

УДК 551.467.3(262.81)

Н.А. Яицкая<sup>1,2</sup>, А.А. Магаева<sup>3,4</sup>

## ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

На основе базы данных натуральных наблюдений выполнен анализ ледовых условий в Северном Каспии и их многолетней динамики в зависимости от суровости зимы. Для всех пунктов наблюдений в Северном Каспии характерно преобладание умеренного типа зим, но значительно изменяется во времени количество суровых и мягких зим. Начиная с 1960-х гг., уменьшается количество суровых и возрастает число мягких зим. Показано, что ледовитость Северного Каспия в суровые зимы в среднем составляет около 75%, в умеренные – 65%, в мягкие – 47%. Среднее значение ледовитости за период 1940–2015 гг. составляет 57%, при этом она сократилась на 11%. Среднеголетняя продолжительность ледового сезона составляет 81–124 дня для пунктов Кулалы и Пешной, соответственно. В мягкие зимы ледообразование начинается на две–три недели позже среднеголетних значений (в некоторые мягкие зимы ледовый период может начинаться на месяц позже среднеголетних значений), а в суровые, наоборот, – на одну–две недели раньше. Настоящее исследование показало, что продолжительность ледового сезона за более чем полвека сократилась от 16 дней в Пешном до 6 дней в Астрахани (в сравнении с другими источниками данных). Разработана и выполнена авторская классификация зимних периодов на основе ряда факторов: типа зим для прибрежных ГМС (суровая, умеренная, мягкая); значения и даты минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон; среднего значения ледовитости Северного Каспия за сезон (%); начала, конца (даты) и продолжительности ледового сезона (дни). Классификация показала, что в регионе Каспийского моря в 1950–1970-х гг. на всех гидрометеостанциях преобладают суровые зимние периоды, а позднее наблюдается тенденция к увеличению умеренных и мягких. При этом суровые зимние периоды встречаются один–два раза за десятилетие.

**Ключевые слова:** наблюдения, типизация зим, классификация

**Введение.** Каспийское море – частично замерзающий водоем. Его ледовый режим зависит от термических и динамических условий, что приводит к значительной пространственно-временной изменчивости ледовых условий. Так, в северной части моря ежегодно образуется лед. Его площадь варьируется в зависимости от температуры конкретной зимы – в особо суровые зимы кромка льда может достигать берегов Махачкалы на западном побережье и Форт-Шевченко на восточном [Яицкая, Глушченко, 2010], а в мягкие – льдом покрываются лишь северные и северо-восточные прибрежные районы Каспийского моря. В средней части водоема ледяной покров занимает незначительную площадь и в мягкие зимы совсем не наблюдается. В южной части Каспия лед появляется лишь в исключительно суровые зимы. Например, зимой 1968/1969 гг. припаем были покрыты Северный и часть Среднего Каспия, а в районе Апшеронского полуострова отмечались плавучие льды (а также в зимы 1928/1929, 1949/1950, 1953/1954, 1971/1972 гг.) [Каспийское..., 1986; Матишов и др., 2014; Матишов, 2015].

Исследованию ледяного покрова Каспийского моря, условиям его образования, развития, характеристике особенностей ледового режима уделено большое количество работ – статей [Валлер, 1970;

Гюль, 1955; Веселова, 1956] и монографий [Каспийское море, 1986; Гидрометеорология..., 1992]. Особо стоит отметить цикл работ Бухарицина П.И. [Бухарицин, 1983, 1992, 2006], в которых всесторонне освещен ледовый режим Каспийского моря – от многолетней изменчивости ледяного покрова [Бухарицин, 2008] до воздействия ледяных образований на дно Северного Каспия [Бухарицин, 2010]. На современных данных наблюдений базируются работы [Ивкина, Султанов, 2012; Ивкина, Наурузбаева, 2015; Думанская, 2014], где наряду с анализом пространственно-временной динамики параметров ледового режима приводятся оценки происходящих изменений в связи с флуктуациями климата. Отмечено, что для акватории Каспийского моря характерно увеличение повторяемости умеренных и теплых зим [Ивкина, Наурузбаева, 2015], а в датах начала и конца ледового сезона наблюдается сдвиг в сторону более поздних и более ранних соответственно.

В связи с этим целью настоящей работы стало исследование многолетней динамики ледового режима северной части Каспийского моря, в ходе которого на основе данных натуральных наблюдений, аэрофотосъемки и результатов дистанционного зондирования Земли выполнена типизация зим по сте-

<sup>1</sup> ФИЦ Субтропический научный центр РАН, заместитель директора по науке, канд. геогр. н.; e-mail: yaitskayan@gmail.com.

<sup>2</sup> ФИЦ Южный научный центр РАН, лаборатория информационных технологий и математического моделирования, вед. науч. с., канд. геогр. н.

<sup>3</sup> ФИЦ Южный научный центр РАН, лаборатория информационных технологий и математического моделирования, мл. науч. с.; e-mail: a.magaeva@mail.ru.

<sup>4</sup> Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, кафедра океанологии, мл. науч. с.

пени суровости, проанализированы основные характеристики ледового режима моря – ледовитость, даты начала, окончания и продолжительность ледового сезона. Разработана и реализована классификация зимних периодов, которая учитывает многолетнюю динамику основных характеристик ледового режима Северного Каспия (значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных гидрометеостанций (ГМС) за зимний сезон; среднее значение ледовитости за сезон; начало, конец и продолжительность ледового сезона на ГМС), а также суровость зимы. Такой подход позволил получить более объективные оценки многолетних изменений зимних условий в Северном Каспии.

**Материалы и методы исследования.** Информационной основой исследования ледового режима Каспийского моря служила геоинформационная система (ГИС) «Ледовый режим южных морей России» [Яицкая, Салтановская, 2013; Магаева и др., 2015]. ГИС разработана как уникальная среда для сбора, хранения, накопления, быстрого доступа к данным, их совместного использования и различных манипуляций [Яицкая, Салтановская, 2013]. ГИС содержит информацию о ледовых характеристиках в Азовском, Черном и Каспийском морях за период 1810–2019 гг.:

– картографические данные. Представлены картосхемами и векторными данными (формата \*.shp) ледовой обстановки в морях за период 1959–2019 гг. с обозначением положения кромки льда, форм плавающего льда, сплоченности льда в баллах – всего 499 картосхем;

– табличные (численные) данные – результаты многолетних наблюдений (1810–2019 гг.) за характеристиками ледового режима на пяти прибрежных метеопунктах (Астрахань, Пешной, Искусственный, Тюлений, Кулалы).

Пространственно-распределенная информация хранится в базе геоданных, которая поддерживает хранение и управление географической информацией в сводных таблицах стандартных систем управления базами данных.

При исследовании многолетней динамики характеристик ледяного покрова Северного Каспия рассматривались следующие: площадь ледяного покрова (км<sup>2</sup>); даты начала и конца ледового сезона и его продолжительность на гидрометеостанциях (ГМС) (дни).

**Типизация зим по степени суровости.** Для определения суровости зим использованы среднесуточные данные наблюдений за температурой воздуха в зимние сезоны (декабрь–март) 1881–2015 гг. (с некоторыми перерывами в периоды Гражданской и Великой отечественной войн) на ГМС: Астрахань, Атырау, Лагань, Тюлений, Форт-Шевченко. Информация получена из открытого архива данных ВНИИГМИ-МЦД [Булыгина и др., 2018].

Для оценки зим по степени суровости использован метод А.Н. Лебедева и Г.П. Писаревой, представленный в [Гидрометеорологический ..., 1962]. Авторы методики для определения критериев суровости зим используют среднемесячные значения

температуры воздуха за зимний период (декабрь–март) на трех прибрежных ГМС Азовского моря: Таганрог, Геническ, Керчь за период 1883–1958 гг. Наибольшие отклонения от средней многолетней суммы температур за зимний период как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных делит на три равные части, которые характеризуют мягкие, умеренные и суровые зимы. Рассматриваемая методика является универсальной и может быть использована для других акваторий [Яицкая, Магаева, 2018].

**Классификация зимних периодов.** В основу классификации положены следующие факторы: 1) среднее значение ледовитости (%) Северного Каспия за сезон; 2) значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон (Астрахань, Атырау, Лагань, Тюлений, Форт-Шевченко); 3) тип зимы для прибрежных ГМС (суровая, умеренная, мягкая); 4) начало, конец (даты) и продолжительность ледового сезона (дни) в пунктах наблюдений Астрахань, Пешной, Искусственный, Тюлений, Кулалы.

Классификация проводилась путём вычисления отклонений от среднееголетних значений каждого параметра. Наибольшие отклонения как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных значений делились на три равные части, которые определяют положительные и отрицательные аномалии, а также значения в пределах нормы. Позже им были присвоены баллы: «1» для положительной аномалии; «0» для значений, находящихся в пределах нормы; «-1» для отрицательной аномалии. Присвоение результирующего класса осуществлялось по суммарному числу баллов (максимум семь). В некоторых случаях при выделении итоговых классов суммарный показатель зимних периодов находился в пределах пограничных значений, что затрудняло присвоение конкретного класса. В таких случаях дополнительно рассматривались данные о суровости зимы в северокаспийском регионе. Подробное описание методики и примеры расчётов представлены в работе [Магаева, Яицкая, 2017].

**Результаты и обсуждение. Типизация зим.** Оценить межгодовую динамику температурных условий в регионе можно на основе типизации зим по степени суровости. Определение типов зим является ключевым параметром не только при анализе ледового режима морей, но и для оценки климатических изменений. Чередование суровых и мягких зим может говорить о цикличности климата, что отмечается в работах [Матишов и др., 2010; Матишов и др., 2014].

Для всех пунктов наблюдений в Северном Каспии характерно преобладание умеренного типа зим (табл. 1). Значительно изменяется во времени количество суровых и мягких зим. Так, начиная с 1960-х гг., уменьшается количество суровых зим, при этом возрастает число мягких (рис. 1). Такая тенденция наблюдается на ГМС Лагань и Тюлений. В пунктах Астрахань и Атырау, суровые зимы наблюдаются еще реже: с 1990-х гг. примерно раз в 8–12 лет.

Таблица 1

Критерии суровости и количество зим различного типа для пунктов метеонаблюдений в Северном Каспии

Пункт	Суровая			Умеренная			Мягкая		
	$\Sigma t_{\text{взлх.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Кол-во зим	Доля зим (%)	$\Sigma t_{\text{взлх.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Кол-во зим	Доля зим (%)	$\Sigma t_{\text{взлх.}} \text{ } ^\circ\text{C}$	Кол-во зим	Доля зим (%)
Атырау (1892–2015 гг.)	$\leq -31,6$	23	19,3	от $-31,6$ до $-15,2$	66	55,5	$\geq -15,2$	30	25,2
Астрахань (1881–2015 гг.)	$\leq -21,3$	23	17,7	от $-21,3$ до $-5,9$	77	59,2	$\geq -5,9$	30	23,1
Лагань (1959–2015 гг.)	$\leq -10,7$	10	18,2	от $-10,7$ до $0,1$	28	50,9	$\geq 0,1$	17	30,9
Форт-Шевченко (1950–2015 гг.)	$\leq -4,5$	10	15,9	от $-4,5$ до $6,7$	35	55,5	$\geq 6,7$	18	28,6
Тюлений (1959–2015 гг.)	$\leq -3,1$	10	18,6	от $-3,1$ до $6,6$	30	55,5	$\geq 6,6$	14	25,9

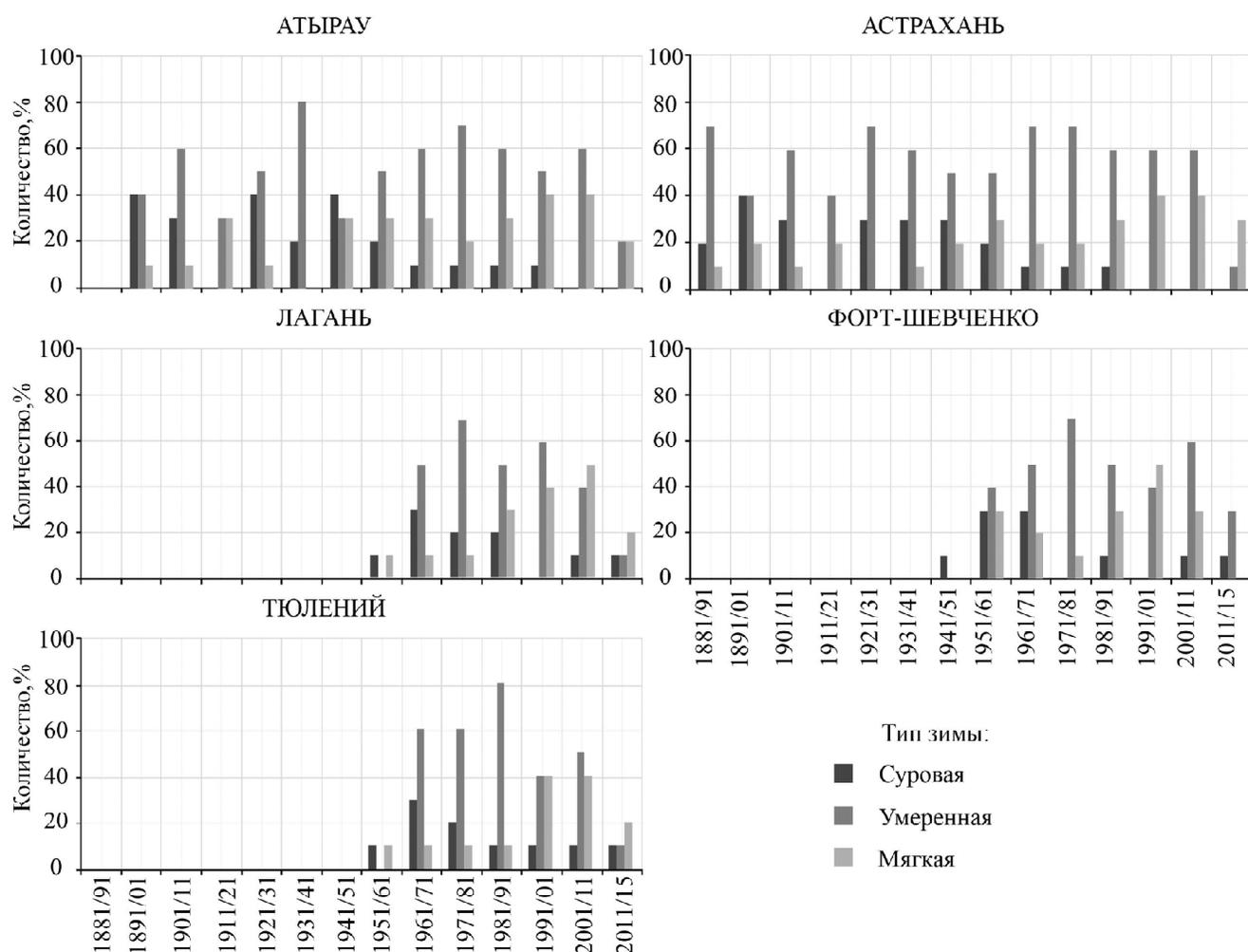


Рис. 1. Междесятилетнее изменение количества зим разной суровости для пунктов наблюдений Северного Каспия  
 Fig. 1. Interdecadal dynamics of the numbers of winters with different severity for the Northern Caspian observation points

Стоит отметить, что полученные результаты в сравнении с ранее выполненными работами отражают происходящие климатические изменения в регионе. Например, в работе [Бухарицин, 2006] выполнена типизация зим по степени суровости путем расчета суммы градусо-дней мороза за холодный период по п. Астрахань – подсчитана повторяемость очень суровых и суровых зим за период 1924–2006 гг. Было зарегистрировано восемь очень суровых (10%), девять суровых (11%) и 65 мягких и умеренных зим (79%). Таким образом, повторяемость очень суровых зим составила за весь период наблюдений один раз в 10 лет, а повторяемость суровых зим — один раз в 5 лет. Типизация зим, выполненная в ходе настоящего исследования, показала, что количество суровых зим в п. Астрахань за период 1982–2015 гг. составляет двадцать три (19,3%) и сто семь мягких и умеренных (82,3%).

Самой суровой зимой в Северном Каспии за XX–XXI вв. является зима 1953/1954 гг., когда сумма температур составила  $-38,4^{\circ}\text{C}$  для Астрахани и  $-49,2^{\circ}\text{C}$  для Атырау. Абсолютный минимум температуры воздуха наблюдался в Атырау 2 февраля 1954 г. и составил  $-37,4^{\circ}\text{C}$ .

Самой мягкой в Астрахани и Атырау была зима 1913/1914 гг. Суммы среднемесячных температур воздуха здесь составили 7,9 и  $1,0^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Абсолютный максимум  $24,0^{\circ}\text{C}$  наблюдался в Астрахани 29 марта 1914 г. Для пункта Тюлений самой мягкой стала зима 2003/2004 гг., когда сумма температур составила  $14,5^{\circ}\text{C}$ ; для Лагани – зима 1999/2000 гг. при сумме температур  $8,8^{\circ}\text{C}$ ; для Форт-Шевченко – зима 1965/1966 гг. при сумме температур  $15,7^{\circ}\text{C}$ .

Увеличение повторяемости умеренных и мягких зим несомненно оказывает влияние на ледовый режим водоема. Так, в работе [Лобанов, Наурузбаева, 2018] показано, что сумма отрицательных значений температуры за холодный период уменьшается, что в результате приводит к уменьшению максимальной толщины льда на Северном Каспии. Необходимо отметить, что такая тенденция не говорит об общем потеплении в регионе, т.к. тип зимы

по степени суровости не является точным показателем ледовых условий. Даже в умеренные и мягкие зимы возникают тяжелые ледовые условия, когда толщина ровного, не наслоенного льда не превышает 10–15 см [Бухарицин, 1984]. Поэтому для более точной оценки выполнен комплексный анализ всех составляющих ледового режима (ледовитость, начало, конец и продолжительность ледового сезона, дата минимальной температуры воздуха и др.).

*Ледовый режим.* При среднемноголетних климатических условиях процесс ледообразования в Северном Каспии начинается с мелководных прибрежных участков во второй половине ноября в районе о. Пешной (23 ноября) (20 ноября по данным [Думанская, 2014]). Затем лед распространяется на запад, охватывая одновременно мелководные участки и предустьевое взморье р. Волги. В районе о. Искусственный лед появляется в среднем 29 ноября. В течение декабря процесс ледообразования охватывает южные районы Северного Каспия – о. Тюлений – 13 декабря, о. Кулалы – 19 декабря. В Астрахани ледообразование в среднем начинается 14 декабря (табл. 2).

Начало и конец ледового сезона могут сдвигаться как на более ранние, так и на более поздние сроки. Так, во время активности широтных процессов в Европе, в том числе на юге Европейской территории России, Кавказе и Каспийском море, наблюдаются мягкие зимы [Соловьев, 1973]. В такие периоды ледообразование начинается позже обычного на несколько недель (табл. 3). По данным настоящего исследования это зимы 1954/1955, 1980/1981, 2003/2004, 2014/2015 гг.

При меридиональной активности холодный воздух из арктического бассейна чаще проникает далеко к югу, обуславливая резкие и длительные похолодания, снегопады, а также быстрое развитие ледовых процессов [Соловьев, 1973]. Усиление меридиональной циркуляции приводит к увеличению повторяемости суровых зим, как в 1953/1954, 1968/1969, 1984/1985 гг. и др. Первое появление льда в такие зимы отмечается на одну–две недели раньше, чем в умеренные или мягкие зимы (см. табл. 3), а

Таблица 2

Среднемноголетние даты наступления ледовых фаз в пунктах Северного Каспия по данным настоящего исследования

Пункт и период наблюдений	Дата появления льда			Дата очищения ото льда			Продолжительность ледового периода		
	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Максимальная	Минимальная
Пешной (1938–2015 гг.)	23,11	17,10	28,12	26,03	1,03	20,04	124	179	43
Искусственный (1941–2015 гг.)	29,11	26,10	11,01	18,03	12,02	17,04	109	155	43
Тюлений (1940–2015 гг.)	13,12	31,10	9,02	12,03	22,01	11,04	90	144	14
Астрахань (1804–2015 гг.)	14,12	13,11	27,01	21,03	25,02	18,04	99	148	31
Кулалы (1959–2015 гг.)	19,12	13,11	26,02	10,03	10,02	1,04	81	129	8

Таблица 3

Среднегодовое наступление ледовых фаз в различные по типу зимы

Пункт	Суровая			Умеренная			Мягкая		
	Начало	Конец	Продолжительность	Начало	Конец	Продолжительность	Начало	Конец	Продолжительность
Пешной (1938–2015 гг.)	13.11	09.04	148	25.11	31.03	127	26.11	12.03	107
Искусственный (1941–2015 гг.)	28.11	04.04	130	29.11	21.03	113	04.12	03.03	91
Тюлений (1940–2015 гг.)	08.12	31.03	115	12.12	16.03	95	21.12	22.02	64
Астрахань (1804–2015 гг.)	09.12	05.04	120	14.12	22.03	99	26.12	06.03	71
Кулалы (1959–2015 гг.)	13.12	29.03	107	15.12	14.03	127	05.12	26.02	53

ледообразование часто происходит при глубоком затоплении арктического воздуха, сопровождающемся резким понижением температуры и штормовыми ветрами северных направлений [Каспийское ..., 1986].

Среднегодовое значение продолжительности ледового сезона в пунктах наблюдений Северного Каспия по литературным данным различны (в зависимости от длительности ряда наблюдений; табл. 4). Настоящее исследование показало, что продолжительность ледового сезона за более чем полвека сократилась от 16 дней в Пешном до 6 дней в Астрахани (в сравнении с другими источниками данных).

Ледовитость Северного Каспия зависит от термических и динамических условий и изменяется в широком диапазоне от 30 до 85% (зимы 1999/2000 гг. и 1953/1954 гг., соответственно) [Магаева, 2017]. Среднее значение ледовитости за период 1940–2015 гг. составляет 57%.

Настоящее исследование показало, что ледовитость Северного Каспия в суровые зимы в сред-

нем составляет около 75%, в умеренные – 60%, в мягкие – 47% (рис. 2). За период с 1940 по 2015 гг. ледовитость Северного Каспия уменьшилась на 11%.

**Классификация зимних периодов.** В результате классификации выделено три класса зимних условий, описание которых представлено ниже.

Класс «-1» – суровые зимние условия. Для данного класса характерна увеличенная продолжительность ледового сезона, начало которого является ранним или в пределах среднегодовое значений. Для всех зимних периодов данного класса характерно позднее очищение акватории ото льда. Минимальные суммы, а также самые низкие отрицательные среднесуточные температуры воздуха соответствуют этому классу. Ледовитость моря достигает максимальных значений и в среднем составляет 74%.

Класс «0» – умеренные зимние условия. Все параметры находятся в пределах среднегодовое значений или имеют небольшие отклонения от них.

Класс «1» – мягкие зимние условия. Отличительная особенность класса – непродолжительный

Таблица 4

Продолжительность ледового сезона в пунктах наблюдений Каспийского моря

Пункт наблюдений	Продолжительность ледостава, дни			
	По данным [Думанская, 2014]	По данным [Бухарицин, 2008] (период наблюдений не указан)	По данным [Водный ..., 1971] (период наблюдений не указан)	Настоящее исследование
Пешной	н/с	140	126	124 (1938–2015 гг.)
Искусственный	111 (1941–2012 гг.)	106	120	109 (1941–2015 гг.)
Тюлений	85 (1939–2012 гг.)	66	98	90 (1940–2015 гг.)
Астрахань	н/с	97	105	99 (1804–2015 гг.)
Кулалы	89 (1939–2012 гг.)	67	87	81 (1959–2015 гг.)

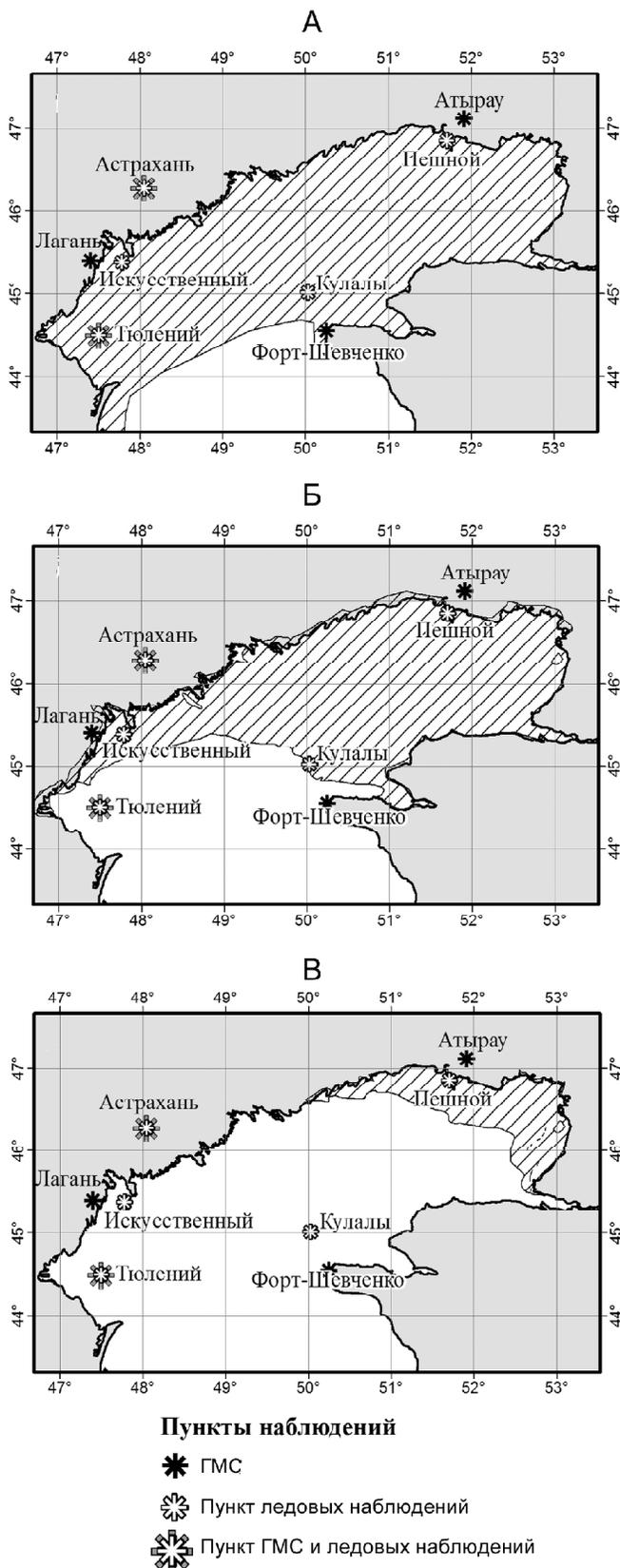


Рис. 2. Картограмма ледяного покрова Северного Каспия (положение кромки льда по данным [Думанская, 2014; <http://www.aari.ru/>]) А – в суровую зиму 1953/1954 гг.; Б – в умеренную зиму 2009/2010 гг.; В – в мягкую зиму 2006/2007 гг.

Fig.2. Schematic map of ice cover of the Northern Caspian (ice edge position according to [Dumanskaya, 2014; <http://www.aari.ru/>]): А – in severe winter 1953/1954; Б – in moderately cold winter 2009/2010; В – in mild winter 2006/2007

период ледового сезона и раннее очищение акватории ото льда. Сумма температур зачастую положительная (в зависимости от рассматриваемого пункта). Максимальные положительные зимние температуры воздуха соответствуют этому классу.

Важно отметить, что для определения итогового класса использовался весь комплекс приведенных выше параметров, при этом их количественные характеристики могли значительно варьироваться. Это свойственно для умеренного класса, когда некоторые ледовые характеристики имели отрицательную аномалию, но с учетом других параметров зимний период относился к умеренному.

За исследуемый период во всех пунктах наблюдений преобладали умеренные зимы (класс «0», табл. 5), варьировалось соотношение суровых (класс «-1») и мягких (класс «1») зим. До 1970-х гг. суровые зимы преобладали везде (рис. 3), а с 1980 по 1989 гг. отмечались в Искусственном, Тюленьем и Кулалы. Затем их количество значительно сократилось в сравнении с остальными десятилетиями. Увеличение количества мягких зим наблюдалось с начала 2000-х гг.

#### Выводы:

- типизация зим по степени суровости показала, что в целом в Каспийском регионе преобладают умеренные зимы – около 55%. Во второй половине XX в. – начале XXI в. наблюдается сокращение числа суровых зим и увеличение количества мягких. Связь с такими компонентами ледового режима, как ледовитость и продолжительность ледового сезона отражается в изменении этих характеристик в зависимости от типа зимы. Так, ледовитость моря в суровые зимы в среднем составляет около 76%, в умеренные – около 65%, в мягкие – около 47%. Продолжительность ледового сезона в суровые зимы по сравнению с мягкими увеличивается на 39–54 дня (в Искусственном и Кулалы, соответственно);

- среднееголетнее значение ледовитости за исследуемый период составляет 57%, уточнено значение средней продолжительности ледового сезона – 81–124 дня для пунктов Кулалы и Пешной соответственно. Так, по сравнению с литературными источниками [Думанская, 2014; Бухарицин, 2008, Водный ..., 1971] продолжительность ледового сезона сократилась от 16 дней в пункте Пешной до 6 дней в пункте Астрахань;

- выполнена классификация зимних периодов на основе ряда факторов: типы зим для прибрежных ГМС (суровая, умеренная, мягкая); значение и дата минимальной температуры воздуха для прибрежных ГМС за зимний сезон; среднее значение ледовитости Северного Каспия за сезон, %; начало, конец (даты) и продолжительность ледового сезона (дни). Показано, что с 1950 по 1990 гг. в Северном Каспии преобладают суровые зимы, для которых характерны низкие отрицательные среднесуточные температуры воздуха, а также увеличенная продолжительность ледового сезона. Начиная с 1990-х гг., увеличивается количество мягких зим, когда ледовый период непродолжителен.

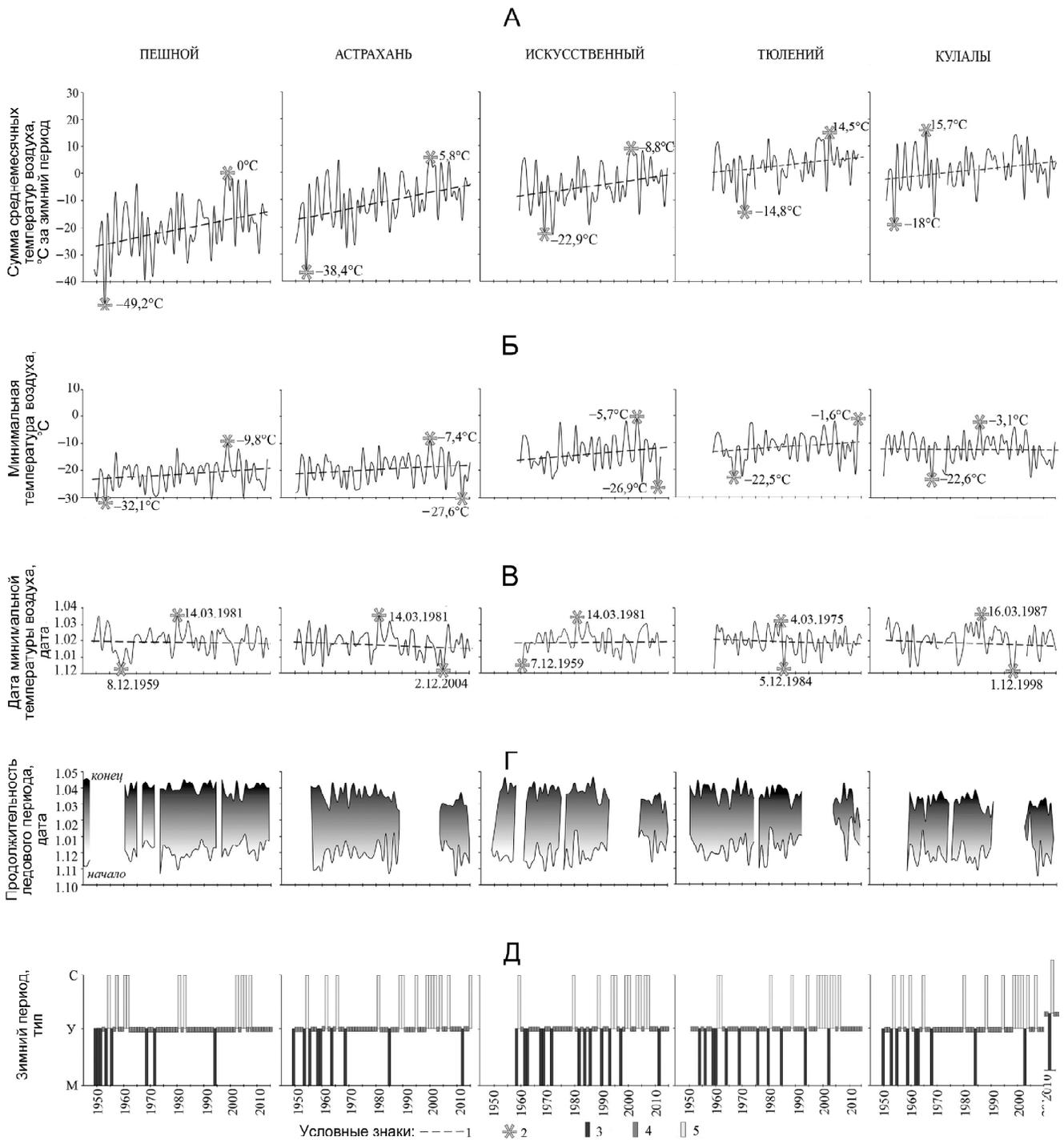


Рис. 3. Классификация зимних периодов по ледовым характеристикам для пунктов Северного Каспия за 1950–2015 гг.: А – сумма средних месячных температур воздуха (°C) за зимний период; Б – минимальная температура воздуха (°C), отмеченная в зимний сезон (декабрь–март); В – дата минимальной температуры воздуха, отмеченной за зимний сезон (декабрь–март); Г – продолжительность ледового периода; Д – класс зимнего периода; 1 – линия тренда, 2 – максимальные и минимальные значения параметров, тип зимнего периода: 3 – суровый, 4 – умеренный, 5 – мягкий

Fig.3. Classification of winter periods by ice characteristics for the Northern Caspian observation points during 1950–2015: А – sum of average air temperatures (°C) for winter period; Б – minimum air temperature (°C) recorded in winter season (December–March); В – date of the minimum air temperature recorded in winter season (December–March); Г – duration of ice period, days; Д – type of winter period; 1 – trend line, 2 – maximum and minimum values of parameters; types of winter: 3 – severe, 4 – moderate, 5 – mild

Таблица 5

## Классы зимних периодов прибрежных ГМС Северного Каспия

Класс/Пункт	Пешной (1950–2015)		Астрахань (1950–2015)		Искусственный (1950–2015)		Тюлений (1950–2015)		Кулалы (1950–2015)	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Класс «-1»	7	10,8	8	12,3	13	23,6	11	16,9	10	15,4
Класс «0»	48	73,8	43	66,2	31	56,4	42	64,6	41	63
Класс «1»	10	15,4	14	21,5	11	20	12	18,5	14	21,6

**Благодарности.** Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 01201363188 и при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта №17-05-41190 РГО\_а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- 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.
- Бухарицин П.И.* Ледовые условия на Северном Каспии // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2006. № 5. С. 64–67.
- Бухарицин П.И.* Метод расчета и прогноза толщины наслоенного льда в открытых районах Северного Каспия // Водные ресурсы. 1992. № 5. С. 60–64.
- Бухарицин П.И.* Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. 1984. № 6. С. 115–123.
- Бухарицин П.И.* Использование снимков ИСЗ «Метеор» для изучения ледовой обстановки на Северном Каспии // Тр. ГМЦ. 1983. Вып. 255. С. 70–75.
- Валлер Ф.И.* Некоторые черты ледового режима северной части Каспийского моря // Сб. работ Астрах. ГМО. 1970. Вып. 1. С. 103–112.
- Веселова Л.Е.* Ледяной покров Каспийского моря, условия его образования и развития // Труды ГОИН. 1956. Вып. 24. С. 56–127.
- Водный кадастр СССР. Каспийское море, 1971.
- Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 853 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 360 с.
- Гюль К.К.* Состояние изученности ледового режима Каспийского моря и перспективы его дальнейшего изучения // Исследования льдов южных морей СССР: Сборник статей. 1973. С. 7–18.
- Думанская И.О.* Ледовые условия морей европейской части России // М.: ИГ-СОЦИН, 2014. 605 с.
- 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.
- Ивкина Н.И., Султанов Н.К.* Особенности ледообразования в северо-восточной части Каспийского моря // Экология. 2012. № 4. С. 42–51.
- Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. / Под ред. С.С. Байдина, А.Н. Косарева. М.: Наука, 1986. 261 с.
- Лобанов В.А., Наурузбаева Ж.К.* Климатические изменения толщины льда на северном Каспии // Учен. зап. РГТМУ. 2018. № 53. С. 172.
- Магаева А.А.* Предварительный анализ параметров ледового режима Каспийского моря // XIII Ежегодная молодежная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки передовых научных направлений»: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 17–27 апреля 2017 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. С. 46–47.
- Магаева А.А., Яцкая Н.А.* Классификация зимних периодов в зависимости от ледовых условий в Азовском море // Материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика современных географических исследований», посвященной 220-летию выдающегося русского мореплавателя, географа, вице-председателя Русского географического общества Ф.П. Литке в рамках XIII Большого географического фестиваля. СПб.: Свое издательство, 2017. С. 84–87.
- Магаева А.А., Яцкая Н.А., Лихтанская Н.В., Дашкевич Л.В.* Развитие геоинформационной системы ледового режима южных морей России // Экология. Экономика. Информатика. Сб. статей в 3 т. Т. 3: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2015. С. 269–275.
- Матишов Г.Г.* Климат и океанографические исследования северных и южных морей // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2(21). С. 11–19.
- Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д. В., Жичкин А.П.* О природе крупных гидрометеорологических аномалий в арктических и южных морях России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 1. С. 36–46.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гарзона Ю.М., Дашкевич Л.В.* Замерзание Азовского моря и климат в начале XXI века // Наука Юга России. 2010. Т. 6. № 1. С. 33–40.
- Соловьев Д.В.* Некоторые особенности ледообразования на Каспийском море и синоптические процессы, их обуславливающие // Исследование льдов южных морей СССР. М.: Наука, 1973. С. 52–56.
- Яцкая Н.А., Глуценко В.В.* Исследование ледовой обстановки Северного Каспия с помощью данных спутникового мониторинга // III конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (8–10 сентября 2010 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2010. С. 140–146.

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

Яицкая Н.А., Салтановская Е.В. Геоинформационная система ледового режима южных морей России // Экология, экономика, информатика. Т. 2: Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг (п. Абрао-Дюрсо, 8–13 сентября 2013 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. С. 217–219.

#### Электронные ресурсы

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт. URL: <http://www.aari.ru/> (дата обращения 30.10.2018).

Булъгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 25.09.2018).

Поступила в редакцию 22.11.2018

После доработки 16.05.2020

Принята к публикации 06.08.2020

N.A. Yaitskaya<sup>1,2</sup>, A.A. Magaeva<sup>3,4</sup>

### ICE REGIME OF THE NORTHERN CASPIAN

Ice conditions of the Northern Caspian and their long-term dynamics depending on winter severity were analyzed basing on the observation data. Moderate types of winters prevail, but the number of severe and mild winters varies. Since the 1960s, the number of severe winters decreases, while the number of mild winters is on the increase. Ice covers about 75,5% of the Northern Caspian in severe winters, 65,1% in moderate, and 47,2% in mild winters. Average ice cover for the period 1940–2015 is 57%, however the ice cover decreased by 11%. The average long-term duration of the ice season is 81–124 days for the Kulaly and Peshnoye observation points, respectively. In mild winters ice formation begins few weeks later than the long-term average (sometimes a month later), and in severe winters 1 to 2 weeks earlier. The study showed that the ice season became shorter by 16 days in Peshnoye and 6 days in Astrakhan (in comparison with other data sources). Original classification of winter periods has been elaborated and performed basing on a number of factors: types of winters for coastal station (severe, moderate, mild); value and date of the minimum air temperature for coastal stations during winter season; average value of ice coverage of the North Caspian for the season (%); start and end dates and duration of the ice season (days). The classification suggests that during the 1950s – 1970s severe winter periods prevailed at all weather stations of the Caspian Sea region. After the 1970s moderate and mild winter periods showed an increasing tendency while severe winter periods occurred once-twice a decade.

*Key words:* observations, winter types, classification

**Acknowledgements.** The paper was prepared under the framework of the implementation of the state assignment of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (project no. 01201363188) and financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Russian Geographical Society (project no. 1705-41190 PGO\_a).

#### REFERENCES

Buharicin P.I. Ledovye usloviya na Severnom Kaspii [Ice conditions in the Northern Caspian]. *Yuzhno-rossijskij vestnik geologii, geografii i global'noj ehnergii*, 2006, no. 5, p. 64–67. (In Russian).

Buharicin P.I. Metod rascheta i prognoza tolshchiny nasloennogo l'da v otkrytyh rajonah Severnogo Kaspiya [Method for Calculation and Prediction of the Ice Layer Thickness in the Open Areas of the Northern Caspian Sea]. *Vodnye resursy*, 1992, no. 5, p. 60–64. (In Russian)

Buharicin P.I. Sravnitel'nye harakteristiki mnogoletnej izmenchivosti ledyanogo pokrova severnoj chasti Kaspijskogo i Azovskogo morej [Comparative characteristics of the long-term

variability of ice cover in the northern part of the Caspian and Azov seas]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 3, p. 207–213. (In Russian)

Buharicin P.I. Vliyanie drejfuyuschih l'dov na formirovanie rel'efa dna i sostava donnyh otlozhenij melkovodnyh rajonov Severnogo Kaspiya [Influence of drifting ice on the formation of the bottom relief and composition of bottom sediments of shallow areas of the Northern Caspian]. *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal. Geologiya, geografiya i global'naya ehnergiya*, 2010, no. 2, p. 98–101. (In Russian)

Buharicin P.I. Ispol'zovanie snimkov ISZ «Meteor» dlya izucheniya ledovoj obstanovki na Severnom Kaspii [Using the

<sup>1</sup> The Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, PhD in Geography; *e-mail*: yaitskayan@gmail.com;

<sup>2</sup> Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Information Technologies and Mathematical Modeling, Leading Scientific Researcher, PhD in Geography

<sup>3</sup> Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Information Technologies and Mathematical Modeling, Junior Scientific Researcher; *e-mail*: a.magaeva@mail.ru.

<sup>4</sup> South Federal University, Institute of Earth Sciences, Department of Oceanology, Junior Scientific Researcher

Meteor satellite images to study the ice situation in the Northern Caspian]. *Trudy GMC*, 1983, iss. 255, p. 70–75. (In Russian)

Dumanskaya I.O. *Ledovye usloviya morej evropejskoj chasti Rossii*. [Ice conditions of the seas of the European part of Russia]. Moscow, IG SOTSIN Publ., 2014, 608 p. (In Russian)

*Gidrometeorologicheskij spravochnik Azovskogo morya*. [Hydrometeorological directory of the Sea of Azov]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1962, 853 p. (In Russian)

*Gidrometeorologiya i gidrohimiya morej. T. VI Kaspijskoe more. Vypusk 1. Hidrometeorologicheskie usloviya*. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas, vol. VI. Caspian Sea, iss. 1. Hydrometeorological conditions]. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 360 p. (in Russian)

Gyul' K.K. [The state of knowledge of the ice regime of the Caspian Sea and the prospects for its further study] *Issledovaniya l'dov yuzhnyh morej SSSR* [Investigations of ice in the southern seas of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1973, p. 7–18. (In Russian)

Ivkina N.I., Naurozbaeva Zh.K. *Izmenenie harakteristik ledovogo rezhima kazahstanskoy chasti Kaspijskogo morya v svyazi s izmeneniyem klimata* [Variation of the ice regime characteristics at the Kazakhstan's part of the Caspian Sea by climate change]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2015, no. 2(77), p. 28–35. (In Russian)

Ivkina N.I., Sultanov N.K. *Osobennosti ledoobrazovaniya v severo-vostochnoj chasti Kaspijskogo morya* [Specific features of ice formation in the north-eastern part of the Caspian Sea]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2012, no. 4, p. 42–51. (In Russian)

*Kaspijskoe more. Hidrologiya i gidrohimiya*. [The Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry]. S.S. Bajdin and A.N. Kosarev (Eds). Moscow, Nauka Publ., 1986, 261 p. (In Russian)

Lobanov V.A., Naurozbaeva Zh.K. *Klimaticheskie izmeneniya tolschiny l'da na severnom Kaspii* [Climate changes of ice thickness on the Northern Caspian]. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, 2018, iss. 53, p. 172–187. (In Russian)

Magaeva A.A. [Preliminary analysis of ice regime parameters of the Caspian Sea] *Issledovaniya i razrabotki peredovyh nauchnyh napravlenij* [Research and development works in the advanced scientific fields]. XIII Ezhegodnaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh ucheny: tezisy dokladov (g. Rostov-na-Donu, 17–27 aprelya 2017 g.). Rostov-na-Donu, YUNC RAN Publ., 2017, p. 46–47. (In Russian)

Magaeva A.A., Yaitskaya N.A. [Classification of winter periods depending on ice conditions in the Sea of Azov]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Teoriya i praktika sovremennykh geograficheskikh issledovaniy»* [Materials of the international scientific and practical conf. of students, graduate students and young scientists «Theory and practice of modern geographical research»]. Sankt-Petersburg, 2017, p. 84–87. (In Russian)

Magaeva A.A., Yaitskaya N.A., Likhtanskaya N.V., Dashkevich L.V. [Elaboration of a geoinformation system of the Russian southern seas ice conditions]. *Ekologiya, ekonomika, informatika. T. 3: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskij monitoring*. [Ecology, Economy, Informatics. Geoinformation technologies and space monitoring]. Rostov-na-Don, Southern Federal University Publ., 2015, no. 3, p. 269–275. (In Russian)

Matishov G.G. *Klimat i okeanograficheskie issledovaniya severnyh i yuzhnyh morej* [Climate and oceanographic researches of northern and southern Russian seas]. *Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2015, no. 2(21), p. 11–19. (In Russian)

Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V., Zhichkin A.P. *O prirode krupnyh gidrometeorologicheskikh anomalij v arkticheskikh i yuzhnyh moryah Rossii* [On the nature of large hydrometeorological anomalies in the West Arctic and southern seas of Russia]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2014, no. 1, p. 36–46. (In Russian)

Matishov G.G., Matishov D.G., Gargopa Yu.M., Dashkevich L.V. *Zamerzanie Azovskogo morya i klimat v nachale XXI veka* [Freezing of the Sea of Azov and climate at the beginning of the XXI century]. *Nauka yuga Rossii*, 2010, vol. 6, no. 1, p. 33–40. (In Russian)

Solov'ev D.V. [Some features of ice formation in the Caspian Sea and synoptic processes causing them] *Issledovaniya l'dov yuzhnyh morej SSSR* [Investigations of ice in the southern seas of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1973, p. 52–56. (In Russian)

Valler F.I. [Some features of the ice regime of the northern part of the Caspian Sea] *Sbornik rabot Astrah. GMO* [Collection of research works of the Astrahan hydrometeo observatory], 1970, vol. 1, p. 103–112. (In Russian)

Veselova L.E. *Ledyanoy pokrov Kaspijskogo morya, usloviya ego obrazovaniya i razvitiya* [Ice cover of the Caspian Sea, the conditions of its formation and development]. *Trudy GOIN*, 1956, vol. 24, p. 56–127. (In Russian)

*Vodnyj kadastr SSSR. Kaspijskoe more*. [Water cadastre of the USSR. The Caspian Sea]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971. (In Russian)

Yaitskaya N.A., Saltanovskaya E.V. [Geoinformation system of the ice regime of the southern seas of Russia]. *Ekologiya, ekonomika, informatika. T. 2, Geoinformatsionnye nauki i ekologicheskoe razvitiye: novye podkhody, metody, tekhnologii*. Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskij monitoring (Abrau-Durso, 8–13 sentyabrya 2013 g.). [Ecology, economics, informatics, vol. 2]. Rostov-na-Donu, YuFU Publ., 2013, p. 217–219. (In Russian)

Yaitskaya N.V., Magaeva A.A. *Dinamika ledovogo rezhima Azovskogo morya v XX–XXI vv.* [Dynamics of the ice regime of the Sea of Azov in the XX–XXI centuries]. *Ice and Snow*, 2018, no. 58(3), p. 373–386. (In Russian) DOI: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386.

Yaitskaya N.A., Gluschenko V.V. [Investigation of ice situation in the Northern Caspian using satellite monitoring data] III konferentsiya «Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskij monitoring» [3<sup>rd</sup> Conference on Geoinformation technologies and space monitoring], Rostov-na-Donu, Russia, 3–7 September, 2010, p. 140–146. (In Russian)

#### Web sources

Arctic and Antarctic Research Institute URL: <http://www.aari.ru/> (access date 30.10.2018).

Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Shvec N.V. *Opisanie massiva dannyh srednemesyachnoj temperatury vozduha na stanciyah Rossii. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh no. 2014621485* URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описаниемассива-данных> (access date 25.09.2018).

Received 22.11.2018

Revised 16.05.2020

Accepted 06.08.2020