

УДК 551.583

Ж.К. Наурызбаева¹Докт. техн. наук, проф. В.А. Лобанов²**ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА СЕВЕРНОГО И СРЕДНЕГО КАСПИЯ В ХОЛОДНОЕ ПОЛУГОДИЕ**

Ключевые слова: Каспийское море, ветровой режим, скорость и направление ветра, максимальная скорость ветра

В работе проведены исследования ветрового режима Северного и Среднего Каспия за холодный период времени года. Данные по скорости и направлению ветра собраны с 1945 по 2019 гг. по станции Пешиной, с 1983 и 1993 гг. по 2019 г. по станциям о. Кулалы, Форт-Шевченко и Актау. Методика моделирования и исследования временных рядов основывалась на оценке изменения среднего значения во времени и для этой цели временные ряды аппроксимировались моделями двух типов: стационарной выборки и моделью нестационарного среднего. По результатам исследования выявлено, что повторяемость ветров западных румбов увеличивается. Максимальные скорости ветра стали меньше.

Введение. Ветровой режим, как правило, формируется под влиянием атмосферной циркуляции, местных барико-циркуляционных и термических условий моря. И, соответственно, изменения в поле ветра могут говорить об изменениях в циркуляционных процессах. Каспийское море имеет большую меридиональную протяженность, которая проявляется в многообразии физико-географических условий побережья. Данные условия благоприятствуют разнообразию ветров в Прикаспийском регионе. В зимний период над акваторией моря наблюдаются в основном ветра определенных направлений, в зависимости от региона. Так, северо-западная акватория более подвержена юго-восточным и восточным ветрам; северо-восточная акватория не имеет ярко выраженных преобладаний того или иного направления, но в отдельные годы могут преобладать юго-восточные и восточные ветра; для

¹ РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан

² Российский Государственный Гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

акватории Среднего Каспия характерна сильная зависимость от орорафии прибрежной зоны, отмечается наибольшая повторяемость юго-восточных и северо-западных ветров.

Зимой циркуляция над Северным Каспием, восточным побережьем и центральной частью Среднего Каспия в основном обусловлена влиянием западной и юго-западной периферий азиатского максимума, а также термическими различиями между морем и сушей. Воды Каспия зимой охлаждаются меньше, чем прилегающая к нему пустыня, в связи с чем, увеличивается тенденция переноса более холодных масс воздуха из пустыни в сторону моря [1, 4, 14]. Поэтому, в большинстве районов в зимние месяцы отмечаются наибольшие значения повторяемости ветров восточных румбов. В то же время, активный циклогенез над Атлантикой и выход циклонов на Каспий способствуют увеличению в это время года ветров северной четверти, преимущественно северо-западного направления, особенно в Среднем Каспии, а также на открытой акватории северо-западного района.

Ветровой режим имеет огромное значение для судоходства, нефтедобывающей отрасли, сооружения прибрежных конструкций, а также платформ в открытом море, которые наиболее уязвимы под воздействием сильных ветров и порывов.

Информация и метод исследования. Методика исследования основана на статистическом моделировании и анализе временных рядов следующих метеорологических данных:

- многолетних рядах наблюдений за направлением ветра;
- многолетних рядах наблюдений за средней и максимальной скоростью ветра.

Целью работы является оценка изменения ветрового режима Северного и Среднего Каспия в холодное время года.

Для решения поставленной задачи были собраны срочные данные направления и скорости ветра со станций Пешной, о. Кулалы, Форт-Шевченко и Актау. Период исследования охватил временной промежуток с 1945 по 2019 гг. для станции Пешной, с 1983 и 1993 гг. по 2019 г. для остальных станций. Срочные данные предоставляются дискретностью в шесть часов по СГВ, то есть 4 раза в сутки.

Методика моделирования и исследования временных рядов основывалась на оценке изменения среднего значения во времени 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 модели 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 (СКО) – 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 % [5, 6, 11...13]:

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

Причем σ_0 всегда будет $\geq \sigma_{\text{нест}}$, 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 , например 5 %), то эффективность нестационарной модели будет и 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 по своим формулам. Так, для модели линейного тренда: $\sigma_{\text{нест}}^2 = \sigma_0^2(1-R^2)$, где R – коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Анализ ветрового режима. Ветровой режим Каспийского моря вызывал интерес многих исследователей и ученых прошлых веков и современности. В трудах [2, 3, 7...10, 15] приведены некоторые основные результаты исследования. В данной работе проведен статистический анализ, проверена однородность и качество данных. В табл. 1

представлены повторяемости ветров 8 основных направлений и штилей в процентном соотношении.

Таблица 1

Повторяемость в % направлений ветра

Месяц	Направление								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	шт
Пешной									
Ноябрь	7	12	21	15	6	10	10	9	10
Декабрь	8	12	23	14	5	9	9	9	10
Январь	8	12	20	14	6	12	9	9	10
Февраль	7	12	18	17	6	9	9	10	12
Март	7	10	22	18	5	9	9	9	11
о. Кулалы									
Ноябрь	7	18	22	17	3	7	7	11	8
Декабрь	6	17	27	15	3	6	8	12	7
Январь	6	23	16	13	5	10	10	12	6
Февраль	11	17	21	15	3	5	8	12	8
Март	6	15	21	18	3	5	9	12	10
Форт-Шевченко									
Ноябрь	15	24	12	19	2	4	6	13	6
Декабрь	14	21	12	22	3	4	7	11	6
Январь	15	18	9	21	4	5	9	14	6
Февраль	14	22	12	22	3	2	5	15	5
Март	12	23	11	23	3	3	7	13	5
Актау									
Ноябрь	11	16	27	22	2	2	6	11	2
Декабрь	10	17	25	21	3	3	9	11	2
Январь	9	14	18	21	5	5	12	14	2
Февраль	12	17	27	22	2	3	5	9	2
Март	11	18	26	24	1	2	6	10	2

Важно было рассмотреть не только распределение ветрового направления по месяцам, но и динамику изменений каждого направления за весь период. Так по станции Пешной за период с 1945 по 2019 гг. увеличилась повторяемость юго-западного направления ветра во все месяцы, за исключением ноября. В марте увеличилась не только повторяемость юго-западного ветра, но и повторяемость западного и северо-западного, а в декабре – западного ветра. Немаловажным фактом является увеличение повторяемости безветренных случаев, то есть штилей, во все исследуемые месяцы. В последние десятилетия их повторяемость увеличилась до 20...25 случаев в месяц, то есть 20...25 раз

из 120 / 124 (в зависимости от числа дней в месяце 30 / 31), при средней повторяемости 12...15 раз. В период 1945...1970 гг. повторяемость штилей редко превышала 10 случаев в месяц. В процентном соотношении повторяемость юго-западного ветра возросла от 10 % до 15...20 % во все месяцы, в то время как повторяемость северо-западного ветра увеличилась на 2...3 % только в ноябре.

На станции остров Кулалы отмечена тенденция увеличения повторяемости ветров северного направления, рост составил от 2...4 % до 10...13 %. Ветра юго-восточного направления в декабре и январе увеличились на 10 %, а в остальные месяцы холодного полугодия – менее чем на 5 %. Повторяемость западных ветров возросла в марте и декабре на 10 %.

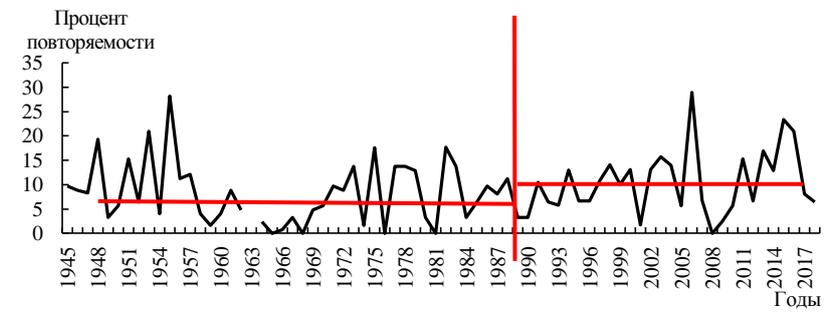
На станции Форт-Шевченко было зафиксировано заметное уменьшение ветров южного сектора, и увеличение повторяемости ветров западного и северо-западного направлений.

На метеостанции Актау в марте увеличилась повторяемость ветров южного и западного секторов, от 2 до 5 %. Повторяемость ветров других секторов практически не имеют ярко выраженных периодов спада или роста.

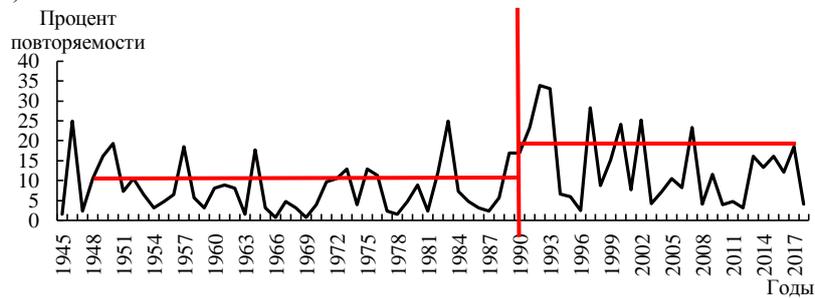
По результатам оценки климатических изменений, согласно эффективности двух моделей нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения среднего значения при переходе от одного стационарного периода к другому) по отношению к модели стационарной выборки, наблюдается ступенчатый переход в конце 80-х годов прошлого столетия для ветров западного и южного секторов. Для остальных направлений ярко выраженного перехода не наблюдается.

Для наглядного примера на рисунке приведены графики временного хода повторяемости ветра юго-западного направления по данным станции Пешной.

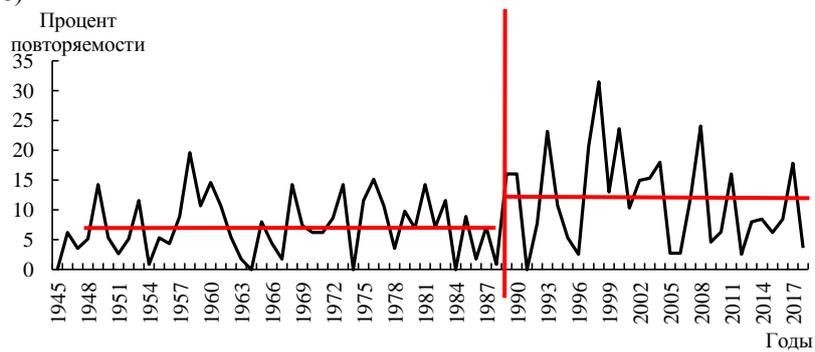
По итогам исследования можно заключить, что наблюдается увеличение повторяемости ветров западного и южного секторов, в особенности в марте и ноябре. Данное заключение говорит о том, что наблюдается довольно интенсивный и частый вынос теплых воздушных масс с южной территории Каспийского моря, с территории Ирана и приток тепла с запада, с территории Черного моря. Выходы южно-каспийских и черноморских циклонов способствуют притоку теплых воздушных масс, выпадению осадков. Подобные выносы тепла благоприятствуют быстрому очищению моря ото льда в марте и сдвиге дат появления первых ледовых явлений в ноябре.



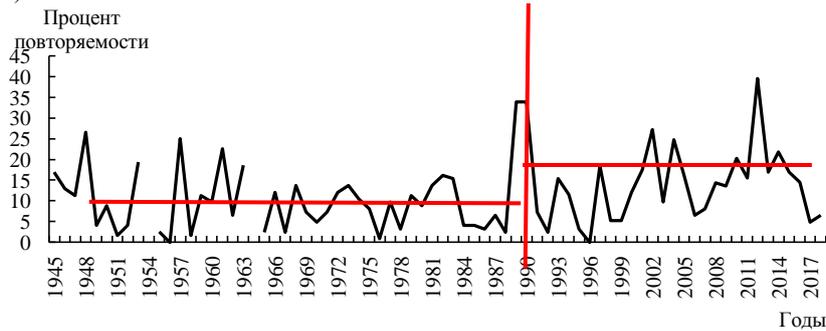
а)



б)



в)



г)

Рис. Повторяемость в процентах ЮЗ ветра с 1945 по 2019 гг. на станции Пешной: а) за декабрь, б) за январь, в) за февраль, г) за март.

В то время как влияние сибирского антициклона ослабевает, затоки холодных арктических воздушных масс меньше. Ветра северного и восточного секторов по своей повторяемости снизились.

Скорость ветра. Скорости ветра также изменились. Среднемесячная скорость ветра на станции Пешной до 80-х годов была в пределах 5...7 м/с, в последние десятилетия она снизилась до отметки 4 м/с. На остальных станциях изменения не столь существенны, скорости ветра уменьшились на 2...3 м/с. Подобные уменьшения скорее всего связаны со сменой основных направлений ветра. Стоит уточнить, что ветра южного и западного секторов имеют меньшие скорости.

Повторяемость максимальных скоростей свыше 20 м/с на станции Пешной значительно сократилась, во все месяцы подобные скорости фиксировались в 40...50-е годы. В настоящее время скорость ветра редко достигает отметки 15 м/с, и наблюдается в основном в марте и декабре.

На станции Актау скорости ветра уменьшились на 3...5 м/с. На остальных станциях существенных уменьшений не наблюдается.

По исследованиям С.Д. Кошинского [9, 10], режим средних скоростей ветра в различных районах Каспийского моря, существенным образом зависит от времени года, характера циркуляционных процессов и рельефа окружающей местности. Скорость ветра у поверхности земли зависит и от времени суток. Эти изменения скорости в течение суток находятся в прямой зависимости от изменений коэффициента турбулентного обмена – в послеполуденные часы наблюдается максимум скорости ветра, а к ночи она уменьшается. Имеется одна общая особенность в годовом ходе суточной амплитуды скорости ветра: для всех районов наибольшего значения амплитуда достигает в середине лета, а наименьшего – в середине зимы.

Влияние циркуляции атмосферы, орографии берегов и рельефа местности вокруг наблюдательных станций сказывается на характере распределения максимальных скоростей ветра.

Что касается максимальных скоростей ветра, то они значительно ослабли. В последние годы скорость более 20 м/с, а тем более 25 м/с не наблюдаются.

Несмотря на малую повторяемость скоростей ветра более 15 м/с, они представляют большой интерес. Так как усиление ветра может привести к продолжительности рейсов судов, прекращению погрузочно-

разгрузочных работ. Ветер такой силы обычно вызывает сильное волнение, которое может привести к возникновению аварийных ситуаций при проведении работ на море. Шторм – опасное явление погоды, складывающееся из одновременного воздействия различных гидрометеорологических факторов: сильного ветра, развитого волнения, сгонов-нагонов, обильного выпадения осадков, а в зимнее время – подвижек ледяного покрова, метелей, обледенения.

В 71 % случаев возникновение штормов на Каспии связано с влиянием антициклонов. При этом в 47 % случаев наблюдаются ветры северной четверти. Штормы циклонического происхождения с ветрами западного направления составляют 34 %. На штормовую деятельность в этом районе оказывает в значительной мере и мысовый эффект п-ова Мангышлак.

Заключение. В заключении работы получены следующие результаты и выводы:

1. Сформирована база данных скоростей и направления ветра на станциях в районе Каспийского моря, осуществлен анализ их качества и однородности.

2. Повторяемость ветров западных румбов (З, СЗ, ЮЗ) увеличивается. Максимальные скорости ветра стали меньше (скорости более 20 м/с практически не наблюдаются). Среднемесячная скорость ветра на станции Пешной до 80-х годов была в пределах 5...7 м/с, в последние десятилетия она снизилась до отметки 4 м/с. На остальных станциях изменения не столь существенны, скорости уменьшились на 2...3 м/с.

3. Повторяемость максимальных скоростей ветра на станции Пешной свыше 20 м/с значительно сократилась, во все месяцы подобные скорости фиксировались в 40...50-е годы. В настоящее время скорость ветра редко достигает отметки 15 м/с, и наблюдается в основном в марте и декабре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море: Экстремальные гидрологические события. – М.: Наука, 2007. – 381 с.
- 2 Бухарицин П.И. Исследования Каспийских льдов. – Palmarium Academic Publishing, 2019. – 122 с.

- 3 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.
- 4 Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том VI. Каспийское море. Вып.1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиева, А.Н. Косарева, А.А. Керимова – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 359 с.
- 5 Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
- 6 Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- 7 Зонн И.С., Костяной А.Г., Косарев А.Н., Жильцов С.С. Моря России. Энциклопедия. Каспийское море. – М.: Международные отношения, 2015. – 544 с.
- 8 Ивкина Н.И. Ветровые условия в северной и средней частях Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. – 2011.– № 4.– С. 27-38.
- 9 Кошинский С.Д. Региональные характеристики сильных ветров на морях Советского Союза. Т.1. Каспийское море. – Л.: ГМИ, 1975. – 412 с.
- 10 Кошинский С.Д. Типы распределения ветров над Каспийским морем, их повторяемость, устойчивость и преемственность. // Тр. НИИАК. – 1964. – Вып. 26. – С. 85-127.
- 11 Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). – Санкт-Петербург, 2011. – 144 с.
- 12 Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. (учебное пособие). – Санкт-Петербург, 2012. – 141 с.
- 13 Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.
- 14 Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В. Современное состояние Каспийского моря. – М.: Наука, 2005. – 356 с.
- 15 Шиварева С.П. Особенности гидрометеорологического режима Каспийского моря вдоль казахстанского побережья // Гидрометеорология и экология. – 1995. – № 1. – С. 39-57.

Поступила 02.11.2020

ЖЫЛДЫҢ СУЫҚ МЕРЗІМІНДЕ СОЛТҮСТІК ЖӘНЕ ОРТА КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ЖЕЛ РЕЖИМІНДЕ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Түйін сөздер: Каспий теңізі, жел режимі, желдің жылдамдығы мен бағыты, желдің максималды жылдамдығы

Жылдың суық кезеңіне арналған Солтүстік және Орта Каспий теңізінің жел режимін зерттеу жүргізілді. Пешной станция бойынша 1945 жылдан 2019 жылға дейін желдің жылдамдығы мен бағыты туралы мәліметтер жиналған, Құлалы арал, Форт-Шевченко және Ақтау бойынша 1983 және 1993 жылдан 2019 жылға дейін мәліметтер жиналған. Уақыт қатарларын модельдеу және зерттеу әдістемесі орташа мәннің уақыт өзгеруін бағалауға негізделген және осы мақсат үшін уақыт қатарлары екі типтегі модельдермен жуықталды: стационарлық үлгі және стационарлық емес орташа модель. Зерттеу нәтижелері бойынша батыс желдің бағыты жиілігі артады. Желдің максималды жылдамдығы төмендеді.

Zh.K. Naurozbayeva, V.A. Lobanov

CHANGE OF WIND REGIME IN THE NORTHERN AND MIDDLE CASPIAN SEA FOR THE COLD SEASONS

Key words: Caspian Sea, wind regime, wind speed and direction, maximum wind speed

In this paper was researched wind regime of the North and Middle Caspian Sea for the cold season. Wind speed and direction data collected from 1945 to 2019 by the Peshnoy station, since 1983 and 1993 to 2019 by Kulaly island, Fort-Shevchenko and Aktau stations. The methodology for modeling and researching time series was based on assessing the change in time of the mean value, and for this purpose the time series were approximated by models of two types: a stationary sample and a non-stationary mean model. According to the results of the research, the frequency of the winds of the western points is increasing. The maximum wind speeds have become lower.