



Климатические характеристики туманов восточного побережья Каспийского моря и их изменения с 1970 по 2020 г.

Лобанов В. А.^a, Наурозбаева Ж. К.^b

^a Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр., 98, Санкт-Петербург, 195196, Россия

^b Управление гидрометеорологических исследований Каспийского моря, РГП «Казгидромет», пр. Абая, 32, г. Алматы, 050022, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

На Каспийском море в течение всего года наблюдаются туманы различной интенсивности. В данной работе были привлечены сведения числа дней с туманами и их продолжительности в часах за каждый месяц с 1970 г. и с 1986 г. по 2020 г. в 4-х пунктах наблюдений: о. Кулалы, Форт-Шевченко, Тушибек и Актау. Проведен статистический анализ, оценка климатических изменений осуществлялась в виде аппроксимации многолетних рядов показателей туманов двумя моделями нестационарного среднего с оценкой их эффективности и статистической значимости. Оценка климатических изменений показала, что наибольшие уменьшения наблюдаются на станции Тушибек, на станции Форт-Шевченко уменьшение туманов - летом и осенью. На метеостанции о. Кулалы изменения имеют место осенью, а на метеостанции Актау они практически отсутствуют.

Подана в редакцию:
11 мая 2022

Принята к публикации:
19 ноября 2022

Доступ онлайн:
16 января 2023

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Каспийское море, Средний Каспий, туман, повторяемость туманов, продолжительность туманов, климатические изменения.

1. Введение

Туман представляет собой опасное явление, приводящее к уменьшению горизонтальной дальности видимости до 1000 м и менее капельками воды, ледяными ядрами.

Подобное ограничение видимости во время туманов является серьезной опасностью для судоходства, промысла, прибрежного обслуживания.

Во время тумана прекращается швартовка судов к базам, транспортным рефрижераторам и танкерам, что приводит к простоям судов и грузоподъемного оборудования, прекращению работ в портах и нефтеперевалочных пунктах (Бухарицин и др., 2014; Гусак, Кошеленко, 1976; Кошеленко, 1977). Движение при ограниченной видимости запрещается.

Кроме того, при туманах может значительно ухудшиться экологическое состояние воздуха, вследствие превышения концентрации загрязняющих веществ и примесей предельно допустимых норм в десятки раз. При этом загрязняющие вещества, как химические соединения, в тумане могут образовывать кислотные или щелочные соединения. При высокой концентрации химических соединений может наблюдаться негативное воздействие на окружающую среду и на здоровье человека.

Исследованиям формирования, прогнозирования и анализа туманов в прибрежной акватории различных водоемов посвящено немало работ отечественных и зарубежных ученых. Известны работы Гонтовой, Очеретного (2021) по туманам Северного Каспия, где авторы сделали выводы о том, что с 2011 г. в Астраханской области наблюдается увеличение числа дней с туманами, в 40-98 % случаев отмечаются слабые туманы при видимости 500-1000 м (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992). В работах Смирнова, Шевченко (2003) рассмотрены туманы северных морей России, зависимости концентрации капелек разного диаметра воды от температуры воздуха, выявлены максимальные концентрации при различных скоростях ветра. Используются и спутниковые наблюдения за туманами, так, например, с помощью модели EOS MODIS ученые Китая определяют расположение туманов над Китайским морем (Zengzhou Hao et al., 2003). Рассматриваются и особенности использования двумерной модели пограничного слоя атмосферы для оценки параметров прибрежного тумана для сибирских водохранилищ на основе реанализа и выходных данных региональной климатической модели (Nadezhina et al., 2010). Безусловно, основные условия формирования туманов, их особенности даны во многих источниках, посвященных опасным явлениям, морским исследованиям (Бухарицин и др., 2014; Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992; Матвеев, 2005). Исследования туманов проводились и на суше, и на акватории моря

различных областей (Абанников, 2018; Совкова, Захарчук, 2013; Dorman et al., 2020; Gultepe et al., 2015; Koraćin, 2014).

В холодный период времени года в Прикаспийском регионе повторяемость туманов довольно высока, особенно продолжительных туманов. Туманы бывают радиационные и адвективные, образуются при разных синоптических ситуациях.

Радиационные туманы продолжительностью до 6 часов, как правило, образуются в ночные и утренние часы. Появляются в разрушающемся отроге Сибирского антициклона. В теплое время года радиационные туманы практически не формируются. Адвективные туманы более продолжительны, формируются в теплых секторах циклонов. Появляются также преимущественно в холодное полугодие (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992; Гонтовая, Очеретный, 2021; Матвеев, 2005). Исследования туманов на Каспийском море интересны и востребованы, в современный период не так много работ в данном направлении, ввиду ограниченности исходного материала и его доступа.

Целью данной работы является оценка климатических характеристик туманов восточного побережья Каспийского моря и их изменений в последние десятилетия. Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи:

- сбор данных числа дней с туманами и их продолжительностью за период с 1970 по 2020 г. на пунктах наблюдений восточного побережья Каспия, с последующим статистическим анализом, включая расчетные значения редкой повторяемости: 1 раз в 100 лет и 1 раз в 200 лет;
- оценка климатических изменений туманов в исследуемом регионе;
- статистическое моделирование многолетних временных рядов, оценка эффективности модели.

2. Материалы и методы

Рассматриваются данные многолетних наблюдений за числом дней с туманами и за продолжительностью туманов в часах за каждый месяц с 1970 г. и с 1986 г. по 2020 г. в 4-х пунктах наблюдений восточного побережья части казахстанского сектора Каспия (с севера на юг): о. Кулалы, Форт-Шевченко, Тущибек и Актау. Продолжительность рядов наблюдений варьирует от 29-33 лет на станции о. Кулалы до 50-51 года на станциях Тущибек, Актау и Форт-Шевченко (для продолжительности туманов). Возможность восстановить пропуски и увеличить продолжительность наблюдений с 29-33 лет до 50-51 года по более продолжительным рядам в пунктах-аналогах отсутствовала, так как связанность многолетних рядов была слабая с коэффициентами межрядной корреляции меньше 0.7 (Рекомендации по приведению рядов речного стока ..., 1979).

Выполненная оценка однородности экстремальных значений в эмпирических распределениях числа дней и продолжительности туманов по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса (Закс, 1976; Лобанов и др., 2011) показала практическое отсутствие неоднородных экстремумов. Вместе с тем, оценка стационарности дисперсий и средних значений по статистическим критериям Фишера и Стьюдента (Дрейпер, Смит, 1973; Свод правил ..., 2004) для двух половин временных рядов выявила нестационарность дисперсий в 50 % случаев для продолжительности туманов и в 27 % случаев для числа дней с туманами. Наиболее нестационарными по дисперсиям были ряды на метеостанциях Тушибек и Форт-Шевченко. Нестационарность средних значений установлена всего в 12 % случаев для продолжительности и в 6 % случаев для числа дней с туманами и в основном по станции Форт-Шевченко.

По 96 рядам двух показателей туманов (2 характеристики x 12 месяцев x 4 метеостанции) прежде всего были рассчитаны климатические характеристики за многолетний период, такие как: среднее многолетнее значение, среднее квадратическое отклонение и расчетные значения редкой повторяемости: 1 раз в 100 лет и 1 раз в 200 лет, которые соответствовали эмпирической обеспеченности 1 % и 0,5 % (Лобанов и др., 2011; Свод правил ..., 2004). Для определения расчетных значений характеристик туманов редкой повторяемости их эмпирические распределения были аппроксимированы аналитическими распределениями Пирсона 3 типа и его усеченной от нулевого значения модификацией - распределением С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля в соответствии с методикой, приведенной в «Свод правил ...» (2004).

Вторая часть исследования характеристик туманов была направлена на статистическое моделирование их многолетних временных рядов. Для этой цели применены две модели нестационарного среднего: линейный тренд и модель ступенчатых переходов от одного стационарного среднего к другому (Закс, 1976; Дрейпер, Смит, 1973; Лобанов и др., 2011).

Эффективность модели оценивалась по отношению к базовой стационарной модели, в которой среднее не изменяется во времени. Критерием оценки эффективности одной модели по отношению к другой в регрессионном анализе служит значимое отличие дисперсий или стандартов остатков (Дрейпер, Смит, 1973; Пугачев, 1953; Химмельблау, 1973). Для стационарной модели стандартом остатков является среднеквадратическое отклонение (СКО) исходного ряда σ_y . Для любой другой нестационарной модели СКО или стандарт остатков (σ_ε) вычисляется по формулам. Для большинства моделей - это известная формула:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (1)$$

где σ_y - стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_ε - стандартное отклонение остатков относительно модели линейного

тренда; R – коэффициент корреляции уравнения между климатической характеристикой и временем.

Для модели ступенчатых изменений стандартным отклонением остатков является средневзвешенное СКО, определенное по СКО стационарных подвыборок. Для двух стационарных отрезков ряда и одного ступенчатого перехода стандарт остатков вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\text{н\ddot{o}i}} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{ступ}}$ – стандартное отклонение остатков относительно модели ступенчатых изменений; σ_1, σ_2 – стандартные отклонения отрезков временного ряда, на которые разбивается ряд наблюдений по дате ступенчатых изменений; n_1, n_2 – объемы стационарных частей ряда наблюдений в годах.

Год перехода от одних стационарных условий к другим обычно неизвестен, хотя его и можно задать из анализа хронологического графика. Однако, чтобы исключить субъективизм, можно предложить определение этого года итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1-1) + \sigma_2^2(n_2-1) = \min, \quad (3)$$

где n_1, n_2 – объемы каждой из двух частей временного ряда.

При этом следует задать минимальный объем первой части ряда, например, $n_1 = 10$, при котором $n_2 = n - n_1$, и затем последовательно увеличивать n_1 до $m = n - 10$, при котором $n_2 = 10$, т. е. $n_1 = 11, 12, \dots, m$. Иначе эту процедуру можно назвать методом расширяющегося окна.

Очевидно, что стандарт остатков модели стационарного среднего должен быть наибольшим или по крайней мере равен стандарту остатков нестационарных моделей, если они практически ничего не объясняют. Чем больше разность между стандартами остатков стационарной и нестационарной модели, тем нестационарная модель эффективнее стационарной. В качестве меры отличия можно рассмотреть относительные отклонения в %, рассчитываемые по формулам:

$$\Delta_{\text{ф}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\varepsilon}}{\sigma_y} \right) 100\% \quad (4)$$

$$\Delta_{\text{н\ddot{o}i}} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{\text{н\ddot{o}i}}}{\sigma_y} \right) 100\% \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{тр}}$, $\Delta_{\text{ступ}}$ – относительные отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки.

В первом приближении можно принять, что любая нестационарная модель будет эффективнее модели стационарной выборки, если $\Delta \geq 10\%$, т. е. отличие между моделями гарантированно превышает погрешность процесса или погрешность рассматриваемой характеристики.

Для оценки статистически значимого отличия остаточных дисперсий стационарной и нестационарной модели можно применить критерий Фишера:

$$F_{\Phi} = \frac{\sigma^2_Y}{\sigma^2_{\varepsilon}} \quad (6)$$

В числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели. В случае если расчетное значение статистики Фишера оказывается больше критического, то дисперсии двух моделей имеют статистически значимое различие и соответствующая модель (тренда или ступенчатых изменений) статистически эффективнее, чем модель стационарной выборки.

На основе критических значений статистик Фишера можно определить и критическое значение $\Delta_{\text{кр}}\%$, которое получается при подстановке, например, (6) в (4):

$$\Delta_{\Phi} = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{F^*}}\right) * 100\% \quad (7)$$

где: F^* – критическое значение статистики критерия Фишера при уровне значимости α и степенях свободы ν_1 и ν_2 и при одном и том же временном ряде $\nu_1 = \nu_2 = n - 2$.

Принимая, что $\alpha = 5\%$, и для средней продолжительности ряда, равной $n = 61$ год, из таблиц критических значений (Дрейпер, Смит, 1973; Закс, 1976) получим $F^* = 1.53$ и из (7) $\Delta_{\text{кр}} = 19.4\%$. Если же продолжительность ряда равна $n = 31$ год, то $F^* = 1.84$ и $\Delta_{\text{кр}} = 26.5\%$, если $n = 120$, то $F^* = 1.35$ и $\Delta_{\text{кр}} = 13.8\%$, и т. д. Можно также найти, что $\Delta_{\text{кр}} = 10\%$ соответствует $F^* = 1.235$ и n примерно равно 500, т. е. выбранное $\Delta = 10\%$ соответствует предельному критическому при очень большой продолжительности ряда.

3. Результаты и обсуждения

3.1. Климатические закономерности

Прежде всего был рассчитан процент случаев с туманами за многолетний период, так как туманы могут и не проследиваться в отдельные месяцы отдельных

лет. Полученные внутригодовые распределения относительного числа случаев с туманами приведены на рис. 1.

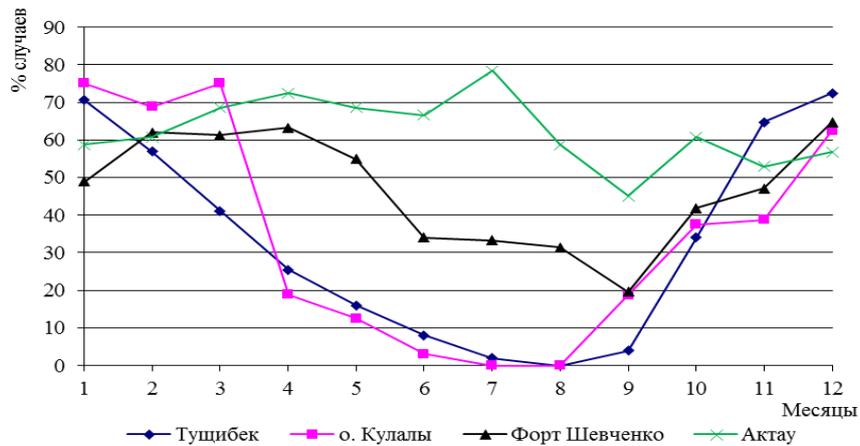
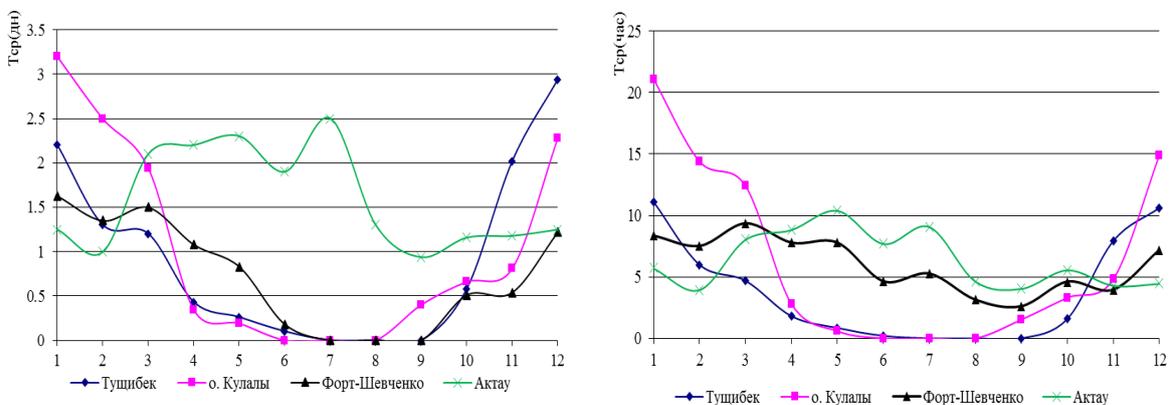


Рис. 1. Относительное число случаев с туманами за многолетний период на метеостанциях, где: 1 - Тушибек, 2 - о. Кулалы, 3 - Форт-Шевченко, 4 - Актау.

Как следует из графиков рис. 1, имеет место внутригодовой ход повторяемости туманов по месяцам, за исключением метеостанции Актау, где процент туманов достаточно высокий (от 45 % до 75 %) во все месяцы года. Обычно на метеостанциях повторяемость туманов больше зимой и меньше летом, когда они даже могут и совсем не наблюдаться в июле и августе, как на метеостанциях Тушибек и Кулалы. Повторяемость туманов зимой в зависимости от метеостанции варьирует от 50 % до 75 %, а летом от 0 % до 20-30 %.

Рассчитанные за многолетний период средние и наблюдаемые максимальные значения продолжительности туманов и числа дней с туманами приведены на рис. 2.



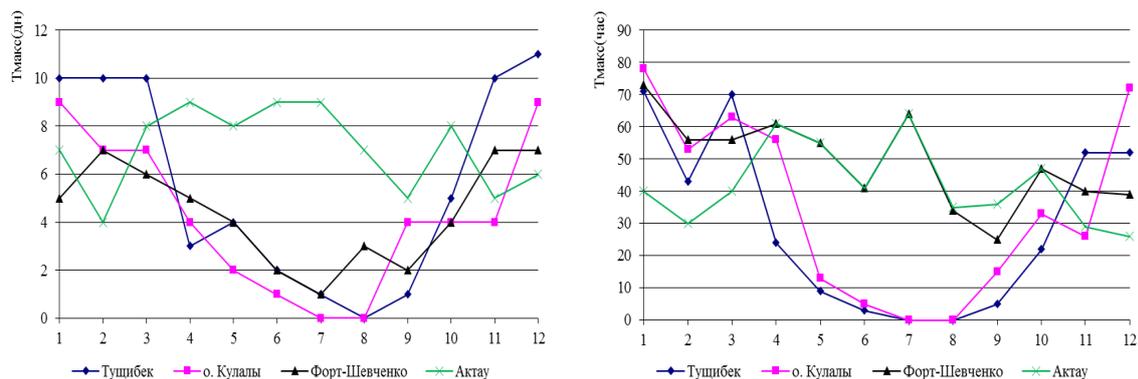


Рис. 2. Внутригодовые климатические распределения среднего и максимального числа дней с туманами (слева) и средней и максимальной продолжительности туманов в часах за каждый месяц (справа) при тех же номерах станций, как на рис. 1.

Из сопоставления графиков следуют основные выводы:

- на трех метеостанциях внутригодовые распределения числа дней с туманами и их продолжительностей практически одинаковы с максимумом зимой и минимумом летом, причем на метеостанциях Туşибек и о. Кулалы летом туманы практически отсутствуют;

- на метеостанции Актау число дней с туманами и их продолжительности варьируют внутри года несущественно и некоторый максимум наблюдается не зимой, а летом, что обусловлено локальными особенностями;

- среднее число дней с туманами зимой 2-3, максимальное - 6-10, летом среднее число меньше 0,5 дня, а максимальное 1-2 дня; на метеостанции Актау летом среднее число дней 2-2,5, а максимальное 8-9;

- средняя продолжительность туманов зимой 15-20 часов в месяц, максимальная - 60-80 часов, летом средняя продолжительность составляет 5-8 часов, максимальная от 40-60 часов для метеостанций Форт-Шевченко и Актау, а на метеостанциях Туşибек и о. Кулалы туманы летом не наблюдаются.

СКО числа дней с туманами также имеют сезонные изменения для трех метеостанций, за исключением Актау, и изменяются от 0 и 1 дня в теплое полугодие до 2-3 дней зимой. Для продолжительностей туманов годовой ход СКО наблюдается только на двух метеостанциях - Туşибек и о. Кулалы, на которых изменения имеют место от 0-2 часов летом до 15-20 часов зимой. На метеостанциях Форт-Шевченко и Актау изменения СКО внутри года небольшие в пределах от 6 до 13 часов.

На основе аппроксимации эмпирических распределений показателей туманов аналитическими функциями были рассчитаны также значения редкой повторяемости: 1 раз в 50 лет и 1 раз в 100 лет, которые приведены в табл. 1, где цифры 1, 2, 3, 4 - номера метеостанций такие же, как на рис.1.

Таблица 1. Расчетные значения показателей туманов повторяемостью 1 раз в 50 лет и 1 раз в 100 лет

	Повторяемость 1 раз в 50 лет				Повторяемость 1 раз в 100 лет			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	Число дней с туманами							
1	10.1	11.5	5.9	7.2	12.3	12.8	6.4	8.9
2	10	7.8	7.4	4.1	12.6	8.5	9.2	4.8
3	9.7	8.2	7.7	8.5	12.2	9.3	9.11	9.6
4	3.4	0	5.7	9.7	4.3	0	6.9	11.3
5	3.5	0	5.1	9	4.5	0	6.3	10.1
6	2	0	0	9.3	3	0	0	10.6
7	0	0	0	9.3	0	0	0	10.5
8	0	0	0	6.7	0	0	0	8.3
9	0	0	0	5.3	0	0	0	6.2
10	4.8	4.4	4.2	7.5	6	5.5	5.2	9.3
11	10	4.7	5.8	5.3	11.5	5.5	7.3	6.5
12	11	11.5	6.8	6.2	12.3	14	8.5	7.3
	Продолжительность туманов (час.)							
1	72.2	85.2	48.7	39.1	13.8	21.1	12.1	9.09
2	43.1	62.6	48.4	25.2	9.1	15.6	11.2	5.82
3	45.5	70.6	55.8	39.4	12.1	15.9	12.7	9.16
4	17.2	40.1	52	53.4	4.21	10.2	12.1	12.2
5	8.8	0	54.7	61.4	2.18	2.32	12.9	14.1
6	0	0	42.7	45.4	0.73	0	10.4	10.4
7	0	0	47.9	51.4	0	0	11.7	11.8
8	0	0	29.5	31.2	0	0	7.21	7.25
9	0	15.9	25.1	31.8	0	3.93	6.16	7.59
10	17.3	28.2	39.2	39.9	6.82	6.78	9.46	9.41
11	51.9	32.4	34.2	29.9	12	7.55	8.19	6.98
12	51.7	89	39.5	27.9	12.8	21	9.02	6.39

Как следует из результатов табл. 1, расчетные значения показателей туманов редкой повторяемости имеют такие же внутригодовые распределения, как и средние многолетние их показатели. Поэтому между средними многолетними значениями и остальными: максимальными наблюденными,

расчетными повторяемостью 1 раз в 50 лет и 1 раз в 100 лет - имеются тесные взаимосвязи, например, для числа дней с туманами:

$$N_{\max} = 3,890 N_{\text{cp}} + 2,008 \quad r = 0,91 \quad (8)$$

$$N_{1\%} = 4,656 N_{\text{cp}} + 2,279 \quad r = 0,82 \quad (9)$$

$$N_{2\%} = 4,076 N_{\text{cp}} + 1,628 \quad r = 0,92 \quad (10)$$

где: N_{cp} , N_{\max} , $N_{1\%}$, $N_{2\%}$ - среднее многолетнее, максимальное, обеспеченностью 1 % и 2 % число дней с туманами за любой месяц года; r - коэффициент корреляции между показателями туманов и номером года.

3.2. Климатические изменения

Оценка климатических изменений осуществлялась в виде аппроксимации многолетних рядов показателей туманов (число дней с туманами и суммарная продолжительность туманов в часах) двумя моделями нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения) с оценкой их эффективности и статистической значимости в соответствии с (4) - (6). На рис. 3 приведены коэффициенты корреляции между показателями туманов и временем (в годах) за все месяцы для 4-х метеостанций.

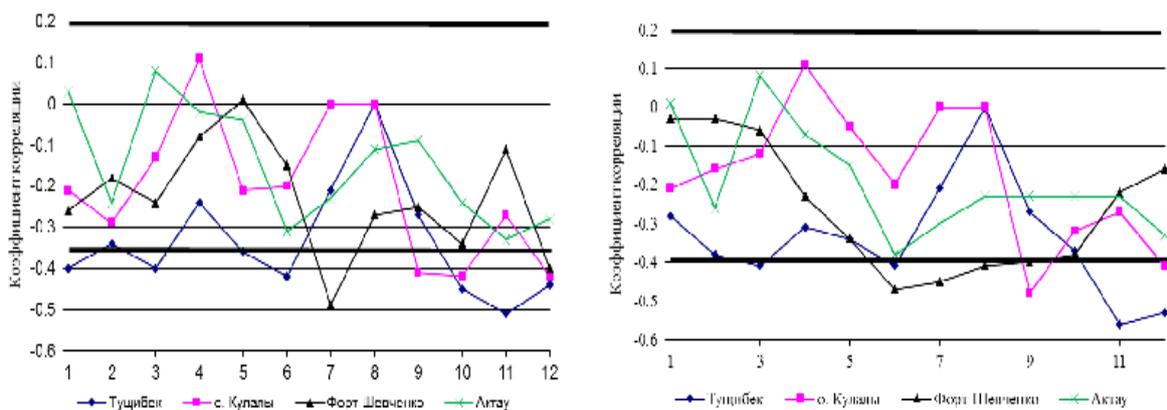


Рис. 3. Коэффициенты корреляции между числом дней с туманами и временем (слева) и продолжительностью туманов и временем (справа) за каждый месяц и по каждой метеостанции при тех же номерах станций, как на рис. 1.

Черными линиями на рисунках показаны 95%-ные доверительные интервалы, характеризующие статистическую значимость коэффициентов корреляции между показателями туманов и временем (R). Как видно из графиков рис. 3, практически все коэффициенты корреляции являются отрицательными и свидетельствуют об уменьшении числа дней и продолжительности туманов в

последнее время. Однако статистически значимыми являются в основном только коэффициенты корреляции в отдельные месяцы года. Так, по метеостанции Актау (4) статистически значимые коэффициенты корреляции отсутствуют. Больше всего статистически значимых R (8 из 12) для числа дней с туманами наблюдается на метеостанции Тущибек (1), так же как и для продолжительностей туманов (6 из 12). На метеостанции о. Кулалы (2) таких значимых R 3 для числа дней и 2 для продолжительности, на метеостанции Форт-Шевченко (3) статистически значимых R 3 для числа дней и 5 для продолжительности туманов в часах.

Всего 4 показателя нестационарности Δ являются статистически значимыми (из 96), а эффективные $\Delta > 10\%$ приведены в табл. 2, где в скобках номера метеостанций такие же, как на рис. 1. Жирным шрифтом в табл. 2 даны статистически значимые Δ в %.

Таблица 2. Показатели нестационарности $\Delta > 10\%$ при аппроксимации рядов числа дней с туманами и их продолжительностей моделями линейного тренда ($\Delta_{тр}$) и ступенчатых изменений ($\Delta_{ступ}$)

месяц	Число дней с туманами		Продолжительность туманов	
	$\Delta_{тр}$, %	$\Delta_{ступ}$, %	$\Delta_{тр}$, %	$\Delta_{ступ}$, %
1	-	-	-	-
2	-	15.1(1)	-	-
3	-	12.5(1)	-	13.2(1)
4	-	10.6(1)	-	14.3(1)
5	-	16.7(1)	-	-
6	-	-	12(3)	16.8(1), 21.9(3), 10.7(4)
7	12.6(3)	17.7(3)	10.9(3)	20.3(3), 10.8(4)
8	-	-	-	-
9	-	-	12.3(2)	10.5(2), 11.7(3)
10	10.4(1)	32.8(1), 17(2), 12.3(3)	-	18.7(1)
11	13.8(1)	18.7(1)	17.4(1)	27.6(1)
12	10.4(1)	12.7(1)	15.2(1)	17(1)

Как следует из данных табл. 2, нестационарные модели наблюдаются в основном во вторую половину года и более эффективны в июне - июле и октябре - декабре для продолжительности туманов и в мае, июле, в октябре - декабре для числа дней с туманами. Наибольшее число нестационарных моделей (17 из

31 случая) имеет место на метеостанции Тушибек, а на метеостанции Актау, где туманы наиболее часты и наблюдаются во все месяцы года, нестационарные модели отсутствуют. Хотя на станции Форт-Шевченко всего 8 случаев эффективных нестационарных моделей (из 31), но в двух случаях из 4-х они статистически значимы.

Временные графики наиболее эффективных моделей нестационарного среднего приведены на рис. 4.

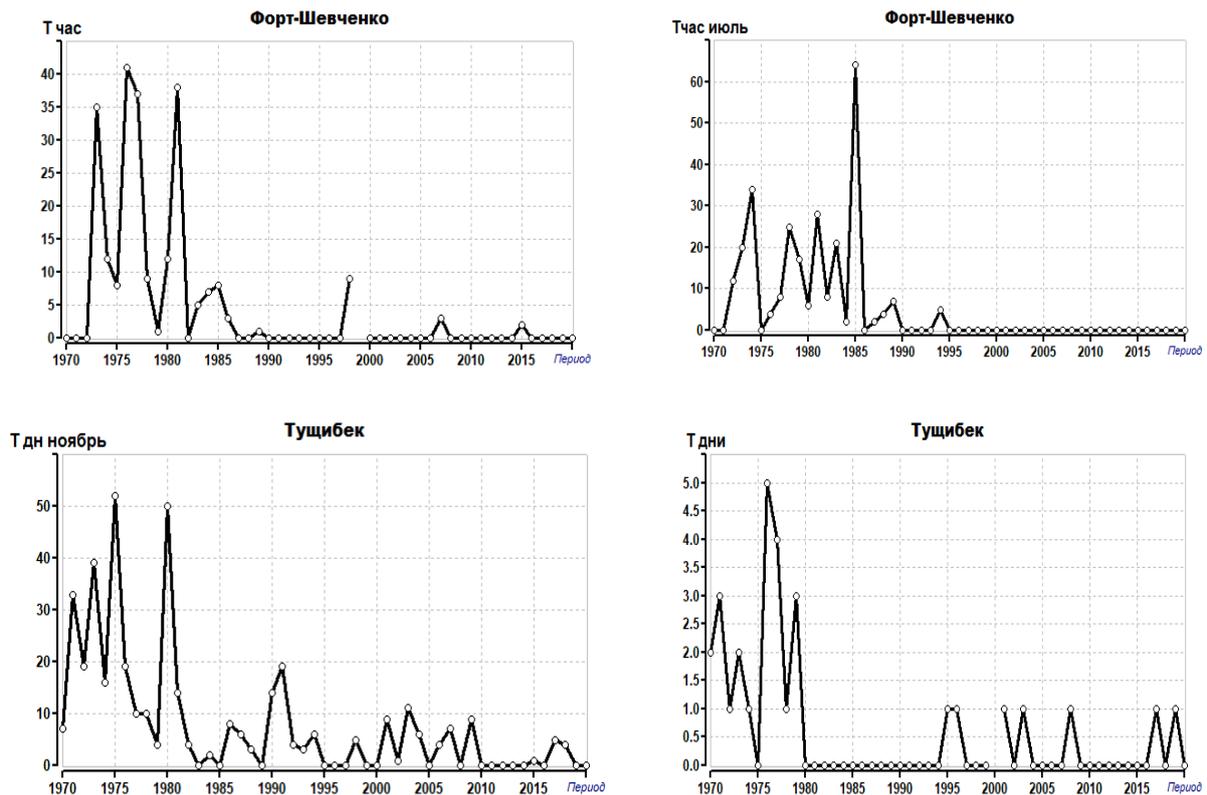


Рис. 4. Временные графики наиболее нестационарных рядов показателей туманов ($T_{\text{дн}}$ - число дней, $T_{\text{час}}$ - продолжительность в часах за месяц).

Графики рис. 4 свидетельствуют о том, что туманы практически совсем исчезают в июне и июле в последнее время на метеостанции Форт-Шевченко, хотя летом их и так было немного. Есть некоторые тенденции уменьшения в сентябре и октябре. На метеостанции Тушибек в октябре и ноябре характеристики туманов уменьшились в несколько раз, так же как и во все остальные месяцы, за исключением апреля и декабря. На метеостанции о. Кулалы уменьшение характеристик туманов отмечается в сентябре и октябре.

Из результатов проведенных исследований следует, что на всех станциях наблюдается внутригодовое распределение числа дней с туманами, с максимумом зимой и минимумом летом. За исключением станции Актау, где максимум

наблюдается летом, что обусловлено локальными особенностями местности. Данный факт согласуется с другими работами (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1992; Утешев, 1959). Кроме того, выявлено, что СКО числа дней с туманами также имеют сезонные изменения для трех метеостанций, за исключением Актау, и изменяются от 0 и 1 дня в теплое полугодие до 2-3 дней зимой. В последние десятилетия наблюдаются уменьшения числа повторяемости туманов восточного побережья, их непрерывной продолжительности. Образованию туманов способствуют колебания температурного режима, влажности. Оказывают влияние ветровые характеристики и локальные особенности подстилающей поверхности. В ранее выполненной работе были рассмотрены изменения климатических параметров данного региона (Лобанов, Наурузбаева, 2021), где говорится об изменениях общей циркуляции атмосферы. Преобладание западного переноса в последние десятилетия приводит к значительным изменениям температурного фона, смене ветрового режима (увеличение ветров западного и северо-западного направления), уменьшению толщины льда на Каспийском море. Подобные изменения, как температура воздуха, испаряемость с поверхности моря, относительная влажность воздуха (следствие изменения циркуляционных процессов), могут оказывать влияние и на повторяемость туманов. Увеличение температуры воздуха способствует и прогреву водной поверхности, тем самым уменьшая контраст температур между воздушной и водной поверхностями, создавая менее благоприятные условия для формирования туманов. Кроме того, продолжительное падение уровня моря существенно влияет на водный баланс водоема, что также сказывается на повторяемости туманов. Эти изменения приводят к увеличению расходов течений, доставляющих во многие районы моря весьма холодные и обладающие пониженной соленостью воды с приустьевых взморьев впадающих в него рек. При дальнейшем потеплении климата средняя интенсивность испарения влаги с поверхности области питания реки Волга будет увеличиваться, как и объемы изъятия ее вод для нужд сельского хозяйства. В итоге объемы ее вод, поступающие в Каспийское море, будут сокращаться, приводя к уменьшению значений его водного баланса. Что, в свою очередь, будет иметь влияние на количество повторяемости туманов и их продолжительности.

Практическая значимость исследования состоит в обосновании целесообразности учета повторяемости туманов в различные периоды года при планировании судоходства и рыболовства. Перспективы дальнейших исследований в заявленном направлении обусловлены необходимостью учета полученных результатов при уточнении планов развития морехозяйственного комплекса Каспия, а также при планировании мероприятий, направленных на профилактику чрезвычайных ситуаций в этом регионе.

4. Заключение

В заключении проведенного исследования по собранным многолетним данным станций восточного побережья Каспийского моря были сделаны следующие выводы.

1. Проведенное статистическое обобщение характеристик туманов по наблюдениям на 4 метеостанциях северо-восточного побережья показывает, что, за исключением метеостанции Актау, на остальных имеет место сезонный ход с минимумом туманов летом.

2. Аналогичные внутригодовые закономерности имеются и в стандартных отклонениях и климатических характеристиках редкой повторяемости (1 раз в 50 и 100 лет). Поэтому были установлены эмпирические взаимосвязи между средними климатическими значениями характеристик туманов и их значениями редкой повторяемости (наблюденными максимальными, 1 раз в 50 и 100 лет) для каждой метеостанции.

3. Оценка климатических изменений характеристик туманов во времени показала, что наибольшие уменьшения характеристик туманов имеют место на метеостанции Тушибек, на метеостанции Форт-Шевченко уменьшение туманов происходит летом и осенью. На метеостанции о. Кулалы изменения наблюдаются осенью, а на метеостанции Актау они практически отсутствуют.

Изменения в повторяемости и продолжительности туманов могут быть связаны с изменениями климатических параметров: температуры воздуха, температуры воды, влажности воздуха и пр. Влияние общей циркуляции атмосферы существенно, увеличение интенсивности западного переноса способствует условиям формирования туманов.

Список литературы

- Абанников, В.Н. (2018). Анализ условий, формирующих режим зимних туманов в г. Якутске. *Евразийский союз ученых*, 4-4, 4-10.
- Бухарицин, П.И., Болдырев, Б.Ю., Новиков, В.И. (2014). Комплексная система гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, портов и транспортных комплексов на Каспийском море. Астрахань, 319 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей (1992). Том VI. Каспийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат.
- Гонтовая, И.В., Очеретный, М.А. (2021). Туманы на территории Астраханской области и акватории Северного Каспия. *Актуальные научные исследования в современном мире*, 3-8(71), 129-135.
- Гусак, Ж.К., Кошеленко, И.В. (1976). *Влияние орографии на туман. Труды украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института*. М.: Гидрометеоиздат, 134, 67-78.
- Дрейпер, Н., Смит, Г. (1973). *Прикладной регрессионный анализ*. М.: Статистика.

- Закс, Л. (1976). Статистическое оценивание. М.: Статистика.
- Кошеленко, И.В. (1977). Изменчивость ветра и ее учет при анализе и прогнозе тумана. *Труды украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института*. М.: Гидрометеоздат, 30-40.
- Лобанов, В.А., Смирнов, И.А., Шадурский, А.Е. (2011). Практикум по климатологии. Часть 1. СПб.: РГГМУ.
- Лобанов, В.А., Наурозбаева, Ж.К. (2021). Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. СПб.: РГГМУ.
- Матвеев, Ю.Л. (2005). Синоптические условия образования туманов и дымок. *Оптика атмосферы и океана*, Т. 18, 08, 725-726.
- Пугачев, В.С. (1953). Общая теория корреляции случайных функций. *Известия АН СССР, серия матем.*, 17, 5, 401-420.
- Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду (1979). Л.: Гидрометеоздат.
- Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. (2004). М.: Госстрой России.
- Смирнов, В.В., Шевченко, В.П. (2003). Дымки и туманы полярных морей. *Метеорология и гидрология*, 1, 49-57.
- Совкова, Е.В., Захарчук, Н.В. (2013). Туманы на территории Алтайского края. *География и природопользование Сибири*. 16, 173-178.
- Утешев, А.С. (1959). Климат Казахстана. Л.: Гидрометеоздат.
- Химмельблау, Д. (1973). Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир.
- Dorman, C.E., Mejia, J., Koraćin, D., McEvoy, D. (2020). World marine fog analysis based on 58-years of ship observations. 40, (1), 145-168. Дата обращения 24.08.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43506900>
- Gultepe, I., Liu, P., Zhou, B., Ferrier, B., Milbrandt, J., Bott, A., Li, Y., Heymsfield, A.J., Ware, R., Pavlonis, M., Kuhn, T., Gurka, J., Cermak, J. (2015). A review on ice fog measurements and modeling. *Atmospheric Research*, 151, 2-19. Дата обращения 24.08.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24474577>
- Koraćin, D., Lewis, J.M., Hudson, J.G., Wilcox, E.M., Dorman, C.E., Torregrosa, A. (2014). Marine fog: A review. *Atmospheric Research*, 143, 142-175. Дата обращения 24.08.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24693329>
- Nadezhina, E.D., Semioshina, A.A., Shkol'nik, I.M., Matsak, V.I. (2010). Model estimates of the fog parameters on the coasts of the siberian reservoirs. *Russian Meteorology and Hydrology*, 35(12), 791-798. Дата обращения 24.08.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16681119>
- Zengzhou Hao, Delu Pan, Fang Gong, Jianyu Chen (2009). Sea fog characteristics based on MODIS data and streamer model. *Proc. SPIE 7475, Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XIV*, 747515-8, 29 September 2009. <https://doi.org/10.1117/12.829949>

CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE EAST COAST CASPIAN SEA FOGS AND THEIR CHANGES DURING 1970-2020

Vladimir Lobanov ^a, Zhanar Naurozbayeva ^b

^a Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky Ave., St. Petersburg 195196, Russian Federation

^b Department of the Caspian Sea Hydrometeorological Research, RSE “Kazhydromet”, 32 Abay Ave., Almaty City 050022, Republic of Kazakhstan

Corresponding author: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-1/1-18.rus>

ABSTRACT

In the Caspian Sea, fogs of varying intensity are observed throughout the year. The research aimed to determine the number of days with fog and their duration (in hours) for each month from 1970 (1986) to 2020 at four meteorological stations: Kulaly Island, Fort Shevchenko, Tushchibek, and Aktau. The study included statistical analysis and assessment of climate change in the form of fog indicator long-term series approximation based on two non-stationary average models, including the evaluation of their efficiency and statistical significance. The assessment of climate change revealed the most significant reductions at the Tushchibek and Fort Shevchenko Stations, with decreased fog conditions observed in summer and autumn. At the Kulaly Island Station, the changes were detected in autumn; and were practically absent at the Aktau Station.

ARTICLE HISTORY

Received: May 11, 2022

Accepted: November, 19, 2022

Published: January, 16 2023

KEYWORDS

Caspian Sea, Middle Caspian (Basin), fog, fog frequency, fog duration, climate change.

References

- Abannikov V.N. (2018). Analiz uslovij, formirujushih rezhim zimnih tumanov v g. Jakutske [Analysis of conditions for winter fogs in Yakutsk]. *Evrazijskij sojuz uchenyh [Eurasian Scientific Union]*. № 4-4 (49), 4-10 [in Russian]
- Bukharitsin P.I., Boldyrev B.Ju., Novikov V.I. (2014). Kompleksnaja sistema gidrometeorologičeskogo obespečenija bezopasnosti moreplavanija, portov i transportnyh kompleksov na Kaspijskom more [Integrated system of hydrometeorological support for the safety of navigation, ports and transport complexes in the Caspian Sea] Astrahan', 319 [in Russian]
- Dorman C.E., Mejia J., Koračín D., Mcevoy D. (2020) World marine fog analysis based on 58-years of ship observations. *International journal of climatology*. T. 40. no. 1 pp. 145-168 <https://elibrary.ru/item.asp?id=43506900> (Accessed August 24 2021)
- Draper N., Smith G. (1973). Prikladnoj regressionnyj analiz [Applied regression analysis] M.: Statistika, 392 [in Russian]
- Gidrometeorologija i gidrohimija morej [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas] (1992). Tom VI. Kaspijskoe more, vyp. 1. *Gidrometeorologičeskie uslovija*. Spb.: Gidrometeoizdat, 359 [in Russian]
- Gontovaya I. V., Ocheretny M. A. (2021). Tumany na territorii Astrahanskoj oblasti i akvatorii Severnogo Kaspija. [Fogs on the territory of the Astrakhan region and the water area of the Northern Caspian]. *Aktual'nye nauchnye issledovanija v sovremennom mire*. №3-8 (71), 129-135 [in Russian]
- Gultepe I., Liu P., Zhou B., Ferrier B., Milbrandt J., Bott A., Li Y., Heymsfield A.J., Ware R., Pavolonis M., Kuhn T., Gurka J., Cermak J. A. (2015) Review on ice fog measurements and modeling. *Atmospheric research*. T. 151. pp. 2-19 <https://elibrary.ru/item.asp?id=24474577> (Accessed August 24 2021)
- Gusak Zh.K., Koshelenko I.V. (1976). Vlijanie orografii na tuman [Influence of orography on fog]. *Trudy ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologičeskogo instituta [Academic works of scientific hydrological institute]*. M.: Gidrometeoizdat, vyp. 134, 67-78 [in Russian]
- Hao Zhengzhou, Pan Delu, Gong Fang, Chen Jianhua. (2009) Sea fog characteristics based on modis data and streamer model. *Material of conference Remote sensing of clouds and the atmosphere XIV*. Berlin, Germany. pp 747515-8 <https://elibrary.ru/item.asp?id=16437325> (Accessed August 24 2021)
- Himmelblau D. (1973). Analiz processov statističeskimi metodami [Analysis of processes by statistical methods] M.: Mir, 957 [in Russian]
- Koračín D., Lewis J.M., Hudson J.G., Wilcox E.M., Dorman C.E., Torregrosa A. (2014) Marine fog: a review. *Atmospheric research*. T. 143. pp. 142-175 <https://elibrary.ru/item.asp?id=24693329> (Accessed August 24 2021)
- Koshelenko I.V. (1977). Izmenčivost' vetra i ee učet pri analize i prognoze tumana [Wind variability and its consideration when analyzing and forecasting fog]. *Trudy ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologičeskogo instituta. [Academic works of scientific hydrological institute]* M.: Gidrometeoizdat, 30-40 [in Russian]
- Lobanov V.A., Naurozbaeva Zh.K. Vliyanie izmeneniya klimata na ledovyj rezhim Severnogo Kaspiya. [Climate change on the ice regime of the Northern Caspian] Monografiya.– SPb.: RGGMU, 2021. -140 [in Russian]
- Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadurskiy A.Y. (2011). *Praktikum po klimatologii* [Workshop on climatology]. Chast' 1. (učebnoye posobie). Spb., 144 [in Russian]
- Matveev Yu. L. (2005). Sinoptičeskie uslovija obrazovanija tumanov i dymok [Synoptic conditions for the formation of fogs and smoke]. *Optika atmosfery i okeana [Optics of atmosphere and ocean]*. V. 18, № 08,725-726 [in Russian].
- Nadezhina E.D., Semioshina A.A., Shkol'nik I.M., Matsak V.I. (2010) Model estimates of the fog parameters on the coasts of the siberian reservoirs. *Russian meteorology and hydrology*. T. 35 no. 12. pp. 791-798 <https://elibrary.ru/item.asp?id=16681119> (Accessed August 24 2021)

- Pugachev V.S. (1953). Obshhaja teorija korreljacji sluchajnyh funkcij [General theory of correlation of random functions]. Izv. AN SSSR, ser. matem. T.17, №5, 401-420 [in Russian]
- Rekomendacii po privedeniju rjadov rechnogo stoka i ih parametrov k mnogoletnemu periodu [Recommendations for bringing the river runoff series and their parameters to a long-term period] (1979). L.: Gidrometeoizdat, 64.
- Smirnov V.V., Shevchenko V.P. (2003). Dymki i tumany poljarnyh morej [Haze and fogs of the polar seas] *Meteorologija i Gidrologija [Meteorology and Hydrology]*, № 1, 49-57 [in Russian]
- Sovkova E.V., Zakharchuk N.V. (2013). Tumany na territorii Altajskogo kraja [Fogs in the Altai Territory]. *Geografija i prirodopol'zovanie Sibiri [Geography and nature management in Siberia]*. № 16, 173-178 [in Russian]
- Svod pravil po proektirovaniju i stroitel'stvu. Opredelenie osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik. [The set of rules for design and construction. Determination of the main calculated hydrological characteristics] SP 33-101-2003. (2004). M.: Gosstroy Rossii, 73 [in Russian]
- Uteshev A.S. (1959). Klimat Kazahstana. [Climate of Kazakhstan].L.: Gidrometeoizdat, 368. [in Russian]
- Zachs L. (1976). Statisticheskoe ocenivanie [Statistical estimation] - M.: Statistika, 598 [in Russian]