

УДК 504.3.054

Г.Е. Саспугаева<sup>1\*</sup>, Г.С. Актаева<sup>1</sup>, Ә.М. Жакен<sup>1</sup>, Н.М. Дузбаева<sup>2</sup>, А. Зандыбай<sup>1</sup>, А.О. Дарибай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан  
(E-mail: gulnur.er@mail.ru)

## Потенциал загрязнения атмосферы на территории Республики Казахстан по данным реанализа ERA5 за 2021 год

Рассчитан потенциал загрязнения атмосферы в пограничном слое атмосферы, по данным реанализа ERA5, и описан характер его распределения по территории Республики Казахстан, выявлены области наибольшей и наименьшей повторяемости условий формирования потенциала загрязнения атмосферы. Атмосфера считается практически неисчерпаемым ресурсом, обеспечивающим безопасные условия для населения и сохранения экосистем. Однако в результате хозяйственной деятельности человека в атмосфере появляется большое количество загрязняющих веществ, наиболее значительные изменения качества атмосферного воздуха наблюдаются в крупных городах. Исследование подчеркивает важное воздействие метеорологических параметров на концентрацию загрязняющих веществ в атмосфере, их перемещение и способность атмосферы к самоочищению. Были выполнены расчеты, направленные на определение климатического потенциала, что позволило выявить уровень самоочищения атмосферы на территории Республики Казахстан. В настоящее время механизм самоочищения не справляется с большим количеством загрязняющих веществ в атмосфере, впоследствии чего идет образование высоких концентраций примесей. Потенциал загрязнения атмосферы является одним из широко используемых методов для оценки способности атмосферы к самоочищению от загрязняющих веществ. Этот метод основан на расчете отношения средних уровней концентраций вредных веществ при фактических выбросах в определенном регионе к условным концентрациям.

*Ключевые слова:* потенциал загрязнения атмосферы, атмосферный воздух, температурные инверсии, осадки, скорость ветра, рассеивающая способность атмосферы, загрязняющие вещества.

### Введение

Атмосферный воздух — это ценный природный ресурс, который обеспечивает жизнедеятельность всех живых организмов на планете Земля. Он предоставляет не только кислород для дыхания, но и участвует во множестве других экосистемных процессов, таких как климатические регуляции и обеспечение водного цикла. Однако в современном мире наша промышленная и транспортная деятельность приводит к выбросу вредных и загрязняющих веществ в атмосферу. Эти загрязнения включают в себя такие вещества, как углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), азотные оксиды ( $\text{NO}_x$ ), сернистые соединения ( $\text{SO}_x$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и другие. Эти загрязнения могут оказывать серьезное отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Поэтому важно постоянно контролировать качество атмосферного воздуха и предпринимать меры для снижения выбросов вредных веществ. Мониторинг атмосферы и разработка экологически чистых технологий становятся все более важными задачами в современном мире. Эффективное управление качеством атмосферного воздуха не только способствует здоровью человека, но и сохраняет экосистемы и биоразнообразие нашей планеты для будущих поколений.

Степень загрязнения атмосферы у земной поверхности обуславливается не только количеством и интенсивностью выбрасываемых загрязняющих веществ и параметрами источников, но и пространственно-временными масштабами, зависящими от орографических особенностей и метеорологических условий местности. В атмосфере работает механизм самоочищения, однако увеличение количества антропогенных выбросов привело к недостижимости полного обезвреживания загрязнения, которое привело к формированию высоких концентраций примесей.

Потенциал загрязнения атмосферы — это понятие, которое отражает возможность или склонность определенной области или источника к загрязнению атмосферы. Он определяет вероятность или степень, с которой данная область или источник могут способствовать загрязнению воздуха.

Как и в случае с другими странами, потенциал загрязнения атмосферы на территории Республики Казахстан зависит от различных факторов, включая промышленные процессы, автотранспорт, энергетический сектор, аграрную деятельность и городскую застройку. Вот некоторые аспекты, которые влияют на потенциал загрязнения атмосферы в Казахстане:

*Промышленность:* Казахстан имеет развитую промышленную базу, которая включает нефтеперерабатывающие заводы, металлургические комбинаты, химические предприятия и другие отрасли. В результате производственных процессов и выбросов от этих предприятий в атмосферу могут попадать различные загрязняющие вещества, такие как диоксид серы, диоксид азота, тяжелые металлы и др.

*Энергетика:* Генерация электроэнергии в Казахстане осуществляется в основном за счет угля, природного газа и нефти. Электростанции, работающие на этих ископаемых топливах, могут выбрасывать вредные газы, включая углеродные оксиды, сернистый и азотистый диоксиды, которые способствуют атмосферному загрязнению и изменению климата.

*Транспорт:* Увеличение автомобильного парка и объема автотранспорта в Казахстане может привести к значительным выбросам выхлопных газов, таких как оксиды азота, углеводороды и твердые частицы. Это особенно актуально для крупных городов с плотным автотранспортным движением.

*Сельское хозяйство:* Животноводство и использование агрохимикатов в сельском хозяйстве могут быть источниками выбросов аммиака, метана и других газов, которые оказывают влияние на качество воздуха и климатические условия.

*Пыль и сухой климат:* В некоторых регионах Казахстана, особенно в степных и пустынных районах, может наблюдаться значительное количество пыли, вызванной эрозией почвы, строительством и другими факторами. Это также может приводить к загрязнению атмосферы.

Необходимо отметить, что Казахстан принимает меры для сокращения загрязнения атмосферы и охраны окружающей среды. В стране внедряются программы по снижению выбросов, улучшению технологий и энергоэффективности, а также развитию возобновляемых источников энергии.

#### *Материалы и методы*

Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА) представляет собой важный инструмент для оценки способности атмосферы к самоочищению от загрязняющих веществ [1]. Этот параметр позволяет определить, во сколько раз средний уровень загрязнения воздуха превышает условный уровень, который определяется на основе реальных метеорологических данных для конкретного региона [2]. Потенциал загрязнения атмосферы учитывает различные факторы, такие как низкие скорости ветра, задержка движения воздуха и частота приземных температурных инверсий. Для расчета ПЗА используется специальная формула, которая учитывает эти факторы и позволяет оценить, насколько атмосфера способствует накоплению загрязняющих веществ в приземном слое. Этот показатель важен для понимания потенциальных рисков для качества воздуха в данном регионе и может быть использован при разработке стратегий по снижению выбросов вредных веществ и улучшению экологической ситуации.

#### Ри+Рш

где  $P_{ш}$  — повторяемость скоростей ветра 0–1 м/с;  $P_{т}$  — повторяемость числа дней с температурными инверсиями;  $P_{о}$  — повторяемость числа дней с осадками  $\geq 0,5$  мм;  $P_{в}$  — повторяемость скоростей ветра  $\geq 6$  м/с [3].

Таким образом, с помощью указанной выше формулы стало возможным использовать простую метеорологическую информацию для расчета метеорологического потенциала атмосферы, учитывая факторы, которые способствуют как накоплению вредных примесей в атмосфере, так и ее самоочищению. Предложенный метод определения метеоемкости атмосферы может быть применен не только в планировании и экспертизе природоохранных мероприятий, но и для оценки влияния метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферы в прошлом времени [4].

По данным реанализа ERA5, рассчитан потенциал загрязнения атмосферы за 2021 год в пограничном слое атмосферы и описан характер его распределения по территории Республики Казахстан. Ввиду наличия большого количества точек сетки на территории исследования реанализ обеспечивает равномерное покрытие территории и дает возможность на основе этих данных построить карты и вы-

делить области повышенных и пониженных значений ПЗА [5]. В целях учесть максимально возможное количество случаев, приводящих к загрязнению атмосферы, были взяты наблюдения за каждый час, 24 сроков. Частая повторяемость таких неблагоприятных метеоусловий приводит к скоплению примесей в атмосфере.

Вертикальное распределение температуры воздуха в пограничном слое атмосферы оценивалось путём приращения данных по температуре на трех геопотенциальных высотах:

- высоте изобарической поверхности 1000 гПа, соответствующей уровню Земли;
- высоте изобарической поверхности 925 гПа, соответствующей уровню 750 м;
- высоте изобарической поверхности 850 гПа, соответствующей уровню 1500 м.

В результате были получены три слоя  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ , определенные по формулам:

$$\Delta T_1 = T_{1000} - T_{925}.$$

$$\Delta T_2 = T_{925} - T_{850}.$$

Оценка потенциала загрязнения атмосферы помогает определить приоритетные области или источники для принятия мер по снижению выбросов и улучшению качества воздуха. Это может способствовать разработке и реализации политик и программ, направленных на защиту окружающей среды и здоровья людей.

### *Результаты и их обсуждение*

За температурную инверсию принимались случаи с отрицательными значениями одновременно  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$ . В сочетании с различными скоростями ветра инверсии температуры могут усиливать опасность накопления примесей или создавать благоприятные условия для их диффузии. Минимальные концентрации наблюдаются при отсутствии инверсионных слоев, когда создаются условия хорошего перемешивания воздушной массы [3]. Повторяемость температурных инверсий заметно увеличивается в центральной части страны, протягиваясь на восток (рис. 1).

Известно, что наиболее эффективное рассеивание выбросов загрязняющих веществ происходит при наличии благоприятных метеорологических условий, которые характеризуются активной циклонической активностью, частыми осадками и сильными ветрами. Ветровой режим — один из основных метеопараметров, влияющий на перенос и рассеивание примесей в атмосфере.

Условия аккумуляции примесей особенно обостряются при наличии застойных ситуаций, когда штиль или слабый ветер сопровождается приподнятой инверсией, в таком случае создается особо опасное загрязнение приземного слоя атмосферы [1].

Ветра со скоростью больше 6 м/с наблюдаются в юго-западных регионах (рис. 2), в то время как ветра со скоростью менее 1 м/с (штилей) господствуют в западных и южных окраинах страны (рис. 3).

Следующим метеопараметром, способствующим очищению атмосферного воздуха от примесей, являются осадки, влияние которых учитывается через повторяемость числа дней с осадками  $\geq 0,5$  мм за сутки. Такое количество осадков способно осадить придорожную пыль и другие аэрозоли. К примеру, при выпадении осадков, концентрации сернистых газов и диоксида азота понижаются, окислители в виде озона и других веществ летом после дождя исчезают из атмосферы почти полностью [6]. Недостаток осадков испытывает страна практически повсеместно, сильнее всего выражена юго-западная часть. Сравнительно в лучшем положении предгорные районы на востоке и юге (рис. 4).

Метеорологические условия играют роль в накоплении примесей, определяя высокий потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА). В то же время благоприятные метеорологические условия способствуют рассеиванию примесей и определяют низкий ПЗА [7].

Территория Казахстана отличается значительным разнообразием климатических условий, которые влияют на потенциал загрязнения атмосферы. Эти условия определяют способность переноса и рассеивания примесей, которые поступают в воздушный бассейн от промышленных предприятий и автотранспорта. Потенциал загрязнения атмосферы дает возможность рассчитать вклад метеорологических явлений и их характеристик в формирование уровня загрязнения воздуха. Для выражения способности атмосферы к самоочищению, измеряемой в условных единицах, основным средством визуализации является цвет. В данном случае использовано шесть различных оттенков, которые отражают шесть градаций этой способности (рис. 5). Различают несколько зон ПЗА:

- зона низкого ПЗА — южная и центральная части Кызылординской области и северо-восток Мангистауской области;

- зона умеренного ПЗА — Западно-Казахстанская и Атырауская области, запад Павлодарской области;
- зона повышенного ПЗА — Карагандинская, Павлодарская, Акмолинская области;
- зона высокого ПЗА — Улытауская, Костанайская, Абайская области;
- зона опасного ПЗА — южные части Туркестанской, Жамбылской областей, север Алматинской области, центральная часть Восточно-Казахстанской области;
- зона чрезвычайно опасного ПЗА — южные части Туркестанской, Жамбылской, Алматинской областей, юго-восточная часть Жетысуской и Восточно-Казахстанской областей.

В среднем за рассматриваемый год большая часть территории Республики Казахстан имела благоприятные условия для рассеивания примесей. Неблагоприятные условия устойчиво отмечались только на восточной и южной перифериях страны.

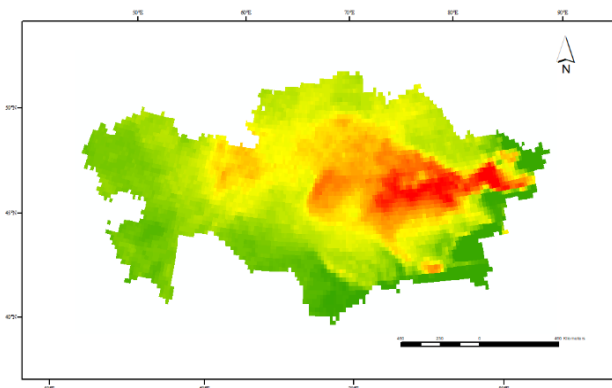


Рисунок 1. Распределение повторяемости температурных инверсий на территории Республики Казахстан

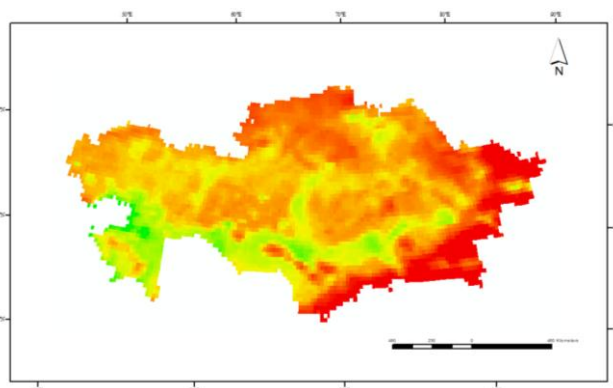


Рисунок 2. Распределение повторяемости скоростей ветра  $\geq 6$  м/с на территории Республики Казахстан

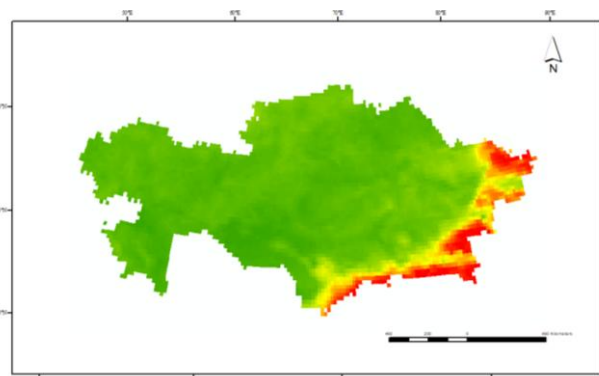


Рисунок 3. Распределение повторяемости скоростей ветра 0–1 м/с на территории Республики Казахстан

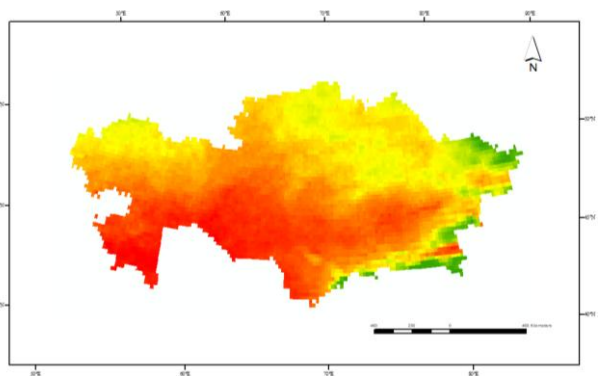


Рисунок 4. Распределение повторяемости числа дней с осадками  $\geq 0,5$  мм на территории Республики Казахстан

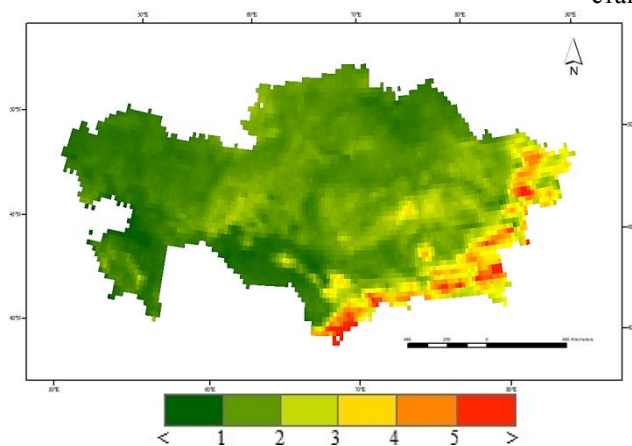


Рисунок 5. Распределение потенциала загрязнения атмосферы на территории Республики Казахстан

### Заключение

Таким образом, для оценки воздействия на окружающую среду был проведен расчет потенциала загрязнения атмосферы. ПЗА, или потенциал загрязнения атмосферы, представляет собой совокупность погодных условий, которые определяют способность атмосферы к рассеиванию выбросов вредных веществ и формированию определенного уровня концентрации примесей в приземном слое.

Детальные карты распределения климатических характеристик пограничного слоя атмосферы Республики Казахстан на основе данных реанализа ERA5 позволили выявить области наибольшей и наименьшей повторяемости условий формирования потенциала загрязнения атмосферы. Проведенный анализ показывает, что на территории республики могут образовываться зоны с низким, средним и высоким уровнями потенциала загрязнения атмосферы. В распределении ПЗА на территории республики в 2021 году выделяются 6 зон с различными значениями. Рассчитанный ПЗА распределен неоднородно по территории Республики Казахстан. Такие области, как Кызылординская, Мангистауская и западная часть Туркестанской области имеют очень хорошую рассеивающую способность. И, наоборот, плохая рассеивающая способность и очень высокий потенциал загрязнения атмосферы отмечаются на восточных и южных частях страны (рис. 5).

Эти исследования позволяют более полно понимать, как метеорологические факторы влияют на экологическую обстановку, и выявить условия, при которых атмосфера способствует более эффективному рассеиванию загрязняющих веществ. Эта информация может быть полезной при разработке мероприятий по снижению загрязнения атмосферы и улучшению качества воздуха в регионе. Однако в настоящее время системы гидрометеорологических служб не обладают достаточными оперативными данными, чтобы полностью заполнить такие модели.

В заключение следует отметить, что мероприятия по обеспечению чистоты воздуха городов следует планировать на те периоды, когда наиболее вероятны неблагоприятные метеорологические условия. Понятно, что невозможно избежать таких погодных условий, но на промышленных объектах, расположенных в этих районах следует уделять большое внимание очистным сооружениям и эффективности их работы. Полученные результаты могут быть применены при планировании размещения промышленных предприятий на территории республики с целью уменьшения уровня загрязнения атмосферного воздуха путем разумного использования рассеивающей способности метеорологических факторов и явлений.

### Список литературы

- 1 Аргучинцева А.В. Потенциал самоочищения атмосферы / А.В. Аргучинцева, Е.А. Кочугова // Изв. Иркут. гос. ун-та — 2019. — Т. 27. — С. 3–15. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-samoochischniya-atmosfery/viewer>
- 2 Фетисова Л.М. Методы оценки и прогноза загрязнения воздуха: учеб. пос. / Л.М. Фетисова, Н.В. Короткова, Н.А. Фетисова. — Саратов: Саратов. гос. ун-т, 2011. — 48 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://elibrary.sgu.ru/uch\\_lit/121.pdf](http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/121.pdf)
- 3 Ахметшина А.С. Инверсии температуры воздуха как фактор, влияющий на уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы (на примере г. Томска): дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 — «Геоэкология» (по отраслям) / А.С. Ахметшина // Национальный исследовательский Томский государственный университет. — Томск, 2015. — 210 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/inversii-temperatury-vozdukha-kak-faktor-vliyayushchii-na-uroven-zagryazneniya-pogranichnogo>
- 4 Щепетова В.А. Расчет потенциала и индекса загрязнения атмосферного воздуха на примере ЗАО «Пензенская зерновая компания» / В.А. Щепетова, К.С. Бесшапошникова // Образование и наука в современном мире. Инновации. — 2016. — № 2 (15). — С. 268–276. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32466173>
- 5 Тетерин А.Ф. Климатический потенциал рассеивания атмосферы на территории Урала / А.Ф. Тетерин, Ю.И. Маркелов, В.С. Ворожнин // Вестн. Нижневарт. гос. ун-та. — 2013. — № 3. — С. 43–50. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskij-potentsial-rasseivaniya-atmosfery-na-territorii-urala/viewer>
- 6 Кабдыкадыров А.А. Климатический потенциал самоочищения атмосферы в г. Усть-Каменогорске / А.А. Кабдыкадыров, О.А. Зубова, Г.А. Муканова // Вестн. Казах. голов. архит.-строит. акад. — 2021. — № 1 (79). — С. 307–316. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.kaznu.kz/content/files/pages/folder7387/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%20\(2021\).pdf](https://www.kaznu.kz/content/files/pages/folder7387/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%20(2021).pdf)

7 Селегей Т.С. Отчет о научно-исследовательской работе. Разработать усовершенствованный комплексный метеорологический показатель рассеивающей способности атмосферы (на примере территории Западной Сибири) / Т.С. Селегей, А.П. Быков, Т.П. Панькова // Сиб. регион. науч.-исслед. гидрометеоролог. ин-т. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://clck.ru/3CoZeN> (Дата обращения: 23.08.2024).

Г.Е. Саспугаева, Г.С. Актаева, Ә.М. Жакен, Н.М. Дузбаева, А. Зандыбай, А.О. Дарибай

## ERA5 реанализінің деректері бойынша Қазақстан Республикасының аумағындағы 2021 жылғы атмосфераның ластану потенциалы

Атмосфералық шекаралық қабаттағы ауаның ластану потенциалы ERA5 реанализінің деректері бойынша есептелді және оның Қазақстан Республикасының аумағы бойынша таралуы сипатталды, атмосфераның ластану потенциалының қалыптастыру жағдайларының ең көп және ең аз қайталану аймақтары анықталды. Атмосфера халық пен экожүйелерді сақтау үшін қауіпсіз жағдайларды қамтамасыз ететін іс жүзінде сарқылмас ресурс болып саналады. Алайда, адамның шаруашылық әрекетінің нәтижесінде атмосферада көптеген ластанушы заттар пайда болады, атмосфералық ауа сапасының едәуір өзгеруі ірі қалаларда байқалады. Зерттеу метеорологиялық параметрлердің атмосферадағы ластанушы заттардың концентрациясына, олардың қозғалуына және атмосфераның өзін-өзі тазарту қабілетіне маңызды әсерін көрсетеді. Климаттық әлеуетті анықтауға бағытталған есептеулер жүргізілді, бұл Қазақстан Республикасының аумағындағы атмосфераның өзін-өзі тазарту деңгейін анықтауға мүмкіндік берді. Қазіргі уақытта өзін-өзі тазарту механизмі атмосферадағы ластанушы заттардың көп мөлшерін жеңе алмайды, содан кейін қоспалардың жоғары концентрациясы пайда болады. Атмосфераның ластану әлеуеті атмосфераның ластанушы заттардан өзін-өзі тазарту қабілетін бағалаудың кең қолданылатын әдістерінің бірі. Бұл әдіс белгілі бір аймақтағы нақты шығарындылардағы зиянды заттардың орташа концентрациясының шартты концентрацияға қатынасын есептеуге негізделген.

*Кілт сөздер:* атмосфераның ластану әлеуеті, атмосфералық ауа, температураның инверсиясы, жауын-шашын, желдің жылдамдығы, атмосфераның таралу қабілеті.

G.Y. Saspuayeva, G.S. Aktayeva, A.M. Zhaken, N.M. Duzbayeva, A. Zandybai, A.O. Daribay

## The potential of atmospheric pollution on the territory of the Republic of Kazakhstan according to the ERA5 reanalysis for 2021

According to the data of the reanalysis of ERA5, the potential of atmospheric pollution in the boundary layer of the atmosphere was calculated and the nature of its distribution over the territory of the Republic of Kazakhstan was described, the areas of the greatest and least repeatability of the conditions for the formation of the potential of atmospheric pollution were identified. As a result of human economic activity, a large number of pollutants appears in the atmosphere, the most significant changes in the quality of atmospheric air are observed in large cities. At the moment, the self-cleaning mechanism cannot cope with a large number of pollutants in the atmosphere, which leads to the formation of high concentrations of impurities. The potential of atmospheric pollution is one of the widely used ways to assess the self-purification of the atmosphere from pollutants. This method represents the ratio of average concentrations of harmful substances with actual emissions in a specific and conditional region.

*Keywords:* atmospheric pollution potential, atmospheric air, temperature inversions, precipitation, wind speeds, atmospheric scattering capacity.

### References

- 1 Arguchintseva, A.V., & Kochugova, E.A. (2019). Potentsial samoochishcheniia atmosfery [Potential for self-purification of the atmosphere]. *Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta — News of Irkutsk State University*, 27, 3–15. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-samoochishcheniya-atmosfery/viewer> [in Russian].
- 2 Fetisova, L.M., Korotkova, N.V., & Fetisova, N.A. (2011). *Metody otsenki i prognoza zagriazneniia vozdukhа [Methods for assessing and forecasting air pollution]*. Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi universitet. [http://elibrary.sgu.ru/uch\\_lit/121.pdf](http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/121.pdf) [in Russian].
- 3 Akhmetshina, A.S. (2015). *Inversii temperatury vozdukhа kak faktor, vliiauiushchii na uroven zagriazneniia pogranichnogo sloia atmosfery (na primere g. Tomskа) [Temperature inversions as a factor influencing the pollution level of the atmospheric boundary layer (on the example of Tomsk)]* (Doctoral dissertation, Tomsk State University).

<https://www.dissercat.com/content/inversii-temperatury-vozdukha-kak-faktor-vliyayushchii-na-uroven-zagryazneniya-pogranichnogo> [in Russian].

4 Shchepetova, V.A., & Besshaposnikova, K.S. (2016). Raschet potentsiala i indeksa zagriazneniia atmosfernogo vozdukha na primere ZAO «Penzenskaia zernovaia kompaniia» [Calculation of potential and index of air pollution on the example of JSC “Penza Grain Company”]. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii — Education and Science in the Modern World. Innovations*, 2(15), 268–276. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32466173> [in Russian].

5 Teterin, A.F., Markelov, Yu.I., & Vorozhnin, V.S. (2013). Klimaticheskii potentsial rasseivaniia atmosfery na territorii Urala [Climatic potential for atmospheric dispersion in the Ural region]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta — Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 3, 43–50. <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskii-potentsial-rasseivaniya-atmosfery-na-territorii-urala/viewer> [in Russian].

6 Kabdykadyrov, A.A., Zubova, O.A., & Mukanova, G.A. (2021). Klimaticheskii potentsial samoochishcheniia atmosfery v g. Ust-Kamenogorske [Climatic potential for self-purification of the atmosphere in Ust-Kamenogorsk]. *Vestnik Kazakhskoi glavnoi arkhitekturno-stroitelnoi akademii — Bulletin of the Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering*, (1(79)), 307–316. Retrieved from [https://www.kaznu.kz/content/files/pages/folder7387/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%20\(2021\).pdf](https://www.kaznu.kz/content/files/pages/folder7387/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%20(2021).pdf) [in Russian].

7 Selegey, T.S., Bykov, A.P., & Pankova, T.P. (2013). Razrabotat usovershenstvovannyi kompleksnyi meteorologicheskii pokazatel rasseivaiushchei sposobnosti atmosfery (na primere territorii Zapadnoi Sibiri) [Develop an improved comprehensive meteorological indicator of the atmosphere's dispersing ability (on the example of Western Siberia)]. *Siberian Regional Scientific Research Hydrometeorological Institute*. Electronic resource. Regime of access: <https://clck.ru/3CoZeN> [in Russian].

#### Information about the authors

**Saspugayeva Gulnur Yerzhanovna** — PhD in environmental sciences, Associate professor, Department of Environmental engineering and protection, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: [gulnur\\_erzhanovna@mail.ru](mailto:gulnur_erzhanovna@mail.ru);

**Aktayeva Gulshat Sabyrovna** — Master of 2 course, Department of Environmental engineering and protection, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: [gulshat\\_14\\_04@mail.ru](mailto:gulshat_14_04@mail.ru);

**Zhaken Assel Mukhtarkyzy** — Doctorate of 2 course, Department of Environmental engineering and protection, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: [zhaken.asel@gmail.com](mailto:zhaken.asel@gmail.com);

**Duzbayeva Nazira Matkerimovna** — Candidate of biological sciences, Associate professor of Department of Zoology, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: [gulnur\\_erzhanovna@mail.ru](mailto:gulnur_erzhanovna@mail.ru);

**Zandybai Amanbek** — Candidate of biological sciences, Associate professor of Department of Environmental engineering and protection, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: [amanbek\\_z@mail.ru](mailto:amanbek_z@mail.ru);

**Daribay Ainur Ontalapovna** — PhD in environmental sciences, Senior lecturer of Department of Environmental engineering and protection, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: [adaribai@mail.ru](mailto:adaribai@mail.ru).