



Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря

Наталья Ивкина^{1*}, Жанар Наурозбаева¹, Бьерн Клове²

¹Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Научно-исследовательский центр, Управление гидрометеорологических исследований Каспийского моря, Республика Казахстан

²Исследовательский отдел водных ресурсов и экологической инженерии, факультет технологии, Университет Оулу, Финляндия

* для корреспонденции: ivkina60@gmail.com

Аннотация

Целью статьи является выявление влияния изменений климатических условий на ледовый режим Каспийского моря. В статье исследованы холодные периоды с 1980 по 2016 гг. на территории северной части Каспийского моря, проведена типизация зим на основе классификации П.И. Бухарицина. Проведено исследование изменения температурного фона, как основного показателя климатических изменений, и ледового режима. Представлен сравнительный анализ показательных характеристик контрастных зим (очень суровая и мягкая). В заключении были получены выводы об изменении гидрометеорологических параметров, о временном сдвиге становления устойчивого ледового покрова на море, о сокращении продолжительности ледового периода и частоте повторяемости умеренных и мягких зим.

Ключевые слова: аномалия температуры, ледовый режим, толщина льда, типизация зим, Каспийское море.

1. Введение

Каспийское море – крупнейший бессточный водоем земного шара, расположенный на стыке Европы и Азии и называемый морем из-за его размеров (рисунок 1). Исследований, посвящённых изучению изменений климата в Прикаспийском регионе немного, но можно выделить ряд работ, выполненных Долгих С.А. и Петровой Е. Е., Ивкиной Н.И. и Наурозбаевой Ж.К., Десятовой К.И., Нысанбаевой А.С. [3-4, 10-11]. Недостаточная изученность климатических изменений этого региона связана с редкой сетью метеорологических станций, а также с перерывами в наблюдениях в отдельные годы. В исследуемом регионе, так же как в целом по Казахстану, наблюдается значительное потепление климата, повышаются среднегодовые и среднесезонные температуры приземного воздуха, увеличивается повторяемость экстремально высоких температур и продолжительность волн тепла. Такое изменение климата влияет на условия формирования и разрушения ледового покрова на море.



Рисунок 1 – Каспийское море

Как известно Каспийское море относится к частично замерзающим морям. В его северо-восточной части, как и на всем Северном Каспии, ежегодно устанавливается устойчивый ледяной покров, отличающийся большой динамичностью. Он препятствует нормальному судоходству, а также способствует разрушению береговых гидротехнических сооружений. Ледовые условия оказывают влияние не только на многие морские отрасли хозяйства, но и на экологическую ситуацию в регионе, например, смещение сроков ледовых явлений оказывает влияние на биологические циклы в экосистемах, что отражается, в свою очередь, на рыбопродуктивности. В качестве региона исследования выбрана северо-восточная часть, примыкающая к берегам Казахстана, так как здесь формируется своеобразная для каждого года ледовая обстановка, которая зависит от особенностей атмосферных процессов, развивающихся над морем, степени аномалий термических условий в предзимье и зимой. Поскольку этот район расположен в зоне наибольшей континентальности климата, то холодный период здесь бывает более длительным и большая его часть в это время покрыта неподвижным льдом [1, 2].

2. Материалы и методы

2.1 Характеристики Каспийского моря

Северный регион Каспийского моря имеет континентальный климат с теплым летом (в июне-августе в северо-восточной части в среднем 24-25 °С) и холодной зимой (с декабря по февраль в северо-восточной части в среднем минус 5-6 °С). Среднегодовое количество осадков составляет не более 95 ... 125 мм (немного больше в Атырау - 173 мм и Форт-Шевченко - 172 мм) [12]. Несмотря на то, что сезонные колебания довольно незначительны, количество осадков из года в год является варьируется. Во влажные годы сумма осадков может быть в 1,5 раза выше, чем среднегодовое значение.

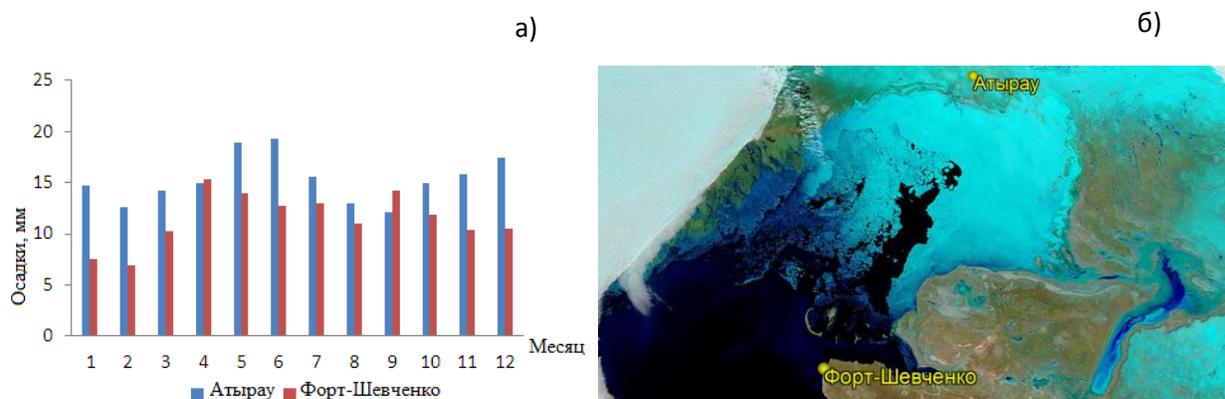


Рисунок 2 – а) Месячная сумма осадков в Атырау и Форт-Шевченко; б) Расположение станций

Район Каспийского моря, примыкающего к берегам Казахстана, по естественным условиям делится на две части: восточная часть Северного Каспия и восточная часть Среднего Каспия. Восточная часть Северного Каспия мелководна с низменным побережьем и малыми уклонами дна. Здесь средняя глубина составляет 2 м, а максимальная, в районе Уральской Бороздины, 8...10 м. Рельеф дна осложнен наличием банок, островов, бороздин. Она является полузамкнутым водоемом, гидрологический режим которого формируется в условиях континентального, аридного климата и определяется стоком вод рек Урала (Жайык) и Волги. Она практически изолирована от непосредственного влияния вод Среднего Каспия, довольно низкую соленость. Соленость воды в Северном Каспии изменяется от 0,2-2,0 промилей (дельта Волги) до 9-11 промилей в глубинной части моря. В средней части Каспийского моря засоленность составляет 13-15 промилле [1]. Восточная часть среднего глубоководная. Средняя глубина составляет 200 м, а максимальная до 700 м (рисунок 3).

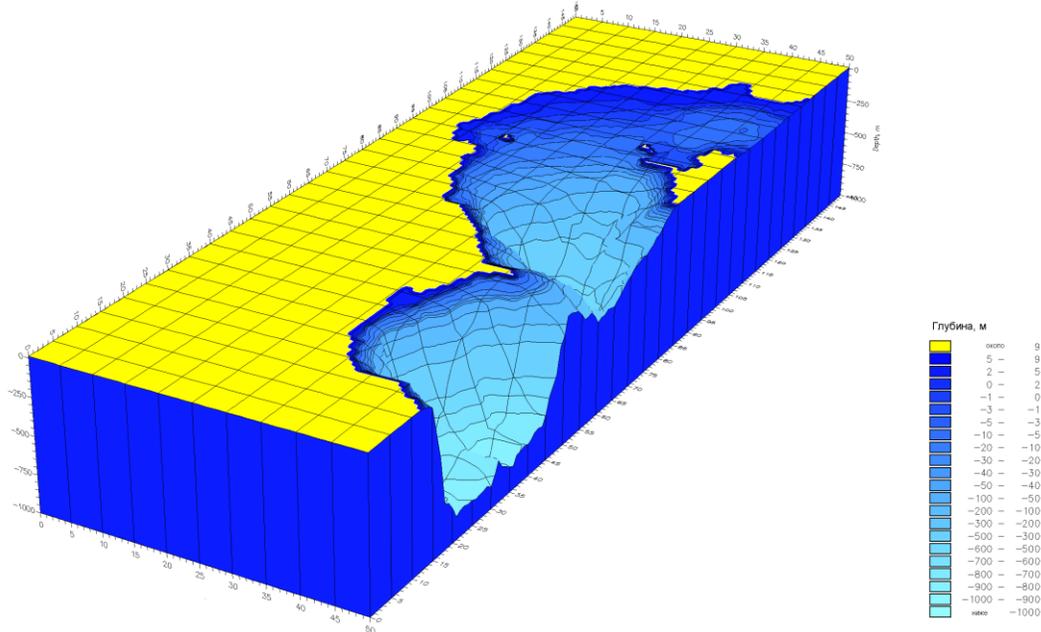


Рисунок 3 – Батиметрия и продольное сечение Каспийского моря

2.2. Анализ данных изменения климата и ледового режима

Целью работы является анализ влияния изменений метеорологических параметров на становление и продолжительность ледового покрова. Прежде чем анализировать ледовые условия, необходимо было выяснить, наблюдаются ли в этом регионе изменения климатических характеристик, и каким образом они влияют на ледовый режим Каспийского моря. Исследования С.А. Долгих и Е.Е Петровой показывают, что в исследуемом регионе, так же как в целом по Казахстану, наблюдается потепление климата в среднем на $0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ в десятилетие [3-5].

На основе данных, полученных с гидрометеорологических станций на Каспийском море, был произведен расчет аномалий температуры воздуха и воды и построены разностно-интегральные кривой среднегодовой температуры воздуха. Расчет производился с использованием следующих формул:

$$\frac{\Sigma(k_i - 1) / c_v}{N} \quad (1)$$

$$c_v = \sqrt{\frac{\Sigma(k - 1)^2}{N}} \quad (2)$$

$$k = M_i / M_m \quad (3)$$

где M_i – значение числового ряда данных, M_m – среднемноголетнее значение, N – число случаев.

Для определения степени суровости зимы была использована классификация П. И. Бухарицина [6-7], которая основывается на сумме дней градуса-мороза. Средняя температура и ее изменения за периоды 1990-2015 и 2000-2015 гг. проанализированы для 15 станций и постов в регионе Каспийского моря.

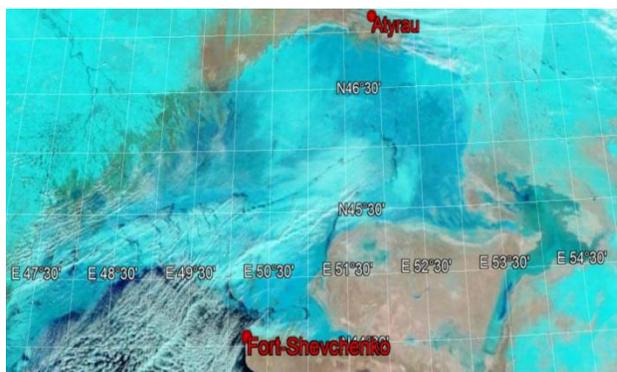
Кроме того, для анализа ледового режима были использованы следующие характеристики: толщина льда, даты первого и устойчивого ледообразования, даты первого образования заберега или припая, даты начала образования устойчивого припая, максимальная толщина льда и даты ее фиксации, даты стабильного перехода температуры воздуха через 0°C весной и осенью, максимальная ширина припая, первые и конечные даты полного замерзания, даты появления проталин, даты взлома и первой подвижки припая, даты очищения моря ото льда [8].

3. Результаты и обсуждения

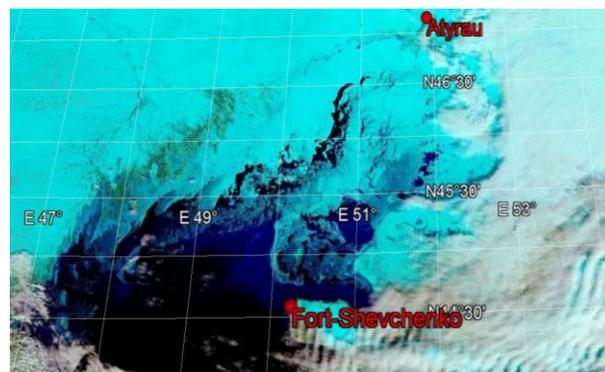
3.1 Обзор ледовой обстановки на Каспийском море

Так как различные части Каспийского моря имеют отличительные климатические условия, а также различную соленость воды, то ледовые явления, главным образом, фиксируются в северной части Каспийского моря. Северная мелководная часть Каспийского моря замерзает ежегодно, в средней части лед появляется вдоль побережий лишь в суровые зимы. В зависимости от особенностей атмосферных процессов, развивающихся над морем, степени аномалий термических условий в предзимье и зимой, над Каспием формируется своеобразная для каждого года ледовая обстановка (рисунок 4). Характер ледовых условий каждой зимы, изменение общей площади льда в течение ледового сезона определяются действием двух факторов – термического и динамического. В начальный период развития ледового покрова быстрое перемещение границы молодого льда, увеличение площади и толщины припая обуславливаются термическими факторами. Во второй половине ледового сезона усиливается влияние на ледовый покров динамических факторов, обуславливающих взлом припая, сжатие и разрежение льда, а также процессы наслоения и торошения.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 4 – Ледовые условия на Каспийском море: а) 24 января 2012 г. (холодная зима); б) 30 января 2016 г. (мягкая зима) (Космические снимки проекта «MODIS Rapid Response Project at NAGA/GSFC»); в) и г) гряды торосов и блинчатый лед на Северном Каспии

В Северном Каспии в зависимости от типа зимы формирование устойчивого ледяного покрова начинается в декабре-январе (рисунок 5). В экстремально теплые зимы ледообразование может задерживаться до конца января. Максимальная толщина льда фиксируется в феврале. В суровые зимы толщина льда составляет более 50 см, и лед, как правило, наблюдается с декабря до конца марта.

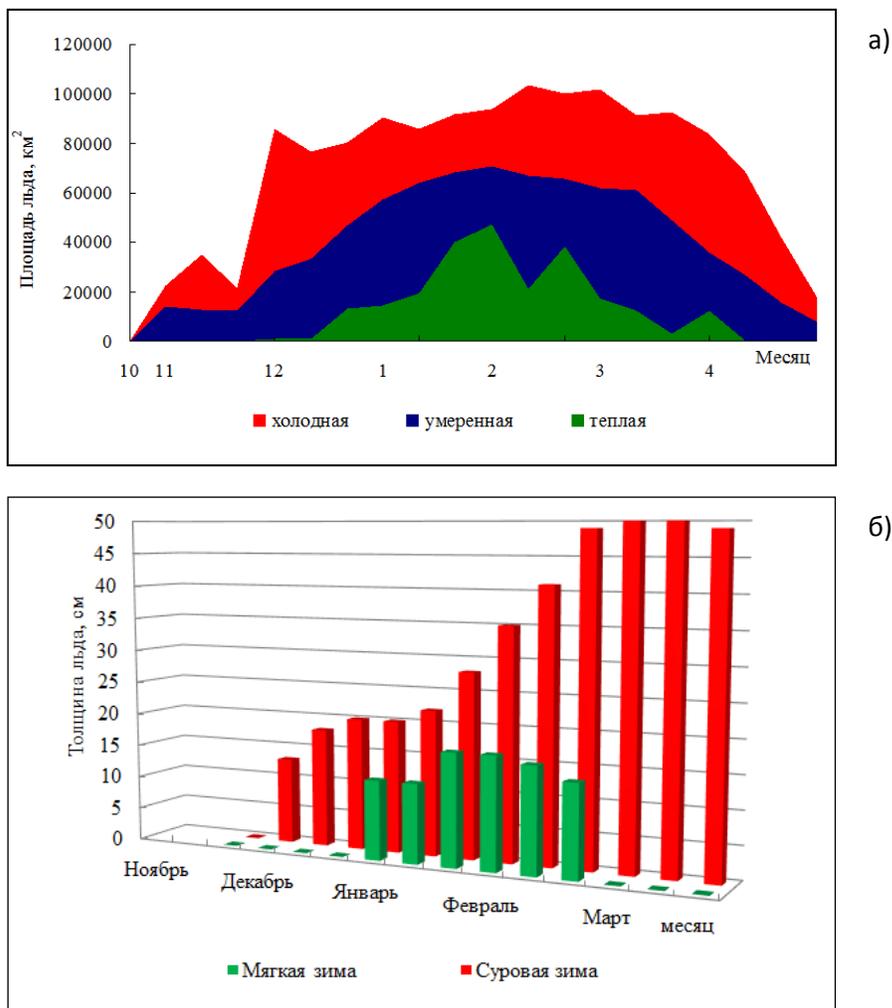


Рисунок 5 – Ледовые условия на Северном Каспии: а) площадь льда в различные по термическим условиям зимы агеа; б) толщина льда в мягкую и суровую зиму

3.2 Изменение климата

На рисунке 6 приведена разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха по данным станции М Атырау за 1922...2015 гг. Эта интегральная кривая отражает тенденцию увеличения температуры воздуха во второй половине 20-го, начале 21-го века.

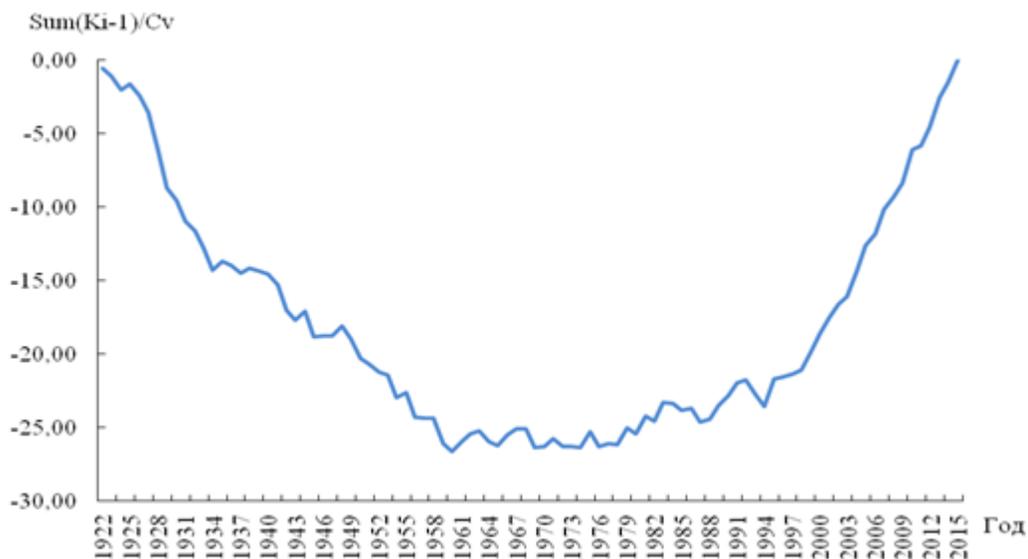


Рисунок 6 – Разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха по данным станции М Атырау за 1922-2015 гг.

На рисунке 7 показано изменение среднегодовой температуры воздуха по данным станции Форт-Шевченко за период с 1882 по 2015 гг., где также наблюдается тенденция увеличения значений температуры воздуха с середины прошлого столетия по настоящее время. Подобные расчеты были проведены для 15 станций и постов прикаспийского региона.

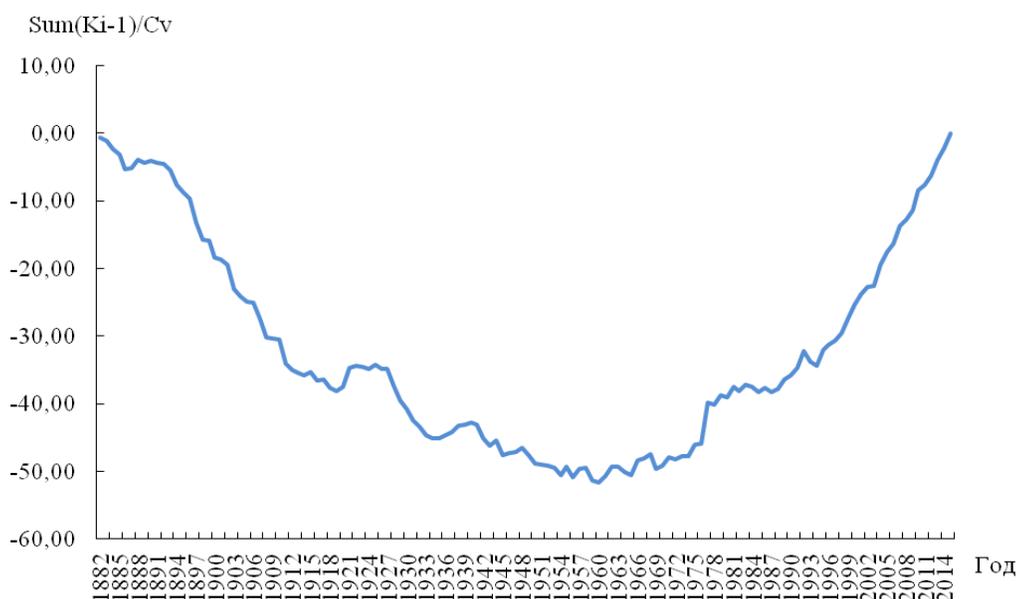


Рисунок 7– Разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха по М Форт-Шевченко за 1882-2015 гг.

В таблице 1 представлены расчеты среднегодовой температуры воздуха и температуры воздуха за холодный период по данным метеостанций, расположенных в прикаспийском регионе.

Таблица 1 – Среднегодовая температуры воздуха и температура воздуха за холодный период

№ пп	Станция/ пост	Температура воздуха (°C), год					Температура воздуха (°C) за холодный период (ноябрь-март)				
		(Тб) Базо- вый период	(Т1) 1990- 2015	(Т1- Тб)	(Т2) 2000- 2015	(Т2- Тб)	(Тб) Базо- вый период	(Т1) 1990- 2015	(Т1- Тб)	(Т2) 2000- 2015	(Т2- Тб)*
Атырауская область											
1	Атырау	8,7	10,2	1,6	10,6	2,0	-4,8	-2,8	2	-2,4	2,4
2	Ганюш кино	9,1	10,1	1,0	10,3	1,2	-3,2	-1,7	1,4	-1,6	1,6
3	Карабау	7,5	8,7	1,2	9,1	1,6	-6,7	-4,8	1,9	-4,3	2,4
4	Кульсары	9,0	9,8	0,8	10,4	1,4	-5,0	-4,0	1,0	-3,5	1,4
5	Махамбет	8,4	9,4	1,1	9,8	1,5	-5,0	-3,6	1,4	-3,3	1,8
6	Уштоган	8,61	9,82	1,21	10,09	1,48	-4,53	-2,82	1,71	-2,53	2,00
7	Пешной	8,5	9,6	1,1	9,8	1,3	-4,5	-2,8	1,7	-2,4	2,0
Мангистауская область											
8	Актау	11,3	12,5	1,2	12,8	1,5	1,7	2,5	0,8	2,6	0,9
9	Аккудук	12,0	13,0	1,1	13,3	1,4	-0,5	0,6	1,1	0,9	1,4
10	Бейнеу	10,4	11,2	0,8	11,4	1,0	-3,0	-2,4	0,7	-2,1	1,0
11	Кулалы, остров	10,7	12,1	1,4	12,1	1,4	-0,9	0,8	1,6	0,9	1,8
12	Кызан	10,8	11,9	1,1	12,2	1,3	-1,6	-0,5	1,1	-0,4	1,3
13	Сам	9,3	10,4	1,1	10,7	1,4	-4,2	-3,2	1,0	-3,0	1,2
14	Тущибек	11,1	11,8	0,7	12,0	1,0	-0,6	0,2	0,8	0,4	1,0
15	Форт-Шевченко	11,3	12,6	1,3	12,9	1,6	0,6	2,2	1,6	2,3	1,7

*Т2-Тб – превышение температуры за последние 15 лет относительно базового периода

Базовый период взят от времени начала наблюдений или начала действия станции до 1989 года. Превышение температуры за период 1990-2015 гг. над базовым периодом составило в среднем 1,1 °C, а превышение температуры 2000-2015 гг. по сравнению с базовым составило в среднем 1,4 °C.

Аналогичные расчеты были произведены и по данным о средней температуре воздуха за холодный период (ноябрь – март). Превышение температуры воздуха за период 1990...2015 гг. по сравнению с базовым периодом составила 1,3 °C. Превышение температуры воздуха за период 2000...2015 гг. по сравнению с базовым периодом составила 1,6 °C.

Приведенные расчеты позволяют сделать вывод, что температура воздуха холодного периода за последние десятилетия повысилась в большей степени, чем среднегодовая температура воздуха. Такое изменение температуры, особенно в зимний период, оказывает влияние на ледовые условия на море.

На следующем этапе исследования была проведена типизация зим. Как известно, для низовьев Волги и Северного Каспия разработано несколько вариантов классификации зим

по степени их суровости. Для этого использовались различные характеристики: площадь ледяного покрова; толщина или объем льда; сумма градусо-дней мороза, как по всей акватории, так и по одному пункту, признанному характерным (показательным) для всей акватории. Наиболее объективной и доступной, в плане получения оперативной информации, является классификация П.И. Бухарицина, где в качестве суровости зим, используется сумма градусо-дней мороза [6-7]. Именно эти критерии были взяты за основу при определении степени суровости зимы в исследуемом регионе. В качестве базовой станции использовалась морская гидрометеорологическая станция – М Пешной. Основной акцент был направлен на исследование данных по температуре воздуха в холодный период года. С 1961 по 2016 гг. было рассмотрено 55 холодных периодов. Для того чтобы выявить тип зимы, были посчитаны суммы отрицательных температур воздуха за этот период и на основе полученных расчетов построен график (рисунок 8). Суммы отрицательных температур даны в абсолютных значениях.

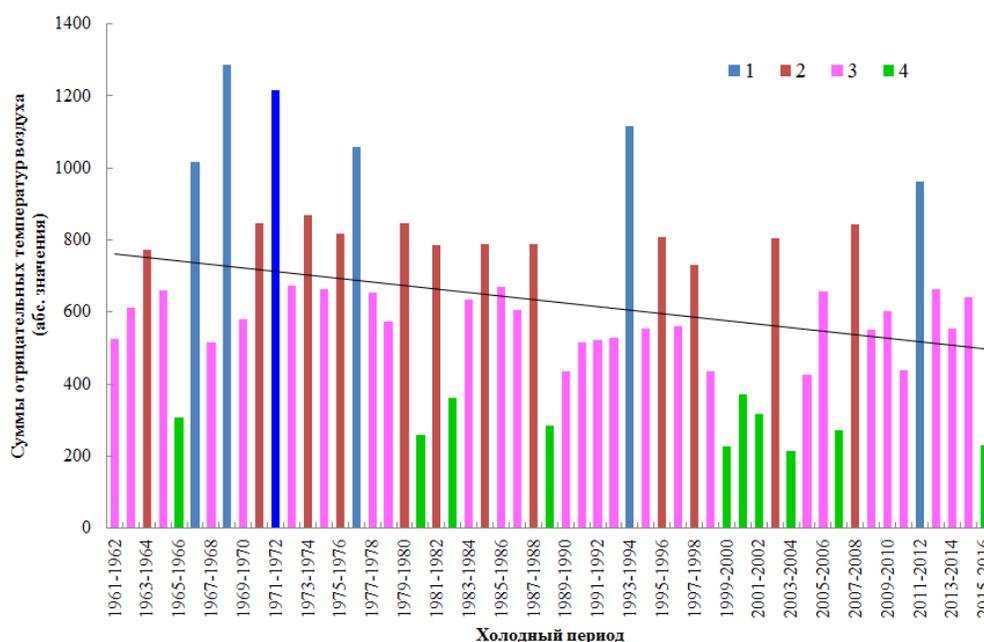


Рисунок 8 – Суммы отрицательных температур за зимние сезоны с 1961...2016 гг. по данным станции М Пешной. 1 – очень суровая, 2 – суровая, 3 – умеренная, 4 – мягкая

В ходе анализа графика было выявлено, что за рассматриваемый период повторяемость очень суровых и суровых зим уменьшается, последние десятилетия отмечены увеличением повторяемости мягких и умеренных зим.

Базовый период с 1961 до 1990 гг. и период с 1990 г. по настоящее время значительно отличаются друг от друга. Зимы в 60-е и 70-е годы были более холодными. Так, например, умеренные зимы по сумме отрицательных температур ближе к верхним границам критериев.

Толщина льда Каспийского моря характеризуется значительной изменчивостью в течение зимы и от года к году, а также своей большой неоднородностью по акватории,

покрытой льдом. Анализ временного хода толщины льда за период 1980-2016 гг. позволил выявить устойчивую тенденцию сокращения толщины льда (рисунок 9).

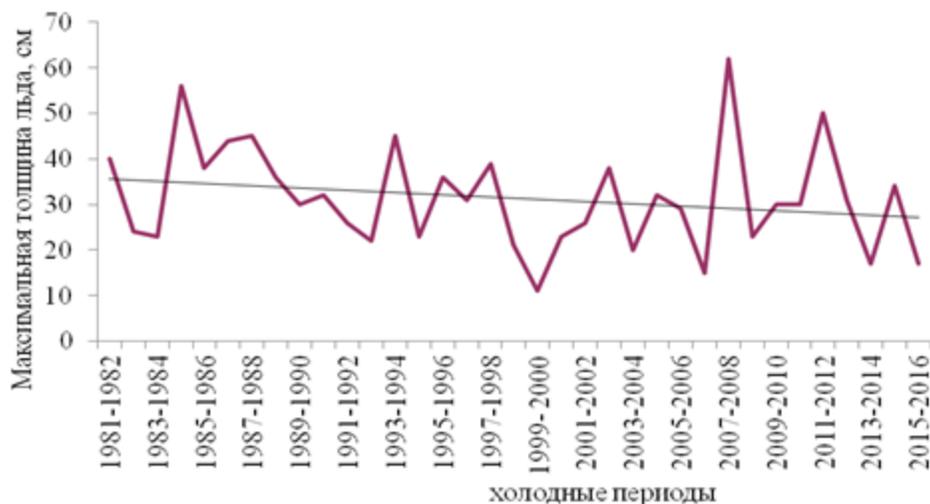


Рисунок 9 – Максимальная толщина льда на М Пешной за период 1981-2016 гг.

Анализ каталога ледовых условий [8], составленный в управлении гидрометеорологических исследований Каспийского моря РГП «Казгидромет», позволил сделать вывод, что установление устойчивого ледового покрова в современный период происходит в более поздние даты.

Особый интерес представил сравнительный анализ суровой и мягкой зимы. Для примера были выбраны: очень суровая зима – 2011-2012 гг. и мягкая зима – 2015-2016 гг.. Сумма отрицательных температур очень суровой зимы составила 961,8 °С, а мягкой зимы – 230 °С. В таблицах 2-4 приведены характеристики этих зим.

Устойчивое ледообразование в суровый зимний период зарегистрировано в северном Каспии в ноябре, а в среднем – в третьей декаде января. В мягкий зимний период в северном регионе лед установился в декабре, в среднем – устойчивого ледового покрова не наблюдалось. Толщина льда в период суровой зимы достигала 58 см в северной части моря и 22 см в средней, а в период мягкой зимы не превышало 20 см в северной части.

Таяние, разрушение и дальнейшее очищение моря ото льда в зимний период 2011-2012 гг. отмечено позже, нежели в зимний период 2015-2016 гг. Продолжительность ледового периода 2011-2012 гг. составила 156 дней, а продолжительность ледового периода 2015-2016 гг. - 98 дней, что почти на два месяца больше.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики периода ледообразования для зим 2011-2012 гг. и 2015-2016 гг.

Станция/ пост	Период	Ледообразование			
		Дата первого ледообразования	Дата устойчивого ледообразования	Дата первого образования заберега или припая	Дата начала образования устойчивого припая
Пешной	2011...2012	06.11.2011	06.11.2011	26.11.2011	26.11.2011
Жанбай		20.11.2011	20.11.2011	22.11.2011	22.11.2011
Форт-Шевченко		24.01.2012	24.01.2012	25.01.2012	нб
Кулалы, остров		24.01.2012	24.01.2012	25.01.2012	нб
Актау		30.01.2012	нб	05.02.2012	нб
Пешной	2015...2016	28.11.2015	10.12.2015	28.11.2015	30.12.2015
Жанбай		21.12.2015	31.12.2015	21.12.2015	31.12.2015
Форт-Шевченко		08.01.2016	нб	нб	нб
Кулалы, остров		03.01.2016	03.01.2016	03.01.2016	03.01.2016
Актау		нб*	нб	нб	нб

* нб – не было

Таблица 3 – Сравнительные характеристики периода полного замерзания для зим 2011-2012 гг. и 2015-2016 гг.

Станция/ пост	Период	Полное замерзание				
		Наибольшая ширина припая, км	Первая дата полного замерзания	Окончательная дата	Наибольшая измеренная толщина льда, см	Дата наблюдений наибольшей толщины льда
Пешной	2011...2012	0,1...0,5	26.02.2012	26.02.2012	50	06.03.2012
Жанбай		более 15	26.11.2011	26.11.2011	58	15.02.2012
Форт-Шевченко		4-7.	25.01.2012	нб	22	13.02.2012
Кулалы, остров		12,2	30.01.2012	нб	9	13.02.2012
Актау		0,1-0,5	нб	нб	10	08.02.2012
Пешной	2015...2016	0,1...0,5	30.12.2015	30.12.2015	17	02.02.2016
Жанбай		более 15	21.12.2015	21.12.2015	19	27.01.2016
Форт-Шевченко		нб	нб	нб	нб	нб
Кулалы, остров		0,1-0,5	30.12.2015	30.12.2015	17	02.02.2016
Актау		нб	нб	нб	нб	нб

Таблица 4 – Сравнительные характеристики периода таяния и разрушения для зим 2011-2012 гг. и 2015-2016 гг.

Станция/ пост	Период	Таяние и разрушение		
		Дата устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С весной	Дата появления проталин, полыньи	Дата начала взлома или первой подвижки припая
Пешной	2011...2012	20.03.2012	28.03.2012	02.04.2012
Жанбай		20.03.2012	нб	01.04.2012
Форт-Шевченко		15.03.2012	нб	16.02.2012
Кулалы, остров		15.03.2012	нб	01.02.2012
Актау		27.02.2012	нб	09.02.2012
Пешной	2015...2016	21.02.2016	26.02.2016	26.02.2016
Жанбай		23.03.2016	нб	07.03.2016
Форт-Шевченко		Нб	нб	нб
Кулалы, остров		Нб	нб	02.02.2016
Актау		Нб	нб	нб

Для более точного и наглядного изучения колебаний температуры воздуха и воды были проведены расчеты аномалии данных параметров. Расчеты проводились на основе разницы среднемесячных показателей и средних многолетних значений. Сравнительный анализ аномалии временного хода температуры воздуха и воды (рисунки 10-11) показал, что суровый зимний период 2011-2012 гг. на всей исследуемой территории был значимым, особенно в феврале. Аномалия достигала 5-6 °С. Температура воздуха в феврале на М Пешной опускалась до 30 градусов мороза. Апрель же был аномально теплым, температура воздуха достигала отметки 26-30 °С.

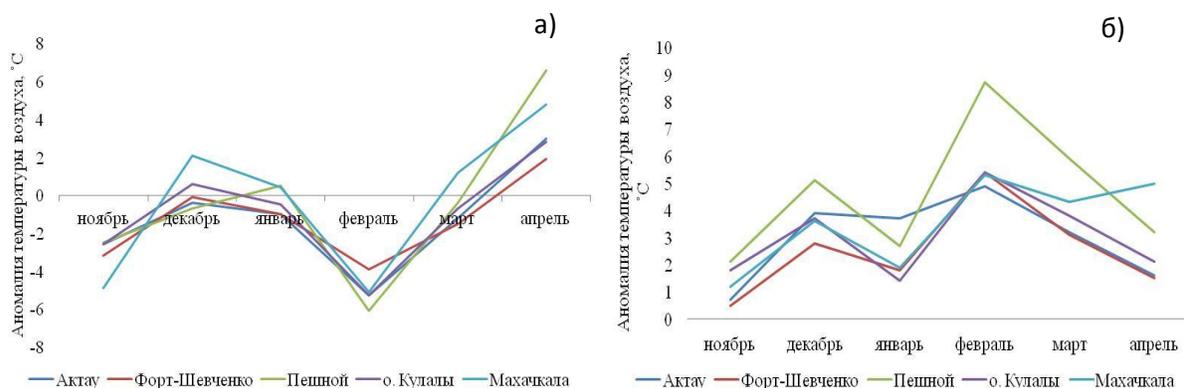


Рисунок 10 – Временной ход аномалии температуры воздуха в а) суровый зимний период 2011-2012 гг. и б) мягкий зимний период 2015-2016 гг.

Временной ход аномалии температуры воздуха за мягкий зимний период 2015-2016 гг. был интересен тем, что февраль как самый холодный месяц всего зимнего периода был самым теплым. Аномалия достигала максимального значения на М Пешной 8,7 °С. Вся северная часть Каспийского моря была аномально теплой. Среднее месячное значение температуры воздуха за февраль в Пешном составил 0,6 °С. Среднемесячная

температура воздуха была положительной, в то время как среднемноголетнее значение минус 8,1 °С.

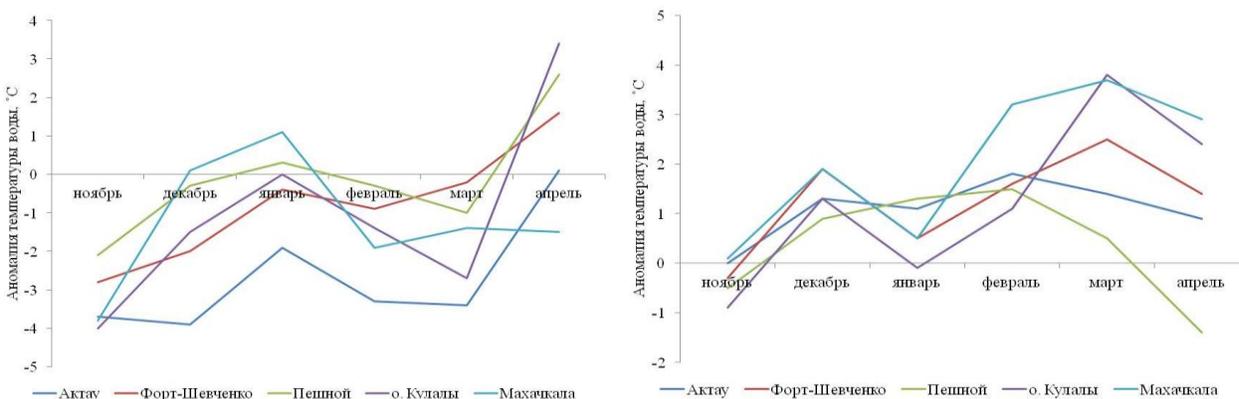


Рисунок 11 – Временной ход аномалии температуры воды в а) суровый зимний период 2011-2012 гг. и б) мягкий зимний период 2015-2016 гг.

Таким образом, в период зимы 2011-2012 гг. аномалия температуры воды в средней части Каспия была более значимой, чем в северной. Ноябрь был очень холодным, что способствовало быстрому установлению ледового покрова. Февраль и март были значимо холодными, минимальная температура воды в Пешном была 0,3 и 0,7 °С соответственно. А апрель значительно теплым, температура достигала отметки 22 °С, среднемесячная температура воды составила 12 °С. Интенсивное увеличение температуры воздуха в апреле способствовало быстрому прогреву водной поверхности.

В зимний период 2015-2016 гг. температура воды в течение сезона превышала среднее многолетнее значение на 1-1,5 °С. Максимум температуры зафиксирован в марте на станциях Кулалы, остров - 3,8 °С и Махачкала - 3,7 °С.

4. Заключение

Полученные результаты согласуются с результатами работ зарубежных ученых, в частности, с исследованиями российских ученых: П.И. Бухарицина [13], И.О. Думанской [9], В.И. Новикова [13].

В заключение проведенных исследований можно сделать вывод, что ледовый режим казахстанской части Каспийского моря подвержен климатическим временным изменениям: температура воздуха имеет положительную тенденцию изменения. По всем станциям отмечен рост температуры воздуха; изменились характерные даты ледового режима. В частности, даты появления первых ледовых явлений и установления устойчивого льда в последние десятилетия отмечаются позже, а очищения моря ото льда раньше; чаще в течение зим на льду фиксируются трещины, разводья, полыньи. Необходимо отметить, что отсутствие сплоченных льдов, может нарушить экологические условия существования каспийского тюленя и привести к его массовой гибели; увеличивается повторяемость умеренных и теплых зим, и

сокращается повторяемость зим, относящихся к типу «очень суровые»; продолжительность зимних периодов уменьшается.

Список Литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей, том VI. Каспийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. – 1992. – СПб: Гидрометеоиздат. – 359 с.
2. Новиков В.И., Бухарицин П.И., Особенности работы портов и портовых комплексов Астраханской области в условиях зимней навигации / Сборник научных трудов «Проблемы и перспективы современной науки», под редакцией проф., д.м.н. Ильинских Н.Н., 2009. – выпуск 1. - 13 с.
3. Оценка ледовых условий в казахстанской части Каспийского моря / Отчет о НИР, договор с МООН РК № 05-03-221 от 13.09.2011 г; отв. исп. Ивкина Н.И., 2012. – Алматы. – 375 с.
4. Ивкина Н.И., Наурызбаева Ж.К., Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 2– С. 28-35.
5. Голубцов В.В., Петрова Е.Е., О вероятном сокращении ресурсов поверхностных вод северного и центрального Казахстана под влиянием изменения климата // Гидрометеорология и экология. –2011. – № 4. – С. 7-16.
6. 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.
7. Бухарицин П.И., Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. –1984. – № 6. – С. 115-123.
8. Каталог ледовых явлений по данным казахстанских наблюдательных пунктов / Под ред. Ивкиной Н.И.– Алматы. – 2011. – 59 с.
9. Думанская И.О., Ледовые условия морей Европейской части России, М.: ФГБУ «Гидрометцентр России». – 2014. – 608 с.
10. Десятова К.И., Основные особенности температурного режима казахстанского побережья Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. – 2008. – № 4. – С. 101-110.
11. Насынбаева А.С., Климатическая оценка рекреационных условий Казахстанского Прикаспия// Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата географических наук, Республика Казахстан, 2010, Алматы.
12. Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные.1971-2000 гг. Алматы – 2004. – 38 с.
13. Бухарицин П.И., Болдырев Б.Ю., Новиков В.И., Комплексная система гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, портов и транспортных комплексов на каспийском море. – 2014. – 319 с.