

Ж.К. Наурозбаева

Российский государственный гидрометеорологический университет, Россия, г. Санкт-Петербург,
e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

В данной работе проведен анализ временного хода форм общей циркуляции атмосферы (ОЦА), основных ледовых параметров, среднемесячные значения температуры воздуха, суммы отрицательных температур воздуха. Сформирована база данных для основных гидрометеорологических параметров. Для типов циркуляции атмосферы было рассчитано среднее многолетнее значение, выделены эпохи преобладания форм циркуляции. Выявлены основные связи зависимости между суммой отрицательных температур, толщиной льда и интенсивностью преобладающей формы атмосферной циркуляции.

По итогам исследования сделан вывод о повсеместном уменьшении толщины льда с разной интенсивностью. Наибольшее уменьшение толщины льда наблюдается в северо-восточном секторе Каспийского моря. Средняя толщина льда составляет 40 см. В Среднем Каспии наблюдается увеличение повторяемости зимних периодов без становления устойчивого ледового покрова. Оценен температурный вклад каждого месяца за холодный период, вклад каждой формы ОЦА. В исследовании определен ступенчатый переход (год) во временном промежутке от одного стационарного состояния в другое, что нашло отражение не только в температурном фоне. Рассмотрена классификация зим для Каспийского моря, согласно которой наблюдается увеличение повторяемости мягких и умеренных зим.

Ключевые слова: Каспийское море, ледовый режим, максимальная толщина льда, среднемесячная температура воздуха, сумма отрицательных температур, изменение климата.

Zh.K. Naurozbaeva

Russian State Hydrometeorological University, Russia, Saint-Petersburg,
e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Macro-circulation processes and their impact on changes in the ice regime of the Caspian Sea

In this paper, were analyzed long-time course of atmospheric circulation forms, the main ice parameters, average air temperature and the sum of negative air temperatures. Database was formed by air temperature, ice thickness and types of circulation. For types of atmospheric circulation the long-term average was recalculated. Between parameters are revealed correlations. According researches results, ice thickness was decrease with different weight. In the Caspian Sea, a decrease in ice thickness is observed. The average ice thickness is 40 cm. In the Middle Caspian, an increase in the frequency of ice cover is observed. The estimated contribution of each month to the cold season. The temperature effect of each month of the cold period and each type of atmospheric circulation effect were estimated. In the time course a stepwise transition from one stationary state to another was determined. This was reflected not only on the temperature, but also on all the parameters considered. The classification of winter species of the Caspian Sea under consideration, according to which there is an increase in the frequency of occurrence of mild and moderate winters.

Key words: Caspian Sea, ice regime, maximum ice thickness, monthly average air temperature, sum of negative temperatures, climate change.

Ж.К. Наурозбаева

Ресей мемлекеттік гидрометеорологиялық университеті, Ресей, Санкт-Петербург қ.
e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Макроциркуляция процестері және олардың Каспий теңізіндегі мұз құбылыстарының өзгеруіне әсері

Осы ғылыми жұмыста атмосфералық айналымның уақыттық ағымы, мұздың негізгі параметрлері және ауа температурасының сипаттамалары зерттелді. Негізгі гидрометеорологиялық параметрлердің базасы құрылды. Атмосфералық айналым түрлері бойынша орташа көпжылдық мән есептелген, циркуляция түрлерінің дәуірлері анықталды. Төменгі температуралардың қосындысы, мұздың қалыңдығы және атмосфералық айналымның басым формасының қарқындылығы арасындағы негізгі байланыс анықталды.

Зерттеу нәтижелері бойынша мұздың қалыңдығы әр түрлі қарқындылығымен төмендеуі жайлы қорытынды жасалынды. Мұз қалыңдығының ең көп төмендеуі Каспий теңізінің солтүстік-шығыс бөлігінде байқалды. Мұздың орташа қалыңдығы 40 см құрады. Орта Каспийде тұрақты мұз қабаты қалыптаспаған қысқы кезеңдердің жиілігінің жоғарылауы тіркелді. Суық мезгіл үшін әр айдың есептік ауа температуралық үлесі және атмосфералық айналымның әр түрінің әсері бағаланды. Зерттеуде бір стационарлық күйден екінші күйге дейінгі уақыт аралығындағы өтпелі кезең (жыл) анықталды. Ол тек ауа температура фонына ғана емес, сонымен қатар барлық параметрлерге қарастырылған. Каспий теңізі үшін қыстың жіктелуі қарастырылған, оған сәйкес жылы және қалыпты қыстың қайталауының артуы байқалады.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, мұз режимі, мұздың максималды қалыңдығы, орташа айлық температура, климаттың өзгеруі.

Введение

Северная часть Каспийского моря покрывается льдом каждый год. Ледовый период длится обычно с ноября по март. В отдельные годы, в зависимости от суровости зимы, начало и окончание ледового периода сдвигаются на месяц раньше или позже средних многолетних дат.

Опасность для судоходства, прибрежных сооружений, промышленности, в частности для нефтедобывающего промысла, представляют мощность образующегося припая, промерзание моря до дна, образование стамух и торосов. Нередко в течение зимы припай взламывается, особенно в центральных районах Северного Каспия – Гурьевская бороздина. Не менее подвержена динамическим деформациям прикромочная зона припая в районах Кулалинской и Жемчужных банок. Многократный взлом припая, его подвижки, торошение и последующее смерзание приводят к образованию мощных торосов (Болгов, 2007; Бухарицин, 2019, 2011, 2014; Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992; Думанская, 2008). Мониторинг ледовых явлений и их исследования важны не только для гидрометеорологической безопасности (Ивкина, 2015; M. Molavi-Arabshahi, 2015; M. Temimi, 2011; V.V. Asmus, 2018), но и для экологической, в том числе мониторинг популяции каспийского тюленя (Simon J. Goodman, 2018).

На ледовые характеристики существенное влияние оказывают макроциркуляционные процессы. Исследования в области атмосферных процессов как в прошлом, так и в настоящее время являются актуальными (А. Ноу, 2013; N.S. Sidorenkov, 2008; O.A. Anisimov, 2011; R. Bridges, 2019; W. Haerberli, 2001; Peter Hupfer, 2001).

Информация и метод исследования

Методика исследования основана на статистическом моделировании и анализе временных рядов следующих гидрологических и климатических характеристик:

– данные количества дней с формами атмосферной циркуляции E, C и W (классификация Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса) с 1891 по 2018 гг.;

– многолетние ряды наблюдений максимальной толщиной льда, продолжительностей и дат начала и окончания ледового периода на гидрологических станциях Северного Каспия, 8 из которых находятся на акватории моря и одна (Астрахань) – в устье р. Волги, причем 4 станции расположены в России и 4 – в Казахстане;

– многолетние ряды среднемесячной температуры воздуха за холодный период по 28 гидрометеорологическим станциям и постам России и Казахстана с 1882 по 2019 гг.

Расположение пунктов наблюдений показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Расположение гидрометеорологических станций и постов (желтые треугольники – наблюдение за толщиной льда и температурой воздуха, красные кружки – только наблюдения за температурой воздуха)

Для сформированных баз данных разных гидроклиматических характеристик прежде всего был проведен анализ однородности и качества данных с помощью статистических критериев оценки однородности экстремальных значений (критерии Диксона и Смирнова-Граббса) и стационарности дисперсий и средних значений (критерии Фишера и Стьюдента) (Закс, 1976; Лобанов 2011, 2012). В связи с тем, что многолетние ряды имели разную продолжительность и пропуски наблюдений, они приводились к примерно одинаковому многолетнему периоду с восстановлением пропусков по методике, основанной на регрессионной связи с более продолжительными рядами-аналогами на ближайших станциях для одной и той же гидроклиматической характеристики. Предельные минимальные значения коэффициентов корреляции при построении уравнений задавались 0,75 для характеристик ледового режима и 0,85 для температур воздуха. В результате удалось получить практически непрерывные ряды с начала самых ранних наблюдений в регионе по 2018-2019 гг. включительно.

Методика моделирования и исследования временных рядов основывалась на оценке изменения во времени среднего значения и для

этой цели временные ряды аппроксимировались моделями двух типов: стационарной выборки (среднее значение постоянно во времени) и моделью нестационарного среднего (среднее значение изменяется по времени). Причем в качестве моделей нестационарного среднего задавались два их вида: модель линейного тренда и модель ступенчатых изменений среднего значения. Проверялась гипотеза: является ли нестационарная модель эффективнее стационарной и насколько. В качестве показателя эффективности каждой из моделей принималась ее остаточная дисперсия, т.е. доля исходного рассеяния, которое не объяснено моделью. Для модели стационарной выборки стандартное отклонение остатков соответствует среднему квадратическому отклонению ряда (σ_0), а для нестационарных моделей определяется как СКО остатков между наблюдаемыми значениями и рассчитанными по соответствующей модели ($\sigma_{\text{нест}}$). В качестве показателя эффективности нестационарной модели (Δ) можно принять относительную разность стандартных отклонений остатков модели стационарной выборки (σ_0) и нестационарной модели ($\sigma_{\text{нест}}$) в % (Лобанов 2011, 2012; Малинин 2008):

$$\Delta = (\sigma_0 - \sigma_{\text{нест}}) / \sigma_0 \cdot 100 \% \quad (1)$$

Причем σ_0 всегда будет больше или равна $\sigma_{\text{нест.}}$, т.к. остаточная дисперсия относительно постоянного среднего значения является наибольшей. Можно принять, что если $\Delta > 10\%$, то нестационарная модель уже становится эффективнее стационарной, а если $\sigma_0^2 / \sigma_{\text{нест.}}^2 > F_{\text{кр}}$ (где $F_{\text{кр}}$ – критическое значение статистики критерия Фишера при заданном уровне значимости α 5%, то эффективность нестационарной модели будет статистически значима. Также можно определить $\Delta_{\text{кр}}$ при котором эффективность нестационарной модели статистически значима. Так, при объеме выборки $n=60$ лет, $\Delta_{\text{кр}} = 19,4\%$, при $n=120$ лет $\Delta_{\text{кр}} = 13,8\%$, а при $n=500$ лет $\Delta_{\text{кр}} = 10\%$. Величина Δ является показателем эффективности нестационарной модели, а $\sigma_{\text{нест.}}$ определяется в зависимости от типа нестационарной модели. Так, для модели линейного тренда: $\sigma_{\text{нест.}}^2 = \sigma_0^2(1-R^2)$, где R – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Анализ макроциркуляционных атмосферных процессов

Вангенгеймом Г.Я., позднее дополненное Гирсом А.А., произведено разделение макропро-

цессов на типы W, C, E. При форме W в толще тропосферы наблюдаются зональные движения воздуха. Преобразование процессов этой формы в E или C связано с возникновением в тропосфере стационарных волн большой амплитуды. При этом географическая локализация гребней и ложбин этих волн при формах E и C принципиально отлична. Теория возникновения таких волн связывается с закономерностями и условиями вихреобразования в атмосфере (Гирс, 1971).

В Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) ежегодно проводится разбивка процессов по типам общей циркуляции атмосферы. Собранные данные по числу дней общей атмосферной циркуляции типов E, C, W за период с 1891 по 2018 годы позволили пересчитать нормы форм циркуляции, проанализировать временной ход, найти зависимости с ледовыми явлениями.

Как известно, норма форм циркуляции была определена за период с 1900 по 1968 гг. и довольно длительное время использовалась для климатических расчетов, в том числе и в работах (Думанская, 2008, 2014). В данной работе предложена пересчитанная норма за период с 1918 по 2018 гг., которая отличается от прежних значений.

Таблица 1 - Среднегодовое значения числа дней форм ОЦА за различные периоды

Период 1900-1968 гг.		Период 1918-2018 гг.	
Форма ОЦА	Норма	Форма ОЦА	Норма
W	127	W	113
C	93	C	89
E	145	E	163

Согласно таблице 1, можно заметить существенные отличия по типам E и W. В последние годы наблюдается преобладание типа E в годовом ходе. Как известно, существуют целые эпо-

хи господства того или иного типа циркуляции (Гирс, 1971; N.I. Savelieva, 2004). В таблице 2 приведены преобладающие типы ОЦА с 1891 по 2018 гг.

Таблица 2 - Преобладающие типы ОЦА за год за период с 1891 по 2018 гг.

Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс
1891	W	1923	W	1955	E	1987	E
1892	W	1924	E	1956	E	1988	E
1893	W	1925	W	1957	E	1989	E

Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс
1894	W	1926	W	1958	E	1990	E
1895	W	1927	E	1959	E	1991	E
1896	W	1928	W	1960	E	1992	E
1897	W	1929	E	1961	E	1993	E
1898	W	1930	E	1962	W	1994	E
1899	W	1931	E	1963	E	1995	E
1900	E	1932	W	1964	E	1996	W
1901	E	1933	E	1965	E	1997	E
1902	C	1934	E	1966	E	1998	W
1903	W	1935	E	1967	E	1999	W
1904	W	1936	E	1968	E	2000	E
1905	W	1937	E	1969	E	2001	W
1906	W	1938	E	1970	E	2002	E
1907	W	1939	W+C	1971	E	2003	W+E
1908	E	1940	W	1972	E	2004	E
1909	E	1941	E	1973	E	2005	W+E
1910	E	1942	C	1974	E	2006	E+W
1911	W	1943	W	1975	E	2007	E
1912	W	1944	W	1976	E	2008	W+E
1913	W	1945	E	1977	E	2009	W
1914	W	1946	C	1978	E	2010	E
1915	W	1947	E	1979	E	2011	E
1916	W	1948	C	1980	E	2012	E+W
1917	W	1949	W	1981	E	2013	E
1918	E	1950	W	1982	E	2014	E
1919	E	1951	E	1983	E	2015	E
1920	E	1952	E	1984	E	2016	W
1921	W	1953	E	1985	E	2017	W
1922	W	1954	E	1986	E	2018	E

В последние десятилетия наблюдается преобладание двух типов: W и E. Оценка вклада

каждой формы ОЦА представлена на рисунке 2 в процентном соотношении.

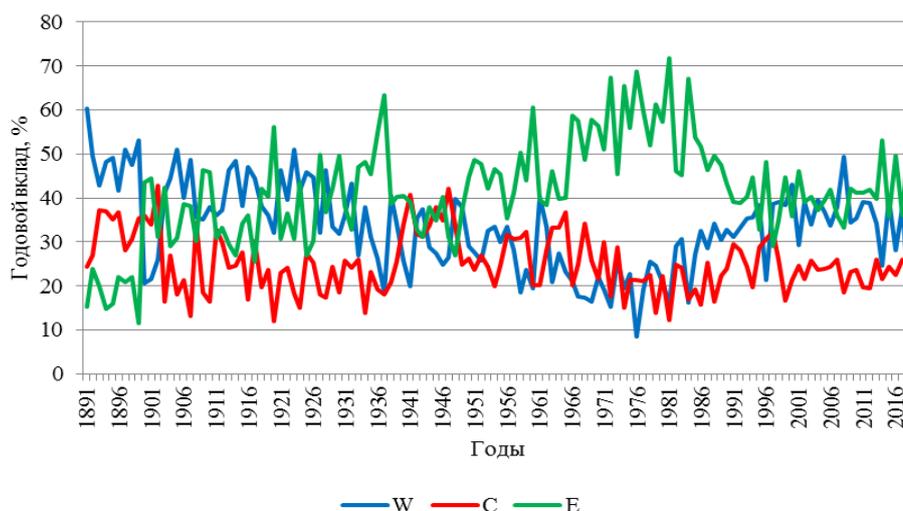


Рисунок 2 - Годовой вклад типов общей циркуляции атмосферы за период с 1891 по 2018 гг. в процентах

Согласно рисунку 2, в последние десятилетия наблюдается увеличение повторяемости типа циркуляции E, доля вклада типа W также имеет вес. И нередко наблюдаются смешанные типы: W + E, E + W.

Климатические изменения оценивались по эффективности двух моделей нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения среднего значения при переходе от одного стационарного периода к другому) по отно-

шению к модели стационарной выборки (Закс, 1976; A. V. Kouraev, 2004; B. Klove, 2017; F. Komijani, 2019). Для оценки был выбран период с 1945 года в связи с тем, что данные по толщине льда имелись с этого времени. По результатам исследования было заключено, что переход произошел в 1988 году для типов E и W, для типа C – в 1995 году (рисунок 3). Для оценки были использованы суммы числа дней за холодный период времени года (октябрь-март).

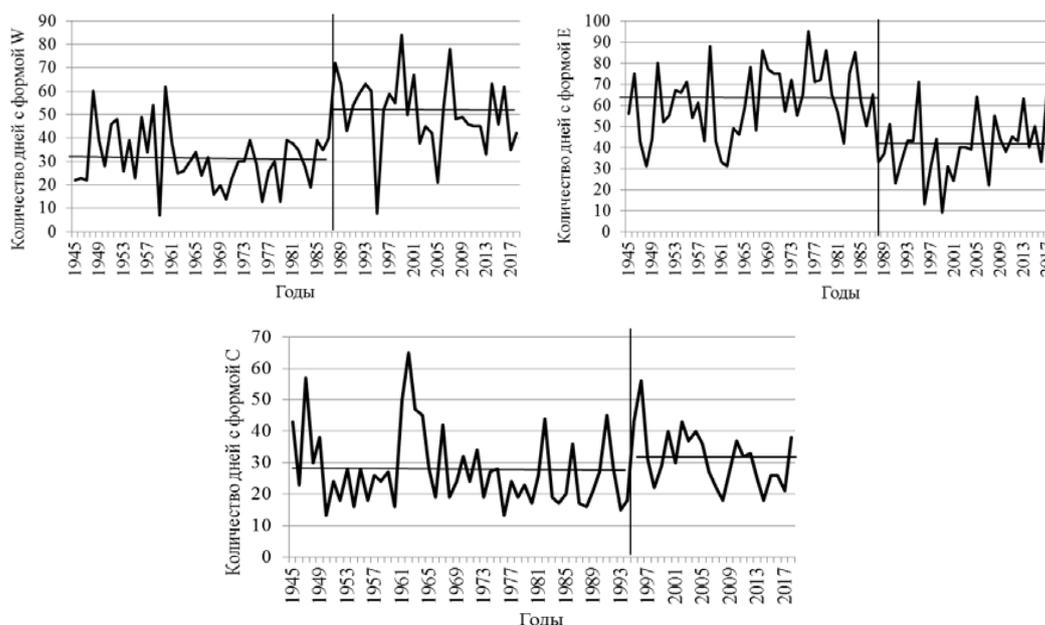


Рисунок 3 - Временной ход числа дней типов ОЦА за холодный период с годом ступенчатого перехода и средними значениями за квазистационарные промежутки времени

Исходя из полученных результатов, определено, что суммарное количество дней с типом W увеличивается. Если в период с 1945 по 1987 гг. среднее значение составляло 32 дня, то в период с 1988 по 2018 гг. уже составила 51 день. А суммарное количество дней с типом E уменьшается: в первый период составил 61 день, во второй – 40. Число дней с типом С незначительно уменьшилось на 10 дней. Переход был зафиксирован в 1995 году.

Исследование изменения температурного фона

По данным 28 пунктов наблюдения была сформирована гидроклиматическая база. Благодаря хорошей продолжительности временных рядов по температуре воздуха и близкой географической расположенности станций относительно друг друга, восстановление пропусков дало хороший результат. Временной ряд был увеличен до 137 лет. Стоит отметить, что восстановление по всем станциям наиболее полное было в осенние месяцы. Станции Яшкуль, Элиста, Ставрополь и Минеральные Воды с декабря по февраль восстановлены максимум на 15 лет. Это связано с более отдаленным географическим положением от основной массы станций.

Оценка климатических изменений показала, что для среднемесячных температур практически вся нестационарность в виде ступенчатого роста средних температур воздуха имеет место в марте – 82 % из всех случаев. А модель линейного тренда эффективна в 13 случаях (46%) из 28, что подтверждает полученный ранее вывод о том, что нестационарность проявляется в виде ступенчатых переходов от одних стационарных условий к другим. Наиболее стационарными являются температуры в ноябре, декабре и феврале. Для отдельных метеостанций нестационарность средних температур проявляется в разные месяцы. Так для метеостанции Атырау нестационарность средних температур имеет место в течение 4-5 месяцев из 6 за исключением февраля, если принимать результат по критерию Стьюдента и/или по статистической значимости коэффициента корреляции тренда. А на рядом находящейся станции Пешной нестационарность имеет место только в январе и марте. Нестационарность температур в Астрахани также имеет место в течение 3-5 месяцев. На остальных станциях нестационарность температур имеет место в течение 2-3 месяцев.

Годы ступенчатого перехода в рядах температуры марта одинаковые для разных станций, но группируются в виде двух интервалов: 1988-89 гг.

и 1997-2000 гг. При этом, метеостанции с 1988 годом ступенчатого роста температур расположены в западной части рассматриваемой территории, а с 1999 годом ступенчатого перехода – в восточной части и линия раздела идет по метеостанциям (с юго-запада на северо-восток): Махачкала, Кызан, Пешной, Махамбет и Карабау.

Подобное распределение возможно связано с особенностями атмосферной циркуляции над каждым из этих районов. Основным фактором, влияющим на формирования ледового покрова, является сумма отрицательных температур.

На графике (рисунок 4) представлен временной ход сумм отрицательных температур для станций Северного и Среднего Каспия с разделением на квазистационарные периоды и средними значениями.

По результатам исследований на всех станциях рассматриваемого региона наблюдается уменьшение сумм отрицательных температур в разной степени. Для северо-западного сектора Каспия уменьшение суммы отрицательных температур составило до 40%, а в центральной части даже еще и больше, например, 48% для Форты Шевченко, 53% для Актау. Максимальное уменьшение в Махачкале – 69%, минимальное – в Бейнеу и Сам – 22 и 19%. Переходный период был определен для всех станций, на большинстве станций переход отмечен в конце 80-х годов. Корреляционный анализ зависимости сумм отрицательных температур от преобладающих форм ОЦА на станциях Северного Каспия показал, что увеличение сумм наблюдается при увеличении числа дней с типом циркуляции E ($R=0.34$), что подтверждает усиленное влияние отрогов антициклона. Зимы наблюдаются более суровые. Уменьшение сумм отрицательных температур ($R=0.43$) отмечено при увеличении повторяемости циркуляции формы W, западного переноса. Зимние периоды наблюдаются мягкие, в особенности в северо-западном секторе.

Изменения максимальной толщины льда

Для оценки изменения максимальной толщины льда были проанализированы данные морских и прибрежных станций, в том числе и речной пост Астрахань. Следует отметить, что в рядах максимальных толщин льда отсутствие данных имело место и по естественным причинам: льда не наблюдалось или лед был недостаточной толщины для проведения измерений и в эти годы восстановление данных не проводилось (станции Среднего Каспия).

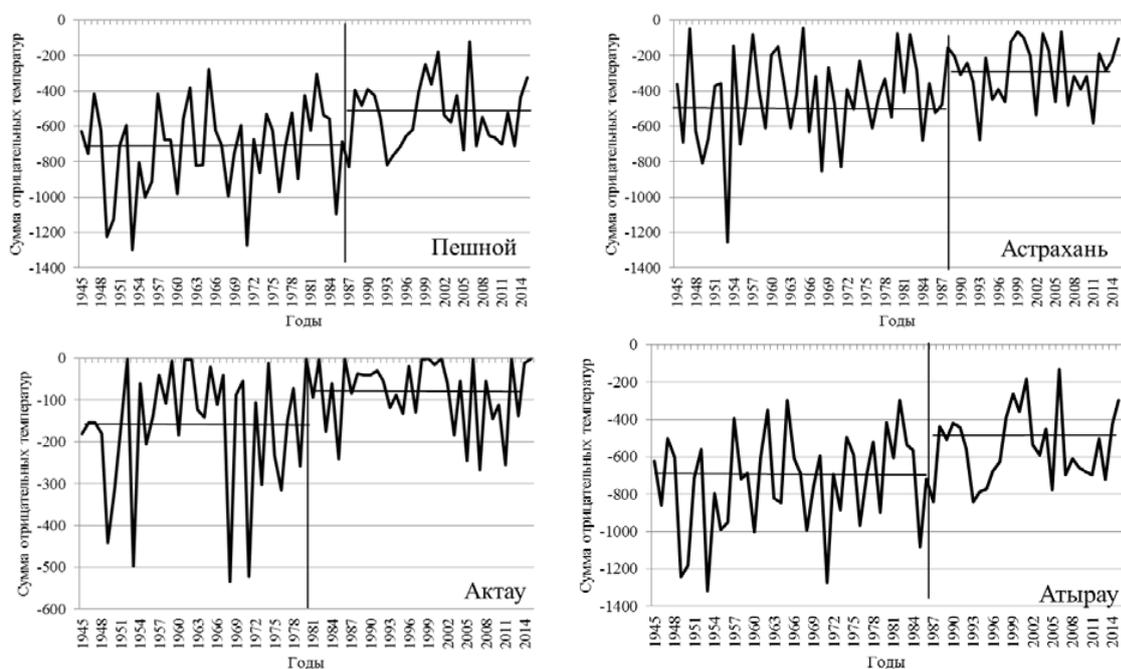


Рисунок 4 - Многолетние временные ряды сумм отрицательных температур за зимний период и их аппроксимация моделью ступенчатых изменений среднего значения

В среднем продолжительность рядов увеличилась на 12 лет, хотя в российском секторе на северо-западе Каспийского моря связанность данных была выше и продолжительность увеличилась на 23 года, тогда как в казахстанском секторе – в среднем всего на 1,5 года (от 0 до 3 лет). На стан-

циях остров Кулалы и Форт-Шевченко восстановления не проводилось в связи с тем фактом, что Средний Каспий покрывается льдом не каждый год и удаленность от основной массы станций.

Временной ход со ступенчатым переходом представлен на рисунке 5.

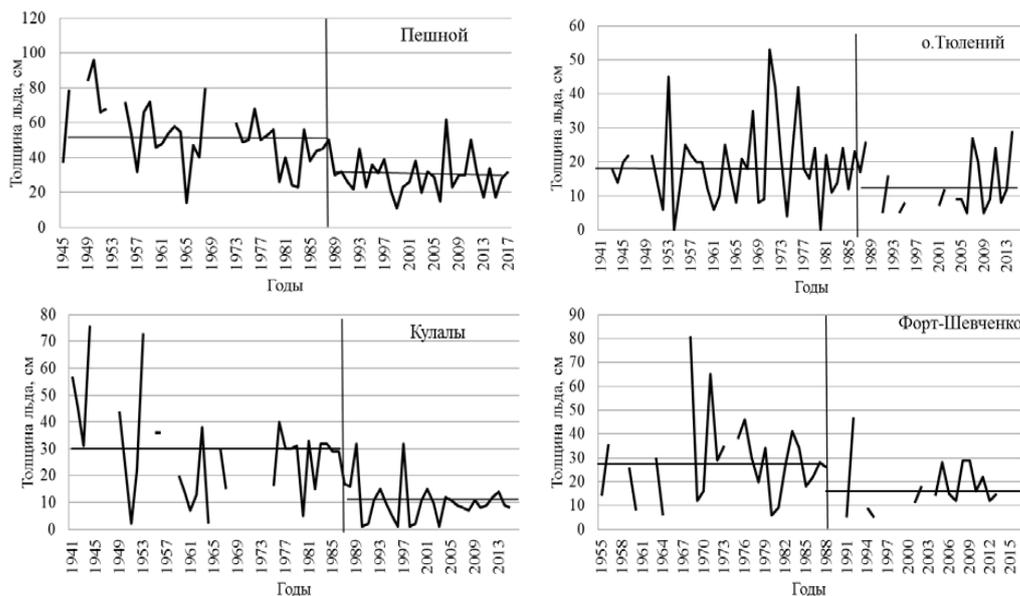


Рисунок 5 - Временной ход максимальной толщины льда с годом ступенчатого перехода и средними значениями за квазистационарные промежутки времени

По количественной оценке в северо-восточном секторе толщина льда уменьшилась на 20-28 см, северо-западном секторе на 5-11 см. На южных станциях, если не учитывать аномально толстый лед за период 1941-44 гг. на станции о. Кулалы, уменьшения толщины льда хотя и сопоставимы с СКО, но многолетние средние уже уменьшились до 13-17 см, что свидетельствует об увеличении вероятности полного отсутствия

льда в отдельные годы. В целом же уменьшение средней максимальной толщины льда наблюдается на всех станциях Северного Каспия и составляет от 5 см до 28 см.

Ступенчатый год перехода датируется также в конце 80-х, как и других ранее рассмотренных данных. Корреляционная зависимость толщины льда от суммы отрицательных температур хорошая (рисунок 6).

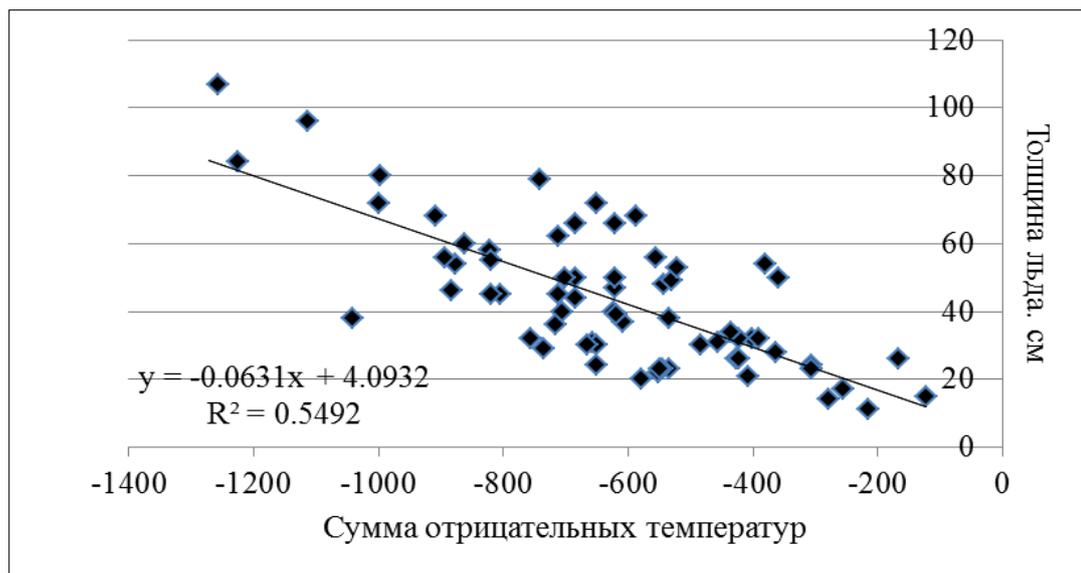


Рисунок 6 - Зависимость толщины льда от суммы отрицательных температур на примере станции Пешной за период с 1945 по 2018 гг.

Полученные результаты хорошо согласуются с выводами об увеличении числа дней западного переноса, который способствует уменьшению сумм отрицательных температур. Сумма в свою очередь, уменьшается за счет увеличения температур в начале марта и в начале ноября.

Изменения температурного фона приводит к смещению основных дат ледового режима. Так становление устойчивого льда наблюдается позже, на 7-11 дней. Очищение моря ото льда фиксируется в начале марта, а не в середине (Лобанов, 2018).

Связь форм циркуляции атмосферы и типов зим по суровости

Для оценки суровости зим существуют различные варианты классификаций. Исследователями были рассмотрены различные параметры и характеристики: площадь ледяного покрова; толщина или объем льда; сумма градусо-дней мороза, как по всей акватории, так и по одному пункту, признанному репрезентативным. На сегодняшний день более доступной и объективной является классификация, основанная на сумме градусо-дней мороза в Астрахани, предложенная Я. А. Тютневым в 1975 году для Северного Каспия с дополнениями в дальнейшем Валлера Ф.И. и Бухарицина П.И. (Бухарицин, 2014).

Таблица 3 -Типизация зим на Северном Каспии по степени их суровости – сумме градусо-дней мороза за холодный период по п. Астрахань (Тютнев Е.Я. (1975), с дополнениями Валлера Ф.И. (1973) и Бухарицина П.И. (1994)

Очень суровая зима (ОС)	Суровая зима (С)	Умеренная зима (У)	Мягкая зима (М)	Очень мягкая зима (ОМ)
Более 900	900-700	700-400	400-100	Менее 100

Используя данную классификацию, была проведена типизация зим по пункту Пешной, так как он, так же как и Астрахань, находится

в северной акватории моря, на той же широте. Данные использованы по сумме отрицательных температур за период с 1936 по 2016 гг. (рисунок 7).

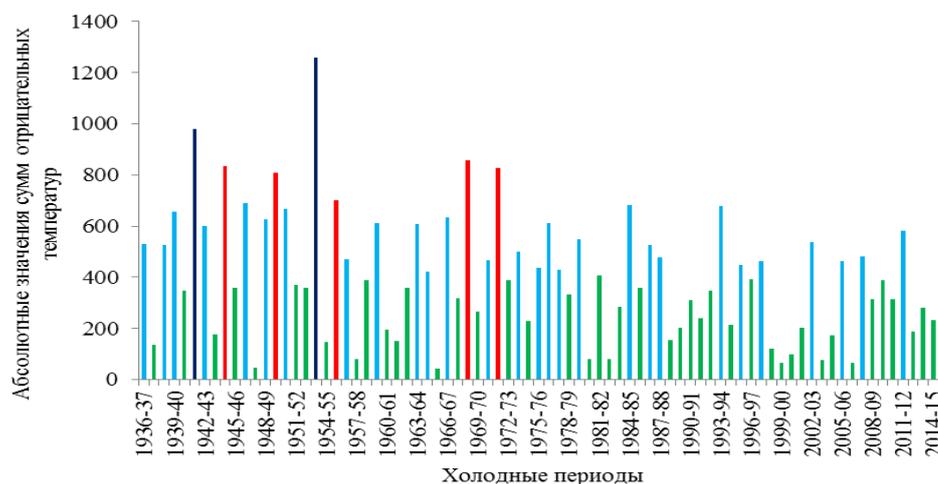
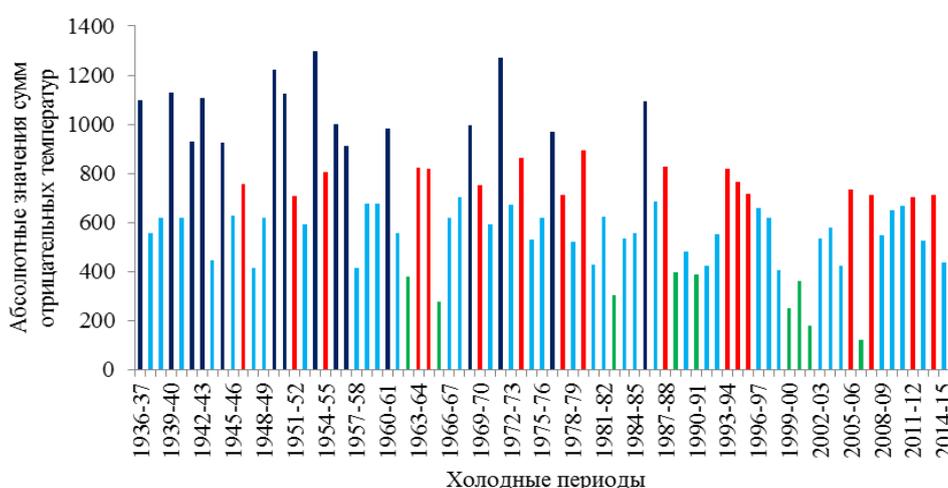


Рисунок 7 - Типы зим по станции Пешной и Астрахань за с 1936 по 2016 гг.

Наблюдается уменьшение повторяемости суровых и очень суровых зим, увеличение повторяемости мягких зим в последние десятилетия.

Северо-восточная часть Каспийского моря отличается более суровыми зимами, чем западная. Толщина льда значительная и среднемесячные температуры воздуха ниже по сравнению с западными станциями (Лобанов 2018).

Учитывая, какая форма циркуляции преобладала в зимний период за каждый год, и зная ее вклад, были проведены работы по сопоставлению с типами зим. Так, по Пешному из 80 зимних периодов 54 случая были ОС/С/У под влиянием формы циркуляции Е и некоторых влиянием W; 8 случаев мягких зим под влиянием W и С. Ярко-выраженное преобладание формы циркуляции Е приводит к умеренным и суровым зимам на северо-восточном побережье, мощному развитию Сибирского антициклона и затоку холодных арктических воздушных масс. При типе С и W наблюдаются затоки теплых потоков океанического происхождения и выходов теплых воздушных масс с Ирана, которые смягчают зимы.

На западном побережье (Астрахань) – 33 случая из 80 ОС/С/У под влиянием Е и W; 24 случая мягких зим с преобладанием С и W. Влияние западного переноса, черноморских циклонов характерно для данного сектора. Отрог Сибирского антициклона да западного побережья не доходит.

Заключение

Из проведенной исследовательской работы получены следующие результаты:

- обновлены среднеголетние значения по типам циркуляции атмосферы;

- выявлены основные тенденции во временном ходе типов ОЦА, определен год ступенчатого перехода от одного стационарного периода к другому. Наблюдается увеличение интенсивности западного переноса;

- сумма отрицательных температур уменьшилась на всех гидрометеорологических станциях и постах Прикаспийского региона, но с разной интенсивностью: наибольшие изменения в восточной части и меньшие в районе Северного Кавказа, причем ступенчатое падение сумм отрицательных температур на большинстве станций, как и уменьшение максимальных толщин льда, относится к 1988 году;

- максимальная толщина льда за рассмотренный период с 1940-1950-х по 2018 гг. уменьшилась во всех пунктах наблюдений и больше всего на северо-востоке (на 20-28 см) и юге (на 13-17 см), причем на юге увеличилась вероятность безледовых условий; а северо-западная часть на данный момент остается наиболее устойчивой к климатическим изменениям;

- повторяемость умеренных и мягких зим возросла. Случаи суровых зим на западном побережье практически не наблюдаются, как и очень суровых – на восточном.

Литература

- Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море экстремальные гидрологические события. – М.: Наука, 2007. – 381 с.
- Бухарицин П.И. Исследования каспийских льдов. – Palmarium Academic Publishing, 2019. – 122 с.
- Бухарицин П.И. Динамика Каспийских льдов: Учебно-методическое пособие по дисциплине «ГИС и мониторинг водных объектов». Ч.1. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2011. – 92 с.
- Бухарицин П.И., Болдырев Б.Ю., Новиков В.И. Комплексная система гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, портов и транспортных комплексов на Каспийском море. – Астрахань, 2014. – 319 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей, том VI. Каспийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 359 с.
- Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 7-31.
- Думанская И.О. Ледовые условия морей Европейской части России. – М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2014. – 608 с.
- Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик неарктических морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами. // Метеорология и Гидрология, 2008. – № 12. – С. 82-95.
- Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- 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.
- Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1: учебное пособие. – СПб., 2011. – 144 с.
- Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2: учебное пособие. – СПб., 2012. – 141 с.

- Лобанов В.А., Наурузбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на северном Каспии // Ученые записки РГГМУ, 2018. – № 53. – С. 172—187. <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue53/>
- Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: изд. РГГМУ, 2008. 408с.
- A. Hoy , J. Matschullat , M. Sepp, (2013) “Atmospheric circulation variability in Europe and northern Asia (1901 to 2010)”, *Theoretical and applied climatology*, Springer Verlag Wien T. 113. no. 1-2. pp. 105-126
- A. V. Kouraev, F. Papa, N.M. Mognard, P.I. Buharizin, A. Cazenave, J-F. Cretaux, J. Dozortseva, F. Remy, (June 2004) “Sea ice cover in the Caspian and Aral Seas from historical and satellite data” *Journal of Marine Systems*. Vol. 47, Issues 1–4. pp. 89–100
- F. Komijani, V. Chegini, S.M. Siadatmousavi, (2019) “Seasonal variability of circulation and air-sea interaction in the Caspian Sea based on a high resolution circulation model” *Great Lakes Research*. Vol. 45, Issue 6. pp. 1113-1129 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0380133019301881>
- M. Molavi-Arabshahi, K. Arpeb, S.A.G.Leroy, (2015) “Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena” *International Journal of Climatology* published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of the Royal Meteorological Society, <https://www.researchgate.net/publication/281769313>
- M. Temimi, H. Ghedira, R. Khanbilvardi, K. Smith , P. Romanov, (2011) “Sea-ice monitoring over the Caspian sea using geostationary satellite data” *International journal of remote sensing*. Taylor & Francis T: 32, no. 6. pp. 1575-1593
- N. Ivkina, Zh. Naurozbayeva, B. Klove, (2017) “Influence of climate change to the ice regime of the Caspian sea”. 15 p., <http://www.water-ca.org/article/2589>
- N.I. Savelieva, I.P.Semiletov, G.E. Weller, L.N. Vasilevskaya, V.I. Yusupov, (2004) “Climate change in the northern Asia in the second half of the 20th century. *Pacific oceanography*” T. 2. no. 1-2. pp. 74-84
- N.S. Sidorenkov , I.A. Orlov, (2008) “Atmospheric circulation epochs and climate changes”, *Russian meteorology and hydrology*. allerton press, inc. (New York) T. 33. no. 9. pp.553-559
- O.A. Anisimov, I.I.Borzenkova, E.L. Zhil'tsova, O.K. Zakharova, V.A. Kokorev, S.A. Reneva, Y.G. Strel'chenko, (2011) “Hydrometeorological conditions of the Volga region and current climate changes” *Russian meteorology and hydrology* T 36. no. 5. pp. 307-314
- Peter Hupfer, (2001) “Climate and climate system. Climate of the 21st Century: changes and risk. Scientific facts” Editors: J.L. Lozan, H. Grabl, P. Hupfer, pp.15-21
- Robert Bridges, Kaj Riska, Mark Hopkins, Ying Wei, (September 2019) “Ice interaction processes during ice encroachment”, *Marine Structures*, Vol. 67 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951833918304131?via%3Dihub>
- Simon J.Goodman, (2018) “Caspian seal: Pusa caspica” *Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)* P. 164-166 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128043271000856>
- V.V. Asmus, E.V. Vasilenko, V.V. Zatyagalova, N.P. Ivanova, V.A. Krovotyntsev, A.A. Maksimov, I.S. Trenina, (2018) “Satellite monitoring of sea ice cover and water parameters for the Caspian sea” *Russian meteorology and hydrology*. T: 43, no. 10. pp. 686-696
- W. Haeberli, M. Hoelzle, M. Maisch. (2001) “Glaciers as Key Indicator of Global Climate Change. Climate of the 21st Century: changes and risk. Scientific facts” Editors: J.L. Lozan, H. Grabl, P. Hupfer. pp. 212-220

References

- Bolgov M.V., Krasnozhon G.F., Lubushin A.A. (2007) *Kaspiiskoe more ekstremal'nye gidrologicheskie sobytiya*. [Caspian Sea extreme hydrological events]. M.: Science, 381 p.
- Bukharitsin P.I. (2019) *Issledovaniya kaspiiskih l'dov*. [Research of ice of the Caspian Sea]. Palmarium Academic Publishing. 122 P.
- Bukharitsin P.I. (2011) *Dinamika kaspiiskih l'dov*. [Dynamics of ice in the Caspian Sea]. Teaching aid for the discipline “GIS and monitoring of water bodies.” Part 1. Astrakhan, Astrakhan State Technical University. 292 p.
- Bukharitsin P.I., Boldyrev B.Y., Novikov V.I. (2014) *Kompleksnaya sistema gidrometeorologicheskogo obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya, portov i transportnyh kompleksov na Kaspiiskom more*. [Integrated system of hydrometeorological safety of navigation, ports and transport complexes on the Caspian Sea]. Astrakhan, 319 p.
- Gidrologiya i gidrokhimiya morei. (1992) [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas], volume VI. Caspian Sea, vol. 1. Hydrometeorological conditions. SPb.: Hydrometeoizdat, 359 p.
- Girs A.A. (1971) *Mnogoletnie kolebaniya atmosfernoï circulyacii i dolgosrochnye gidrometeorologicheskie prognozy*. [Long-term atmospheric circulation fluctuations and long-term hydrometeorological forecasts]. L.: Hydrometizdat, pp. 7–31.
- Dumanskaya I.O. (2014) *Ledovye usloviya morei Evropeyskoi chasti Rossii*. [European part of Russia seas ice conditions]. M.: FSFO «Hydrometcenter of Russia», 608 p.
- Dumanskaya I.O., Fedorenko A.V. (2008) *Analiz svyazi ledovyh harakteristik nearkticheskikh morey evropeyskoy chasti Rossii s makrocirkulyacionnymi processami*. [Analysis of the relationship of the ice characteristics of the non-Arctic seas of the European part of Russia with macrocirculation atmospheric processes]. // *Meteorology and Hydrology*. - M.: No. 12. - pp. 82-95.
- Zaks L. (1976) *Statisticheskoe ocenivanie*. [Statistical Evaluation]. M.: Statistica, 1976. 598 p.
- Ivkina N.I., Naurozbayeva Zh.K. (2015) *Izmeneniya harakteristik ledovogo rezhima kazahstanskoi chasti Kaspiiskogo moray, v svyazi s izmeneniem klimata*. [Due to climate change Ice regime characteristics change in the Kazakhstan part of the Caspian Sea] // *Hydrometeorology and Ecology*, № 2. pp. 28–35.

- Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E., (2011) *Praktikum po klimatologii. Chast' 1. (uchebnoye posobiye)* [Workshop on climatology. Part 1. (Textbook)]. Ed. RSHU, St. Petersburg. – 144p.
- Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E., (2012) *Praktikum po klimatologii. Chast' 2. (uchebnoye posobiye)* [Workshop on climatology. Part 2. (Textbook)]. Ed. RSHU, St. Petersburg. – 141p.
- Lobanov V.A., Naurozbayeva Zh.K. (2018) Klimaticheskie izmeneniya tolshiny l'da na sevenom Kaspie. [Climatic changes in the thickness of ice in the northern Caspian // Scientific notes of the RSHU. № 53. pp. 172—187. <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue53/>
- Malinin V.N., (2008) *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoi informacii.* [Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information. SPb.: ed. RSHU, 408 p.
- A. Hoy , J. Matschullat , M. Sepp, (2013) “Atmospheric circulation variability in Europe and northern Asia (1901 to 2010)”, *Theoretical and applied climatology*, Springer Verlag Wien T. 113. no. 1-2. pp. 105-126
- A. V. Kouraev, F. Papa, N.M. Mognard, P.I. Buharizin, A. Cazenave, J-F. Cretaux, J. Dozortseva, F. Remy, (June 2004) “Sea ice cover in the Caspian and Aral Seas from historical and satellite data” *Journal of Marine Systems*. Vol. 47, Issues 1–4. pp. 89–100
- F. Komijani, V. Chegini, S.M. Siadatmousavi, (2019) “Seasonal variability of circulation and air-sea interaction in the Caspian Sea based on a high resolution circulation model” *Great Lakes Research*. Vol. 45, Issue 6. pp. 1113-1129 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0380133019301881>
- M. Molavi-Arabshahi, K. Arpeb, S.A.G.Leroy, (2015) “Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena” *International Journal of Climatology* published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of the Royal Meteorological Society, <https://www.researchgate.net/publication/281769313>
- M. Temimi, H. Ghedira, R. Khanbilvardi, K. Smith , P. Romanov, (2011) “Sea-ice monitoring over the Caspian sea using geostationary satellite data” *International journal of remote sensing*. Taylor & Francis T: 32, no. 6. pp. 1575-1593
- N. Ivkina, Zh. Naurozbayeva, B. Klove, (2017) “Influence of climate change to the ice regime of the Caspian sea”. 15 p., <http://www.water-ca.org/article/2589>
- N.I. Savelieva, I.P.Semiletov, G.E. Weller, L.N. Vasilevskaya, V.I. Yusupov, (2004) “Climate change in the northern Asia in the second half of the 20th century. *Pacific oceanography*” T. 2. no. 1-2. pp. 74-84
- N.S. Sidorenkov , I.A. Orlov, (2008) “Atmospheric circulation epochs and climate changes”, *Russian meteorology and hydrology*. allerton press, inc. (New York) T. 33. no. 9. pp.553-559
- O.A. Anisimov, I.I.Borzenkova, E.L. Zhil'tsova, O.K. Zakharova, V.A. Kokorev, S.A. Reneva, Y.G. Strel'chenko, (2011) “Hydrometeorological conditions of the Volga region and current climate changes” *Russian meteorology and hydrology* T 36. no. 5. pp. 307-314
- Peter Hupfer, (2001) “Climate and climate system. Climate of the 21st Century: changes and risk. Scientific facts” Editors: J.L. Lozan, H. Grabl, P. Hupfer, pp.15-21
- Robert Bridges, Kaj Riska, Mark Hopkins, Ying Wei, (September 2019) “Ice interaction processes during ice encroachment”, *Marine Structures*, Vol. 67 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951833918304131?via%3Dihub>
- Simon J.Goodman, (2018) “Caspian seal: *Pusa caspica*” *Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)* P. 164-166 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128043271000856>
- V.V. Asmus, E.V. Vasilenko, V.V. Zatyagalova, N.P. Ivanova, V.A. Krovotyntsev, A.A. Maksimov, I.S. Trenina, (2018) “Satellite monitoring of sea ice cover and water parameters for the Caspian sea” *Russian meteorology and hydrology*. T: 43, no. 10. pp. 686-696
- W. Haeberli, M. Hoelzle, M. Maisch. (2001) “Glaciers as Key Indicator of Global Climate Change. Climate of the 21st Century: changes and risk. Scientific facts” Editors: J.L. Lozan, H. Grabl, P. Hupfer. pp. 212-220