



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии  
и комплексного управления прибрежными зонами

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

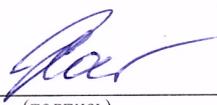
На тему «Морские операции в Волго-Каспийском судоходном канале в ледовых  
условиях»

Исполнитель Хороших Анастасия Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель профессор, доктор географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Малинин Валерий Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
И.о. заведующего кафедрой

  
(подпись)

кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«ав» 02 2026 г.

Санкт-Петербург  
2026

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Описание объекта исследования.....	5
1.1 История и расположение.....	5
1.2 Особенности инфраструктуры и объемы грузооборота.....	8
1.3 Особенности ледовых условий зимних навигаций на трассах и в портах Каспийского моря и ВКМСК.....	10
2 Особенности гидрометеорологических характеристик Каспийского моря и ВКМСК, влияющие на безопасность мореплавания. Материалы и методы исследования.....	15
2.1 Температура, соленость и плотность воды.....	15
2.2 Уровень.....	17
2.3 Ледовый режим северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	23
2.4 Ледовитость северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	24
2.5 Припай северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	28
2.6 Материалы и методы.....	30
3 Анализ долговременных изменений ледового режима и климатических условий северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	32
3.1 Анализ изменчивости сезонных изменений ледовитости северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.....	33
3.2 Анализ изменчивости площади неподвижного льда (припая) северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.....	44
3.3 Анализ возрастного состава ледяного покрова северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.....	49
4 Опасные ледовые явления и морехозяйственная деятельность в северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	54
4.1 Основные термины и определения.....	54
4.2 Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность северной части Каспийского моря и ВКМСК.....	57
4.3 Районирование северной части Каспийского моря по степени опасности ледовых явлений.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
Список источников.....	67

## ВВЕДЕНИЕ

История судоходства на Нижней Волге и Каспийском море уходит корнями глубоко в прошлое. К началу XVIII столетия устье Волги стало активно использоваться для перегрузки грузов между речной и морской навигацией. Особенную сложность представляло мелководье Волги, являвшееся ключевым препятствием на водном маршруте Волга-Каспий. Колебания уровня воды вследствие ветровых воздействий существенно осложняли движение судов. Зимняя навигация была особенно трудной задачей, учитывая наличие льдов в водах реки и моря [1].

Актуальность темы исследования. Северный район Каспийского моря и Волго-Каспийский морской судоходный канал представляют собой замерзающую область, обладающую значительным значением для экономики, стратегии и международной политики государства благодаря своему расположению. Здесь функционируют обширные морские транспортные сети, проводятся разведочные работы нефтяных и газовых залежей Северного Каспия, развит туризм и рекреация, осуществляется рыболовство. В данной работе Волго-Каспийский морской судоходный канал рассматривается совместно с территорией Северного Каспия, так как является его неотъемлемой частью.

Морские льды выступают ограничивающим условием для человеческой активности в указанных регионах. От динамики формирования и таяния ледяного покрова зависят планы хозяйственного освоения прибрежных зон. Присутствие льда снижает эффективность морских перевозок. Движение массивов льда, ледяные скопления и сжатия замедляют перемещение кораблей. Формирование мощных ледяных нагромождений и закрепление припаянного льда создают серьезные препятствия для судоходства. Подвижки и давление ледяных масс способствуют образованию крупных ледяных препятствий («стамух»), оседающих на дне водоема. Лед также представляет опасность для береговой линии –возможно затруднение судоходства, сбои в

работе гидроинфраструктуры и могут приводить к серьезным авариям в портах, зонах нефтегазодобычи и трубопроводных коммуникаций, мостовых переходах. Чтобы обеспечить безопасность плавания зимой, организованы специальные мероприятия по проведению судов сквозь ледовую зону [2].

Современные климатические аномалии приводят к повышению температур воздуха осенью-зимой, сокращению объема ледяного покрытия, изменению циклов появления и исчезновения льда, учащению возникновения неблагоприятных погодных условий зимой. Эти процессы способны вызвать изменения в структуре водных потоков, ландшафта, экологии региона, нарушении равновесия экосистем. Все это важно учитывать при долгосрочном планировании и развитии Южного макрорайона.

Основная цель работы заключается в определении закономерностей показателей ледового режима и опасных ледовых процессов в северном секторе Каспийского моря и Волго-Каспийском морском судоходном канале, используя многолетние наблюдения.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Анализ гидрометеорологического и ледового режимов северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала.
2. Изучение характеристик ледяного покрова в северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала.
3. Выполнение анализа и картирования параметров ледового режима и опасных ледовых явлений в северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала.
4. Определение степени опасности ледовых явлений в северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала в современный период для морехозяйственной деятельности.

## 1 Описание объекта исследования

### 1.1 История и расположение

Исследования на Каспийском море берут начало с 1804 года, когда были начаты первые систематические метеорологические наблюдения на море.

В настоящее время Каспийское море это уникальный замкнутый естественный водоем. Его площадь составляет более 400 тыс. км<sup>2</sup>. Длина моря 1030 км, ширина 435 км. Глубины в Каспии достигают местами более 1000 м, шельфовая зона сильно развитая. Значительная часть моря имеет глубины до 200 м, часть приходится на акватории с глубинами до 10 м. По площади и объему вод этот водоем превосходит все озера мира.

Гидрометеорологический режим Каспийского моря формируется главным образом под воздействием атмосферной циркуляции непосредственно над самим водоемом и его крупным водосборным бассейном, обусловленным внутренним положением среди материковых земель. Большая протяженность моря в меридиональном направлении определяет значительные различия в распределении гидрометеорологических параметров по территории и времени.

Глубина моря изменяется от несколько метров в северной части до 1000 м в средней и южной.

Каспийское море отличается сложным рельефом дна, который можно разделить на три крупные зоны.

Островная система Каспия представлена преимущественно небольшими участками суши общей площадью ~2 тыс. км<sup>2</sup>. Примечательны остров Огурчинский (восточный Южный Каспий), а также банки Ульского и Грязный Вулкан, имеющие вулканическое происхождение.

Более 130 рек впадают в Каспийское море, среди которых важнейшими являются Волга, Урал и Кура. Каспийское море связано с другими водными бассейнами благодаря развитой гидрографической сети. Волго-Донский канал

обеспечивает выход к Азовскому, Чёрному и Средиземному морям, а через них – к Атлантическому и Индийскому океанам. Кроме того, система волжских водохранилищ и каналов позволяет установить водное сообщение с Балтийским морем и далее – с Атлантическим и Северным Ледовитым океанами, что благоприятствует развитию речного и морского судоходства [3].

До конца 70-х годов XX в. сроки навигации на Нижней Волге и Северном Каспии определялись периодом с момента окончания весеннего, до окончания осеннего ледохода.

С этой целью формировались караваны судов, которые с помощью ледоколов сопровождалась из Астрахани, по каналу до кромки льдов, а обратно в Астрахань шли суда, которые возвращались с промысла.

Осенью, в конце навигации специализированная служба «Каспрейдморпуть» всю навигационную обстановку канала (летние навигационные буи, а также Астраханский Приемный плавмаяк) на зимний период снимала для ремонта и покраски. Вместо них, в морской части канала, выставлялись зимние буи, так называемые «сигары».

Начиная с 1978г. Астраханское управление морского флота «Каспар», пароходство «Волготанкер» и ряд других ведомств приступили к организации экспериментальных перевозок народнохозяйственных грузов из портов Каспийского моря в Астрахань в осенне-зимних условиях. Были предприняты попытки ледокольного плавания на участке Нижней Волги от Астрахани до Волгограда.

Но, лишь с 1995 г. зимняя навигация на участке от портов Астрахань и Оля до кромки льдов на Северном Каспии стала круглогодичной [4].

Основная задача гидрометеорологического обеспечения – минимизировать риски и ущерб от неблагоприятных природных явлений. Прогнозы и предупреждения о таких событиях составляются с учётом схемы районирования (рисунок 1.1).

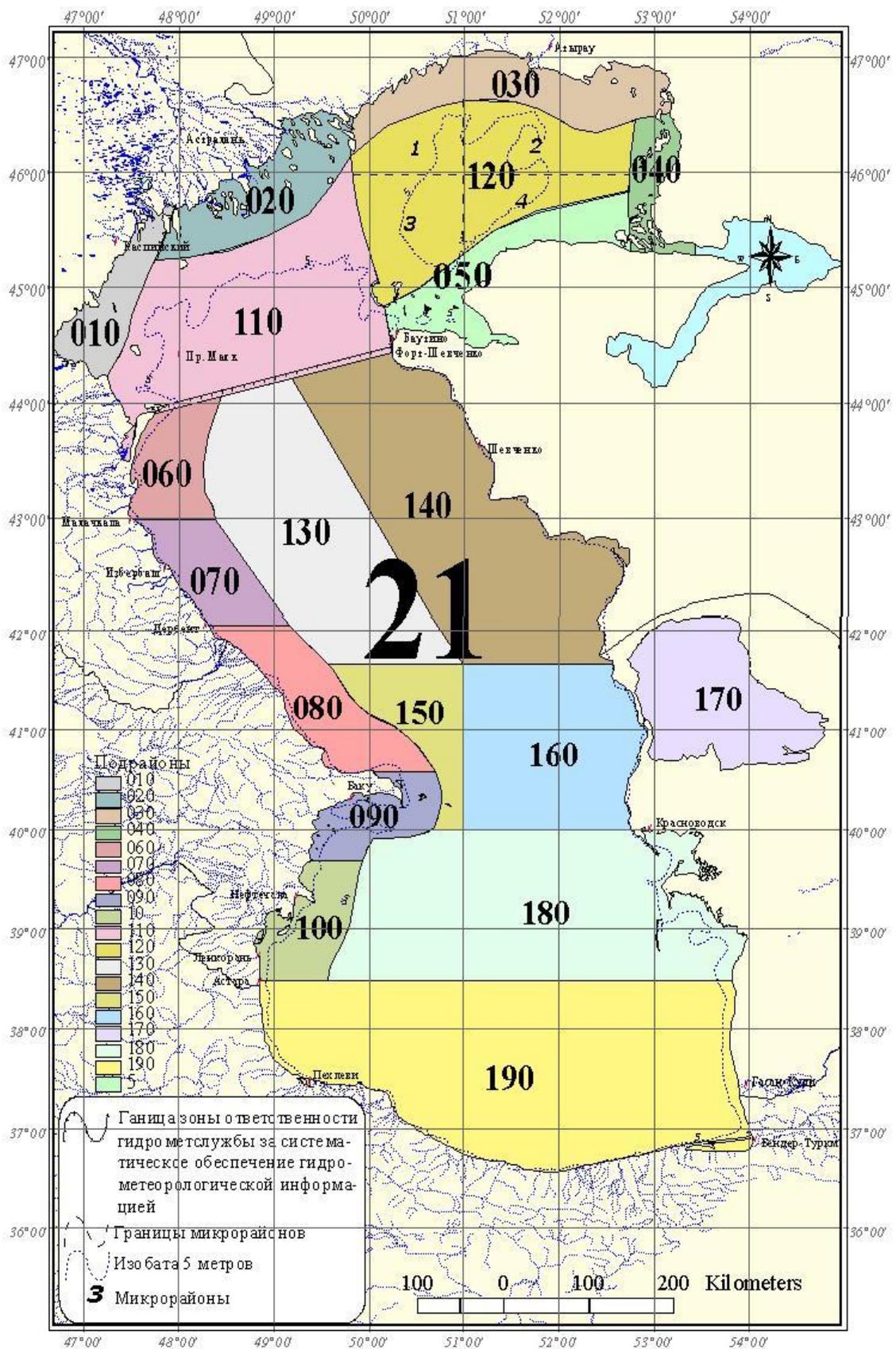


Рисунок 1.1 – Схема районирования Каспийского моря

## 1.2 Особенности инфраструктуры и объемы грузооборота

История каспийского мореплавания охватывает несколько столетий. Развитие судоходства ускорилось в середине XIX в. с началом капиталистической модернизации России. В этот период по морю активно перевозили нефть с Кавказа, а в обратном направлении – лес, соль и другие товары из России.

Строительство Волго-Каспийского канала в 1878-1882 годах стало значимым событием в развитии водных путей. Впоследствии канал неоднократно обновляли, и в наши дни он по-прежнему играет центральную роль в обеспечении водного сообщения между портами Каспийского моря и акваториями Чёрного и Балтийского морей.

Расположенный в дельте Волги на севере Каспийского региона Астраханский транспортный узел до начала 1990-х не имел заметного внешнеэкономического значения. Преобладающий объём морских перевозок между Советским Союзом и государствами Юго-Восточной Азии осуществлялся через порт Баку. Альтернативным маршрутом служил железнодорожный путь через Азербайджан (Джульфа), обеспечивавший ежегодную доставку в Иран до 2,5 млн тонн различных грузов. При этом в 1970-1980-е годы совокупный объём транзитных перевозок в иранском направлении достигал 5 млн тонн в год.

Ситуация изменилась после конфликта в Нагорном Карабахе, прервавшего прямое железнодорожное сообщение с Ираном, а затем – вследствие распада СССР, который ослабил торгово-экономические связи в регионе. В результате Астрахань превратилась в пограничный город, а её транспортный узел приобрёл стратегическое значение. Дополнительным стимулом стала нестабильность на Северном Кавказе: маршрут через Астрахань оказался более безопасным и экономически выгодным для грузоперевозок в Иран и обратно.

Сегодня годовой объём торговли между Западной Европой и Восточной Азией оценивается в 250 млрд долларов, и до 15% этого грузопотока потенциально может проходить через территорию России, что способно приносить в бюджет страны до 300 млн долларов ежегодно. Начиная с 1990-х годов ведётся активное обсуждение проекта международного транспортного коридора «Север–Юг».

В сентябре 2024 года Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК) отметил свое 150-летие. ВКМСК является главным водным путем, соединяющим порт Астрахань с открытым Каспийским морем. Все эти годы, несмотря на усилия ученых и специалистов, основной проблемой по поддержанию габаритов канала под современные, продиктованные жизнью требования, была борьба с его заносимостью. Волга ежегодно выносит в Каспий 8-10 миллионов тонн взвешенных частиц, и откладывает их на различных участках дельты, вызывая горизонтальные и вертикальные деформации русел многочисленных рукавов дельты. Особенно заметны эти процессы в рукаве Бахтемир, основном питающем водотоке канала, на его речном и морском участках. В настоящее время прохождение судов по трассе канала выливается в экономические потери для судовладельцев в связи с падением уровня Каспийского моря, его обмелением и заносимостью [5].

Критически малая глубина канала в сочетании с неблагоприятными погодными и гидродинамическими условиями приводит к сложным условиям проводки судов, зачастую вынуждая прекращать движение и простаивать до нескольких суток. Одним из главных причин является возвратная заносимость канала условий для этой транспортной артерии является обеспечение безопасности судоходства в условиях возможного дальнейшего понижения уровня Каспийского моря. Особенно сложная ситуация складывается зимой, при наличии ледяного покрова. Подвижки и дрейф льдов в северной части Каспийского моря в зимний период способны оказывать существенное влияние на морские операции, осуществляемые в этой мелководных части акватории моря.

### 1.3 Особенности ледовых условий зимних навигаций на трассах и в портах Каспийского моря и ВКМСК

При выборе ледовых трасс учитывают три ключевых критерия: минимизацию расстояния плавания, достаточную глубину фарватера и специфику ледовой обстановки в особо суровые зимы. Начальной точкой маршрута считается пересечение трассы с кромкой льда в момент максимального развития ледяного покрова – в наиболее сложные по ледовому режиму сезоны.

Исследования показывают, что при максимальном распространении льдов средняя протяжённость ледового участка варьируется в зависимости от пункта назначения.

В типовые зимы изменения этого показателя на трассах бывают значительными (таблица 1.1).

В Северном Каспии сплочённость плавучего льда возрастает при ветрах южной четверти – они перемещают лёд из прикромочной зоны к границе припая. Высокая сплочённость осложняет навигацию и затрудняет работу рыболовецких судов. Данные о продолжительности ледового периода на ключевых судоходных маршрутах в типовые зимы представлены в таблице 1.2.

В суровые зимы морская часть Волго-Каспийского канала полностью скована припаем с ноября по март. При умеренных погодных условиях припай охватывает от 75 до 95% маршрута – в зависимости от гидрометеорологической обстановки. Плавучий лёд высокой сплочённости (7-10 баллов) формируется только в мягкие зимы. Длительность ледового периода колеблется в диапазоне 50-100 суток: минимум фиксируется при мягких зимах, максимум – при суровых [5].

На рисунке 1.2 представлена схема Волго-Каспийского морского судоходного канала.

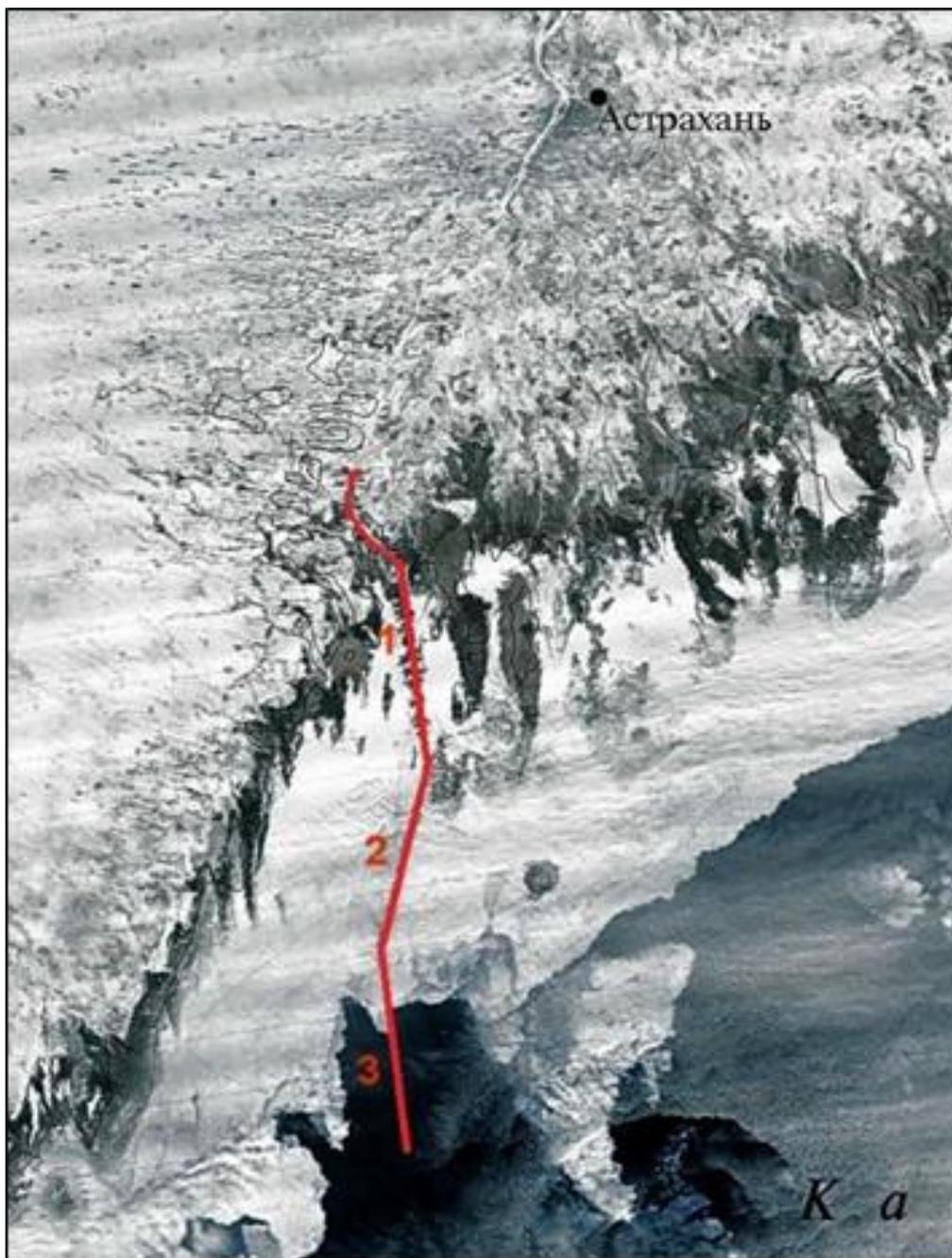


Рисунок 1.2 – Схема Волго-Каспийского морского судоходного канала:

1 – речная часть канала; 2, 3 – морские части канала

Основные судоходные трассы Каспийского моря представлены на рисунке 1.3.

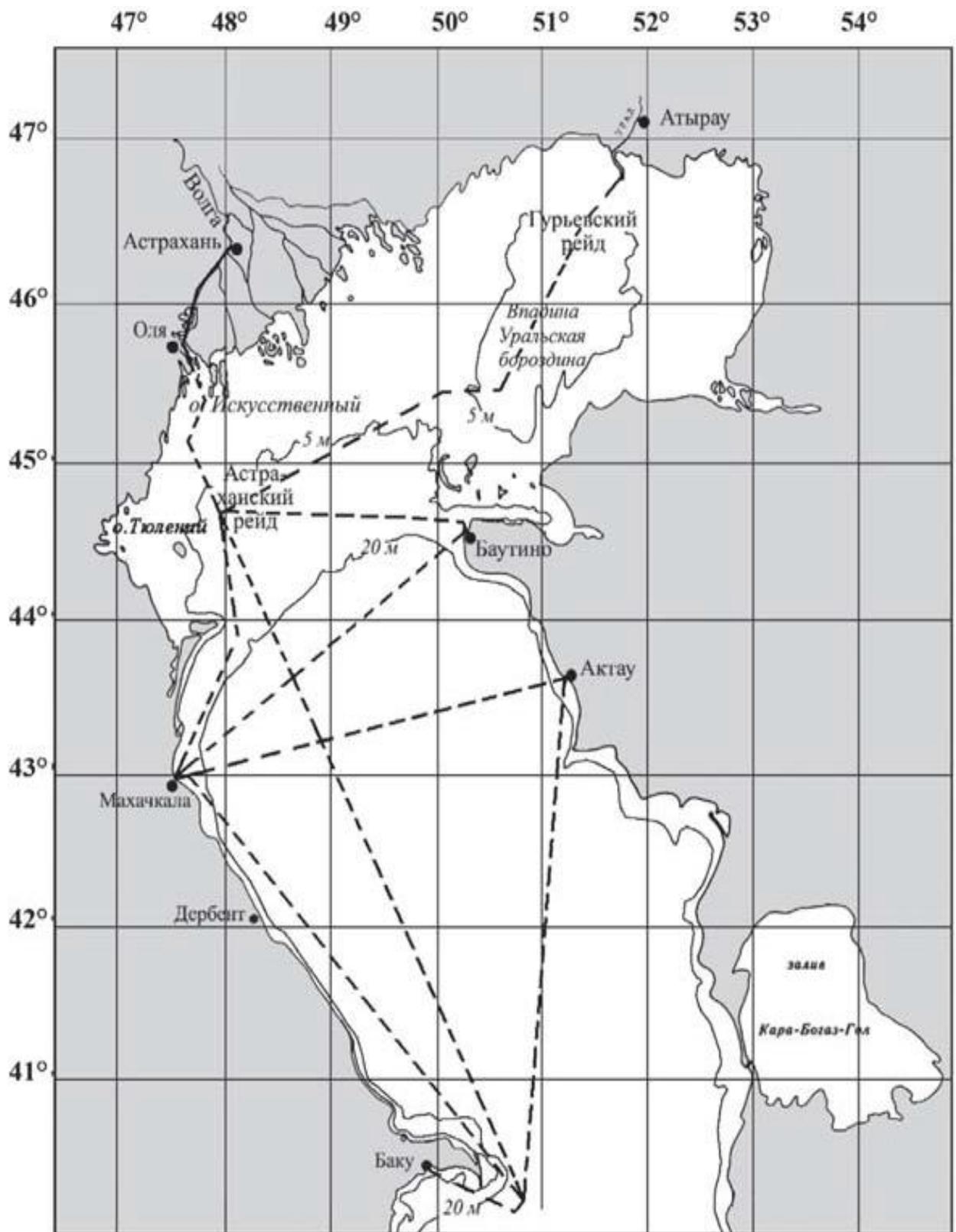


Рисунок 1.3 – Основные судоходные трассы (пунктир) в Северном и Среднем Каспии

Таблица 1.1 – Преобладающая сплоченность плавучего льда (баллов) на трассах Каспийского моря в типовые зимы

Трасса	Зима	ХП	I	II	III
Волго-Каспийский канал (морская часть)	Суровая	7-8	7-8	7-9	7-10
	Умеренная	1-3	1-3	2-4	7-8
	Мягкая	1-3	-	-	-
Астраханский рейд – Гурьевский рейд	Суровая	9-10	9-10	9-10	7-8
	Умеренная	9-10	9-10	9-10	7-8
	Мягкая	1-3	4-6	9-10	4-6
Астраханский рейд – Баутино	Суровая	1-3	9-10	9-10	9-10
	Умеренная	-	9-10	9-10	9-10
	Мягкая	-	9-10	7-8	-
Астраханский рейд – о. Чечень	Суровая	4-6	9-10	9-10	9-10
	Умеренная	4-6	9-10	9-10	7-8
	Мягкая	-	7-10	7-8	-
О. Чечень – Махачкала	Суровая	-	9-10	10	9-10
	Умеренная	-	Нс	7-8	7-8
	Мягкая	-	Нс	Нс	Нс
На подходах к порту Баутино	Суровая	-	Припая	Припай	5-7
	Умеренная	-	10	6-7	5-6
	Мягкая	-	-	-	-
На подходах к порту Аладжа	Суровая	-	5-10	10	-
	Умеренная	-	2	-	-
	Мягкая	-	-	-	-
На подходах к порту Бекдаш	Суровая	-	4-8	9-10	-
	Умеренная	-	3-4	4	-
	Мягкая	-	-	-	-

Таблица 1.2 – Продолжительность ледового периода (сутки) на судоходных трассах Каспийского моря

Трасса	Протяженность трассы, мили	Зима		
		суровая	умеренная	мягкая
Астрахань, море	70	100	95	60
Волго-Каспийский канал (морская часть)	72	100	95	50
Астраханский рейд – о. Чечень	30	100	80	40
Астраханский рейд – Гурьевский рейд	197	120	100	90
Астраханский рейд – Байтино	103	85	80	50
Гурьевский рейд – Баутино	159	100	90	75
Астрахань (Астраханский рейд) – Махачкала	230	95	45	-

## **2 Особенности гидрометеорологических характеристик Каспийского моря и ВКМСК, влияющие на безопасность мореплавания. Материалы и методы исследования.**

### 2.1 Температура, солёность и плотность воды

Сезонные колебания температуры поверхностного слоя Каспийского моря имеют выраженную пространственную неоднородность.

В зимний сезон температурный градиент простирается от 0°C на севере до 14°C на юге. При этом восточная акватория стабильно теплее западной на тех же широтах. Это объясняется динамикой водных потоков: вдоль восточного побережья циркулируют тёплые воды из южных районов, тогда как западное побережье подвержено воздействию более холодных течений, направленных на юг.

Летний период характеризуется большей однородностью температурного поля:

- в северной и южной частях, а также в западной половине средней части – +18...+26°C;
- у южного берега – до +27°C.

Специфичной чертой восточной половины средней части моря является выраженный термический скачок: температура резко падает по направлению к береговой линии, что может быть связано с локальными гидродинамическими процессами [6].

Здесь в июне температура воды по мере приближения к берегу изменяется от +14 до +19°C, а в июле и августе – от +17 до +24°C. Осенью аномальное понижение температуры становится менее заметно.

Различия в солёности поверхностного слоя Каспийского моря обусловлены гидрологическим режимом и влиянием речного стока [7].

Северная часть отличается резким градиентом солёности – от 0,01‰ в дельтах крупных рек до 13‰ у границы со средней частью. Это связано с мощным опресняющим воздействием речных вод.

Средняя и южная части характеризуются более однородными показателями:

- открытое море: 12-14‰;
- западный берег южной части: 10-12‰.

Юго-восточная часть выделяется максимальными значениями солёности, поскольку этот район наименее подвержен влиянию речного стока.

Сезонные колебания также имеют зональный характер:

- в северной части изменения достигают 2‰ из-за усиления/ослабления речного стока;
- в средней и южной частях колебания незначительны ( $\leq 0,2\text{‰}$ );
- летом солёность повсеместно ниже, чем зимой, что может быть связано с увеличением речного стока и интенсивностью осадков.

Распределение плотности поверхностного слоя Каспийского моря имеет зональные особенности. Так, в северной акватории рост плотности прослеживается в направлении с северо-запада к юго-востоку, в средней зоне – от западных к восточным районам, а в южной части – с юго-запада к северо-востоку.

Сезонный анализ показывает, что пик плотности приходится на зимний сезон:

- северная часть демонстрирует значения 1,000-1,007;
- средняя часть – 1,010-1,011;
- южная часть – 1,010-1,012.

Летом, напротив, фиксируются наименьшие показатели:

- 0,998-1,006 (север);
- 1,007-1,009 (центр);
- 1,006-1,008 (юг).

Наиболее сильно колебания плотности проявляются в районах непосредственного стока рек [8].

## 2.2 Уровень

Уровень воды – определяющий фактор гидрологического режима Каспийского моря. Исторические данные инструментального мониторинга показывают: долгое время (вплоть до начала XX столетия) средний уровень оставался стабильным – порядка минус 25,8 м. Однако уже с конца XIX века наметилась чёткая тенденция к его снижению. Этот процесс продолжался почти век и достиг кульминации в 1977 году, когда был отмечен исторический минимум минус 29,0 м (рисунок 2.1).

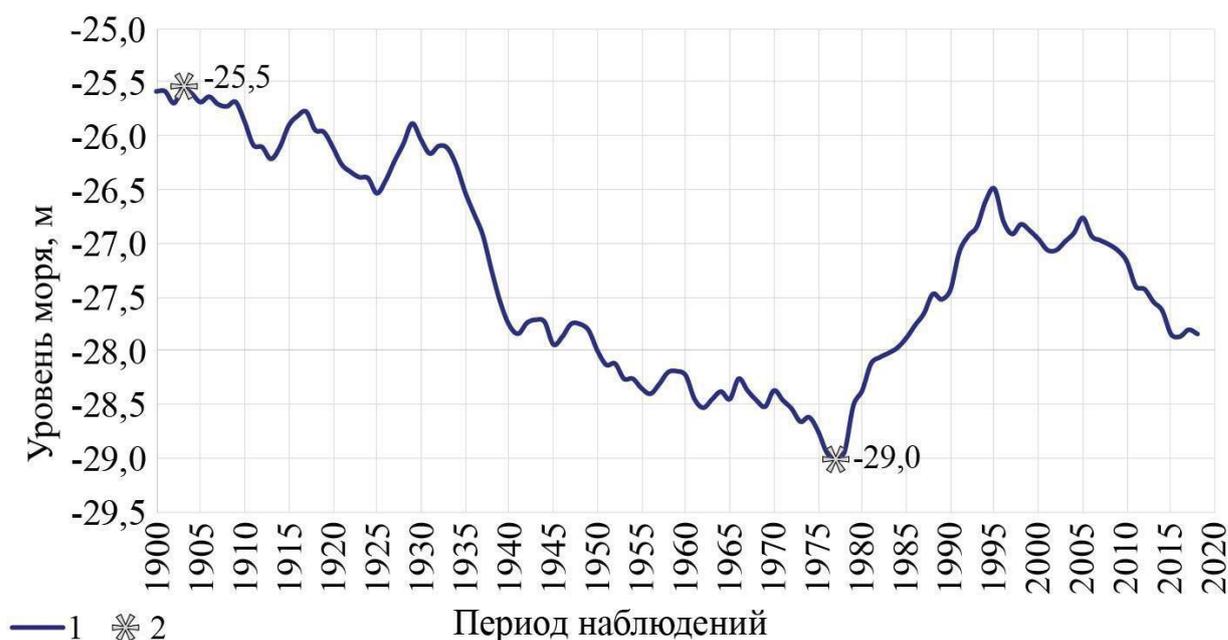


Рисунок 2.1 – Многолетняя динамика уровня Каспийского моря

1 – уровень на ГМС Махачкала, 2 – max и min значения

Анализ многолетних изменений уровня Каспийского моря в XX веке выявил несколько отчётливых фаз.

Эволюция уровня Каспийского моря в XX веке отличалась

неравномерностью:

Начальный этап (1900-1929 гг.) характеризовался умеренными колебаниями относительно среднего значения (минус 26,2 м), хотя общий вектор изменений был направлен вниз.

Период 1930-1941 гг. принёс резкое снижение уровня – сразу на 1,8 м.

В 1940-1950-е годы темпы падения существенно замедлились, что свидетельствовало о стабилизации процесса.

1960-е годы стали временем относительного равновесия: уровень воды устойчиво держался на отметке минус 28,4 м.

Однако уже с 1970 года возобновилось интенсивное снижение, которое достигло кульминации в 1977 году – тогда был зафиксирован абсолютный минимум (минус 29,0 м).

Общее снижение за 77 лет составило 3,2 м.

Уровень моря оказывает существенное влияние на распределение торосистых ледяных образований в северной части акватории. Как показано в работах В.Н. Малинина [9, 10] и П.И. Бухарицина [11], в период 1973-1980 гг. уменьшение уровня спровоцировало смещение области максимальной торосистости от береговой линии в сторону больших глубин.

Анализ ледовой обстановки выявил интересную закономерность: при стабильно низком (и при этом исторически минимальном) уровне моря площадь ледяного покрова заметно варьировалась.

Результаты наблюдений демонстрируют следующую закономерность. При сохранении стабильного уровня моря именно площадь ледяного покрова выступает ведущим фактором, регулирующим глубину нахождения стамух. Чётко прослеживается тенденция: увеличение площади льда приводит к смещению этих образований на большие глубины. Однако в ситуациях, когда ледовые условия в разных районах сопоставимы, первостепенное значение для их пространственного размещения приобретает уже уровень моря.

Эта закономерность была ранее описана в исследованиях Бухарицина П.И. [12, 13].



Рисунок 2.2 – Стамухи преградили судовой ход в морской части Волго-Каспийского морского судоходного канала  
(фото ФГБУ «АМП Каспийского моря»)

Анализ факторов, влияющих на размещение ЛТО, показывает, что их локализация в равной мере обусловлена колебаниями уровня моря и интенсивностью ледообразования. В ситуациях, когда ледовые условия сопоставимы, приоритетное значение приобретает уровень водной поверхности. Указанная закономерность была ранее обоснована в работах Бухарицина П.И. [14]. Примечательно, что при прочих равных ледовых условиях стамухи формируют скопления в строгом соответствии с положением береговой линии – их зона массового появления смещается синхронно с её миграцией.

Анализ гидродинамических процессов в Каспии и ВКМСК показывает, что в мелководных и открытых зонах – прежде всего в северной части и на побережьях средней части (западном и восточном) – среднемесячный уровень воды испытывает значительные колебания под действием стонно-нагонных

явлений. Пик их активности приходится на ноябрь и декабрь, когда устойчивые ветровые потоки способны вызвать подъём уровня до 4,5 м (нагон) или его снижение до 3 м (сгон) относительно средних значений.

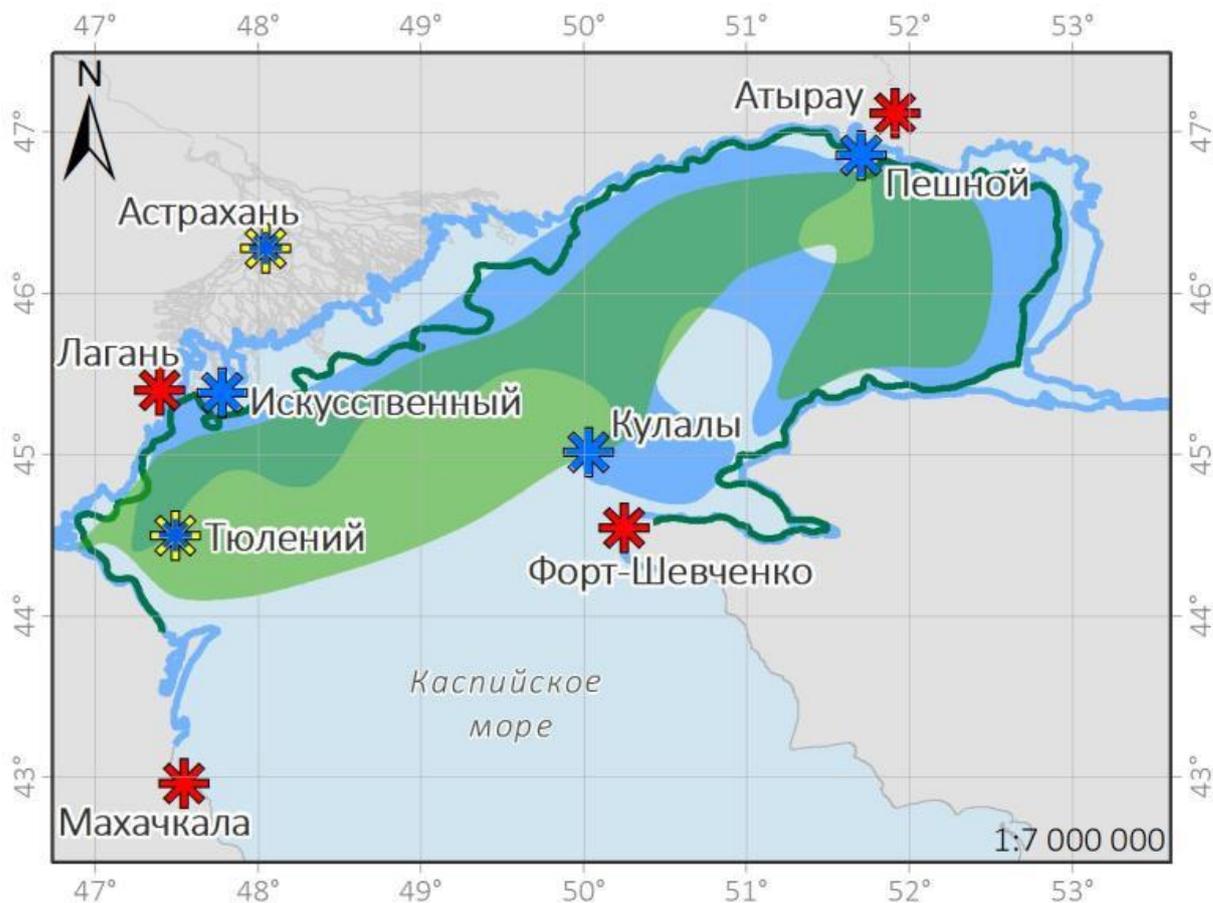


Рисунок 2.3 – Распределение ледяных торосистых образований в зависимости от положения уровня Каспийского моря

Таблица 2.1 – 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

Анализ годового хода уровня Каспийского моря на основе среднемесячных данных позволяет выделить следующие закономерности:

### 1. Временные экстремумы

Максимальный уровень: регистрируется в период июнь-август, что обусловлено совокупным влиянием речного стока и осадков.

Минимальный уровень: наблюдается в декабре-феврале, когда испарение и сток рек снижаются.

### 2. Факторы внутригодовой изменчивости

Основной причиной колебаний выступает сезонная динамика компонентов водного баланса:

- изменение объёма речного стока;
- колебания количества атмосферных осадков;
- вариативность испарения с поверхности моря.

Эти процессы изменяют соотношение и роль каждого компонента в формировании сезонного хода уровня.

### 3. Амплитуда колебаний

В целом по акватории:

- среднее значение: 0,3-0,4 м;
- максимальные отклонения (отдельные годы): 0,6 м.

Устьевая область Волги:

- средняя амплитуда: 1 м.

Причина: доминирующее влияние стока реки Волги на гидрологический режим зоны.

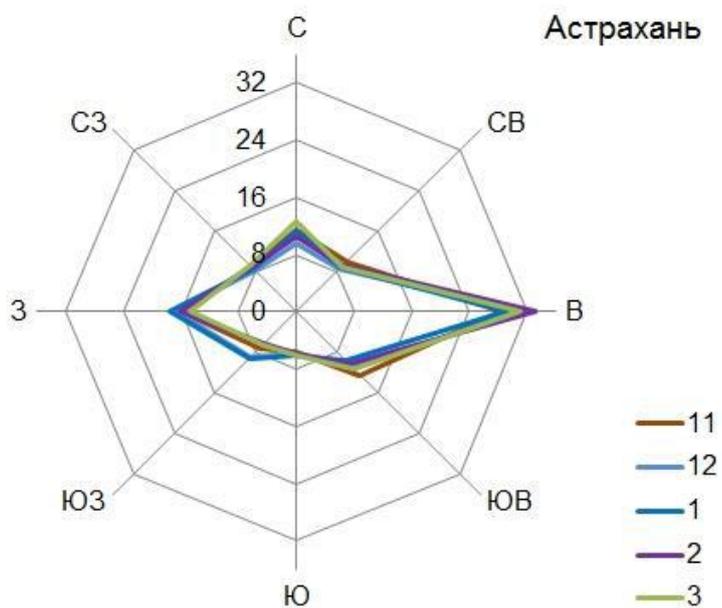


Рисунок 2.4 – Средние многолетние (1966-2016 гг.) розы ветров на ГМС г. Астрахань

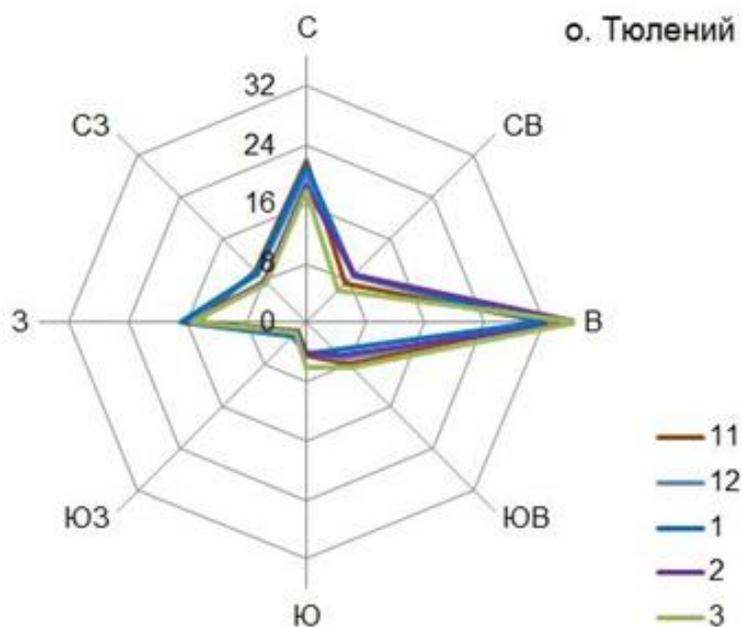


Рисунок 2.5 – Средние многолетние (1966-2016 гг.) розы ветров на ГМС о. Тюлений

В Каспийском море отмечаются также сейшевые колебания уровня, величина которых не превышает 0,5 м, а период изменяется от 10 мин до нескольких часов.

### 2.3 Ледовый режим северной части Каспийского моря и ВКМСК

Значительная меридиональная протяжённость Каспийского моря, мелководность его северной части и региональные различия в гидрометеорологическом режиме приводят к заметной неоднородности во времени и пространстве процессов ледообразования и динамики ледяного покрова.

В предзимье со стандартными температурными показателями начало формирования льда в Северном Каспии приурочено ко второй половине ноября. Как показали результаты исследования, первыми покрываются льдом мелководные прибрежные зоны – в частности, в районе острова Пешной лёд появляется уже 24 ноября. Следующим этапом становится распространение ледяного покрова в западном направлении.

Анализ многолетних данных показывает, что рекордная продолжительность ледового сезона наблюдалась в 1950-1979 гг., сумма среднемесячных отрицательных температур достигала значений свыше минус 70°С, что обеспечивало сохранение ледяного покрова более 160 дней в году.

Начиная с 1980-х годов динамика ледового режима претерпела существенные изменения. Зафиксировано устойчивое сокращение продолжительности ледового сезона, сопровождающееся сдвигом сроков: образование льда происходит позже, а его разрушение – раньше. Ключевым фактором этих изменений стало увеличение частоты мягких зим. Наибольшая трансформация характерна для южных районов [15].

## 2.4 Ледовитость северной части Каспийского моря и ВКМСК

Пространственное распределение ледяного покрова Каспийского моря демонстрирует значительную межгодовую изменчивость, определяемую жёсткостью зимнего сезона.

Анализ ледовых условий Каспийского моря позволяет выделить два принципиально разных сценария формирования ледяного покрова:

### 1. Суровая зима

- характеризуется значительным расширением зоны ледообразования;
- граница распространения льда достигает:
  - Махачкалы – на западном побережье;
  - Форт-Шевченко – на восточном побережье.

### 2. Благоприятная зима

- отличается ограниченным ледообразованием;
- ледяной покров формируется исключительно в:
  - северных прибрежных районах;
  - северо-восточных прибрежных районах.

Такая дифференциация обусловлена совокупным влиянием термических и динамических факторов, определяющих ледовый режим водоёма.

Для средней части моря типично незначительное распространение ледяного покрова либо его полное отсутствие в тёплые зимы. Южная часть акватории практически не замерзает – за исключением периодов исключительно жёстких морозов. Данные многолетних наблюдений подтверждают эту тенденцию. В частности, зимой 1968/1969 года зафиксировано образование припая в Северном Каспии и части Среднего Каспия, а у Апшеронского полуострова отмечались плавучие льды.

Анализ многолетних наблюдений за ледовым режимом Северного Каспия позволяет выделить:

## 1. Периоды аномального ледообразования

Экстремальные по интенсивности ледовые явления отмечались в

## 2. Среднеклиматическая динамика ледообразования

В типичных климатических условиях начало формирования ледяного покрова приходится на первую декаду ноября. При этом пространственное распределение вероятности появления льда существенно различается:

Район полуострова Пешной и северо-восточная часть моря:

- вероятность наличия льда в ноябре – 35-40%;

- наиболее раннее начало ледообразования.

Район островов Искусственный и Кулалы:

- несколько более поздние сроки формирования льда;

- вероятность обнаружения в ноябре – 20-30%.

Данные о вероятности подтверждаются статистическими материалами, представленными на рисунке 2.6.

Уже к середине декабря лёд распространяется до острова Тюлений, и вероятность его присутствия в этом районе достигает 35-40%.

Январские условия способствуют почти полному покрытию льдом акватории к северу от островов Тюлений-Кулалы.

Наибольшего распространения лёд достигает в феврале: в каждом десятом или пятом зимнем сезоне его кромка доходит до берегов Дербента (10-20%).

С наступлением марта процесс разворачивается вспять – начинается постепенное таяние, стартующее с южных районов. При этом северо-восточная часть акватории демонстрирует высокую устойчивость: ледяной покров сохраняется там в подавляющем большинстве случаев (80-90%).

К апрелю основная масса льда исчезает. Но даже в этот период в 10-20% лет в северо-восточных районах ещё можно наблюдать остатки ледяного покрова – вплоть до последнего дня месяца.

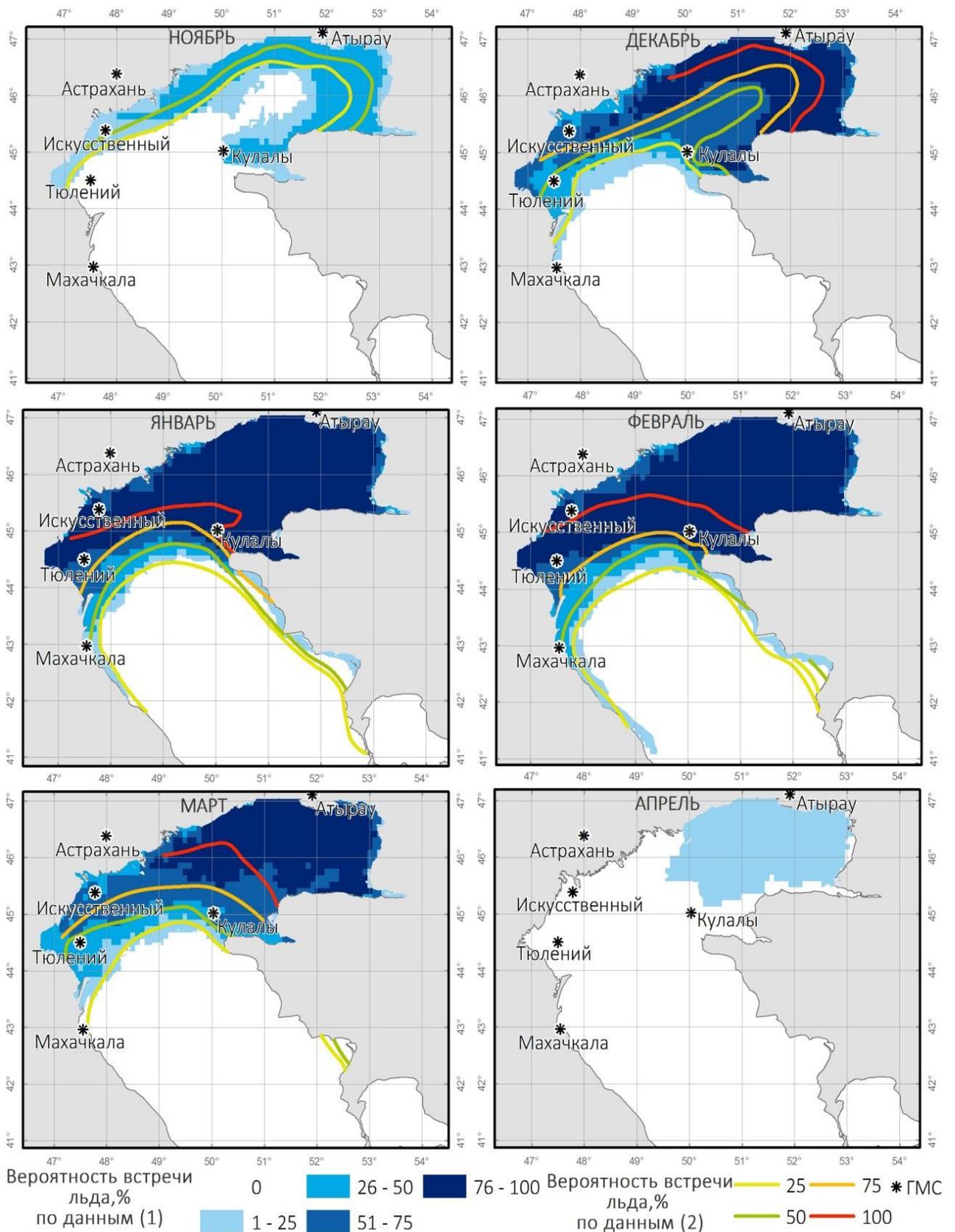


Рисунок 2.6 – Вероятность встречи льда в Каспийском море по данным:

1 – за период 2000-2020 гг. [16],

2 – за период 1927-1978 гг. [17].

Средние значения ледовитости отображены на рисунке 2.7.

Для анализа многолетних изменений относительно среднемноголетнего значения 1940-2020 гг., рассчитаны аномалии ледовитости Северного Каспия (рисунок 2.8).

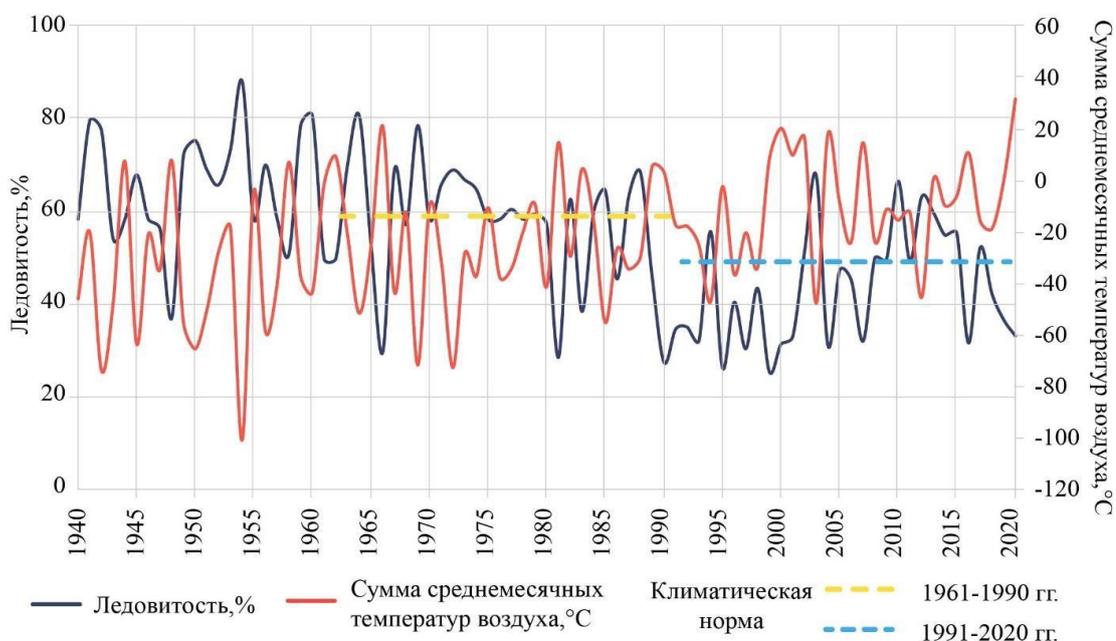


Рисунок 2.7 – Ледовитость (%) Северного Каспия и сумма среднемесячных температур воздуха (°С) трех ГМС Астрахань, Атырау, Махачкала

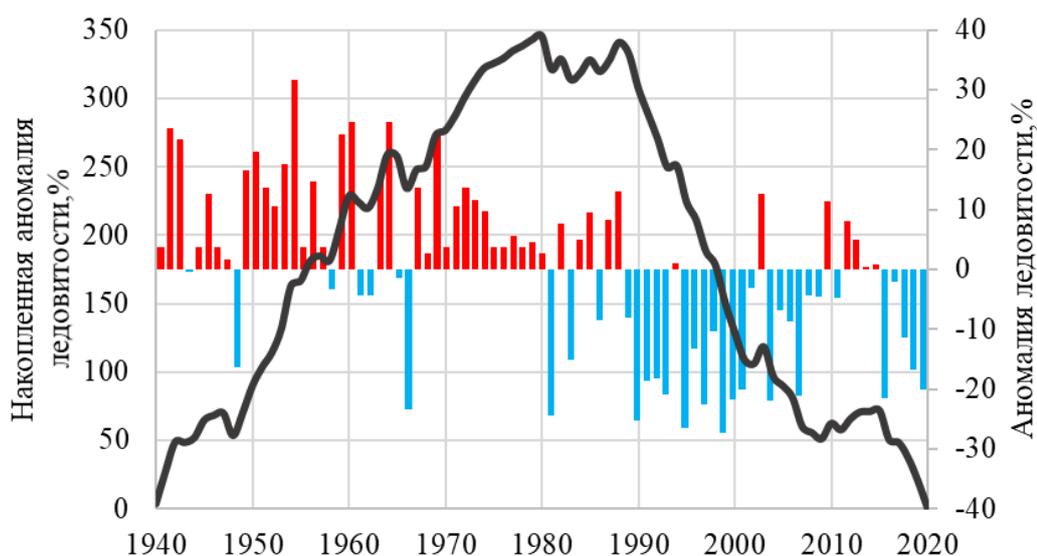


Рисунок 2.8 – Интегральная кривая аномалий ледовитости Северного Каспия относительно среднемноголетнего значения 1940-2020 гг.

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.

## 2.5 Припай северной части Каспийского моря и ВКМСК

Формирование устойчивого припая в Северном Каспии обычно отстаёт от начала ледообразования на 7-14 дней. При этом как локальная площадь припая, так и общий ледяной покров подвержены выраженной сезонной изменчивости, достигая максимума в середине зимы.

Среднемноголетняя площадь припая за 2000-2020 гг. составляет 20500 км<sup>2</sup> (площадь Северного Каспия – 90080 км<sup>2</sup>; рисунок 2.9). Максимальная площадь припая за исследуемый период отмечена в зимний период 2011/2012 гг. и составила 46000 км<sup>2</sup>.



Рисунок 2.9 – Средняя и максимальная за сезон площади припая Северного Каспия и сумма среднемесячных температур воздуха за период 2000-2020 гг.

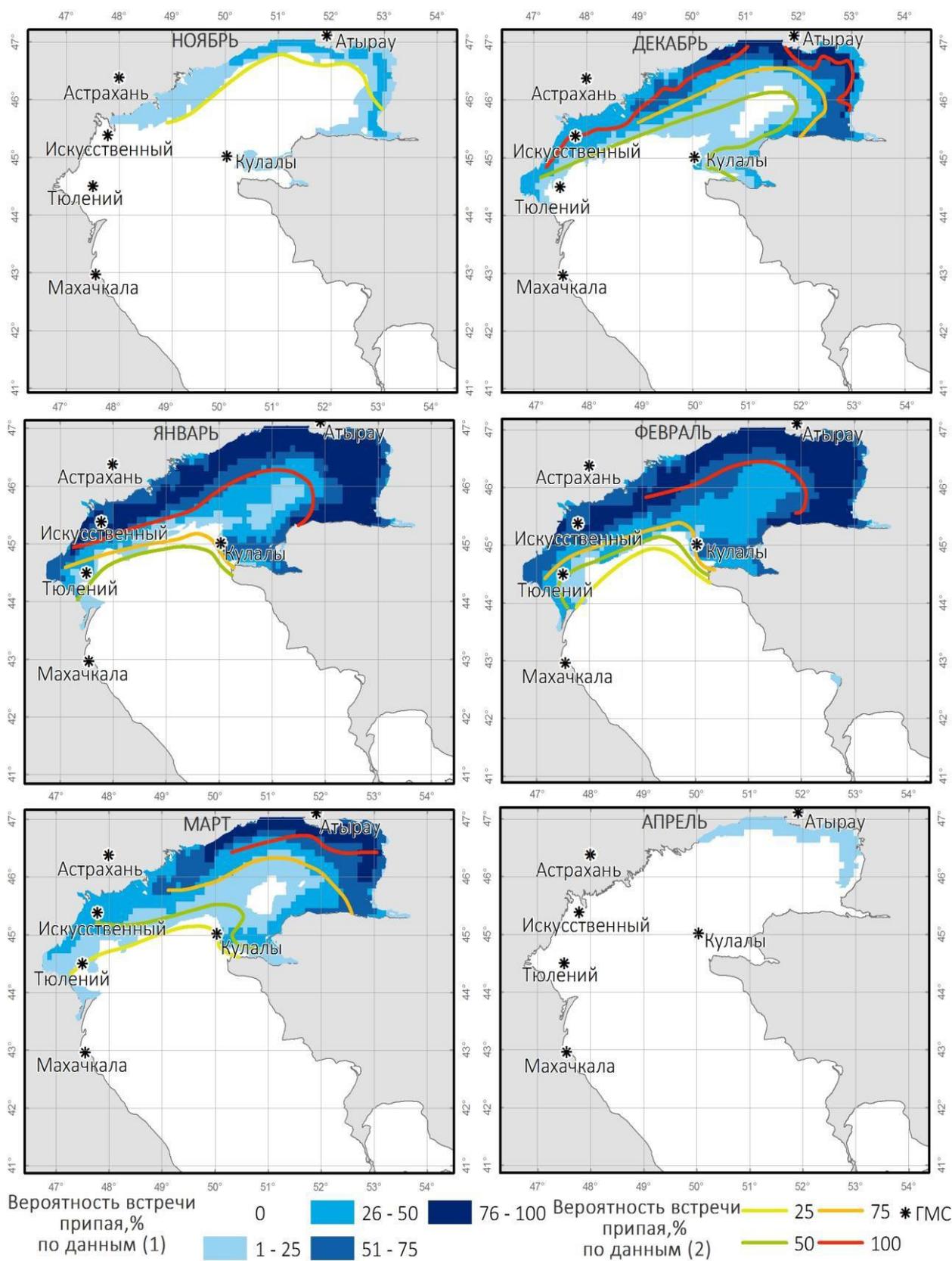


Рисунок 2.10 – Вероятность встречи припая в Каспийском море по данным:

1 – за период 2000-2020 гг. [16],

2 – за период 1927-1978 гг. [17]

## 2.6 Материалы и методы

Анализ ледового режима морей требует комплексного подхода к обработке обширных массивов информации. В работе используются как классические методы (математический, статистический, описательный, картографический), так и инновационные – в частности, пространственно-временной анализ на базе ГИС-технологий.

Ключевыми источниками современных данных являются интернет-ресурсы с картохемами положения ледяного покрова. Среди них:

- цифровые картохимы НИЦ «Планета» Каспийского моря в стереографической проекции. Основаны на данных полярно-орбитальных спутников при условии отсутствия облачности;
- еженедельные картохимы ЕСИМО (Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане);
- архивные данные ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр».

Накопленные первичные данные имеют различный формат – численный, векторный, растровый.

На основе данных, обработанных на предшествующих этапах, был проведен комплексный анализ с применением стандартных инструментов Microsoft Excel. В ходе исследования рассчитаны ключевые статистические показатели: среднемноголетние значения, экстремальные величины (максимумы и минимумы), среднеквадратические ошибки и отклонения, климатические нормы, а также аномалии для всех параметров ледового режима исследуемых морей – как по отдельным годам, так и в разрезе десятилетий.

На рисунке 2.11 представлено распределение сети гидрометеорологических станций, информация с которых привлекалась при выполнении данной работы.

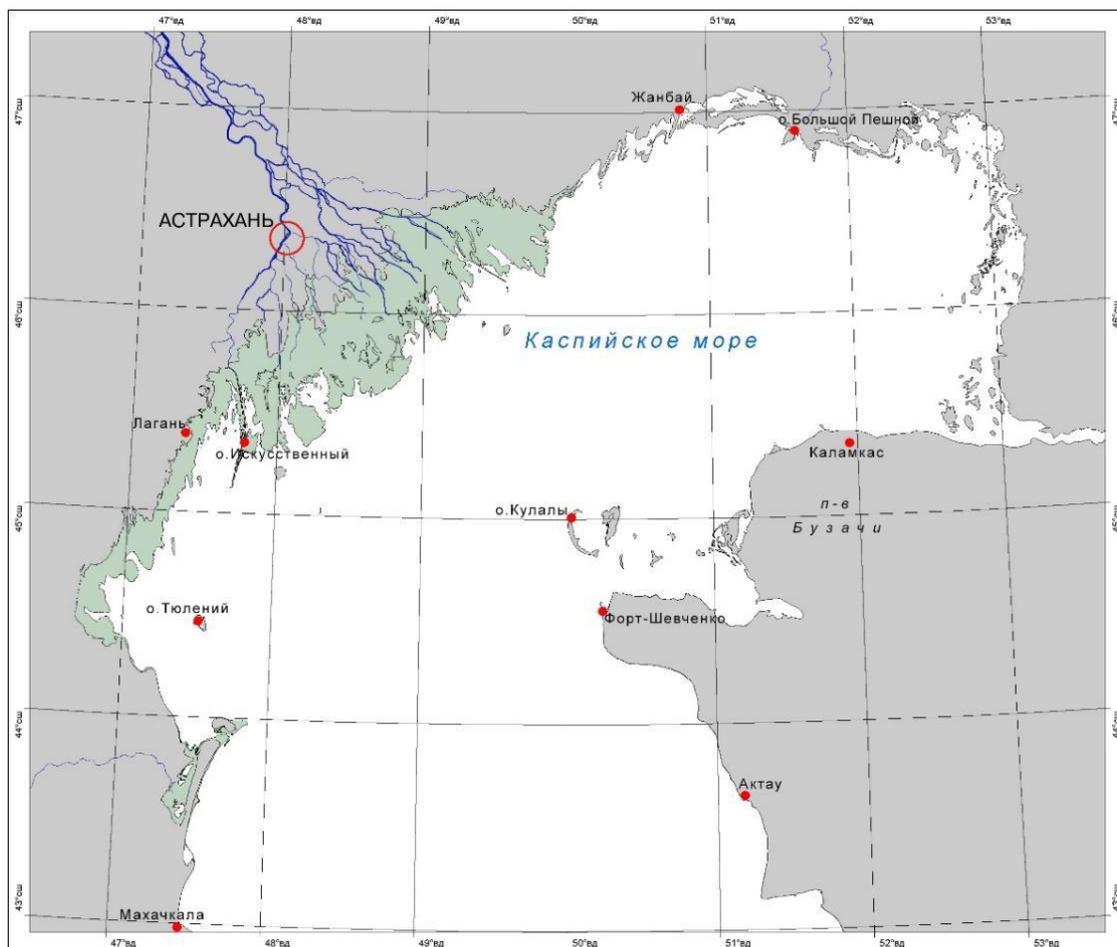


Рисунок 2.11 – Распределение сети гидрометеорологических береговых станций (ГМС)

Климатические нормы определялись для временных интервалов, рекомендованных Всемирной метеорологической организацией: 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

Аномалии вычислялись как разность между среднегодовым значением и фактическими данными за конкретный год или период наблюдений.

### **3 Анализ долговременных изменений ледового режима и климатических условий северной части Каспийского моря и ВКМСК**

Ледяной покров, будучи элементом подстилающей поверхности, оказывает комплексное влияние на тепловой баланс территории:

- снижает интенсивность теплотерь;
- сглаживает амплитуду температурных колебаний;
- отражает значительную часть солнечной радиации в дневное время;
- способствует понижению температуры приземного слоя воздуха.

Ледяной покров и климат находятся в сложной системе взаимного влияния. С одной стороны, формирование льда обусловлено конкретными климатическими условиями, с другой – сам ледяной покров становится значимым фактором трансформации этих условий.

Льды выполняют важную климатическую функцию в течение всего года. Будучи элементом подстилающей поверхности, они:

- выступают мощным источником влаги;
- обеспечивают взаимодействие трёх сред (воздух–вода–лёд).

Особенно заметно влияние льда на температуру прилегающих воздушных масс. Температурный режим нижних слоёв атмосферы напрямую зависит от температуры верхней поверхности ледяного покрова – и зимой (за счёт интенсивного излучения), и летом (когда лёд сохраняет температуру около точки плавления даже при тёплом воздухе).

Когда тёплые воздушные массы перемещаются над ледяной поверхностью, происходит их охлаждение, что может спровоцировать возникновение температурной инверсии.

Не менее важны эффекты, связанные с фазовыми переходами воды:

- образование льда сопровождается выделением большого количества тепла, что способствует смягчению зимних морозов;
- таяние льда, напротив, поглощает тепло, приводя к локальному

похолоданию.

Процесс охлаждения морской воды до температуры замерзания носит прерывистый, скачкообразный характер. Его динамика определяется совокупностью факторов:

- солёностью воды;
- глубиной акватории;
- продолжительностью и интенсивностью вторжения холодных

воздушных масс (именно эти параметры обуславливают каждый отдельный скачок охлаждения).

При этом наличие ледяного покрова на поверхности моря создаёт защитный эффект – он препятствует глубокому промерзанию водных масс в зимний период.

### 3.1 Анализ изменчивости сезонных изменений ледовитости северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.

Графики сезонного изменения площади ледяного покрова Каспийского моря (рисунки 3.1-3.17) построены на базе многолетних рядов тематических карт, сформированных по спутниковым данным. Они наглядно отражают значительную динамику ледовитости в Северном Каспии – как в разрезе отдельных сезонов, так и между разными годами.

Исследование материалов спутникового мониторинга за 2004-2021 гг. (17 лет наблюдений) показало: фактическое начало ледообразования нередко отклоняется от среднемноголетних показателей.

Особое внимание привлекает район острова Пешной (север Каспийского моря) – именно здесь ледяной покров формируется раньше всего. Статистический анализ фиксирует среднемноголетнюю дату первого появления льда на этом участке – 11 ноября.



Рисунок 3.1 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2004-2005 гг.



Рисунок 3.2 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2005-2006 гг.

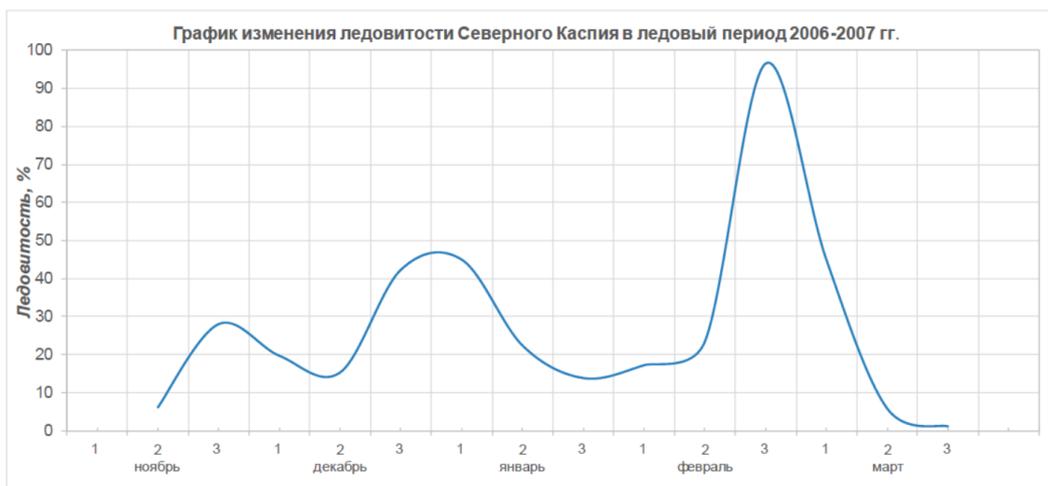


Рисунок 3.3 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2006-2007 гг.



Рисунок 3.4 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2007-2008 гг.



Рисунок 3.5 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2008-2009 гг.



Рисунок 3.6 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2009-2010 гг.



Рисунок 3.7 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2010-2011 гг.



Рисунок 3.8 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2011-2012 гг.

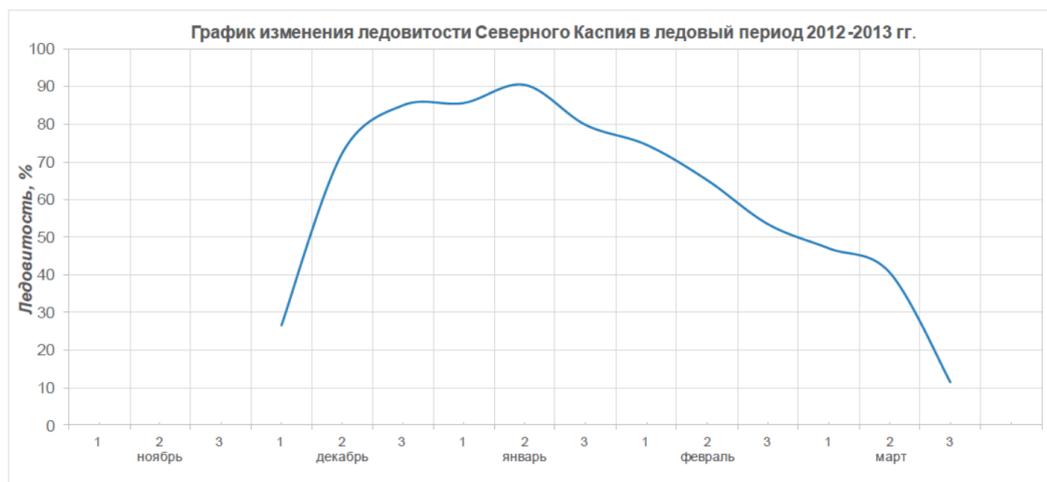


Рисунок 3.9 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2012-2013 гг.



Рисунок 3.10 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2013-2014 гг.



Рисунок 3.11 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2014-2015 гг.

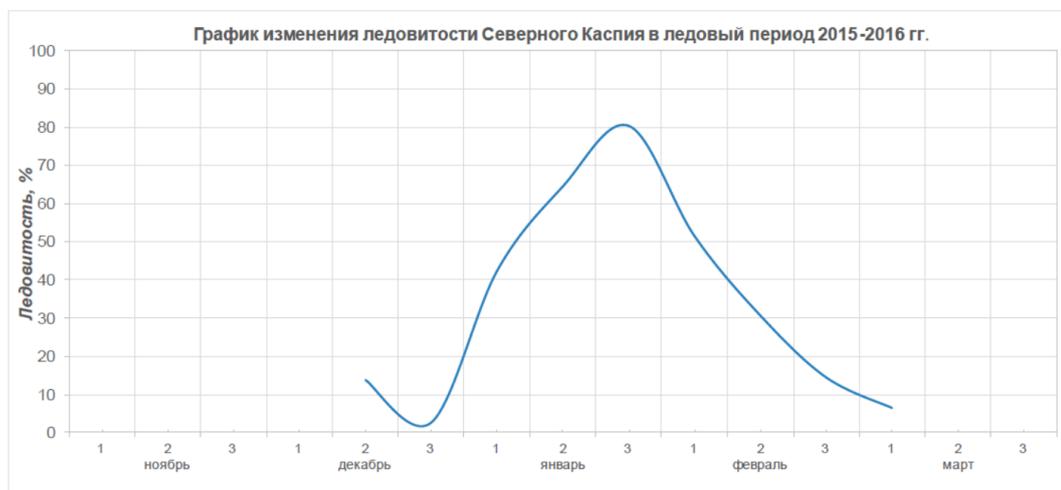


Рисунок 3.12 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2015-2016 гг.

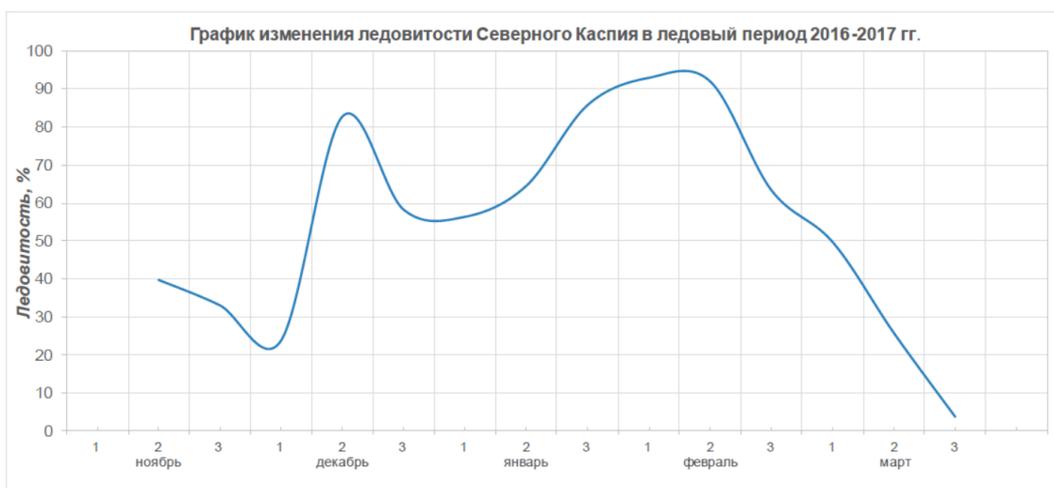


Рисунок 3.13 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2016-2017 гг.



Рисунок 3.14 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2017-2018 гг.



Рисунок 3.15 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2018-2019 гг.

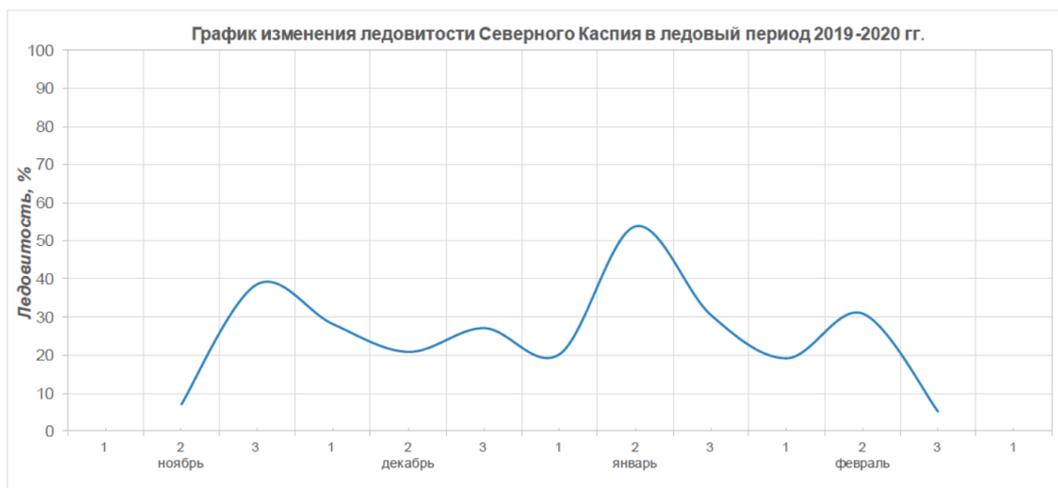


Рисунок 3.16 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2019-2020 гг.



Рисунок 3.17 – График сезонных изменений в ледовые периоды 2020-2021 гг.

Сроки появления льда демонстрируют определённую изменчивость.

Наблюдаемое смещение времени первого появления льда в Каспийском море к более поздним срокам свидетельствует о формировании устойчивой тенденции, при которой ледовый режим соответствует умеренному типу.

Ключевой причиной более позднего начала ледообразования являются синоптические условия, характерные для тёплых предзимних периодов. В такие сезоны процесс охлаждения водных масс существенно замедляется. Статистические данные последнего десятилетия демонстрируют увеличение частоты тёплых предзимьев, что напрямую коррелирует с общеклиматическими изменениями, происходящими в регионе.

Изучение приземных синоптических карт холодного периода (ноябрь-март 2004-2021 гг.) показало, как барические системы формируют гидрометеорологический режим Каспийского моря.

Когда сроки появления льда соответствуют среднемноголетним значениям (вторая декада ноября), это объясняется сочетанием следующих факторов:

- наличие антициклона над Приволжским ФО или тыловой зоны Сибирского антициклона создаёт устойчивый фон высокого давления;
- атлантические циклоны, движущиеся по северным широтам, приносят холодный арктический воздух, вызывая резкое понижение температуры.

Исследование синоптических приземных карт за период ноябрь-март 2004-2021 гг. выявило тенденцию к сокращению числа циклонов, воздействующих на северную часть Каспийского моря.

Динамика циклонической активности:

- 2004-2007 гг.: 20-3 циклона за ледовый сезон;
- 2007-2021 гг.: 9-15 циклонов.

Особые случаи:

- 2015-2016 гг. (мягкая зима): 18 циклонов;
- 2014-2015 гг.: минимальное число циклонов (6), что коррелирует с высокой стабильностью ледяного покрова (рисунок 3.11).

Данные о характере синоптических условий (таблица 3.1) показывают:

- антициклональный режим наиболее выражен в ноябре (73% дней), в декабре-марте его повторяемость снижается до 54-56%;
- циклоническая активность равномерна в декабре, январе и марте (46% дней), но снижается в феврале (44%) и достигает минимума в марте (27%).

Примечательно, что ранее циклоны чаще фиксировались в марте, однако за последние 17 лет их число сократилось, особенно в 2015, 2017, 2018 и 2020 годах.

Таблица 3.1 – Количество дней с циклональным и антициклональным характером погодных условий над акваторией Северного Каспия в зимний период (ноябрь-март) 2004-2021 гг.

Барическое образование определяющее синоптические условия	Количество дней с влиянием на погодные условия северной части Каспийского моря					
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
Ледовый сезон 2004-2005 гг.						
Циклон	16	17	8	9	17	
Антициклон	14	14	23	19	14	
Ледовый сезон 2005-2006 гг.						
Циклон	3	21	14	12	14	
Антициклон	27	10	17	16	17	
Ледовый сезон 2006-2007 гг.						
Циклон	16	21	26	21	10	
Антициклон	14	10	5	7	21	
Ледовый сезон 2007-2008 гг.						
Циклон	6	13	5	13	13	
Антициклон	24	18	26	16	18	
Ледовый сезон 2008-2009 гг.						
Циклон	7	4	10	4	22	
Антициклон	23	27	21	24	9	
Ледовый сезон 2009-2010 гг.						
Циклон	9	14	17	10	14	
Антициклон	21	17	14	18	17	
Ледовый сезон 2010-2011 гг.						
Циклон	15	15	11	16	12	
Антициклон	15	15	20	12	19	
Ледовый сезон 2011-2012 гг.						
Циклон	12	15	3	9	28	10
Антициклон	18	15	28	20	3	20
Ледовый сезон 2012-2013 гг.						
Циклон	3	9	17	7	18	
Антициклон	27	22	14	21	13	
Ледовый сезон 2013-2014 гг.						
Циклон	8	21	14	14	15	
Антициклон	22	10	17	14	16	
Ледовый сезон 2014-2015 гг.						
Циклон	7	16	14	2	0	7
Антициклон	23	15	17	26	31	23
Ледовый сезон 2015-2016 гг.						

Циклон	11	25	24	12	26	
Антициклон	19	6	7	16	5	
Ледовый сезон 2016-2017 гг.						
Циклон	5	19	16	23	7	
Антициклон	25	12	15	5	24	
Ледовый сезон 2017-2018 гг.						
Циклон	4	12	18	8	7	
Антициклон	26	19	13	20	24	
Ледовый сезон 2018-2019 гг.						
Циклон	5	12	13	12	19	
Антициклон	25	19	18	16	12	
Ледовый сезон 2019-2020 гг.						
Циклон	3	8	22	20	3	
Антициклон	27	23	9	8	28	
Ледовый сезон 2020-2021 гг.						
Циклон	8	0	11	17	16	
Антициклон	22	31	20	11	15	

Была проведена типизация зим по степени суровости основываясь на критериях классификаций представленных в работах Бухарицина П. И. [18] и Думанской И.О. [19, 20, 21, 22]. Кроме того, за последние 16 лет рассчитаны суммы градусодней мороза по данным метеорологических наблюдений на ГМС Астрахань. Также на основе анализа приземных синоптических карт определено количество дней с циклональным и антициклональным типом погодных условий (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сумма градусодней мороза за последние 16 лет в п. Астрахань Северного Каспия и типизация зим по степени суровости

Ледовый сезон	Сумма градусодней мороза, °С	Тип зимы	Количество дней с циклональным типом погодных условий	Количество дней с антициклональным типом
2005/2006	-485	У	64	87
2006/2007	-164	М	95	57
2007/2008	-520	У	50	102
2008/2009	-409	У	47	104
2009/2010	-443	У	64	87
2010/2011	-359	М (У)*	69	81
2011/2012	-713	С	67	84

2012/2013	-274	М (У)*	54	97
2013/2014	-323	М (У)*	72	79
2014/2015	-332	М (У)*	39	112
2015/2016	-154	М	99	53
2016/2017	-421	У	70	81
2017/2018	-307	М (У)*	49	103
2018/2019	-175	М	61	90
2019/2020	-111	М	56	95
2020/2021	-386	М(У)*	52	99

(М-мягкая зима, У- умеренная зима, С- суровая зима)

Климатическая статистика Северного Каспия за 2005-2021 гг. демонстрирует явный перевес умеренных зим – их зафиксировано 11. Мягкие зимы наблюдались 4 раза, а суровая – только однажды, в сезоне 2011/2012 гг.

При этом общий баланс циклональных и антициклональных дней в суровую зиму 2011/2012 гг. сопоставим с показателями умеренных сезонов. Ключевое отличие проявилось в конце января 2012 года:

Формирование антициклона: в середине третьей декады января с востока пришёл мощный антициклон.

Географический охват: зона влияния простиралась от Скандинавии до Западной Сибири.

Последствия:

- приток арктического воздуха;
- аномальное похолодание в Астрахани (отклонение среднемесячной температуры около минус 7 °С).

Динамика: антициклон сохранялся до середины февраля, затем его сменил Сибирский антициклон.

Именно январь 2012 года стал рекордным по продолжительности антициклонального режима за весь 17-летний период наблюдений.

Исследование динамики ледовитости Каспийского моря на основе спутниковых данных (рисунки 3.1-3.17) выявило чёткую временную тенденцию:

До конца первого десятилетия XXI века: максимум площади ледяного покрова стабильно приходился на вторую-третью декады января.

В последующие годы: пик ледовитости сдвинулся на первую-вторую декады февраля.

Отклонения от этой тенденции наблюдались в:

- мягких зимах 2018/2019 гг. и 2019/2020 гг.;
- умеренной зиме 2014/2015 гг.

Во всех этих случаях отчётливых пиков ледовитости не зафиксировано.

Параллельно ускорились процессы разрушения льда. При сохранении традиционных сроков полного очищения акватории (преимущественно третья декада марта) таяние стало проходить интенсивнее.

Однако в отдельные годы (2009/2010, 2010/2011, 2011/2012, 2017/2018 гг.) формировался исключительно мощный ледяной покров. Его отличали высокие показатели:

- возрастных характеристик;
- сплочённости;
- общей ледовитости.

Важный общий вывод: в северной части Каспийского моря за исследуемый период зафиксирована значительная межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости.

### 3.2 Анализ изменчивости площади неподвижного льда (припая) северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.

Припай – это неподвижный лёд, который не совершает горизонтальных движений, но участвует в вертикальных колебаниях уровня воды. В морях припай образуется у берегов ледникового барьера, севших на мель айсбергов или стамух. Может образовываться из солёной воды или в результате примерзания к берегу дрейфующего льда любого возраста.

Мониторинг площади припайного льда имеет важное значение для

оценки ледовых условий Каспийского моря, так как этот параметр наглядно отражает влияние межгодовых гидрометеорологических колебаний [23].

На основе анализа декадных данных за 2004-2021 гг. (Приложение 1) установлено, что распределение припайного и дрейфующего льда в Северном Каспии отличается высокой межгодовой изменчивостью.

Практический вывод: лишь в двух случаях – в ледовых периодах 2004-2005 и 2017-2018 гг. – динамика льда соответствовала среднемноголетним нормам. Это указывает на преобладание аномальных ледовых режимов в последние десятилетия, что необходимо учитывать при планировании судоходства, добычи ресурсов и природоохранных мероприятий [24].

Аномальные периоды:

- отклонение в меньшую сторону: 2006-2007 гг., 2015-2016 гг., 2019-2020 гг.;
- отклонение в большую сторону: 2011-2012 гг.

Особого внимания заслуживает динамика после суровой зимы 2011-2012 гг.: наибольшие площади дрейфующего льда стали фиксироваться уже в ноябре-декабре, тогда как ранее максимум приходился на январь-март.

На основании этих данных можно сделать вывод: в последнее пятилетие пик развития ледяного покрова Северного Каспия смещается с января на февраль.

Спутниковый мониторинг ледового режима Каспийского моря (2004-2021 гг.) позволил выявить существенные различия в продолжительности и интенсивности ледовых периодов.

Продолжительность ледовых сезонов:

- средняя – 12 декад;
- минимальная – 9 декад (2015-2016 гг.);
- максимальная – 17 декад (2011-2012 гг., единственная суровая зима за период наблюдений).

Особенности мягких зим (2006-2007, 2015-2016, 2019-2020 гг.):

- припайный лёд имел низкие площадные показатели;

- в отдельных районах припай не образовывался;
- исключение – зима 2006-2007 гг.: в третьей декаде февраля зафиксировано смерзание дрейфующего льда, приведшее к формированию припая выше среднего уровня.

При этом ледовый период 2006-2007 гг. отличался:

- продолжительностью (14 декад);
- ранним началом ледообразования;
- неравномерным пространственным распределением льда;
- «вялым» процессом нарастания, не достигшим средних значений.

Экстремальные значения площади льда:

- максимум (2005-2006 гг.):
- общая площадь (дрейфующий + припайный лёд) ~100 тыс. кв. км;
- площадь припая ~65 тыс. кв. км;
- минимум (2019-2020 гг.):
- общая площадь ~45,5 тыс. кв. км;
- площадь припая ~2,4 тыс. кв. км.

Динамика площади припая:

- типичный максимум – середина января-февраля;
- до 2011-2012 гг. – превышение средних значений за 17 лет;
- после 2011-2012 гг. – преимущественно ниже средних, кроме зим 2014-2015, 2016-2017 и 2017-2018 гг.

Метеорологические параметры (сумма градусодней мороза, ветер), количество дней влияния барических образований (циклон, антициклон) на синоптические условия северной части Каспийского моря в периоды начала ледообразования, развития и разрушения ледяного покрова, а также значения площади припая и ледовитости моря, отраженные в таблице 3.3, позволяет провести комплексный анализ взаимосвязи атмосферных процессов и ледового режима северной части Каспийского моря.

Таблица 3.3 – Метеорологические условия и статистические значения ледовитости в период образования, развития и разрушения ледяного покрова Северного Каспия в период 2005-2021 гг.

	Барическое образование определяющее синоптические условия, кол-во дней		Направление ветра (преобл.)	$\Sigma$ °дней мороза, °С	Площадь припая, %	Общая ледовитость, %
	Циклон	Антициклон				
2005-2006 гг.						
Ноябрь-декабрь	34	28	В, ВЮВ	-63	6	17
			В			
Январь-февраль	17	42	В, ВЮВ	-657	73	100
			ВЮВ, В			
Март	17	14	В	-13	19	51
2006-2007 гг.						
Ноябрь-декабрь	24	37	ВЮВ, В	-152	12	42
			ЮЗ			
Январь-февраль	26	33	Ю, ЮЗ	-122	38	97
			ЮВ			
Март	14	17	В	-28	0	6
2007-2008 гг.						
Ноябрь-декабрь	19	24	СВ, СЗ	-231	15	64
			В			
Январь-февраль	18	42	ВЮВ	-661	72	94
			ЮЗ, ЗЮЗ			
Март	13	18	ВЮВ	-0.5	11	20
2008-2009 гг.						
Ноябрь-декабрь	11	50	СЗ	-179	27	75
			ВЮВ			
Январь-февраль	14	45	ВЮВ	-388	39	87
			В			
Март	22	9	ВЮВ, СВ	-24	1	27
2009-2010 гг.						
Ноябрь-декабрь	23	38	В, ВЮВ	-119	8	51
			СВ			
Январь-февраль	27	32	ВЮВ	-498	44	93
			В			
Март	14	17	ЮЗ	-30	15	60

2010-2011 гг.						
Ноябрь-декабрь	30	30	ЮВ	-26	0	3
			ЮВ, В			
Январь-февраль	27	32	В	-560	34	82
			В, ЮЗ			
Март	12	19	ЮЗ, ССВ	-90	17	65
2011-2012 гг.						
Ноябрь-декабрь	27	33	СЗ	-272	9	60
			ВЮВ, ЮВ			
Январь-февраль	12	48	В, ВЮВ	-652	49	100
			ВЮВ			
Март	28	3	ЮЗ	-86	35	80
2012-2013 гг.						
Ноябрь-декабрь	12	49	ЮВ	-280	2	85
			В			
Январь-февраль	24	35	СВ, ВСВ	-245	11	91
			ВЮВ			
Март	18	13	ЮВ	-16	4	41
2013-2014 гг.						
Ноябрь-декабрь	29	32	ЮВ	-67	1,5	46
			З			
Январь-февраль	28	31	В	-492	19	96
			ВЮВ			
Март	15	16	В	-13	3	52
2014-2015 гг.						
Ноябрь-декабрь	23	38	ВСВ	-199	8	70
			ВЮВ			
Январь-февраль	16	43	В	-375	20	74
			В			
Март	0	31	В	-47	7	26
2015-2016 гг.						
Ноябрь-декабрь	37	25	ЮВ	-40	0	14
			З			
Январь-февраль	36	23	ВЮВ	-178	8	80
			ВЮВ			
Март	26	5	ССВ	-5	0	0
2016-2017 гг.						
Ноябрь-декабрь	24	37	В	-259	4	83
			З			
Январь-февраль	39	20	ЮВ	-339	24	93
			З			

Март	7	24	ВЮВ	0	17	49
2017-2018 гг.						
Ноябрь- декабрь	16	46	В	-134	2	54
			В, ЮВ			
Январь- февраль	26	33	В	-444	30	81
			В			
Март	7	24	СВ	-57	16	48
2018-2019 гг.						
Ноябрь- декабрь	17	34	В	-160	7	46
			ЮВ, ВЮВ			
Январь- февраль	25	34	В	-236	15	67
			В			
Март	19	12	ЮЗ	-1.7	3	14
2019-2020 гг.						
Ноябрь- декабрь	11	40	ЮВ	-117	1	38
			ЮВ			
Январь- февраль	42	17	ЗЮЗ, З	-81	3	54
			Ю			
Март	3	28	ЮВ	0	0	0
2020-2021 гг.						
Ноябрь- декабрь	8	53	ЮВ, Ю	-324	25	76
			В			
Январь- февраль	28	31	ЮВ	-283	26	91
			ЮЗ			
Март	16	15	ЮЗ, З	-40	6	60

### 3.3 Анализ возрастного состава ледяного покрова северной части Каспийского моря и ВКМСК в период 2004-2021 гг.

Ледовый режим Каспийского моря во многом определяется возрастным составом ледяного покрова – ключевым показателем, отражающим динамику замерзания и развития льда.

Характерная картина наблюдается в умеренные зимы: при установлении устойчивых отрицательных температур вдоль протяжённого побережья Северного Каспия формируются:

- начальные виды льда;
- ниласовые льды (толщиной до 10 см).

Ключевой фактор быстрого ледообразования – мелководность региона. Преобладающий тип льда в декабре и последующие месяцы – молодые льды (серый и серо-белый). Они формируют основную ледовую массу и занимают наибольшую площадь в Северном Каспии [25].



Рисунок 3.18 – Караван судов в Волго-Каспийском морском судоходном канале

(фото ФГБУ «АМП Каспийского моря»).

Динамика формирования ледяного покрова в Северном Каспии зависит от типа зимы и температурных условий.

Умеренные зимы:

Сроки формирования серого льда, толщина которого составляет от 10 до 15 см: от одной до полутра недель при стабильных температурах ниже минус 6°C.

Вторая декада декабря:

- в центре акватории – преобладает серый дрейфующий лёд;

- вдоль северо-восточного и северного побережья – зона припая или малоподвижного серо-белого льда (15-30 см).

Мягкие зимы:

- типичный состав: ниласовые и серые дрейфующие льды;
- исключения: случаи, когда возрастной состав льда соответствовал умеренному типу (преобладание серо-белого дрейфующего льда 15-30 см на значительной части акватории).

Различия обусловлены неоднородностью температурного режима: в юго-западных районах он был существенно теплее, чем в центральных, северных и северо-восточных [26].

Таким образом, в условиях изменяющегося климата наблюдается пространственная дифференциация возрастного состава морского льда в северной части Каспийского моря: на севере и северо-востоке – признаки умеренного типа зимы, на юго-западе – мягкого.



Рисунок 3.19 – Ледокол «Капитан Букаев» сопровождает караван судов по Волго-Каспийскому морскому судоходному каналу (фото ФГБУ «АМП Каспийского моря»).

Формирование однолетнего дрейфующего льда, с небольшой толщиной, в Каспийском море напрямую определяется степенью суровости зимы, которая, в свою очередь, обусловлена синоптическими условиями ледового периода [27].

Карты ледовой обстановки (Приложение 2) свидетельствуют о существенной межгодовой изменчивости возрастного состава морского льда. Наиболее выраженные колебания наблюдаются в период после 2013 года.

Ключевые наблюдения:

- заметная динамика возрастного состава льда;
- межгодовые колебания площади припая;
- тенденция к сокращению границ распространения неподвижного льда.

Ограничения спутникового мониторинга

При создании ледовых карт на основе спутниковых данных важно учитывать следующее:

- методы интерактивного дешифрирования точно определяют возрастные характеристики льда;
- однако они фиксируют только естественное нарастание ледяного покрова;
- не учитываются процессы наслоения и торошения, регулярно возникающие из-за подвижек льда в зимний период.

Структура ледяного покрова Северного Каспия

Ледяной покров региона представляет собой сложную динамическую систему:

- включает восторошенный лёд;
- характеризуется многократным наслоением;
- объединяет участки разного типа (дрейфующие и неподвижные);
- содержит лёд различных возрастных градаций.

В работах Болгова М.В., Красножона Г.Ф., Любушина А.А. [28] и Бухарицина П.И [29] представлены результаты измерений толщины льда

естественного нарастания и подвергавшегося многократным наслоениям в разных районах Каспийского моря, из которых можно сделать вывод о том, что толщины наслоенного льда, как минимум, в 2-3 раза превышают толщину ледяного покрова естественного нарастания.

## **4 Опасные ледовые явления и морехозяйственная деятельность в северной части Каспийского моря и ВКМСК**

### 4.1 Основные термины и определения

Вопросы безопасности в условиях природных и техногенных угроз находятся в фокусе внимания ведущих международных институтов, таких как МГЭИК (IPCC), ВМО (WMO) и ООН (UN).

Также большой вклад в изучение опасных ледяных образований внесли экспедиционные работы, проводимые организациями Росгидромета в рамках проекта обустройства месторождения им. В. Филановского в Каспийском море. Учитывая огромный объем работ, для решения этой задачи была создана кооперация организаций Росгидромета: ФГБУ «ААНИИ», ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова», ФГБУ «Гидрометцентр России» и ФГБУ «НИЦ «Планета».

Одним из ключевых вызовов стала несогласованность терминологии. Эта проблема стала приоритетной для UNDRR (ранее UNISDR) после:

- утверждения Хиогской рамочной программы действий (2005-2015);
- публикации документа «UNISDR 2009. Терминология по снижению риска бедствий».

Дальнейшее развитие нормативной базы обеспечила Сендайская рамочная программа (2015-2030), которая:

- систематизировала подходы к оценке опасностей разного масштаба;
- учла факторы частоты и скорости распространения угроз;
- включила в анализ риски природного и антропогенного характера;
- охватила экологические, техногенные и биологические аспекты безопасности.

Классификация опасных явлений включает следующие понятия:

Опасное природное явление (ОПЯ). К нему относят

гидрометеорологические или гелиогеофизические явления, которые признаются опасными при наличии хотя бы одного из следующих факторов:

- высокая интенсивность развития;
- значительная продолжительность;
- неблагоприятный (неожиданный) момент возникновения.

Подобные явления способны угрожать жизни и здоровью людей, а также вызывать существенные материальные потери.

В соответствии с распределением функциональных обязанностей мониторинг гидрометеорологической обстановки на территории российского сектора Каспийского моря, включая выявление и отслеживание опасных природных явлений (ОПЯ), возложен на ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (далее – ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС»).

Учреждением разработан и внедрён нормативный документ – перечень и критерии ОПЯ для территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Правовая основа документа:

- приказ ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 № 22 (первоначальная редакция);
- приказы ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 17.05.2016 № 69 и от 22.06.2016 № 81 (внесение изменений).

Перечень сформирован с учётом методических рекомендаций Всемирной метеорологической организации (ВМО), что обеспечивает его соответствие международным стандартам.

На базе указанного перечня территориальные органы гидрометеорологической службы – ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р и ЦГМС – разрабатывают адаптированные региональные перечни и критерии ОПЯ. При их составлении учитываются:

- региональные природно-климатические особенности;
- специфика хозяйственно-экономической деятельности на подведомственных территориях.

Перечень и критерии опасных ледовых явлений, характерных для Каспийского моря и ВКМСК, представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Наблюдаемые опасные ледовые явления и их критерии, утвержденные Росгидрометом

Опасное явление	Локализация	Критерии
Раннее появление льда*	Появление ледяного покрова или припая в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет на Каспийском море	Северный Каспий: Конец октября - начало ноября.
Интенсивный дрейф льда	Дрейф ледяных полей (льдин размером не менее 500 м) со скоростью не менее 1 км/ч на Каспийском море	
Появление льда, непроходимого судами и ледоколами в период навигации на судовых трассах и в районах рыбного промысла	Каспийское море	-
Отрыв прибрежных льдов в местах выхода людей на лёд		
Навалы льда на берега и морские гидротехнические сооружения		
Обледенение судов		
	Северный Каспий	0,7 см/ч и более

Авторы Новиков В. И., Бухарицин П. И. [4] выделяют следующие опасные гидрологические явления, наблюдающиеся в Каспийском море, не указывая при этом критерии опасности этих явлений:

1) быстрое обледенение судов, подъёмно-транспортных машин, гидротехнических сооружений и навигационных буйев в море, каналах и на берегу;

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

3) в периоды суровых зим вся акватория Северного Каспия покрывается

толстым неподвижным льдом – припаем.

4) на Северном Каспии при всех типах зим преобладают устойчивые восточные и юго-восточные ветры, которые вызывают интенсивный дрейф, подвижки, заторы и торошение льда. Эти процессы приводят к деформациям ледяного покрова и формируют сложную ледовую обстановку в районе Астраханского морского рейда и морской части Волго-Каспийского канала (ВКМСК).

#### 4.2 Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность северной части Каспийского моря и ВКМСК

Каспийское море и Волго-Каспийский судоходный канал (ВКМСК), расположенные на юге Российской Федерации, занимают ключевое место в системе национальной транспортной инфраструктуры благодаря выгодному географическому положению. Это обусловило формирование разветвлённой транспортной сети, особенно в морской сфере.

Согласно картографическим данным (рисунок 4.1) акватории Северного Каспия – 3 порта, также учитываем порт Астрахань.

Порты российского сектора Каспийского моря обладают рядом специфических особенностей:

- ограниченная глубина акваторий;
- наличие сезонного ледяного покрова.

Для поддержания безопасности судоходства в регионе ежегодно выполняются дноуглубительные работы, а в зимний период организуется ледовая проводка судов.

Раннее формирование льда или припая создаёт существенные риски для морской операционной деятельности. В частности, преждевременное ледообразование в акватории и судоходных каналах приводит к срыву навигационных буёв с якорей и их уносу в открытое море. При этом статистические данные с начала 2000-х годов демонстрируют отсутствие

регулярных случаев раннего ледообразования на исследуемых участках – исключение составил лишь единичный эпизод, зафиксированный на гидрометеорологической станции (ГМС) Пешной в Северном Каспии.

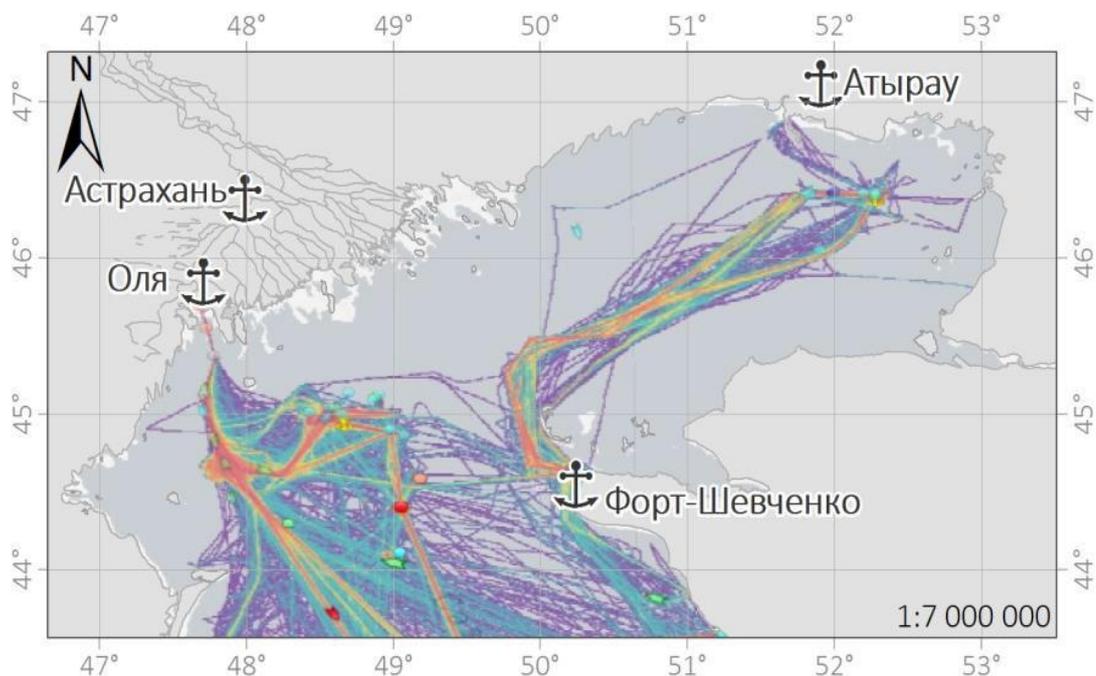


Рисунок 4.1 – Карта движения судов в акватории Каспийского моря по данным сайта <https://www.marinetraffic.com/>

Характерной особенностью Северного Каспия являются навалы льда, которые способны полностью покрывать острова и банки, расположенные как выше, так и ниже текущего уровня моря. По механизму формирования они схожи со стамухами и могут сохраняться в рельефе длительное время даже после очищения акватории ото льда весной.

#### 4.3 Районирование северной части Каспийского моря по степени опасности ледовых явлений

Эффективное морское пространственное планирование, а также обеспечение безопасности природопользования и эксплуатации гидротехнических сооружений в морской и прибрежной зонах невозможны

без детальных сведений о характере и интенсивности проявления опасных природных явлений, включая те, что связаны с формированием и динамикой ледяного покрова.



Рисунок 4.2 – Торосы, образовавшаяся непосредственно в ложе Волго-Каспийского морского судоходного канала  
(Фото Астраханского филиала Росморпорта)

Проведён анализ вероятности возникновения опасных ледовых явлений (ОЛЯ). В ходе исследования рассчитаны интегральные показатели опасности, результаты которых представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Интегральные показатели проявления опасных ледовых явлений на исследуемых акваториях

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

Большая часть акватории Северного Каспия подвержена высокой степени опасности припая, при этом эта область увеличивается в 2010-2019 гг. по сравнению с 2000-2009 гг. (рисунок 4.3, 4.4).

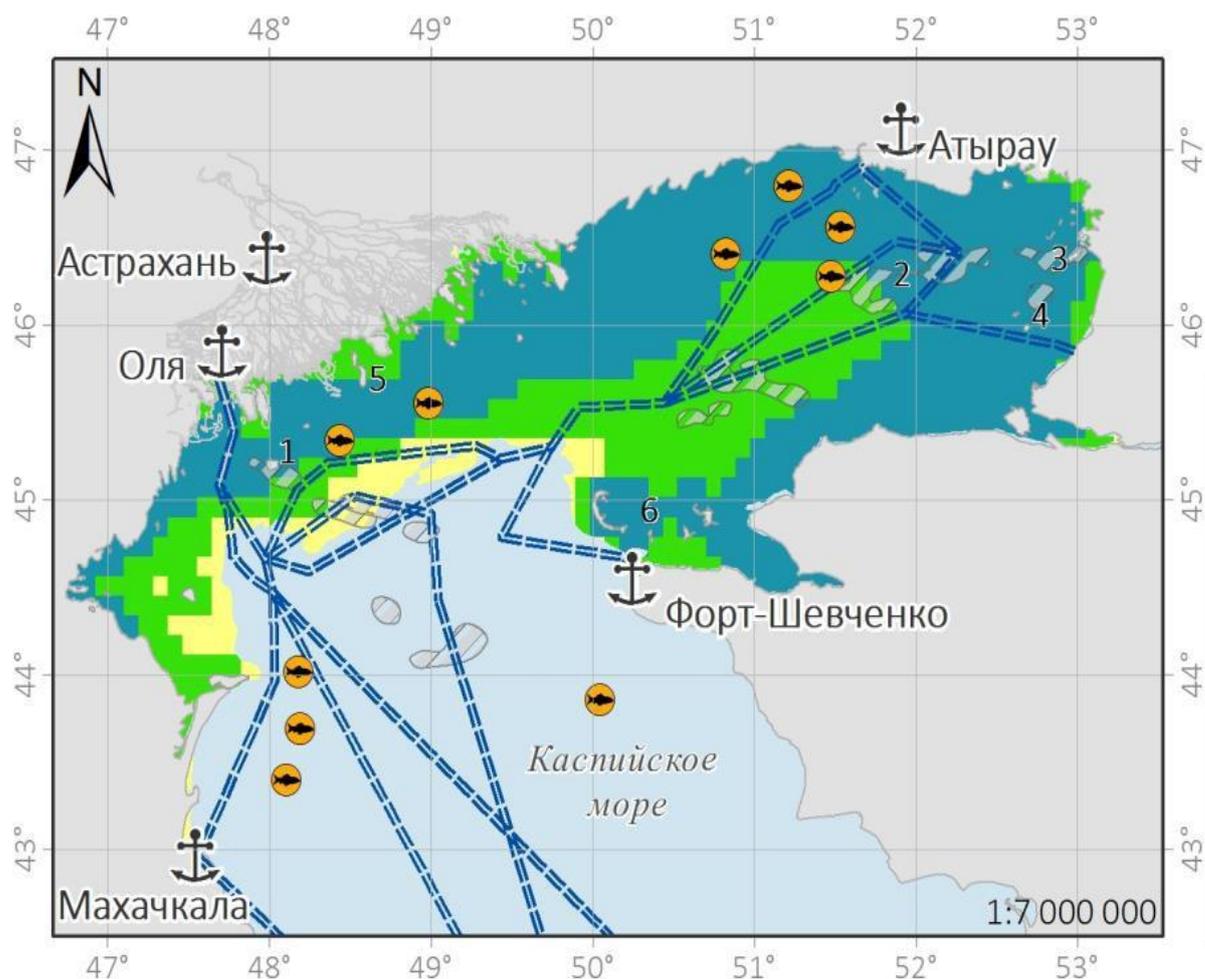
Согласно геоморфологическим данным, береговая зона Северного Каспия характеризуется низкой активностью опасных процессов благодаря доминированию аккумулятивных форм рельефа. Тем не менее в контексте интенсивного развития нефтегазового сектора особую актуальность приобретает проблема ледовых воздействий [30].

Припай, формирующийся в зимний период, рассматривается как значимый фактор риска для:

- морских нефтедобывающих комплексов;
- систем транспортировки углеводородов;
- вспомогательных сооружений и коммуникаций.

Указанные явления наблюдаются в мелководных зонах, где глубина не превышает 5 м. В границах этих районов находятся:

- важные рыбопромысловые участки;
- нефтегазоконденсатное месторождение Ракушечное;
- нефтегазоконденсатное месторождение Западно-Ракушечное;
- нефтегазоконденсатное месторождение им. Юрия Корчагина;
- нефтегазоконденсатное месторождение м-е им. Владимира Филановского;
- нефтегазоконденсатное месторождение Сарматское (имени Ю.Кувыкина);
- нефтегазоконденсатное месторождение Курмангазы (казахстанский сектор);
- морские подходы к порту Оля;
- Волго-Каспийский морской судоходный канал.



- Низкая
- Средняя
- Высокая
- ⦿ Рыбный промысел
- ⚓ Морские порты
- Основные судоходные пути
- Месторождения нефти и газа

Рисунок 4.3 – Районирование Северного Каспия по степени опасности припая для периода 2000-2009 гг.

Следовательно, несмотря на благоприятный природный фон в части береговых процессов, эксплуатация нефтегазовой инфраструктуры требует учёта ледовых угроз.

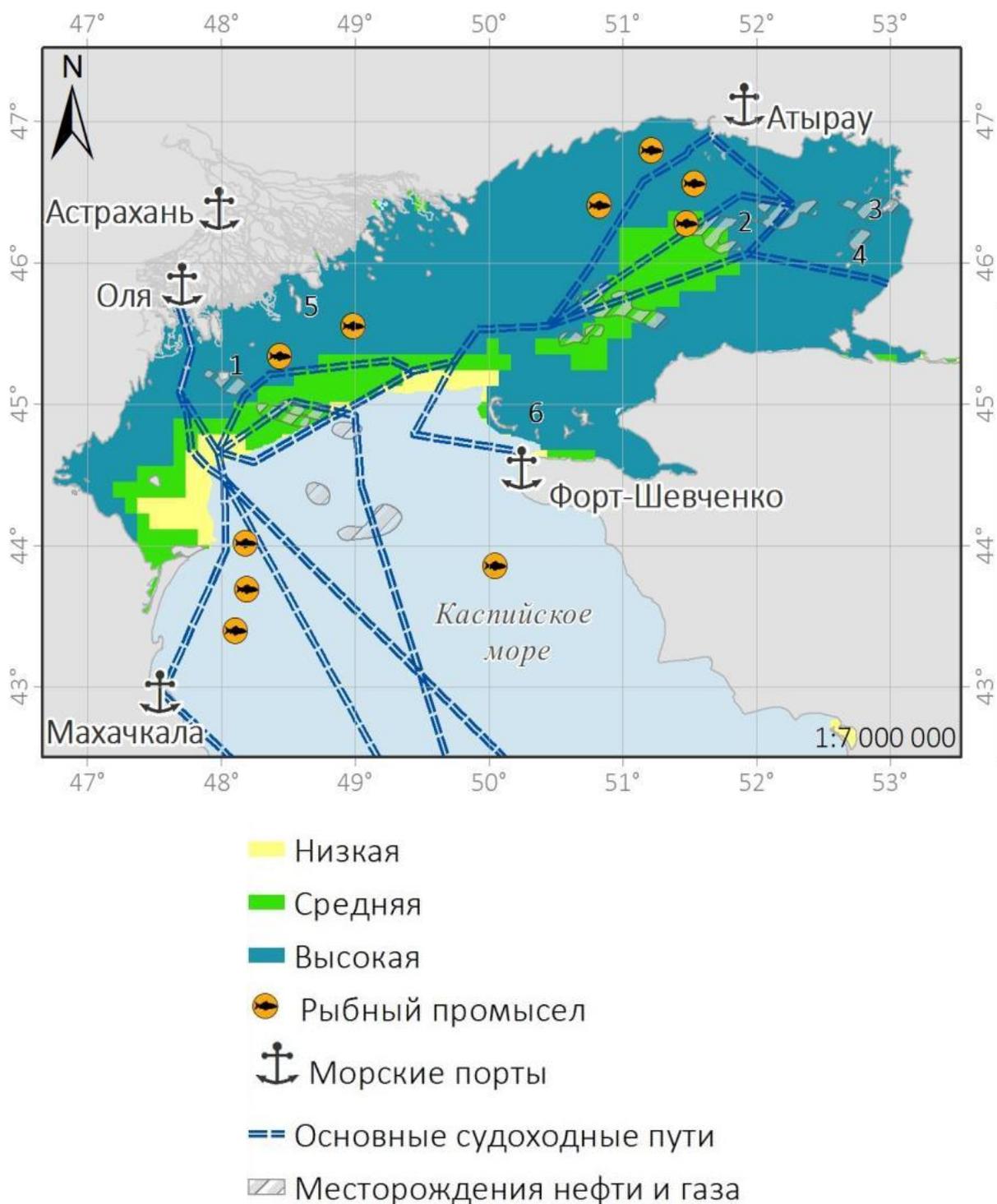
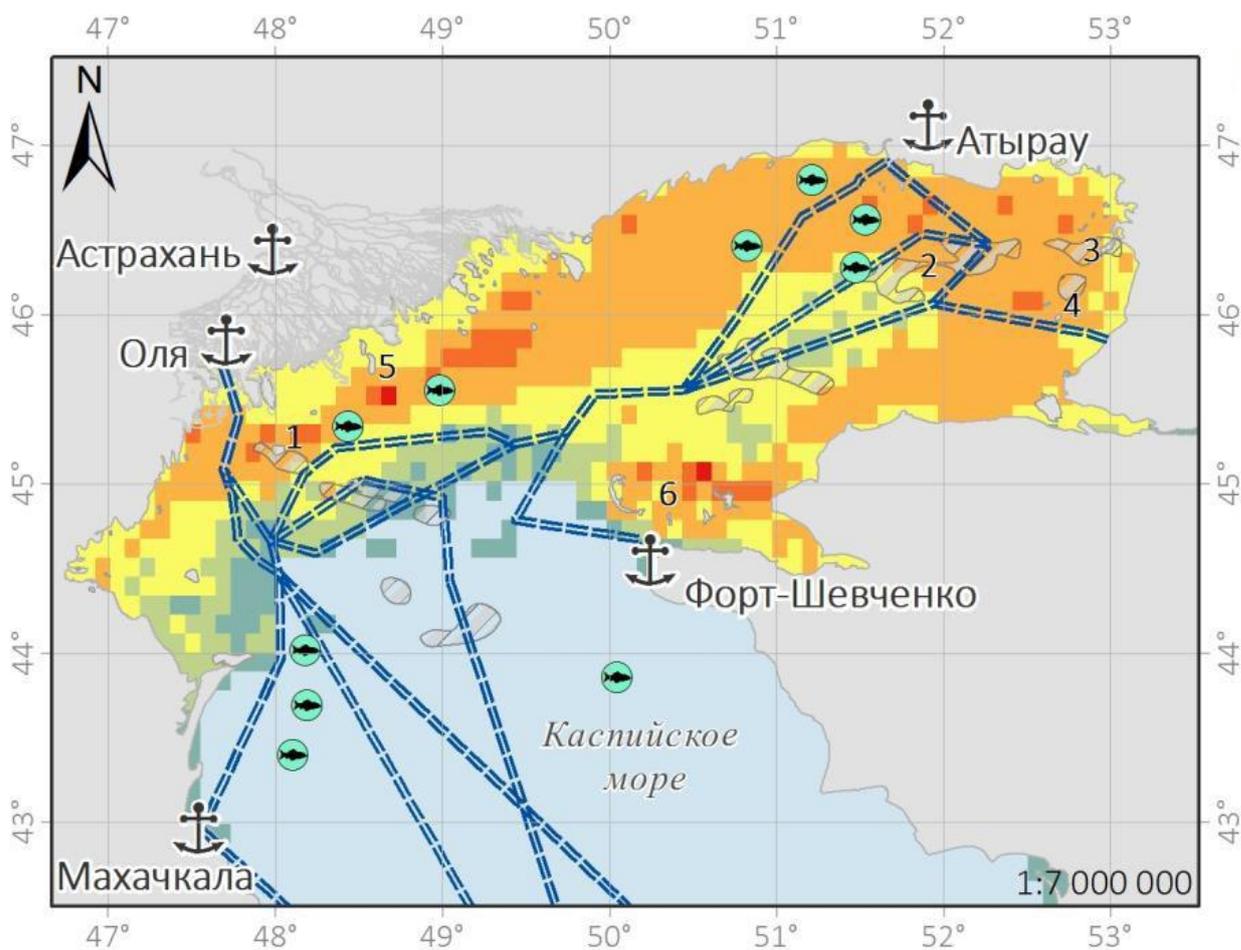


Рисунок 4.4 – Районирование Северного Каспия по степени опасности припая для периода 2010-2019 гг.

Высокий и местами крайне высокий уровень опасности характерен для значительной части акватории Северного Каспия (рисунок 4.5). Это связано с особенностями ледового режима: в зимний сезон припай отличается повышенной динамичностью, что провоцирует активное образование торосов.



- Очень низкая
- Низкая
- Средняя
- Высокая
- Очень высокая
- Чрезвычайно высокая
- ⦿ Рыбный промысел
- ⚓ Морские порты
- Основные судоходные пути
- Месторождения нефти и газа

Рисунок 4.5 – Районирование Северного Каспия по степени проявления опасных ледовых явлений

Чрезвычайно высокая степень опасности характерна для очень малых областей вблизи острова Большой Сетной на взморье дельты Волги и острова Морской (Тюленьи острова), что обусловлено геоморфологией дна – глубины не превышают 1 м., и сгонно-нагонными колебаниями уровня, во время которых ЛТО могут заноситься на мелководье, садясь на дно при падении уровня, и даже оказываться на суше [31].



Рисунок 4.6 – Набивной лед в Волго-Каспийском морском судоходном канале. Февраль 2023 г.

(фото Р.С. Орлова, капитана ледокола «Капитан Букаев» АФ ФГУП «Росморпорт»)

Ледяные торосистые образования (ЛТО) могут перемещаться на мелководье. При снижении уровня воды они садятся на грунт, а в отдельных случаях – оказываются на суше. Данные процессы подробно рассмотрены в исследованиях П. И. Бухарицина [32, 33].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Северная часть Каспийского моря и Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК) привлекают пристальное внимание научного сообщества.

Особое место в исследованиях занимают:

- изучение особенностей ледового режима;
- разработка методов прогнозирования гидрометеорологических параметров.

Особого внимания заслуживает растущая роль спутниковых данных, несмотря на относительно короткий период их систематического сбора [34]. Как подчёркивает известный российский исследователь П. И. Бухарицин [18], внедрение спутниковой информации в практику оперативного картографирования ледовой обстановки позволило обнаружить ранее неизвестные закономерности формирования ледяного покрова в Северном Каспии.

В процессе написания настоящей работы были выполнены следующие исследования:

1. Проведен анализ особенностей гидрометеорологического и ледового режимов северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала.

2. Проведён комплексный анализ многолетних данных о состоянии ледяного покрова в северной акватории Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК).

3. Выполнен анализ и картирование параметров ледового режима и опасных ледовых явлений в северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала.

4. Определены степени опасности ледовых явлений в северной части Каспийского моря и Волго-Каспийского морского судоходного канала в современный период для морехозяйственной деятельности.

На основе проделанной работы можно сделать вывод, что ледовый режим Северного Каспия характеризуется высокой межгодовой изменчивостью и тенденцией к смягчению зим, что проявляется в уменьшении числа суровых и увеличении числа мягких зим, снижении ледовитости и максимальной толщины льда.

Ледовые условия являются лимитирующим фактором для судоходства и морской деятельности, особенно в районах судоходных трасс и нефтегазовых объектов Северного Каспия и ВКМСК; особо опасны стамухи и зоны интенсивного торошения, идентифицируемые по спутниковым данным.

Анализ локализации торосистых образований в северной части Каспийского моря и ВКМСК за период 2013-2020 гг. показал, что их распределение определяется как площадью ледяного покрова, так и уровнем моря – оба фактора имеют сопоставимое влияние.

## Список источников

1. Бухарицин П. И. Ледовые условия на Северном Каспии//Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. №. 5. С. 64- 67.
2. Бухарицин П. И. Обледенение на Каспийском море//Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. №. 6. С. 154-156.
3. Болдырев Б. Ю. Разработка концепции комплексной системы гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания на Каспийском море : дис. – Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ), 2009.
4. Новиков В.И., Бухарицин П.И. Особенности работы портов и портовых комплексов Астраханской области в условиях зимней навигации//Проблемы и перспективы современной науки. 2009. Вып.1. С. 136-140.
5. Яицкая Н.А., Магаева А.А. Ледовый режим Северного Каспия//Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. №6. С. 63-72.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI Каспийское море. Выпуск Гидрометеорологические условия. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. 360 с.
7. Байдин С., Косарев А. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. 262 с.
8. Винецкая Н. И. Соленость вод Северного Каспия//Труды ВНИРО. 1959. Т.38. С.26-51.
9. Малинин В.Н. Долгосрочное прогнозирование уровня Каспийского моря//Изв. РАН. Сер. геогр. – 2009. – №6. – С. 7–16.
10. Малинин В.Н. Грозит ли Каспию судьба Арала?//Гидрометеорология и экология. – 2022. – №69. – С. 746–760. – doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-746-760.

11. 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.
12. Бухарицин П. И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря//Водные ресурсы. 1984. №. 6. С. 115-123.
13. 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.
14. Бухарицин П. И. Метод расчета и прогноза толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия//Водные ресурсы. 1992. №. 5. С.60-64.
15. Огородов С.А., Архипов В.В. Экзарация дна Каспийского моря ледяными торосистыми образованиями//Доклады Академии наук. 2010. Т. 432. № 3. С. 403–407.
16. Архив региональных ледовых карт ААНИИ//Мировой центр данных по морскому льду <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> [Электронный ресурс].
17. 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.
18. Бухарицин П.И. Создание электронного архива карт ледовых авиаразведок по Северному Каспию//Вестник АГТУ. 2012. №1. с.18-20.
19. 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.
20. Думанская И. О. Ледовые условия морей европейской части России. М.:ИГ–СОЦИН. – 2014. 608 с.

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

22. 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.

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

24. Непоменко Л.Ф., Попова Н.В., Зубанов С.А., Островская Е.В. Ледовые условия западной части Северного Каспия в современный период//Астраханский вестник экологического образования. 2020. Т. 60. №6. С. 4- 17.

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

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

27. Антонова М. М. Комплексная оценка опасных гидрогеологических явлений в бассейне Волги//Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 1. С. 48-54.

28. Болгов М.В., Красножон Г.Ф, Любушин А.А. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.:Наука, 2007. 381 с.

29. 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.

30. 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.

31. 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.

32. 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.

33. Огородов С.А., Мазнев С.В., Бухарицин П.И. Ледово-экзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей// Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. №2. С. 35-50. DOI 10.31857/S0869-6071151235-50

34. Абдуллин Р.К. Современное состояние картографирования опасных гидрометеорологических явлений//Географический вестник. 2016. №3 (38). с.151- 160.