ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СВЯЗЬ ЗАПЫЛЁННОСТИ АТМОСФЕРЫ И ПЕРВИЧНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ БОЛЕЗНЯМИ ОРГАНОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ В КАРАКАЛПАКСТАНЕ

Уразымбетова Эльзура Пулатовна – *доктор философии по техническим наукам, доцент*
elzurau@gmail.com
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха
Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук
Тлеумуратова Бийбигуль Сарыбаевна – *доктор физико-математических наук, профессор*
Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук

QORAQALPOG‘ISTONDA ATMOSFERA ChANGLANIShI VA OVQAT HAZM QILISh A’ZOLARI KASALLIKLARI BILAN BIRLAMChI KASALLANIShNING FAZOVIY-VAQT BOG‘LIQLIGI

Urazimbetova Elzura Pulatovna – *texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, dotsent*
Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti, Qoraqalpoq tabiiy fanlar ilmiy-tadqiqot instituti
Tleumuratova Biybigul Saribayevna – *fizika-matematika fanlari doktori, professor*
Qoraqalpoq tabiiy fanlar ilmiy-tadqiqot instituti

SPATIO-TEMPORAL ASSOCIATION BETWEEN ATMOSPHERIC DUST AND THE PRIMARY INCIDENCE OF DIGESTIVE DISEASES IN KARAKALPAKSTAN

Urazimbetova Elzura Pulatovna – *Doctor of philosophy in technical sciences (PhD), associate professor*
Karakalpak State University named after Berdakh, Karakalpak scientific research institute of natural sciences
Tleumuratova Biybigul Saribayevna – *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor*
Karakalpak scientific research institute of natural sciences

Таянч сўзлар: атмосфера чангланиши, овқат ҳазм қилиш аъзолари касалликлари, бирламчи касалланиш, чанг аэрозоллари, корреляцион тахлил, панел регрессия.

Резюме. 2009-2024 йилларда Қорақалпоғистонда атмосфера чангланишининг овқат ҳазм қилиш аъзолари касалликлари билан бирламчи касалланиш даражаси билан фазовий-вақт боғлиқлиги ўрганилди. Чанг аэрозолларининг кўчишини моделлаштириш ва расмий статистик маълумотлар асосида корреляцион, панель, зонал таҳлил ва барқарорлик таҳлили қўлланилган. Кўрсаткичларнинг йиллик ўзгаришлари ўртасида сезиларли барқарор умумий боғлиқлик аниқланмаган, бироқ йиллик фарқ билан шимолий, марказий ва жанубий ҳудудлар ўртасида фазовий нотекислик белгилари аниқланган.

Ключевые слова: запылённость атмосферы, болезни органов пищеварения, первичная заболеваемость, пылевые аэрозоли, корреляционный анализ, панельная регрессия.

Резюме. Исследована пространственно-временная связь запылённости атмосферы с первичной заболеваемостью болезнями органов пищеварения в Каракалпакстане за 2009-2024 гг. На основе моделирования переноса пылевых аэрозолей и официальной статистики применены корреляционный, панельный, зональный анализ и анализ устойчивости. Значимая устойчивая общая связь между межгодовыми изменениями показателей не установлена, однако при годовом лаге выявлены признаки пространственной неоднородности между северной, центральной и южной зонами.

Key words: atmospheric dust, digestive diseases, primary morbidity, dust aerosols, correlation analysis, panel regression.

Summary. The spatio-temporal association between atmospheric dust and the primary incidence of digestive diseases in Karakalpakstan during 2009-2024 was investigated. Correlation, panel, zonal, and robustness analyses were performed using modelled dust aerosol transport data and official statistics. No significant robust overall association between year-to-year changes in the indicators was established; however, at a one-year lag, evidence of spatial heterogeneity was identified among the northern, central, and southern zones.

Введение. Влияние факторов окружающей среды на здоровье населения особенно важно в регионах с высокой природной пылевой нагрузкой. По данным Global Burden of Disease 2021, значительная часть бремени заболеваний пищеварительной системы связана с изученными факторами риска [1]. Исследования указывают на возможные ассоциации $PM_{2.5}$ и PM_{10} с заболеваниями желудочно-кишечного тракта [2, 3]; предполагаемые механизмы включают воспаление, окислительный стресс, нарушение кишечного барьера и микрофлоры [2, 4].

Для аридных территорий особое значение имеет пустынная пыль, содержащая минеральные частицы, соли, металлы и биологические компоненты [5]. В Каракалпакстане природная запылённость формируется переносом пыли с Аралкума, Устюрта, Кызылкума и Каракумов [6, 7]. При этом состояние здоровья зависит также от качества воды, социально-бытовых условий и доступности медицинской помощи [8]. Цель исследования – оценить пространственно-временную связь природной запылённости атмосферы с первичной заболеваемостью болезнями органов пищеварения в Каракалпакстане за 2009–2024 гг., включая межгодовые изменения и возможный годовой лаг.

Материалы и методы. Исследование охватывало 17 административных единиц Каракалпакстана. В статистический анализ включены 15 территорий с сопоставимыми экологическими и медицинскими рядами за 2009–2024 гг (рис.1). Тахиаташский и Бозатауский районы не включали в полный временной ряд. Для оценки пространственной неоднородности территории объединяли в северную, центральную и южную зоны.

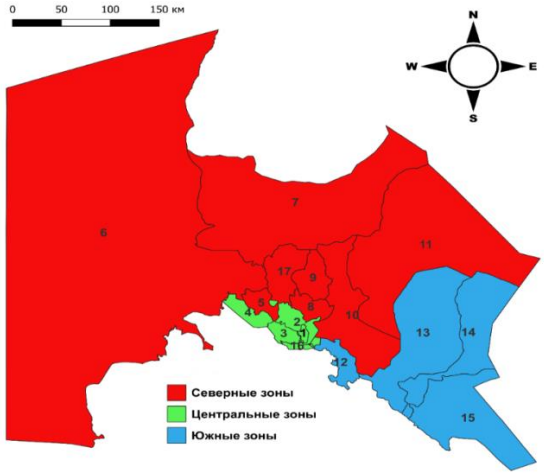


Рис. 1. *Территория исследования (1 – г. Нукус; 2 – Нукусский р-н; 3 – Ходжейли; 4 – Шуманай; 5 – Канлыкуль; 6 – Кунград; 7 – Муйнак; 8 – Кегейли; 9 – Чимбай; 10 – Караузяк; 11 – Тахтакупыр; 12 – Амударья; 13 – Беруний; 14 – Элликкала; 15 – Турткуль; 16 – Тахиаташ; 17 – Бозатау).*

Экологическим показателем служили расчётные среднегодовые концентрации природной пыли, обусловленные суммарным переносом от Аралкума, Устюрта, Кызылкума и Каракумов. Расчёты выполняли модифицированной гауссовой моделью Ермака [6, 7]. Показателем здоровья являлась первичная заболеваемость болезнями органов пищеварения (МКБ-10, K00–K93) на 100 тыс. населения по данным Министерства здравоохранения Республики Каракалпакстан.

Связь исходных рядов оценивали коэффициентами Пирсона и Спирмена. Для уменьшения влияния временного тренда анализировали первые разности. Основную оценку проводили панельной регрессией первых разностей с фиксированными эффектами лет [9]. Lag 0 отражал одновременную связь, Lag 1 – связь изменения запылённости с изменением заболеваемости в следующем году. Устойчивость результатов проверяли с использованием кластеризованных и HC3-стандартных ошибок, робастной регрессии Хьюбера и метода последовательного исключения одной территории [10]. Анализ выполняли в Python при α=0,05; пространственное сопоставление – в QGIS 3.32.

Результаты и обсуждение. Пространственное сопоставление показало отсутствие прямого территориального соответствия: районы с наиболее высокой средней запылённостью не совпадали с территориями максимальной первичной заболеваемости (рис. 2).

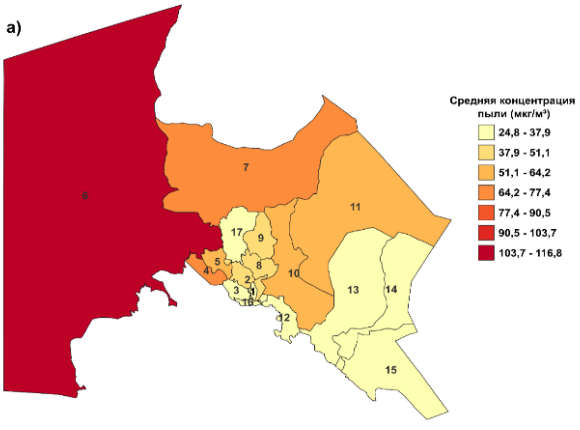


Рис. 2. *Средние значения запылённости атмосферы (а) и первичной заболеваемости болезнями органов пищеварения (б), 2009–2024 гг.*

Корреляции исходных рядов различались между районами и преимущественно не достигали статистической значимости. После перехода к первым разностям значимых связей не выявлено. Наиболее выраженная отрицательная связь отмечена в Кунградском районе (r=−0,49; p=0,06; ρ=−0,48; p=0,07).

Панельная регрессия также не выявила статистически значимой общей связи. Для Lag 0 увеличение запылённости на 10 мкг/м³ соответствовало изменению заболеваемости на −56,28 случая на 100 тыс. населения (95 % ДИ: −187,38; 74,83; p=0,40). Для Lag 1 коэффициент составил 24,12 (95 % ДИ: −106,21; 154,45; p=0,72). Доверительные интервалы включали ноль; R^2 составил 0,12 и 0,10.

Таблица 1. Основные результаты панельной регрессии

Модель	n	β на 10 мкг/м³	95 % ДИ	p	R^2
Lag 0	225	−56,28	−187,38; 74,83	0,40	0,12
Lag 1	210	24,12	−106,21; 154,45	0,72	0,10

Зональный анализ выявил различия в направлении коэффициентов (рис.3). Для Lag 0 они составили −72,65, 20,46 и 43,84 случая на 100 тыс. в северной, центральной и южной зонах соответственно; различия были незначимыми (p=0,31). Для Lag 1 коэффициенты составили 46,49, −81,63 и −106,90. Совместный тест зонального взаимодействия для Lag 1 был значимым при кластерных стандартных ошибках (p=0,001), поэтому результат дополнительно проверяли на устойчивость.

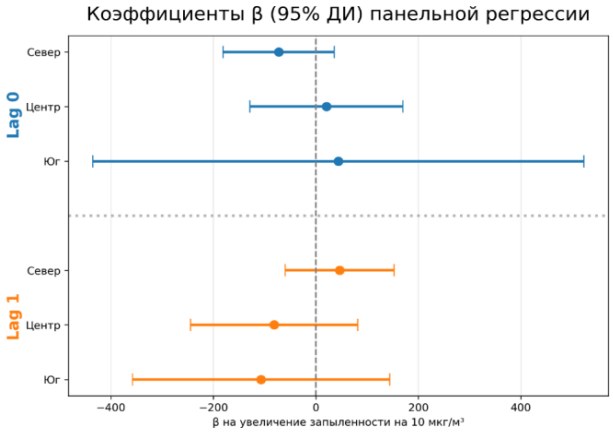


Рис. 3. *Коэффициенты β (95 % ДИ) панельной регрессии по зонам Каракалпакстана*

Проверки устойчивости не изменили основного результата. При HC3 β составил −56,28 (p=0,30) для Lag 0 и 24,12 (p=0,66) для Lag 1; робастная регрессия Хьюбера дала −36,92 (p=0,27) и 4,90 (p=0,88). Leave-one-out анализ также не приводил к статистической значимости общей модели.

Для Lag 1 зональное взаимодействие оставалось значимым при кластерных стандартных ошибках, но не подтверждалось при HC3 (p=0,26). При последовательном исключении территорий зональные различия сохраняли значимость в 13 из 15 моделей и исчезали при исключении Кунградского и Шуманайского районов. Это указывает на возможную пространственную неоднородность отсроченной связи, однако её статистическая устойчивость ограничена.

В целом анализ не подтвердил устойчивой общей связи между межгодовыми изменениями природной запылённости и первичной заболеваемостью болезнями органов пищеварения. Интерпретация должна учитывать влияние качества питьевой воды, питания, социально-экономических условий, доступности медицинской помощи и особенностей регистрации заболеваний.

Заключение. За 2009-2024 гг. прямого пространственного соответствия между средними уровнями природной запылённости и первичной заболеваемости болезнями органов пищеварения в Каракалпакстане не выявлено. Анализ первых разностей и панельная регрессия не подтвердили статистически значимой устойчивой общей связи ни для Lag 0, ни для Lag 1. Вместе с тем при годовом лаге обнаружены признаки различий между северной, центральной и южной зонами, чувствительные к способу оценки стандартных ошибок. Результат требует дальнейшего анализа с учётом других экологических и социально-демографических факторов.

Литература

1. Zhong P., et al. Persistent health inequality in the global burden of digestive diseases attributable to risk factors: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. // BMJ Public Health, 2026, Vol. 4, № 2.
2. Zhao H., et al. Effects of air pollution on the development and progression of digestive diseases: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. // BMC Public Health, 2025, Vol. 25, № 1. – P. 183.
3. Li J., et al. Air pollutants, genetic susceptibility, and the risk of incident gastrointestinal diseases: a large prospective cohort study. // Environmental Research, 2024, Vol. 247. – P. 118182.
4. Van Pee T., et al. Ambient particulate air pollution and the intestinal microbiome: a systematic review of epidemiological, in vivo and in vitro studies. // Science of the Total Environment, 2023, Vol. 878. – P. 162769.
5. Sanchez de la Campa A., et al. Chemical and microbiological characterization of atmospheric particulate matter during an intense African dust event in Southern Spain. // Environmental Science & Technology, 2013, Vol. 47, № 8. – P. 3630-3638.
6. Urazimbetova E. P. Modelling the dust content of the atmosphere of Karakalpakstan soil aerosol from deserts. // Universum: tekhnicheskie nauki, 2024, № 5(122). – P. 51-56.
7. Urazimbetova E., Tleumuratova B. Dust migration from expanding deserts near Amudarya: Modeling and assessment. // E3S Web of Conferences, 2025, Vol. 646. – P. 00013.
8. Crighton E. J., et al. What have we learned? A review of the literature on children's health and the environment in the Aral Sea area. // International Journal of Public Health, 2011, Vol. 56, № 2. – P. 125-138.
9. Baltagi B. H. Econometric analysis of panel data. – 6th ed. – Cham: Springer, 2021.
10. Huber P. J. Robust estimation of a location parameter. // The Annals of Mathematical Statistics, 1964, Vol. 35, № 1. – P. 73-101.