwegian and Danish Meteorological Institutes. doi: 10.15770/EUM_SAF_OSI_0008

203. Evers K. U., Kuehnlein W., Jochmann P., Spring W., Foulkes J. Ice Model testing of an exploration platform for shallow waters in the North Caspian Sea //Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. – 2001. Vol. 1. pp. 255-264.

204. LLP ICEMAN.KZ <https://iceman.kz/> [Электронный ресурс].

205. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

206. Kadranov Y., Vernyayev S., Sigitov A. Semi-Automatic Ice Floe Detection for Drift Evaluation. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. 2019. POAC. 1-14.

207. Kazmin A. S. Multidecadal variability of the hydrometeorological parameters in the Caspian sea //Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2021. T. 250. C. 107150.

208. Kouraev A. V., Papa F., Buharizin P. I., Cazenave A., Cretaux J. F., Dozortseva J., Remy F. Ice cover variability in the Caspian and Aral seas from active and passive microwave satellite data //Polar Research. 2003. T. 22. №. 1. C. 43-50.

209. Maznev S. V., Ogorodov S. A., Baranskaya A. V., Selyuzhenok V. V. Aral sea ice conditions in the second part of the 20th century and their effect on the bottom topography // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC. 2019.

210. 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.

211. Magaeva A. A., 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.

212. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P., Dzhenyuk S.L., Smolyar I.V., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Povazhniy V.V., Sheverdyayev I.V., Kumpan S.V., Tretyakova I.A., Tsygankova A.E., D'yakov N.N., Fomin V.V., Klochkov D.N., Shatohin B.M., Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M., Luchin V.A., Kruts A.A. Atlas of Climatic Changes in Nine Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1827–2013), NOAA Atlas NESDIS 78, U.S., Government Printing Office, Washington D.C., 2014, 131 p.

213. Mirianna E.A. Budimir, Peter M. Atkinson and Hugh G. Lewis Global Multiple Hazard and Risk mapping // State-of-the-art in Risk Mapping, Foresight, Government Office for Science, 2010 P. 49-58.

214. Monte B. E. O., Goldenfum J. A., Michel G. P., de Albuquerque Cavalcanti, J. R. Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2021. V. 52. № 101970. P. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101970>

215. Ogorodov S. A., Magaeva A. A., 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. T. 13. № 3. C. 129-138.

216. Pourghasemi H. R., Gayen A., Edalat M., Zarafshar M., Tiefenbacher J. P. Is multi-hazard mapping effective in assessing natural hazards and integrated watershed management? //Geoscience Frontiers. 2020. Vol. 11. No. 4. Pp. 1203-1217.

217. Pourghasemi H.R., Gayen A., Panahi M., Rezaie F., Blaschke T. Multi-hazard probability assessment and mapping in Iran //Science of the total environment. 2019. Vol. 692. Pp. 556-571.

218. Rahmati O., Zeinivand H., Besharat M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis //Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2016. T. 7. №. 3. C. 1000-1017.

219. Sen Z., Sisman E., Dabanli I. Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) and applications. J. Hydrol. 2019. 575. 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.028>

220. UNISDR Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, Kobe, 2005. [online] Available at: [Electronic resources]. URL: <http://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-english.Pdf> (Accessed 01.02.2021).

221. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, vol. 2009. [online] Available at: [Electronic resources]. URL: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction#:text=30 p.,authorities%2C practitioners and the public> (Accessed 01.02.2021).

222. UNISDR, Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. [online] Available at: [Electronic resources]. URL: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291> (Accessed 01.02.2021).

223. Yaitskaya N., Lychagina Y., Berdnikov S. The ice conditions study of the Caspian Sea during the winter periods 2008-2010 using satellite monitoring data and geographical information system //Fresenius Environmental Bulletin. 2014. T. 23. №. 11. – C. 2771-2777.