



ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

С.Ю. Самойлов¹, В.П. Евстигнеев^{1,2}, В.А. Наумова¹

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

² Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: vald_e@rambler.ru

По данным Авиационной метеорологической станции гражданской «Симферополь» (АМСГ «Симферополь»), найдена регрессионная зависимость между потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА) и метеорологическим потенциалом атмосферы (МПА), которая была применена для Севастополя в предположении, что МПА учитывает различия в условиях накопления и рассеивания загрязняющих примесей в атмосфере между двумя регионами. С использованием этой связи было показано, что среднееголетнее значение ПЗА в Севастополе соответствует умеренному потенциалу загрязнения. Отмечен положительный тренд в годовых величинах ПЗА, связанный с изменением ветровых характеристик в регионе.

Ключевые слова: климатический мониторинг, потенциал загрязнения атмосферы, метеорологический потенциал атмосферы, Севастопольский регион, эмпирическая связь, линейный тренд.

Поступила в редакцию: 01.08.2023. После доработки: 01.09.2023.

Введение. Для характеристики влияния метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферы в отдельных регионах используется специальный показатель – ПЗА, характеризующий перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн города с выбросами от предприятий и автотранспорта. К таковым факторам относят повторяемость приземных инверсий температуры, скорости ветра 0-1 м/с, застоев воздуха и количества часов с туманом. На основе ПЗА определена шкала степени предрасположенности приземного слоя атмосферы к накоплению загрязнения, на основе которой выполняется зонирование территорий.

Для расчета ПЗА необходимы аэрологические данные, но сеть аэрологических станций на территории Российской Федерации редка. Так на территории Крыма действует всего одна аэрологическая станция (г. Симферополь), являющаяся континентальной. Расчет ПЗА по этим данным возможен, однако применять результат расчета к рассматриваемой территории некорректно, поскольку г. Севастополь находится в условиях морского климата (одним из следствий

этого является наличие и существенное влияние бризовой циркуляции). Характеристика накопления загрязняющих примесей, как и способность атмосферы к самоочищению, здесь отличается от условий г. Симферополь. Простая пространственная интерполяция значений ПЗА также проблематична, так как для этого требуются сведения с других аэрологических станций в географической близости к рассматриваемому региону. Вследствие редкости аэрологической сети ближайшие станции располагаются достаточно далеко. Кроме того, для восстановления поля ПЗА необходима информация о свойствах приземного слоя атмосферы над прилегающей морской акваторией.

В настоящей работе развит способ косвенной оценки загрязненности атмосферы в приморской территории г. Севастополя.

Материалы и методы. Для решения задачи об установлении значения ПЗА для неосвещенных аэрологических измерений территорий в научно-методической литературе предложены различные методы, основанные на использовании эмпирических формул свя-

зи повторяемости инверсий и застоев воздушных масс со стандартными климатическими характеристиками [1]. Как правило, эти формулы лучше разработаны и предлагаются к использованию для континентальных станций.

Показатель ПЗА основан на использовании климатической информации и показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха в выбранном районе, обусловленный повторяемостью метеорологических условий, будет выше, чем в некотором условном при заданных выбросах

$$ПЗА = g_i/g_0,$$

где g_i – средняя концентрация примесей в конкретном районе; g_0 – средняя концентрация примесей в условном районе. За условный район принимается район с минимальными выбросами. Формула для расчета ПЗА, выведенная с помощью физико-статистического метода оценки влияния метеорологических условий на содержание примесей в атмосфере, принимает вид

$$ПЗА = 2,54 \exp \left[\frac{0,04}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0,4z_1}{z_2 - z_1} \right].$$

Параметры z_1 и z_2 определяются через аргументы интеграла вероятности (или функцию ошибок)

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt,$$

при котором значения $\Phi(z)$ связаны с P_1 и P_2 соотношениями:

$$\Phi(z_1) = 1 - 2 P_1 \quad \text{и} \quad \Phi(z_2) = 1 - 2 P_2,$$

$$P_1 = P_{инв} + P_{сл} - P_3 + P_T \quad \text{и} \quad P_2 = P_3 + P_T,$$

где $P_{инв}$ – повторяемость приземных инверсий температуры, $P_{сл}$ – повторяемость скорости ветра 0-1 м/с, P_3 – повторяемость застоя воздуха, P_T – повторяемость туманов (вычисленная как отношение числа часов с туманом к общему числу часов в год).

Существует другой способ, основанный на эмпирической регрессионной связи между ПЗА и комплексными ме-

теорологических показателями. Так в [2] показана принципиальная возможность использования МПА для восстановления значений ПЗА. Предложенный авторами Т.С. Селегей и И.П. Юрченко [3] показатель МПА учитывает факторы, способствующие как загрязнению атмосферы, так и ее самоочищению. Суть их метода заключается в следующем. Известно, что одним из основных метеорологических параметров, способствующих накоплению вредных примесей в приземном слое воздуха, является повторяемость малых скоростей ветра 0-1 м/с. Эффект накапливания загрязняющих примесей в атмосфере усиливают туманы. В качестве факторов, способствующих очищению атмосферного воздуха, считается развитие сильного ветра, способного вынести вредные примеси из очага загрязнения, а также осадки, которые путем вымывания очищают атмосферный воздух. Установлено, что скорость ветра, способная вынести вредные вещества из города, должна быть не менее 6 м/с. Это обусловлено тем, что в промышленном городе обычно существует два максимума роста концентраций загрязняющих веществ: один при ветрах 0-1 м/с за счет выбросов многочисленных низких источников, другой при ветрах 4-6 м/с за счет выбросов высоких источников. Пороговое значение количества осадков, способных очистить атмосферу от загрязнения, считается величина 0,5 мм и более в сутки. Предполагалось, что такое количество осадков уже способно осадить придорожную пыль и другие аэрозоли. Таким образом, для расчета показателя МПА предложено пользоваться формулой

$$МПА = \frac{P_{сл} + P_T}{P_B + P_{ос}}, \quad (1)$$

в которую входят повторяемости (%) скоростей ветра 0-1 м/с ($P_{сл}$), дней с туманом (P_T), дней с осадками более 0,5 мм ($P_{ос}$), скоростей ветра ≥ 6 м/с (P_B).

Таким образом, в качестве способа косвенной оценки потенциала загрязненности атмосферы приморской терри-

тории г. Севастополя в настоящей работе предлагается использовать МПА.

Для его адаптации к условиям указанного района в работе использованы данные наблюдений Морской гидрометеорологической станции «Севастополь» (МГС «Севастополь») за период 1976–2018 гг. Также для калибровки зависимости привлекались метеорологические данные и данные аэрологического зондирования на АМСГ «Симферополь» за референсный период 1976–2010 гг.

В работе выполнена оценка линейных трендов величин факторов, влияющих на условия накопления и рассеяния загрязнения в атмосфере. Величина трендов была оценена непараметрическим методом робастного линейного сглаживания с использованием оценочной функции Тейла-Сена [4]. Применение оценочной функции Тейла-Сена обусловлено возможным наличием в выборках «выбросов», несимметричностью и гетероскедастичностью распределения величин в особенности ветровых характеристик. Значимость трендов устанавливалась на основе теста Манна-Кендалла на уровне 1%. Критерием в тесте Манна-Кендалла служит стандартизованная статистика

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{D(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{D(S)}}, & S < 0 \end{cases},$$

где S – суммарная характеристика знака разности между произвольными членами выборки, выраженной знаковой функции, которая принимает значения $-1, 0, +1$, очевидно, в зависимости от знака разности (см. подробнее в [5] или в [6]).

Результаты расчетов показателей. Единственной ближайшей к МГС «Севастополь» аэрологической станцией является АМСГ «Симферополь». В основе расчетов лежит гипотеза о том, что ре-

грессионная связь между показателем ПЗА и МПА сохраняется для пространственно близких регионов. Воспользуемся данным способом для оценки ПЗА в г. Севастополь. Алгоритм расчета следующий:

1. Расчет годовых величин показателя ПЗА по данным аэрологического зондирования в г. Симферополь.

2. Расчет годовых величин показателя МПА по данным метеорологических наблюдений на станции АМСГ «Симферополь».

3. Оценка регрессионной зависимости между МПА и ПЗА.

4. Расчет восстановленных значений ПЗА для г. Севастополя по данным МГС «Севастополь» и регрессионных коэффициентов, полученных на предыдущем этапе.

Расчет ПЗА по указанным формулам был выполнен по метеорологическим данным АМСГ «Симферополь» и данным аэрологического зондирования за период 1976–2010 гг. (рис. 1). Период выбран исходя из наличия данных аэрологического зондирования. В ряду ПЗА была выявлена статистическая неоднородность, связанная с изменением сроков пусков аэрологического зонда в середине девяностых (см. рис. 1). В дальнейшем, расчет среднесноголетнее значения ПЗА, а также регрессионный анализ зависимости ПЗА и МПА был выполнен за более короткий однородный период 4-х срочных аэрологических зондирований 1977–1993 гг.

Среднесноголетнее значение ПЗА для Симферополя составило значение **2,5**. Согласно РД 52.04.667-2005 (см. также [1, 7]) эта территория относится к зоне с умеренным потенциалом загрязнения атмосферы.

На втором этапе расчет годовых величин показателя МПА по данным метеорологических наблюдений на АМСГ «Симферополь».



Рис. 1. Многолетний ход ПЗА в г. Симферополь по данным аэрологического зондирования и метеорологических наблюдений на станции АМСГ «Симферополь» за период 1977–2010 гг.

Fig. 1. Interannual variations of APP in Simferopol using the data of aerological sounding and meteorological observations at meteorological station “Simferopol” for 1977–2010

Показатель МПА был рассчитан за период 1976–2020 гг. по данным метеорологических наблюдений на станции АМСГ «Симферополь» (рис. 2).

данных аэрологического зондирования) периода 1976–1993 гг. выполнен регрессионный анализ зависимости между ПЗА и МПА (рис. 3).

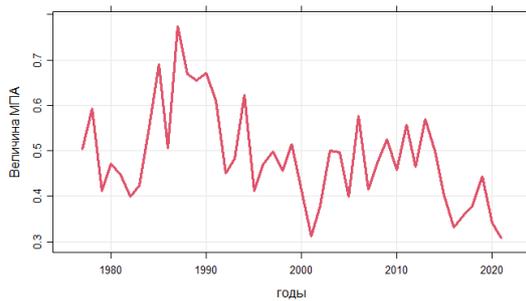


Рис. 2. Многолетний ход метеорологического показателя атмосферы МПА по данным АМСГ «Симферополь» за период 1976–2020 гг.

Fig. 2. The long-term course of the meteorological indicator of the atmosphere MPA according to the data of the AMSG "Simferopol" for the period 1976-2020

Среднемноголетнее значение МПА составило 0,49, что также свидетельствует о хороших условиях для рассеивания примесей, т.е. в регионе преобладают процессы, благоприятствующие очищению атмосферы [7].

На третьем этапе произведена оценка регрессионной зависимости между МПА и ПЗА по данным АМСГ «Симферополь». По данным наиболее однородного и полного (с точки зрения доступных

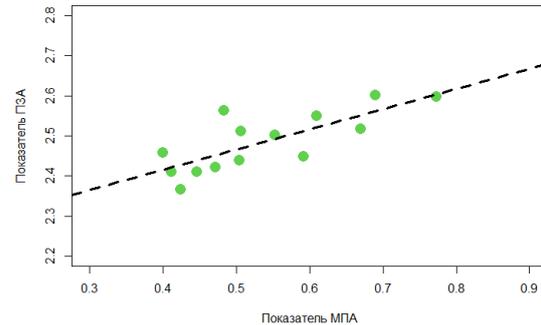


Рис. 3. График зависимости между показателями ПЗА и МПА по данным АМСГ «Симферополь»

Fig. 3. Graph of the relationship between the indicators of PPA and MPA according to the AMSG "Simferopol"

Уравнение линейной регрессии, полученное по данным ПЗА и МПА, может быть записано в виде

$$\text{ПЗА} = (2,214 \pm 0,066) + (0,50 \pm 0,12) \cdot \text{МПА}. \quad (2)$$

Регрессионные коэффициенты оказались значимыми с доверительной вероятностью 99%. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,60$. F-статистика составила величину 17,6, что с доверительной вероятностью 99% свидетельствует об адекватности линейной регрессии, применительно к рассматриваемой совокупности данных.

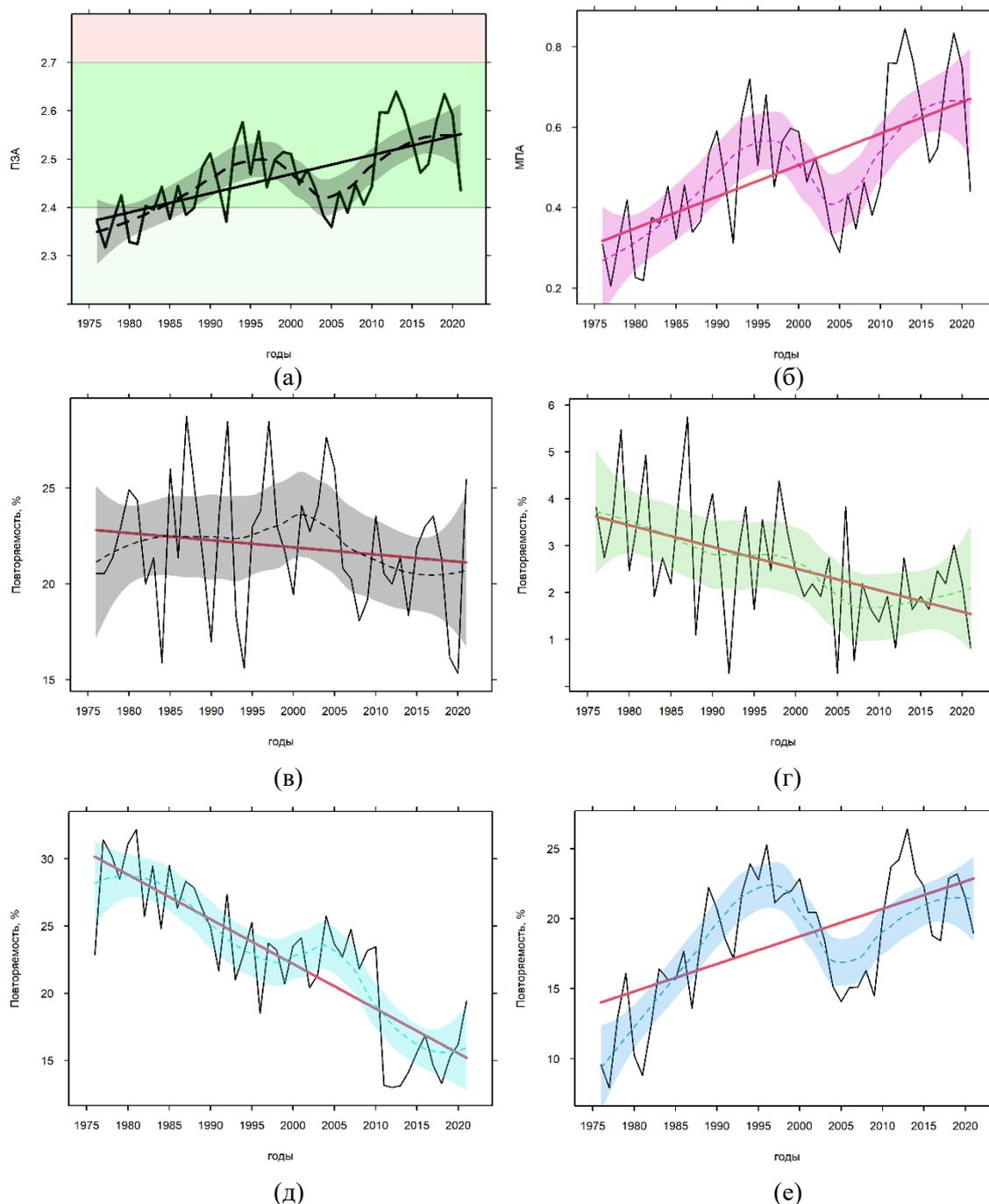


Рис. 4. Многолетний ход годовых значений показателя ПЗА (а) и МПА (б), повторяемости дней с осадками более 0,5 мм (в), туманов (г), дней со скоростью ветра 6 м/с и более (д), штилей (е) по данным МГС «Севастополь» за период 1976–2021 гг. Красная линия – линейный тренд, прерывистые линии и закрашенные области – результат локально-линейного сглаживания с 95%-ной доверительной областью. Цветовым разделением фона (а) выделены границы диапазонов ПЗА, соответствующие качественным категориям потенциальному загрязнению атмосферы [7]

Fig. 4. Interannual variations of annual values of APP (a) and MPA (b), annual frequency of days with amounts of precipitation greater than 0.5 mm (c), annual frequency of fogs (d), windy days (wind speed greater than 6 m/s) (e) and calm days (f) according to the data of meteorological station “Sevastopol” for 1976-2021. The red line is the linear trend, the dashed lines and shaded areas are the result of local-linear smoothing with 95% confidence region. The boundaries of the APP ranges corresponding to the qualitative categories of potential atmospheric pollution [7] are highlighted by colour separation of the background on (a) plot.

Коэффициенты регрессии могут быть использованы для восстановления значений ПЗА по метеорологическому показателю МПА для г. Севастополя в предположении, что этот комплексный показатель прямо или косвенно учитывает все различия в условиях накопления и рассеивания загрязняющих примесей в атмосфере между двумя регионами.

Исходя из заявленной гипотезы, применим полученную регрессионную зависимость для восстановления значений ПЗА для г. Севастополя по данным МГС «Севастополь» и регрессионных коэффициентов, полученных на предыдущем этапе. На рис. 4 а представлен многолетний ход показателя ПЗА, восстановленного по связи с метеорологическим показателем МПА на МГС «Севастополь» за период 1976–2021 гг. Из рисунка видно, что среднее значение показателя ПЗА (~2,4) свидетельствует об умеренном потенциале атмосферы к накоплению загрязнения при условии заданных выбросов.

Среднемноголетнее значение повторяемостей величин в (1), отражающих действие факторов накопления и рассеивания загрязнения воздуха, и их стандартные отклонения, представлены ниже в форме $(P \pm \sigma_p)\%$:

$$\langle P_B \rangle = (22,7 \pm 5,4)\%; \langle P_T \rangle = (2,6 \pm 1,3)\%;$$

$$\langle P_{сл} \rangle = (18,4 \pm 4,6)\%; \langle P_{ос} \rangle = (22,0 \pm 3,4)\%$$

Обращает на себя внимание выраженная нестационарность числовых значений ПЗА, отражающих многолетние тенденции разного временного масштаба в факторах накопления загрязнений в атмосфере. В частности, на рисунках прослеживается многолетний тренд в изменениях как самих показателей, так и метеорологических характеристик, влияющих на способность атмосферы к самоочищению или, наоборот, к накоплению загрязняющих веществ. В табл. 1 представлен результат непараметрического теста Манна-Кендалла на наличие тренда в рядах величин.

Таблица 1. Результат анализа тренда во временных рядах величин с использованием теста Манна-Кендалла и метода оценки Сена

Величина	$Z_{МК}$	p-значение	Линейный тренд Тейла-Сена
ПЗА	0,43 *	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,0040 *
МПА	0,43 *	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,0080 *
$P_{ос}$	-0,095	0,36	-0,033
P_T	-0,35 *	$1,0 \cdot 10^{-3}$	-0,046 *
$P_{сл}$	0,38 *	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,20 *
P_B	-0,61 *	$3,1 \cdot 10^{-9}$	-0,33 *

* Значимость статистической оценки на уровне 1%.

* Significance at 1% level.

Из табл. 1 следует, что единственной величиной, для которой не выявлено монотонного изменения числовых значений за период 1976–2021 гг. (даже с доверительной вероятностью 90%), является повторяемость числа дней с осадками 0,5 мм и более. Стоит, однако, отметить, что примерно с 2007 г. повторяемость $P_{ос}$ незначительно снизилась и после этого момента составляла значение в обла-

сти 20-21%. Отрицательная тенденция отмечена для повторяемостей дней с туманом P_T (~0,5%/10 лет) и ветровых дней P_B (3,3%/10 лет). Здесь также стоит отметить, что после снижения повторяемости туманов в 1999-2000 гг. величина повторяемости P_T также стабилизировалась около 1,9%. В ходе повторяемости ветровых дней P_B выделено резкое уменьшение величины до 15%.

Заметно проявляет себя тенденция к увеличению повторяемости штилей ($P_{сл}$) в г. Севастополе в среднем на 2% в 10 лет (см. табл. 1). На фоне выраженного положительного тренда в структуре временного ряда $P_{сл}$ можно заметить квазипериодическую компоненту с двумя максимумами в 1994–1996 гг. и в 2012–2014 гг. и минимумом в 2004–2007 гг. Аналогичная изменчивость проявляется во временных рядах ПЗА и МПА (см. рис. 4 а, б, е) так же на фоне тенденции к увеличению величин показателей на 0,04/10 лет и 0,08/10 лет соответственно.

Обсуждение. Согласно (1) показатель МПА определяется четырьмя величинами $P_{сл}$, P_T , $P_{ос}$, P_B . Однако выполненные расчеты свидетельствуют о том, что в Севастопольском регионе определяющий вклад в изменчивость потенциала загрязнения атмосферы оказывает изменчивость повторяемости штилей $P_{сл}$. При том, что два фактора P_T и P_B имеют отрицательную тенденцию временного хода, ход показателей ПЗА и МПА содержит значимый положительный тренд, а также квазипериодическую компоненту, содержащуюся в структуре ряда $P_{сл}$. Как было показано выше, повторяемость $P_{сл} \gg P_T$, следовательно, повторяемостью туманов можно пренебречь. Повторяемость дней с осадками ($P_{ос}$) сопоставима с повторяемостью ветровых дней, однако, в многолетнем ряду $P_{ос}$ отсутствуют значимые тенденции, которые могли бы проявиться в рядах показателей МПА/ПЗА. Таким образом, многолетняя тенденция в условиях рассеивания или накопления загрязнения в атмосфере в Севастопольском регионе критически связана только с изменением ветровых характеристик. Известен факт уменьшения скоростей ветра в Крымском регионе [8], который проявляется в отрицательном тренде числа ветровых дней, а, значит, в положительном тренде ПЗА. Примерно до 1985 г. Севастопольский регион соответствовал региону с низким потенциалом загрязнения. По мере увеличения повторяемости числа

дней со слабым ветром ПЗА стал расти, переводя статус региона в категорию «умеренным потенциалом». Вряд ли существуют основания полагать, что в современный период ПЗА может усугубиться и перейти в другие категории, однако стоит отметить длиннопериодную составляющую в многолетнем ходе величины.

В последнее 30-летие повторяемость дней со слабым ветром колеблется в среднем в пределах 20%, однако до 1985–1990 гг. повторяемость была существенно ниже и, судя по тенденции, могла составлять величину около 10%. Это означает, что повторяемость ветровых дней в этот период была наоборот выше, что может быть сопряжено с повышенной ветро-волновой активностью в регионе. Ранее было показано [9], что в период 1954–1983 гг. в Черном море развивалась положительная фаза ветро-волновых аномалий с повышенной повторяемостью штормов. Для подтверждения о согласованности многолетней изменчивости данных характеристик требуется отдельное обширное исследование изменчивости частоты ветровых дней и штилей в Крымском регионе с глубиной анализа 60–70 лет. Однако в таком исследовании принципиальным ограничением может стать проблема однородности климатических рядов по характеристикам ветра. В частности, в настоящей работе следует также отметить потенциальное влияние неоднородности в расчетах. На рис. 4 д можно заметить сдвиг повторяемости частоты ветровых дней в 2010–2011 гг., происхождение которого, вероятно, не связано с естественными причинами, несмотря на объективно наблюдаемый отрицательный тренд. Точные подтверждения искусственного происхождения данного сдвига отсутствуют в метаданных станции, однако со слов персонала МГС «Севастополь» в тот период они перешли на запись данных наблюдений по ветровым характеристикам, измеренным на метеоплощадке, горизонт с которой

существенно закрыт зданием военного госпиталя. Ранее измерения проводились с использованием анеморумбометра, установленного на здании. Влияние потенциальной неоднородности такого рода критически не меняет результаты настоящего исследования, однако в последующем при обобщении ветрового режима для Крымского полуострова должна быть учтена.

Заключение. В настоящей работе в результате восстановления величины ПЗА по величине МПА, рассчитанном сугубо по метеорологическим данным, было показано, что среднесуточное значение ПЗА в г. Севастополь составляет значение **2,46**, что позволяет отнести территорию к зоне с **умеренным** потенциалом загрязнения в соответствии с таблицей в РД 52.04.667-2005 (см. также [7]).

Довольно тесная связь между ПЗА и МПА на примере АМСГ «Симферополь» подтверждает известную перспективу широкого использования МПА для задач оценки потенциальных условий загрязнения атмосферы, поскольку для расчета МПА используется информация, имеющаяся на любой станции сети Росгидромета. На основе этого выскажем более смелую гипотезу о том, что выявленная для АМСГ «Симферополь» зависимость является следствием более общей фундаментальной связи между ПЗА и МПА. Для подтверждения гипотезы требуется обобщенное исследование зависимости для как можно большего количества аэрологических станций, относящихся к разным физико-географическим и аэро-синоптическим условиям накопления и рассеяния загрязнения в атмосфере. Этой теме будут посвящены будущие исследования авторов.

Исследование выполнено частично в рамках государственного задания Института природно-технических систем по теме (№ госрегистрации 121122300072-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Климатические* характеристики условий распространения примесей в атмосфере: Справочное пособие / Э.Ю. Безуглая, М.Е. Берлянд [ред.]. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
2. *Степанова И.В., Шлычков А.П.* Влияние комплекса метеорологических условий на загрязнение атмосферного воздуха города // Казанский медицинский журнал. 2004. Т. 85, № 5. С. 380–383.
3. *Селегей Т.С., Юрченко И.П.* Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 132–137.
4. *Sen P.K.* Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau // J. Amer. Stat. Assoc. 1968. Vol. 63. P. 1379–1389.
5. *Rank Correlation Methods* / M. Kendall. London: Griffin & Co. 1975. 272 p.
6. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring* / R.O. Gilbert. NY, USA: Wiley. 1987. 320 p.
7. *Аргучинцева А.В., Кочугова Е.А.* Потенциал самоочищения атмосферы // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 27. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.3>
8. *Евстигнеев В.П., Наумова В.А., Лемешко Н.А.* Нестационарная статистическая оценка скоростей ветра редкой повторяемости в Азово-Черноморском регионе // Системы контроля окружающей среды. 2021. Вып. 3 (45). С. 15–22. DOI: 10.33075/2220-5861-2021-3-15-22.
9. *Polonsky A., Evstigneev V., Naumova V., Voskresenskaya E.* Low-frequency variability of storms in the northern Black Sea and associated processes in the ocean-atmosphere system // Reg. Environ. Change. 2014. Vol. 14, No. 5. P. 1861–1871. DOI: 10.1007/s10113-013-0546-z.

ESTIMATION OF ATMOSPHERIC POLLUTION POTENTIAL
IN THE SEVASTOPOL REGION

S.Yu. Samoylov¹, V.P. Evstigneev^{1,2}, V.A. Naumova¹

¹Sevastopol State University,
RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

²Institute of Natural and Technical Systems,
RF, Sevastopol, Lenin St., 28

According to the data of the AMSG "Simferopol" station, a regression relationship between a pollution potential of atmosphere (PPA) and meteorological potential of atmosphere (MPA) in Sevastopol is found. It is applied for Sevastopol under the assumption that MPA takes into account the differences in accumulation and dispersion of pollutants in the atmosphere between two regions. It is shown that the average annual value of PPA in Sevastopol corresponds to moderate pollution potential. A positive trend in annual values of PPA, related to changes in wind characteristics in the region is revealed.

Keywords: climate monitoring, atmospheric pollution potential, meteorological atmospheric potential, Sevastopol region, empirical relationship, linear trend.

REFERENCES

1. *Bezuglaja E.Y. and Berljang M.E.* Klimaticheskie harakteristiki uslovij rasprostraneniya primesej v atmosfere (Climatic Characterisation of Atmospheric Pollution Conditions), Leningrad: Gidrometizdat, 1983, 328 p.
2. *Stepanova I.V. and Shlychkov A.P.* Vlijanie kompleksa meteorologicheskikh uslovij na zagryaznenie atmosfernogo vozduha goroda (Influence of complex meteorological conditions on urban air pollution). *Kazanskij medicinskij zhurnal*, 2004, Vol. 85, No. 5, pp. 380–383.
3. *Selegej T.S. and Jurchenko I.P.* Potencial rasseivajushhej sposobnosti atmosfery (Atmospheric dispersion potential). *Geografija i prirodnye resursy*, 1990, No. 2, pp. 132–137.
4. *Sen P.K.* Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Amer. Stat. Assoc.*, 1968, Vol. 63, pp. 1379–1389.
5. *Kendall M.* Rank Correlation Methods, London: Griffin & Co., 1975, 272 p.
6. *Gilbert R.O.* Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, NY, USA: Wiley, 1987, 320 p.
7. *Arguchinceva A.V. and Kochugova E.A.* Potencial samoochishhenija atmosfery (Atmospheric self-purification potential). *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Nauki o Zemle*, 2019, Vol. 27, pp. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.27.3>.
8. *Evstigneev V.P., Naumova V.A., and Lemeshko N.A.* Nestacionarnaja statisticheskaja ocenka skorostej vetra redkoj povtorjaemosti v Azovo-Chernomorskom regione (Non-stationary statistical estimation of wind speeds of rare recurrence in the Azov and Black Sea region). *Sistemy kontrolja okruzhashhej sredy*, 2021, Vol. 3 (45), pp.15–22. doi: 10.33075/2220-5861-2021-3-15-22.
9. *Polonsky A., Evstigneev V., Naumova V., and Voskresenskaya E.* Low-frequency variability of storms in the northern Black Sea and associated processes in the ocean-atmosphere system. *Reg. Environ. Change*, 2014, Vol. 14, No. 5, pp. 1861–1871, doi: 10.1007/s10113-013-0546-z.