

Н.К. Смагулов, А.Е. Конкабаева*, Г.М. Тыкежанова, А.Ж. Садыкова,
Г.Ж. Мукашева, А.Т. Серік

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

**Автор для корреспонденции: aiman54@mail.ru*

Анализ зависимости между погодными условиями и качеством атмосферного воздуха в городах Казахстана за 11-летний период (2010–2020 гг.) как основа эпидемиологических рисков

В статье был проведен ретроспективный анализ зависимости между погодными условиями и присутствием поллютантов в воздушном пространстве города Караганды и Петропавловска за 11-летний период (2010–2020 гг.). Динамика кода загрязненности атмосферы исследуемых городов свидетельствовала о более высоком уровне загрязнения воздуха в г. Караганде на протяжении всех сезонов, по сравнению с показателями г. Петропавловска. В газообразных выбросах по г. Караганде достоверно преобладали вещества, относящиеся к первой категории опасности: диоксид азота в зимний период, озон весной и летом. Фенолы и формальдегид присутствовали в воздухе г. Караганды на протяжении всех сезонов, достоверно превышая ПДК. Анализ корреляционных зависимостей между погодными и экологическими факторами позволил обнаружить средние и слабые прямые и обратные корреляции между загрязнением атмосферы, погодными условиями и сезонами. Было обнаружено, что в зимний сезон синергизм мог проявляться вследствие одновременного присутствия диоксида азота и формальдегидов, содержание которых в атмосфере достоверно превышало ПДК. В летний сезон синергизм можно было ожидать вследствие одновременного присутствия в воздухе больших концентраций озона и формальдегида. Комплексное воздействие погодных условий, уровня и характера загрязненности атмосферного воздуха в Карагандинском регионе по сравнению с г. Петропавловском свидетельствует о вероятности значительного усиления или видоизменения негативных последствий для здоровья человека.

Ключевые слова: погода, загрязнение воздуха, код загрязненности, комплексный индекс загрязненности, стандартный индекс, биоклиматические индексы, твердые и газообразные вещества.

Введение

Изменение климата широко признано серьезной угрозой общественному здоровью [1] с широким спектром последствий. Недавние исследования показали, что следует тщательно учитывать двустороннее взаимодействие между погодными переменными (например, температурой) и загрязнением воздуха, чтобы охарактеризовать синергетическое воздействие на здоровье [2, 3], особенно в контексте изменения климата [4, 5].

Влияние метеорологических переменных варьирует в зависимости от загрязняющего вещества. Показано, что влияние погодных изменений зависит как от явлений переноса, таких как адвекция или диффузия, так и химических реакций в атмосфере, управляющих образованием вторичных загрязнителей. При этом температура играет фундаментальную роль в химическом составе атмосферы NO₂ [6]. Более высокие температуры увеличат скорость окисления NO, а более слабые ветры ограничат рассеивание. Изменения влажности также могут играть роль, поскольку они влияют на относительное содержание гидроксильного радикала (ОН), который, в свою очередь, оказывает фундаментальное влияние на химические процессы, контролирующие концентрацию газообразных загрязнителей, включая NO₂ [7].

Обычно оценки риска на основе эпидемиологических исследований моделируют температуру как искажающий фактор, в то время как в нескольких исследованиях изучалась роль температуры как модификатора эффекта кратковременного воздействия загрязняющих веществ, таких как озон, динамика которого также сильно зависит от температуры.

Керол и другие [8] изучили тенденции качества воздуха в Испании за период 2001–2012 гг. и предположили, что, хотя сокращение загрязнения воздуха в основном было обусловлено сокращением выбросов, метеорологические изменения также могли повлиять на тенденции качества воздуха в течение этого периода. Другие исследования загрязнения воздуха во временных рядах также рас-

сма тривали изменения погоды как влиятельный фактор в Европе [9–11]. В то время как количество регулируемых загрязняющих веществ (SO_2 , NO , CO , PM_{10} и $\text{PM}_{2,5}$) существенно сократилось за последние годы, уровни O_3 остались постоянными или в некоторых случаях увеличились. Усилия по сокращению выбросов в Испании оказались успешными в снижении смертности, связанной с загрязнением воздуха. Обнаружено, что снижение концентрации PM_{10} в окружающей среде уменьшило количество смертей, связанных с загрязнением воздуха, за 25-летний период исследования.

Изучена и роль температуры как модификатора эффекта кратковременного воздействия озона. Джун и другие [12] пришли к выводу, что тепловое воздействие может усугубить неблагоприятное действие озона на здоровье, при этом взаимодействие между загрязнением воздуха и температурой носит нелинейный характер. Изменения погоды способствовали более высоким концентрациям O_3 в теплое время года, что изучено предыдущими исследованиями, в которых определялась чувствительность O_3 к погодным параметрам [13–15].

Тем не менее, поскольку климат и качество воздуха тесно взаимосвязаны, их следует рассматривать комплексно в оценке экологической ситуации. Актуальная информация о масштабах последствий необходима для разработки эффективных мер по снижению вредных выбросов в атмосферу с целью защиты здоровья населения. В этой статье нами был проведен ретроспективный анализ загрязненности воздуха и корреляционной зависимости между метеорологическими условиями и экологией за последние 11 лет (2010–2020 гг.) в городах Казахстана.

Материалы и методы

Материалы для анализа загрязнения атмосферного воздуха были скопированы из открытых источников («Информационные бюллетени о состоянии окружающей среды по Республике Казахстан» за 2010–2021 гг.). Наблюдения за состоянием окружающей среды, согласно ст. 144 Экологического кодекса РК, осуществляют аккредитованные аналитические лаборатории областных филиалов РГП «Казгидромет». Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в г. Караганде велись на 4, а с 2014 г. на 5 ручных постах. Материалы по эмиссии загрязняющих веществ взяты из Департамента статистики Карагандинской области по охране окружающей среды (16 серия) — Бюллетень «О состоянии атмосферного воздуха в Карагандинской области» за 2021 г.

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в г. Петропавловске велись на 2 ручных и 1 автоматическом постах. В атмосферном воздухе определялись 27 параметров, среди которых в непрерывном режиме регистрировалось содержание пыли PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, диоксида серы, оксида углерода, оксида и диоксид азота, сероводорода, озона, аммиака, суммы углеводородов, метана.

Для оценки качества загрязнения атмосферного воздуха за месяц мы использовали три показателя: 1) ИЗА — комплексный индекс загрязнения атмосферы, параметр определяет хроническое (длительное) загрязнение воздуха; 2) СИ — стандартный индекс, рассчитывается делением разовой концентрации примеси на ПДК; 3) НП — наибольшая повторяемость (%) превышения максимально разовой ПДК за время.

Вариационный и корреляционный анализы проводились с помощью пакета Statistica 10 (использовались только значимые значения коэффициентов корреляции при $p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение

Анализ годовой динамики кода загрязненности атмосферы исследуемых городов за 11-летний период позволил обнаружить в целом более высокие уровни загрязнения воздуха в г. Караганде на протяжении всех сезонов, по сравнению с показателями г. Петропавловска (см. рис.).

Код загрязненности в зимний сезон составил — 2 в декабре и январе месяцах (повышенный уровень) и 3 — в феврале, что оценивается как высокий уровень загрязненности. В тоже время в г. Петропавловске код загрязненности не превышал 2 все зимние месяцы и оценивался как низкий. В весенние месяцы в г. Караганде уровень загрязненности был высоким, а в г. Петропавловске код составил 2,27 в марте месяце. В летне-осенний период загрязненность воздуха была повышенной в г. Караганде, в Петропавловске же наблюдалось повышение в июле и августе месяцах, в остальные месяцы загрязненность была низкой.

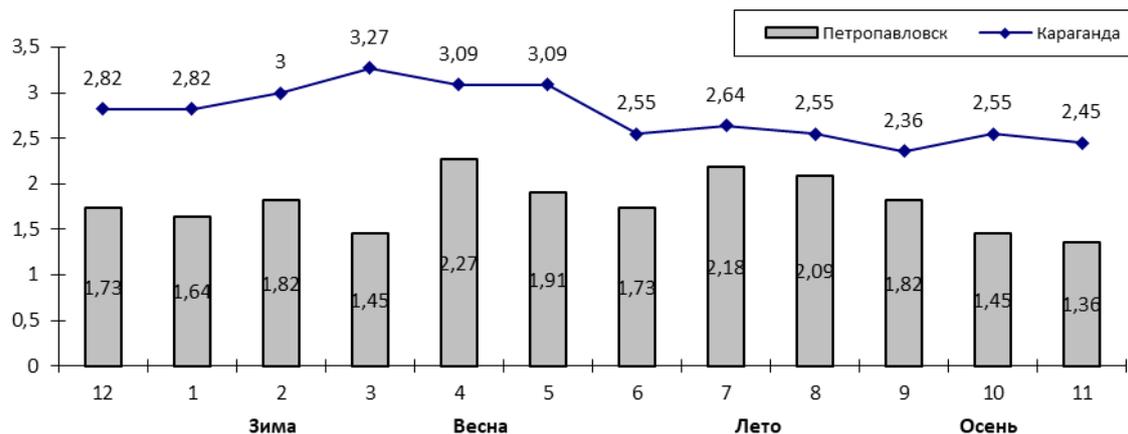


Рисунок. Годовая динамика кода загрязненности атмосферы гг. Петропавловска и Караганды за 2010–2020 гг.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы, характеризующий хроническое (длительное) загрязнение воздуха все сезоны, не превышал низкий уровень в исследуемых регионах, однако показатели г. Караганды были выше в 1,5–2 раза аналогичных результатов по г. Петропавловску. Для оценки качества загрязнения атмосферного воздуха мы использовали два показателя: СИ (стандартный индекс) — наибольшая измеренная концентрация примеси, деленная на ПДК м. р., и НП — наибольшая повторяемость превышения разовыми концентрациями примеси ПДК (в %). По г. Караганде стандартный индекс в зимние месяцы и в весенне-летний период был высоким. По г. Петропавловску СИ был повышенным. Наибольшая повторяемость превышения разовыми концентрациями примеси ПДК составила $11,91 \pm 4,068$ % зимой и $11,4 \pm 2,644$ % осенью в г. Караганде, что является признаком повышенной повторяемости, в то время как по г. Петропавловску повышение НП было отмечено только в летний период (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели ИЗА, СИ, НП и кода загрязненности по городам

Караганда	Зима	Весна	Лето	Осень
ИЗА 5	$3,06 \pm 0,685$	$2,91 \pm 0,646$	$2,62 \pm 0,622$	$2,45 \pm 0,621$
СИ	$7,1 \pm 1,413$	$5,02 \pm 0,977$	$3,17 \pm 0,528$	$5,2 \pm 0,972$
НП, %	$11,91 \pm 4,068$	$6,59 \pm 1,526$	$6,39 \pm 1,292$	$11,4 \pm 2,644$
Код загрязненности	$3,09 \pm 0,133$	$2,75 \pm 0,123$	$2,48 \pm 0,098$	$2,69 \pm 0,119$
Петропавловск	Зима	Весна	Лето	Осень
ИЗА 5	$1,6 \pm 0,35$	$1,5 \pm 0,33$	$1,4 \pm 0,34$	$1,44 \pm 0,34$
СИ	$1,4 \pm 0,28$	$4,1 \pm 1,27$	$3,8 \pm 1,18$	$1,26 \pm 0,258$
НП, %	$5,4 \pm 2,03$	$4,8 \pm 1,85$	$10,1 \pm 3,86$	$4,42 \pm 1,846$
Код загрязненности	$1,66 \pm 0,13$	$2,33 \pm 0,196$	$2,12 \pm 0,193$	$1,54 \pm 0,134$

Масса выброшенных в атмосферный воздух г. Караганды твердых частиц диаметром 2,5 мкм за исследуемый период достоверно превышала ПДК в зимний ($0,13 \pm 0,065$) и весенний периоды ($0,04 \pm 0,007$). Твердых частиц диаметром 10 мкм было достоверно больше ПДК в весенний период ($0,07 \pm 0,038$) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показатели загрязненности атмосферного воздуха твердыми и газообразными веществами (мг/м³) г. Караганды

Караганда	ПДК	Зима	Весна	Лето	Осень
Взвешанные вещества (ВВ)	0,150	$0,084 \pm 0,01217$	$0,0778 \pm 0,00884$	$0,0761 \pm 0,00878$	$0,0769 \pm 0,01227$
Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,035	$0,13 \pm 0,065^{**}$	$0,04 \pm 0,007^{**}$	$0,01 \pm 0,005$	$0,04 \pm 0,009$
Взвешенные частицы PM ₁₀	0,060	$0,06 \pm 0,012$	$0,07 \pm 0,038^{*}$	$0,01 \pm 0,003$	$0,03 \pm 0,007$
SO ₂ (диоксид серы)	0,050	$0,0217 \pm 0,00236$	$0,0121 \pm 0,00177$	$0,0117 \pm 0,0017$	$0,0143 \pm 0,00213$
Сульфаты		$0,0028 \pm 0,00061$	$0,0025 \pm 0,00058$	$0,0328 \pm 0,03023$	$0,0044 \pm 0,00156$

СО (оксид углерода)	3,0	1,65 ±0,207	1,08 ±0,115	1,36 ±0,163	1,25 ±0,115
NO ₂ (диоксид азота)	0,050	0,07 ±0,017*	0,05 ±0,006	0,05 ±0,007	0,05 ±0,005
NO (оксид азота)	0,060	0,0155 ±0,00268	0,0133 ±0,00265	0,0108 ±0,00236	0,0136 ±0,0025
Озон	0,030	0,03 ±0,005	0,05 ±0,003*	0,04 ±0,003*	0,01 ±0,001
Сероводород	0,002	0,0008 ±0,00006	0,0008 ±0,00007	0,0015 ±0,00121	0,002 ±0,00062
Фенол	0,003	0,05 ±0,02**	0,06 ±0,022**	0,05 ±0,02**	0,04 ±0,017**
Формальдегид	0,010	0,08 ±0,027**	0,08 ±0,028**	0,07 ±0,024**	0,07 ±0,023**
Аммиак	0,040	0,0043 ±0,00091	0,0046 ±0,00093	0,008 ±0,00301	0,0044 ±0,00092
СН (сумма углеводородов)		0,24 ±0,067	0,27 ±0,071	0,32 ±0,079	0,34 ±0,085
СН ₄ (метан)		0,73 ±0,1	0,61 ±0,094	0,63 ±0,088	0,52 ±0,093

Примечание. * P≤0,05; ** P≤0,01.

В газообразных выбросах достоверно преобладали диоксид азота в зимний период (0,07 + 0,017) (p≤0,05), озон весной (0,05+0,003) и летом (0,04+0,003) соответственно. Из многочисленных ингредиентов, загрязняющих воздушный бассейн города, эти вещества относятся к первой категории опасности. Вещества второй категории опасности — фенол и формальдегид присутствовали в воздухе г. Караганды на протяжении всех сезонов, достоверно превышая ПДК (p≤0,01).

По г. Петропавловску отмечено достоверное превышение ПДК только по озону и сероводороду в весенне-летний период. По остальным показателям превышения ПДК не обнаружено (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

**Показатели загрязненности атмосферного воздуха твердыми и газообразными веществами
г. Петропавловска**

Петропавловск	ПДК	Зима	Весна	Лето	Осень
Взвешанные вещества (ВВ)	0,150	0,072 ± 0,0076	0,075 ± 0,0073	0,079 ± 0,0056	0,07 ± 0,0067
Взвешенные частицы РМ _{2,5}	0,035	0,007 ± 0,0018	0,009 ± 0,0012	0,005 ± 0,0011	0,004 ± 0,0008
Взвешенные частицы РМ ₁₀	0,060	0,008 ± 0,0024	0,009 ± 0,001	0,013 ± 0,0049	0,007 ± 0,0014
SO ₂ (диоксид серы)	0,050	0,007 ± 0,0004	0,02 ± 0,0099	0,015 ± 0,0051	0,006 ± 0,0004
Сульфаты		0,008 ± 0,0004	0,008 ± 0,0003	0,008 ± 0,0006	0,007 ± 0,0003
СО (оксид углерода)	3,000	0,95 ± 0,088	0,78 ± 0,081	0,78 ± 0,071	0,86 ± 0,066
NO ₂ (диоксид азота)	0,050	0,026 ± 0,003	0,021 ± 0,0021	0,02 ± 0,0015	0,019 ± 0,0021
NO (оксид азота)	0,060	0,009 ± 0,0034	0,003 ± 0,001	0,002 ± 0,0008	0,004 ± 0,0013
O ₃ (озон)	0,030	0,028 ± 0,0059	0,049 ± 0,0055*	0,036 ± 0,0046*	0,03 ± 0,0049
H ₂ S (сероводород)	0,002	0,001 ± 0,0002	0,004 ± 0,0023*	0,006 ± 0,0026*	0,001 ± 0,0002
Фенол	0,003	0,001 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001	0,001 ± 0
НСОН (формальдегид)	0,010	0,006 ± 0,0005	0,006 ± 0,0006	0,006 ± 0,0007	0,006 ± 0,0007
NH ₃ (аммиак)	0,040	0,0044 ± 0,00026	0,003 ± 0,0009	0,004 ± 0,0011	0,003 ± 0,0009
СН (сумма углеводородов)		1,39 ± 0,435	1,55 ± 0,026	1,12 ± 0,278	1,91 ± 0,192
СН ₄ (метан)		1,74 ± 0,56	1,98 ± 0,055	1,39 ± 0,344	1,89 ± 0,232

Примечание. * P≤0,05; ** P≤0,01.

Анализ корреляционных зависимостей между погодными и экологическими факторами городов за исследуемый период позволил обнаружить прямые и обратные корреляции между загрязнением атмосферы, погодными условиями и сезонами.

Так, в г. Караганде прослеживалась средняя положительная корреляция между наличием ветра и присутствием в воздухе таких загрязнителей, как оксид и диоксид азота, фенолы и формальдегиды (табл. 4).

Корреляционные зависимости между метео- и экологическими факторами г. Караганды

Караганда	Код загрязненности	ВВ	ВЧ РМ-2,5	ВЧ РМ-10	SO ₂ (диоксид серы)	СО (оксид углерода)	NO ₂ (диоксид азота)	NO (оксид азота)	Озон	Фенол	Формальдегид	СН ₄ (метан)
Сезоны	-0,30	-	-0,19	-	-0,26	-	-	-	-	-	-	-
Ветер	-	-0,40	-	-	-0,34	-0,49	0,36	0,55	-	0,69	0,59	-0,33
Т (С)	-0,31	-	-0,18	-	-0,27	-	-	-	0,21	-	-	-
f влажность (%)	0,24	-	-	-	0,27	-	-	-	-0,29	-	-	-
Р (гПа)	0,18	-	-	-	-	0,23	-	-	-0,29	-0,21	-0,17	-
Осадки (мм)	-0,17	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-
Снег (см)	0,24	-	0,28	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. В таблице указаны только достоверные значения коэффициентов корреляции ($p < 0,05$).

Наряду с этим наблюдалась слабая отрицательная корреляция между ветром и взвешенными частицами, диоксидом серы, оксидом углерода и метаном.

Кроме того, присутствие озона в атмосфере положительно коррелировало с температурой и осадками, отрицательно — с влажностью и давлением водяных паров. Код загрязненности слабо коррелировал с сезоном и практически со всеми погодными параметрами, за исключением ветра.

Слабая отрицательная корреляция, отмеченная между концентрациями ВВ, диоксида азота, оксида углерода и ветром, отражает влияние застойных явлений на рост приземных концентраций.

По г. Петропавловску обнаружены слабые корреляционные зависимости между погодными условиями и загрязнением воздуха, вместе с тем, наблюдалась связь между ветром и положительная корреляция с ВВ, оксидом углерода и отрицательная корреляция с такими загрязнителями воздуха, как диоксид серы и озон (табл. 5).

Корреляционные зависимости между метео- и экологическими факторами г. Петропавловска

Петропавловск	Код загрязненности	ВВ	ВЧ РМ-2,5	ВЧ РМ-10	SO ₂ (диоксид серы)	СО (оксид углерода)	О ₃ (озон)	Фенол	НСОН (формальдегид)	СН ₄ (метан)
Сезоны	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,21	-
Ветер	-	0,31	-	-	-0,27	0,27	-0,32	-	-	-
Т (С)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-
f влажность (%)	-	-	-0,20	-0,20	-	-	-	-	-	-
Р (гПа)	-	0,26	0,27	-	-	0,25	-	-	-	-
Р осадки (мм)	-0,21	-0,43	-0,30	-	-	-0,32	-	-	-	-
S снег (см)	-	0,21	-	-	-	0,21	-	-	-	-0,20

Анализ статистических связей между концентрациями загрязняющих веществ и метеорологическими параметрами, такими как скорость ветра, температура и влажность воздуха, позволил выявить лишь слабую корреляцию, что связано, на наш взгляд, с тем, что на уровень загрязнения влияет не отдельная метеорологическая характеристика, а комплекс этих характеристик, определяющих синоптическую ситуацию.

Биоклиматические индексы в физическом отношении характеризуют особенности тепловой структуры среды и являются косвенным индикатором состояния теплового поля окружающего человека. При расчете корреляционных связей между комплексными показателями погоды и экологическими факторами г. Караганды слабые положительные и отрицательные связи выявлены в основном

между кодами загрязнения и биоклиматическими показателями. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) — показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра. Как видно из табличных данных, этот показатель имел слабую отрицательную корреляцию с диоксидом серы, мелкими взвешенными частицами и кодом загрязненности и положительно коррелировал с озоном (табл. 6). Показатели г. Петропавловска не обнаружили подобных корреляций.

Т а б л и ц а 6

Корреляционные зависимости между комплексными показателями погоды и экологическими факторами г. Караганды

Караганда	Код загрязненности	ВВ	ВЧ PM _{2,5}	ВЧ PM ₁₀	SO ₂ (диоксид серы)	CO (оксид углерода)	NO ₂ (диоксид азота)	NO (оксид азота)	O ₃ (озон)	Фенол	НСОН (формальдегид)	СН ₄ (метан)
ЭЭТ	-0,32	-	-0,18	-	-0,26	-	-	-	0,22	-	-	-
S суrowsть погоды Бодмана	0,31	-	-	-	0,19	-	0,21	0,25	-0,19	-	-	-
W ветро-холодовой индекс Сайпла	0,31	-	-	-	-	-	0,23	0,29	-0,18	0,18	0,18	-
AT эффект t	-0,32	-	-0,18	-	-0,26	-	-	-	0,25	-	-	-

Таким образом, как видно из наших исследований, вещества, загрязняющие воздушное пространство, могут влиять на погодные показатели, в частности, температуру воздуха, наряду с этим, погодные условия в свою очередь могут способствовать концентрации загрязнителей воздуха и усилению их воздействия на организм, о чем свидетельствуют положительные и отрицательные корреляционные связи между исследуемыми показателями.

Заключение

Ретроспективный анализ загрязненности атмосферы в исследуемых регионах позволил обнаружить высокий уровень загрязненности воздуха на протяжении всех сезонов в г. Караганде по сравнению с г. Петропавловском. Из многочисленных ингредиентов, загрязняющих воздушный бассейн города, в воздухе присутствовали вещества первой категории опасности — диоксид азота и озон, а также вещества второй категории опасности — фенол и формальдегид, содержание которых значительно превышало ПДК. Прослеживалась средняя положительная корреляция между наличием ветра и присутствием в воздухе названных загрязнителей. Наряду с этим, наблюдалась слабая отрицательная корреляция между ветром и взвешенными частицами, диоксидом серы, оксидом углерода и метаном. Кроме того, присутствие озона в атмосфере положительно коррелировало с температурой и осадками, отрицательно — с влажностью и давлением водяных паров, что согласуется с исследованиями и других авторов [13–15].

Следует отметить, что ситуация могла усугубляться в результате синергизма некоторых веществ, сходных по химическому строению и способных при совместном присутствии в воздухе усиливать негативное влияние на здоровье населения. В наших исследованиях было обнаружено, что в зимний сезон такой синергизм мог проявляться при совместном действии диоксида азота и формальдегидов, содержание которых в атмосфере достоверно превышало ПДК. В летний сезон аналогичные эффекты могли быть проявлены в результате синергизма озона и формальдегида. Таким образом, можно предполагать, что комплексное воздействие климатических условий и уровень загрязненности атмосферного воздуха в Карагандинском регионе могли значительно усиливать или видоизменять те возможные негативные последствия для здоровья человека, которые можно было ожидать при воздействии этих факторов в отдельности.

Исследование выполнено в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан — № AP14871897.

Список литературы

- 1 Watts, N., Adger, W.N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., Cooper, A., Cox, P.M., Depledge, J., Drummond, P., Ekins, P., Galaz V., Grace, D., Graham, H., Grubb, M., Haines, A., Hamilton, I., Hunter, A., Jiang, X., Li, M., Kelman, I., Liang, L., Lott, M., Lowe, R., Luo, Y., Mace, G., Maslin, M., Nilsson, M., Oreszczyn, T., Pye, S., Quinn, T., Svendsdotter, M., Venevsky, S., Warner, K., Xu, B., Yang, J., Yin, Y., Yu, C., Zhang, Q., Gong, P., Montgomery, H., & Costello, A. (2015). Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet*, 386, 1861–1914. 10.1016/S0140-6736(15)60854-6
- 2 Stafoggia, M., Schwartz, J., Forastiere, F., & Perucci, C.A. (2008). Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy. *Am. J. Epidemiol.*, 167; 1476. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn074>
- 3 Chen, K., Wolf, K., Breitner, S., Gasparini, A., Stafoggia, M., Samoli, E., Andersen, Z.J., Bero-Bedada, G., Bellander, T., Hennig, F., Jacquemin, B., Pekkanen, J., Hampel, R., Cyrys, J., Peters, A., & Schneider, A. (2018). Two-way effect modifications of air pollution and air temperature on total natural and cardiovascular mortality in eight European urban areas. *Environ. Int.*, 116; 186–196. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.021>
- 4 Fiore, A.M., Naik, V., Spracklen, D.V., Steiner, A., Unger, N., Prather, M. et al. (2012). Global air quality and climate. *Chem Soc Rev.*, 41; 6663–6683. <https://doi.org/10.1039/c2cs35095e>
- 5 Silva, R.A., West, J.J., Lamarque, J.-F., Shindell, D.T., Collins, S., Faluvegi, G., Folberth, G., Horowitz, L.W., Nagashima, T., Naik, V., Rumbold, S.T., Sudo, K., Takemura, T., Bergmann, D., Cameron-Smith, P., Doherty, R.M., Josse, B., MacKenzie, I.A., Stevenson, D.S., & Zeng, G. (2017). Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. *Nat Clim Chang.*, 2017. <https://doi.org/10.1038/nclimate3354>
- 6 Atkinson, R. (2000). Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmos. Environ.* 34; 2063–2101
- 7 Beirle, S., Boersma, K.F., Platt, U., Lawrence, M.G., & Wagner, T. (2011). Megacity emissions and lifetimes of nitrogen oxides probed from space. *Science*, 333; 1737. <https://doi.org/10.1126/science.1207824>
- 8 Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Reche, C., Pířez, N., Minguillyn, M.C., Moreno, T., Viana, M., Escudero, M., Orıo, A., Pallars, M., & Reina, F., (2014). 2001–2012 trends on air quality in Spain. *Sci. Total Environ.*, 490; 957–969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.074>
- 9 Barmpadimos, I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., & Praqvat, A.S.H. (2012). One decade of parallel fine (PM2.5) and coarse (PM10–PM2.5) particulate matter measurements in Europe: trends and variability. *Atmos. Chem. Phys.*, 12; 3189–3203. <https://doi.org/10.5194/acp-12-3189-2012>
- 10 Cusack, M., Alastuey, A., Pérez, N., Pey, J., & Querol, X. (2012). Trends of particulate matter (PM2.5) and chemical composition at a regional background site in the Western Mediterranean over the last nine years (2002–2010). *Atmos. Chem. Phys.*, 12; 8341–8357. <https://doi.org/10.5194/acpd-12-10995-2012>
- 11 Garrido-Perez, J.M., Ordóñez, C., García-Herrera, R., & Barriopedro, D. (2018). Air stagnation in Europe: spatiotemporal variability and impact on air quality. *Sci. Total Environ.*, 645; 1238–1252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.238>
- 12 Jhun, I., Fann, N., Zanobetti, A., & Hubbell, B. (2014). Effect modification of ozone-related mortality risks by temperature in 97 US cities. *Environ. Int.*, 73; 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.07.009>
- 13 Tu, J., Xia, Z.-G., Wang, H., & Li, W. (2007). Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects at an urban site in China. *Atmos. Res.*, 85; 310–337. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.02.003>
- 14 Murphy, J.G., Day, D.A., Cleary, P.A., Wooldridge, P.J., Millet, D.B., Goldstein, A.H., & Cohen, R.C. (2007). The weekend effect within and downwind of Sacramento - Part 1: Observations of ozone, nitrogen oxides, and VOC reactivity. *Atmos. Chem. Phys.*, 7; 5327–5339. <https://doi.org/10.5194/acp-7-5327-2007>
- 15 Kumar, A., Singh, D., Singh, B.P., Singh, M., Anandam, K., Kumar, K., & Jain, V.K. (2015). Spatial and temporal variability of surface ozone and nitrogen oxides in urban and rural ambient air of Delhi-NCR, India. *Air Qual. Atmos. Heal.*, 8; 391–399. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0309-0>

Н.Қ. Смағұлов, А.Е. Қоңқабаева, Г.М. Тікежанова, А.Ж. Садықова,
Г.Ж. Мұқашева, А.Т. Серік

11 жылдық кезеңдегі (2010-2020 жж.) Қазақстан қалаларындағы ауа райы жағдайы мен ауа сапасы арасындағы байланысты талдау

Мақалада 11 жылдық кезеңдегі (2010-2020 жж.) Қарағанды және Петропавл қалаларының ауа кеңістігінде ауа райы жағдайлары мен ластанушы заттардың болуы арасындағы өзара байланысқа ретроспективті талдау жүргізілген. Зерттелетін қалалар атмосферасының ластану кодының динамикасы Петропавл қаласының көрсеткіштерімен салыстырғанда барлық маусымдар бойы Қарағанды қаласында ауаның ластануының неғұрлым жоғары деңгейін көрсетті. Қарағанды қаласының газтәріздес шығарындыларында бірінші қауіпті санатқа жататын заттар айтарлықтай басым болды: қыста азот диокси-

ді, көктемде және жазда озон. Қарағандының ауасында фенолдар мен формальдегидтер барлық маусымда ШРК-дан едәуір асып түсті. Ауа райы мен қоршаған орта факторларының арасындағы корреляцияны талдау атмосфераның ластануы, ауа райы жағдайлары мен жыл мезгілдері арасындағы орташа және әлсіз тікелей және кері корреляцияны табуға мүмкіндік берді. Қысқы маусымда синергизм азот диоксиді мен формальдегидтердің бір мезгілде болуына байланысты көрінуі мүмкін екендігі анықталды, олардың атмосферадағы мөлшері ШРК-дан айтарлықтай асып кетті. Жазғы маусымда ауада озон мен формальдегидтің жоғары концентрациясының бір мезгілде болуына байланысты синергияны күтуге болады. Петропавл қаласымен салыстырғанда Қарағанды облысындағы ауа райы жағдайларының, атмосфералық ауаның ластану деңгейі мен сипатының кешенді әсері адам денсаулығына жағымсыз салдарлардың айтарлықтай артуы немесе модификациялану ықтималдығын көрсетеді.

Кілт сөздер: ауа райы, ауаның ластануы, ластану коды, ластанудың кешенді индексі, стандартты индекс, биоклиматтық көрсеткіштер, қатты және газтәрізді заттар.

N.K. Smagulov, A.E. Konkabayeva, G.M. Tykezhanova, A.Zh. Sadykova,
G.Zh. Mukasheva, A.T. Serik

Analysis of the relationship between weather conditions and air quality in the cities of Kazakhstan over an 11-year period (2010-2020) as the basis of epidemiological risks

In this study, a retrospective analysis of the relationship between weather conditions and the presence of pollutants in the airspace of the city of Karaganda and Petropavlovsk for an 11-year period (2010-2020) was carried out. The dynamics of the air pollution code of the studied cities indicated a higher level of air pollution in the city of Karaganda throughout all seasons, compared with the indicators of the city of Petropavlovsk. Substances belonging to the first hazard category significantly prevailed in gaseous emissions in the city of Karaganda: nitrogen dioxide in winter, ozone in spring and summer. Phenols and formaldehyde were present in the air of Karaganda during all seasons, significantly exceeding the MPC. An analysis of the correlations between weather and environmental factors made it possible to find medium and weak direct and inverse correlations between atmospheric pollution, weather conditions and seasons. It was found that in the winter season, synergism could manifest itself due to the simultaneous presence of nitrogen dioxide and formaldehydes, the content of which in the atmosphere significantly exceeded the MPC. In the summer season, synergy could be expected due to the simultaneous presence of high concentrations of ozone and formaldehyde in the air. The complex impact of weather conditions, the level and nature of air pollution in the Karaganda region compared to the city of Petropavlovsk indicates the likelihood of a significant increase or modification of negative consequences for human health.

Keywords: weather, air pollution, pollution code, complex pollution index, standard index, bioclimatic indices, solid and gaseous substances.