

О влиянии условий окружающей среды на распространение вируса SARS-CoV-2 в Украине

С.Г. Бойченко¹, О.С. Голубка², В.И. Карамушка³, 2020

¹Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

²ГУ «Институт эпидемиологии и инфекционных болезней им. Л.В. Громашевского НАМН Украины», Киев, Украина

³Национальный университет «Киево-Могилянская академия», Киев, Украина
Поступила 1 сентября 2020 г.

Принимая во внимание, что климатические и атмосферные процессы в определенной мере могут влиять на вирусные эпидемии, в работе выполнен анализ динамики показателей инфицирования вирусом SARS-CoV-2 в сопоставлении с климатическими показателями (температурой, осадками, влажностью и др.) на территориях Киева, Киевской, Днепропетровской, Одесской и Хмельницкой областей на протяжении апреля—августа 2020 г. Для оценки влияния условий окружающей среды на процесс инфицирования вирусом введен индекс подтвержденных случаев инфицирования (*index of confirmed cases, ICC*). Показано, что весной, в частности в мае, индекс ICC повышался при похолодании и снижался при потеплении. Летом индекс ICC снижался при повышении температуры с запаздыванием инфицирования на 5—7 дней, что связано, по-видимому, с периодом инкубации вируса (5—14 дней). В частности, не наблюдалось значимого увеличения значений ICC при высоких температурах (свыше 30 °C). Относительная влажность атмосферного воздуха и температура точки росы более тесно связаны с эффективностью передачи вируса. Так, весной с повышением относительной влажности наблюдалось увеличение значений индекса ICC, и наоборот, при снижении относительной влажности индекс ICC уменьшался. Летом при высоких температурах воздуха и флуктуациях относительной влажности индекс ICC в основном снижался, за исключением нескольких погодных ситуаций. Уменьшение количества атмосферных осадков в апреле-августе 2020 г. в Украине, вероятно, повлияло на активность аэрозольной передачи вирусов (преобладал воздушно-пылевой перенос). При этом установлено, что повышение индекса ICC в дождливые периоды коррелирует с количеством дней с осадками (менее — с количеством выпавших осадков), причем наблюдается запаздывание роста показателей инфицирования на несколько дней. Анализ возможного влияния кислотности осадков на выживаемость вируса SARS-CoV-2 свидетельствует об отсутствии существенного влияния этого фактора на распространение вирусной инфекции. Согласно представленным результатам анализа данных инфицирования вирусом SARS-CoV-2 в Украине, существует определенная зависимость этого процесса от климатических факторов, что важно для оценки рисков инфицирования и связанных с ними сопутствующих заболеваний.

Ключевые слова: вирус SARS-CoV-2, климатические условия, приземная температура, влажность воздуха, точка росы, атмосферные осадки и их кислотность.

Введение. Различные факторы окружающей среды (климатические, метеорологические, геомагнитные и др.) в определенной степени влияют на вспышки и распространение эпидемий и пандемий, послед-

ствия которых вызывают в свою очередь опосредованное влияние на окружающую среду из-за социальных ограничений и резкого сокращения экономической и других видов деятельности [Сох, 2000; Орлюк

и др., 2007; WHO, 2018, 2018a; Liu, 2020].

Вирусные пандемии наблюдаются все чаще и становятся все более опасными. Только в последние десятилетия человечество столкнулось с несколькими крупными пандемическими вспышками респираторных вирусов:

- SARS-CoV (2002—2004 гг.) — тяжелый острый респираторный синдром, вспышка которого зафиксирована в округе Фошань (Китай), а также в 35 странах мира. Инфицировано более 8460 человек, летальность около 11 %. Эпидемия прекратилась в результате противоэпидемиологических мер, а социальные ограничения имели региональный характер [LeDuc, Barry, 2004];

- Pandemic (H1N1) 09 Virus (2009—2010 гг.) — «мексиканский свиной грипп», который впервые проявился в Мексике и США. Пандемия имела глобальный характер, вирус распространялся из-за глобальной мобильности, в результате инфицирования этим вирусом заболело около 1,4 млрд человек, а летальность составила примерно 0,4 % [WHO, 2009, 2018a];

- MERS-CoV (2012—2020 гг.) — коронавирус ближневосточного респираторного синдрома. Впервые выявлен в Саудовской Аравии и Иордании. Источником стали верблюды; вспышки инфицирования продолжаются и сейчас с высоким риском глобального распространения. Всего зарегистрировано около 2,5 тыс. заболевших, а умерло около 900 человек [Memish et al., 2020];

- A/H5N1 (2003—2014 гг.) — птичий грипп (avian flu, bird flu) впервые проявился в Гонконге в 1997 г., спорадические вспышки зафиксированы среди людей более чем в 60 странах, подтвержденных случаев заболевания 655, умерло около 390 человек [Tian, Xu, 2015];

- SARS-CoV-2 (2019—2020 гг.) — вторая вспышка заболеваний, вызванных вирусом SARS-CoV. Начало пандемии 2019 г., город Ухань (Китай). По состоянию на август 2020 г. зафиксировано 24 млн инфицированных человек и 832 тыс. летальных исходов [WHO, 2019, 2020a].

Указанные пандемические вспышки

заболеваний, вызванных респираторными вирусами, имели место и на территории Украины. Исследования в области пространственно-временных особенностей развития вирусных заболеваний, мониторинг за циркулирующими вирусами и выявление новых вирусов, в том числе с пандемическим потенциалом, осуществляется в Украине системой дозорного эпиднадзора за гриппом. Результаты исследований опубликованы в работах [Голубка, 2013; Дозорний ..., 2020].

В умеренных широтах, включая территорию Украины, распространение респираторных вирусов имеет в основном сезонный характер, их начало приходится на первую половину октября и конец в марте. Нетипичное распространение заболеваний, вызванных вирусом SARS-CoV-2 для средних широт, зарегистрированное в теплый период 2020 г., позволяет исследовать возможное влияние различных факторов окружающей среды на развитие SARS-CoV-2 на территории нашей страны.

Основными факторами, которые могут влиять на распространение и развитие вируса гриппа, кроме штаммоспецифических особенностей, называют: условия окружающей среды, социальные и поведенческие аспекты населения (периодичность занятий в школах и ВУЗах; социальная дистанцированность, модели мобильности человека и скорости контактов и др.), иммунный статус человека, а также уровень экономики и медицинского обслуживания населения в стране [WHO, 2019; Liu et al., 2020].

Основными механизмами передачи респираторных вирусов от человека к человеку в окружающей среде является: аэрозольный и контактный [WHO, 2020b].

Установлено, что вирусные агенты, разбрызганные в воздухе при кашле, чихании, разговоре или пении, объединяются с другими частицами и переносятся в виде аэрозоля. На перенос и выживаемость вируса в аэрозолях влияют условия окружающей среды (температура, влажность, скорость ветра и т. д.), турбулентные движение воздуха и другие условия, обусловленные синоптическими процессами. Также перенос

аэрозольных частиц зависит от их размера, массы и формы¹.

Наиболее вероятными путями аэрозольной передачи SARS-CoV-2 от человека к человеку в воздушной среде являются:

а) воздушно-капельный — через выделения, содержащие вирусы, из дыхательных путей или образующиеся из этих жидкостей мелкие капли, вылетающие в воздух при чихании, распространяются обычно на небольшие расстояния (1—2 м от источника) [WHO, 2020б]. В открытом воздушном пространстве ветром и турбулентными движениями воздуха вирусы могут переноситься и на более далекие расстояния [Prather et al., 2020];

б) воздушно-пылевой — при распространении взвешенных в воздухе аэрозолей, на которых вирус долгое время остается жизнеспособным и также может переноситься на большие расстояния [Hammond et al., 1989; WHO, 2020б].

В среднем каждый раз при кашле или чихании в воздух выбрасывается от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^6$ мельчайших частиц, которые остаются во взвешенном состоянии в атмосфере продолжительное время [Hammond et al., 1989]. *Мелкодисперсные* аэрозольные

частицы диаметром 0,5—5,0 мкм обычно заносятся при вдыхании в легкие, где и оседают, но большинство из них выносятся при выдохе. В воздухе во взвешенном состоянии вирус в аэрозоле может оставаться от нескольких часов до нескольких дней и это способствует его выживанию. *Среднедисперсные* аэрозольные частицы (5—15 мкм) оседают в носоглотке и трахее, почти не достигают легких, но при чихании они могут быть подхвачены турбулентными потоками. *Крупнодисперсные* аэрозольные частицы (15—20 мкм и больше) переносятся на короткие расстояния и затем седиментируют на различные поверхности.

Таким образом, аэрозольные частицы всех размеров с вирусом могут седиментировать непосредственно на слизистых оболочках дыхательных путей (прямой контакт) или на поверхности (фомиты — контаминированные вирусом объекты), где вирус может сохраняться некоторое время, а затем уже переносится на слизистые оболочки (непрямой контакт) [WHO, 2020б]. На поверхностях жизнеспособный вирус SARS-CoV-2 обнаруживается от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от условий среды [Van Doremalen et al., 2020].

Вирус SARS-CoV-2 имеет определенные отличия от других вирусов гриппа. В частности, средняя продолжительность инкубационного периода (время от момента заражения до возникновения симптомов) и время генерации (время между заражением одного человека и заражением другого) при гриппе меньше, чем при SARS-CoV-2 [WHO, 2020a]. Так, время генерации при коронавирусе составляет 5—6 дней, но может длиться до 14 дней, а при гриппе около 3 дней, т. е. грипп может распространяться быстрее. Быстрота распространения вируса как социально детерминирована, так и зависит от метеорологических условий. В умеренных широтах вспышка заболеваний, вызванных респираторными вирусами в теплый период года, зафиксирована впервые, в прошлые годы эпидемии носили сезонный характер в холодный период года.

¹ Вирион коронавируса чаще всего имеет сферическую форму (или приближенную к шаровидной) диаметром 60—220 нм (в среднем 100—120 нм), с сердцевинкой в центре, содержащей нуклеиновую кислоту, и шероховатую суперкапсидную белковую и липопротеидную оболочку (толщиной около 10—15 нм) с гликопротеиновыми шипиками длиной 8—15 нм [Карашева, 2001]. Для сферической формы свежевыделенного штамма вируса гриппа типа А плотность составляет 0,9—1,1 кг/м³, а объем — $117,8 \cdot 10^{-23}$ м³, но после определенного времени циркуляции и передачи от человека к человеку, вирус изменяет свои свойства, например, плотность и объем частички может увеличиться приблизительно в 14 раз [Микита, 2009].

Вирусы слабоустойчивы к нагреванию. Так, в результате экспериментов было установлено, что при температуре 56 °С около 20 мин вирус начинает инактивироваться, но полная его инактивация наступает при более длительном пребывании в этих условиях или при повышении температуры до 75 °С [Darnell Miriam, 2004]. Также вирусы устойчивы к холоду и хорошо переносят минусовые температуры. В условиях лаборатории вирусосодержащий материал сохраняют в жидком азоте в температуре $-(80-90)^\circ\text{C}$ [Карашева, 2001].

Цель исследований — анализ и обобщение материалов, касающихся влияния климатических, метеорологических и геофизических факторов окружающей среды (в частности, аномальных погодных условий, климатической зональности, относительной влажности воздуха, приземной температуры, температуры точки росы, количества атмосферных осадков и их кислотности, скорости ветра, уровня ультрафиолетового излучения) на распространение SARS-CoV-2 в Украине в апреле—августе 2020 г., в нетипичное время для распространения и развития вирусов на нашей территории.

Методы и материалы. Для анализа возможного влияния условий окружающей среды на распространение SARS-CoV-2 в Украине были использованы следующие эмпирические данные:

- суточные данные о подтвержденных случаях инфицирования вирусом SARS-CoV-2 и количестве обратившихся с подозрением на инфицирование вирусом респираторного синдрома в целом по Украине, а также в Киеве, Киевской, Днепропетровской, Одесской и Хмельницкой областях в апреле—августе 2020 г. (ресурс [Coronavirus, 2020; ЦГЗ, 2020]).

- суточные и среднемесячные метеорологические данные (приземная температура, относительная влажность воздуха, скорость ветра, количество атмосферных осадков, температура точки росы), а также количество дней с аномально высокими температурами 30 °C и выше, полученные на метеостанциях «Киев», «Днепр», «Одесса» и «Хмельницкий» в апреле—августе 2020 г. (ресурсы [Weather ..., 2020; ЦГО, 2020; Open Data-Server, 2020]);

- среднемесячные значения климатической нормы метеопараметров для периода 1961—1990 гг. [Кліматичний ..., 2005].

В исследовании использовались статистические методы обработки данных и графического представления результатов с помощью программного пакета Microsoft Office Excel. Для оценки теплоощущения человека при определенных погодных условиях, был использован показатель эквива-

лентно-эффективной температуры (ЭЭТ) (формула Миссенарда) [Исаев, 2001].

Аналитический обзор, представленный в настоящей статье, основан на данных (информации и результатах исследований), опубликованных в надежных научных источниках и на электронных ресурсах.

В силу того, что мы имели дело с процессом с множеством детерминант, с целью уменьшения ошибок и избавления от случайных выбросов для дальнейшего анализа эмпирические ряды подтвержденных случаев инфицирования вирусом были модифицированы путем нормирования. Нами было сделано предположение, что этот процесс имеет линейную зависимость от времени, поэтому линейный тренд был убран, что позволило в определенной мере отсеять влияние главных доминирующих главных факторов (социального и медицинского). Далее значения модифицированного ряда будем называть индексом подтвержденных случаев инфицирования вирусом (*index of confirmed cases* — $ICC_k(t)$) и вычислять по соотношению

$$ICC_k(t) = \frac{v_k(t) - a_k}{s_k} - Tr_k(t),$$

где $v_k(t)$ — количество подтвержденных случаев инфицирования вирусом в k -м регионе за время t (день), a_k и s_k — среднее значение и среднеквадратическое отклонение количества подтвержденных случаев инфицирования вирусом за промежутки времени Δt (01.04.2020—31.08.2020), $Tr_k(t)$ — значение тренда для k -го региона и для времени t . Параметры для расчетов модифицированных рядов приведены в табл. 1.

По сути, индекс ИСС дает понимание прохождения процесса инфицирования и отражает уровень отклонения (или аномальности) в ту или иную сторону от среднего значения.

Эколого-экономические аспекты последствий пандемии и карантина. Большинство аспектов воздействия пандемии SARS-CoV-2 на окружающую среду не являются прямым результатом действия вируса, а опосредованными последствиями от ограничения многих секторов экономи-

Т а б л и ц а 1. Параметры для вычисления модифицированных рядов подтвержденных случаев инфицирования вирусом

Параметр	Регион				
	Киев	Киевская область	Днепропетровская область	Одесская область	Хмельницкая область
a_k	86,3	36,7	15,4	44,5	15,7
s_k	57,2	21,0	17,1	48,8	20,3
$Tr_k(\Delta t)$	1,0	0,32	0,11	0,85	0,27

ки (промышленности, транспорта, туризма, гостиничного и ресторанного бизнеса и т.д.), что привело к снижению антропогенной нагрузки в период карантина и ограничений. Согласно с расчетами, представленными в работе [Le Quéré et al., 2020], в апреле 2020 г. глобальные выбросы CO_2 сокращены на 17 % по сравнению с показателями 2019 г., что могло привести к некоторому снижению приземной температуры. В общем радиационном форсинге доля такого снижения выбросов эквивалентна аналогичному естественному влиянию извержения вулкана Пинатубо (Филиппины) в 1991 г., после которого температура на планете снизилась на 1,0—1,5 °C на несколько лет [Minnis et al., 1993]. Правда, механизмы влияния на земную климатическую систему этих двух процессов различны.

Принятые для сдерживания пандемии меры привели к локальным, региональным и глобальным последствиям, имеющим как отрицательный, так и положительный характер с определенным временем действия. С одной стороны, резкое сокращение экономической деятельности улучшило состояние окружающей среды и в определенной мере повлияло на земную климатическую систему [Ching, Kajino, 2020; Walker et al., 2020]. С другой стороны, проявились и негативные последствия, связанные с увеличением объемов перерабатываемых отходов, а также с накоплением органических отходов пищевой, сельскохозяйственной и рыбной продукции.

Экономический кризис, связанный с SARS-CoV-2, как ни одна другая природная или техногенная катастрофа охватил планету, сделав наиболее уязвимыми ме-

гаполисы [Cheval et al., 2020; Walker et al., 2020]. «Метаболические» процессы (относительно мобильности, дорожного движения, экономических, культурных и спортивных взаимообменов) многих крупных городов мира фактически были замедлены или приостановлены. Города с высокой плотностью населения, в отличие от сельских регионов, где население имеет земельные участки с огородами и садами, оказались под более серьезным вызовом пандемии, так как условия изоляции нарушили привычный уклад жизни горожан, определенный уровень комфорта, защиты и доходов, а также внесли изменения в психическое и физическое здоровье людей.

Возникли также трудности в обслуживании и мониторинге природных экосистем, в проведении натурных экспериментов и исследований [Ching, Kajino, 2020; Cheval et al., 2020]. Так, наблюдается определенное снижение объемов данных, получаемых с платформ мониторинга окружающей среды, в частности Aeronautical meteorological service providers (AMSPs) и др. А значит, необходимо иметь системы дистанционного сбора информации и производить резервное дублирование мониторинга, поскольку эмпирические данные имеют большое значение для оперативного прогнозирования геофизических, экологических, погодных, гидрологических и других условий.

Основные наблюдаемые и потенциальные положительные и негативные воздействия SARS-CoV-2 на окружающую среду и изменение климата в глобальном, региональном и локальном разрешении, представленные в работе [Cheval et al., 2020], были нами обобщены, дополнены и уточнены с учетом ситуации в Украине.

Результаты анализа возможных и наблюдаемых опосредованных воздействий на окружающую среду и общественные институты представлен на рис. 1. Видно, что процессы, связанные с пандемией вируса, в целом способствовали улучшению состояния окружающей среды благодаря снижению негативного влияния экономической деятельности. В то же время на местном уровне возможно дополнительное загрязнение объектов окружающей среды за счет увеличения отходов потребления и отходов санитарно-медицинской деятельности. Возможны также осложнения с противодействием и ликвидацией последствий неблагоприятных природных явлений. В целом пандемия SARS-CoV-2 оказала существенное влияние на политику и планирование развития населенных пунктов и общин.

Таким образом, глобальный кризис и его локальные и региональные проявления, опосредовано спровоцированные SARS-CoV-2, продемонстрировали, что исследования аномальных явлений, систему мониторинга окружающей среды, региональную климатическую политику необходимо комплексно пересмотреть и скорректировать с учетом возможных экологических и социальных событий.

Особенности распространения коронавируса в Украине в 2020 г. Согласно оценкам [WHO, 2020a], 80 % случаев заболевания SARS-CoV-2 характеризуются легким или бессимптомным течением, 15 % — тяжелым и 5 % — крайне тяжелым. Причем при сезонном гриппе, который более типичен для умеренного климата, доля случаев тяжелого и крайне тяжелого течения заболевания, а также смертности был значительно ниже, чем при коронавирусе. Количество умерших, отнесенное к числу зарегистрированных случаев заболевания (летальность), колеблется в пределах 3—4 % при SARS-CoV-2, а при сезонном гриппе обычно находится на уровне до 0,1 % [WHO, 2020a].

По оценкам WHO, среди населения к группам с наибольшим риском заболевания гриппом относят детей младшего и школьного возраста, беременных жен-

щин, людей пожилого возраста (более 65 лет), людей с хроническими заболеваниями (болезни почек, сердечно-сосудистой, нервной и легочной систем, диабет, гематологические и эндокринологические нарушения, иммунодефицит), людей с низким уровнем доходов и бездомных, а также лица, профессиональная деятельность которых связана с массовым обслуживанием населения, интенсивными перелетами и мобильностью (туризм или бизнес) [WHO, 2018a,б]. Однако эти же группы населения также наиболее зависимы от аномальных (экстремальных) погодных условий, в частности, от аномально высоких или низких температур, перепадов атмосферного давления и т. д. [WHO, 2005]. Определенные погодные условия могут осложнить протекание хронических заболеваний у человека, а это делает его более уязвимым и восприимчивым к вирусам, с возможными последующими проявлениями тяжелых осложнений и летальными исходами. В мире ежегодные циркуляции сезонного гриппа являются причиной от 290 до 650 тыс. летальных исходов, из них 50—500 тыс. смертельных случаев вызваны осложнениями в работе сердечно-сосудистой и дыхательной систем [WHO, 2018б].

Подробная информация о подтвержденных случаях заболевания на SARS-CoV-2 в Европейском регионе представлена на сайтах [COVID-19, 2020; WHO, 2020в]. В каждой стране имеются свои особенности распространения коронавируса по возрастным и гендерным группам.

В глобальных масштабах наблюдается неравномерное распределение заболеваемости среди женщин и мужчин (46 % против 54 % соответственно) с некоторыми колебаниями по возрастным группам [WHO, 2020б]. Согласно данным [ЦГЗ, 2020], по состоянию на август 2020 г. в Украине наиболее подвержены инфицированию SARS-CoV-2 люди в возрастной группе 50—65 лет (около 37—38 %) и в группе 30—49 лет (33—38 %), а соотношение подтвержденных случаев инфицирования среди мужчины и женщины составляет 45 % против 55 %, что весьма близко к глобальным оценкам.

	Дни, недели	Месяцы	Годы	
Региональное	Снижение объемов данных наблюдений и мониторинга окружающей среды		Обеспечение системы резервного копирования для сбора информации	
	Осложнение в организации предупреждения и ликвидации последствий крупных природных и техногенных катастроф	Социальные и экономические изменения, влияющие на окружающую среду	Корректирование политики в области окружающей среды и изменения климата	
		Дополнительные экологические исследования для эпидемиологического применения		
		Усовершенствованные системы экологического мониторинга	Спад перевозок и туристической индустрии	
		Повышение роли региональной климатическая политика	Использование возможностей условий регионального климата	
	Снижение загрязнения окружающей среды из за сокращения экономической активности (дорожного движения и спада производства)		Улучшение системы здравоохранения	
	Увеличение загрязнение водных объектов, связанное с водопотреблением и дополнительной санитарной утилизацией	Корректирование планов адаптации к изменениям климата		
	Экологическое оздоровление экосистем		Улучшенное управление рисками	
	Локальное	Осложнение в ликвидации последствий неблагоприятных погодных и стихийных явлений	Улучшение планов развития населенных пунктов в условиях пандемии	
		Снижение шумового загрязнения	Изменения в общественном поведении	
Повышение уязвимости больших городов				
Повышенное загрязнения окружающей среды из-за накопления и утилизации дополнительных отходов потребления и их переработки		Применение лучших практик управления населенными пунктами		
Улучшение качества воздуха в городах из-за транспортных ограничений		Развитие и усовершенствование дистанционных и цифровых технологий		
	Незамедлительно	Кратковременно	Долговременно	

Обозначение: розовые блоки – отрицательные воздействия, зеленые – положительные, а серые – нейтральные, голубые – в процессе разработки.

Рис. 1. Схема возможных и наблюдаемых опосредованных воздействий SARS-CoV-2 на окружающую среду и общественные институты (региональное и локальное разрешение воздействий оценено для Украины).

Fig. 1. Scheme of possible and observable indirect effects of SARS-CoV-2 on the environment and public institutions (regional and local resolution of impacts assessed for Ukraine).

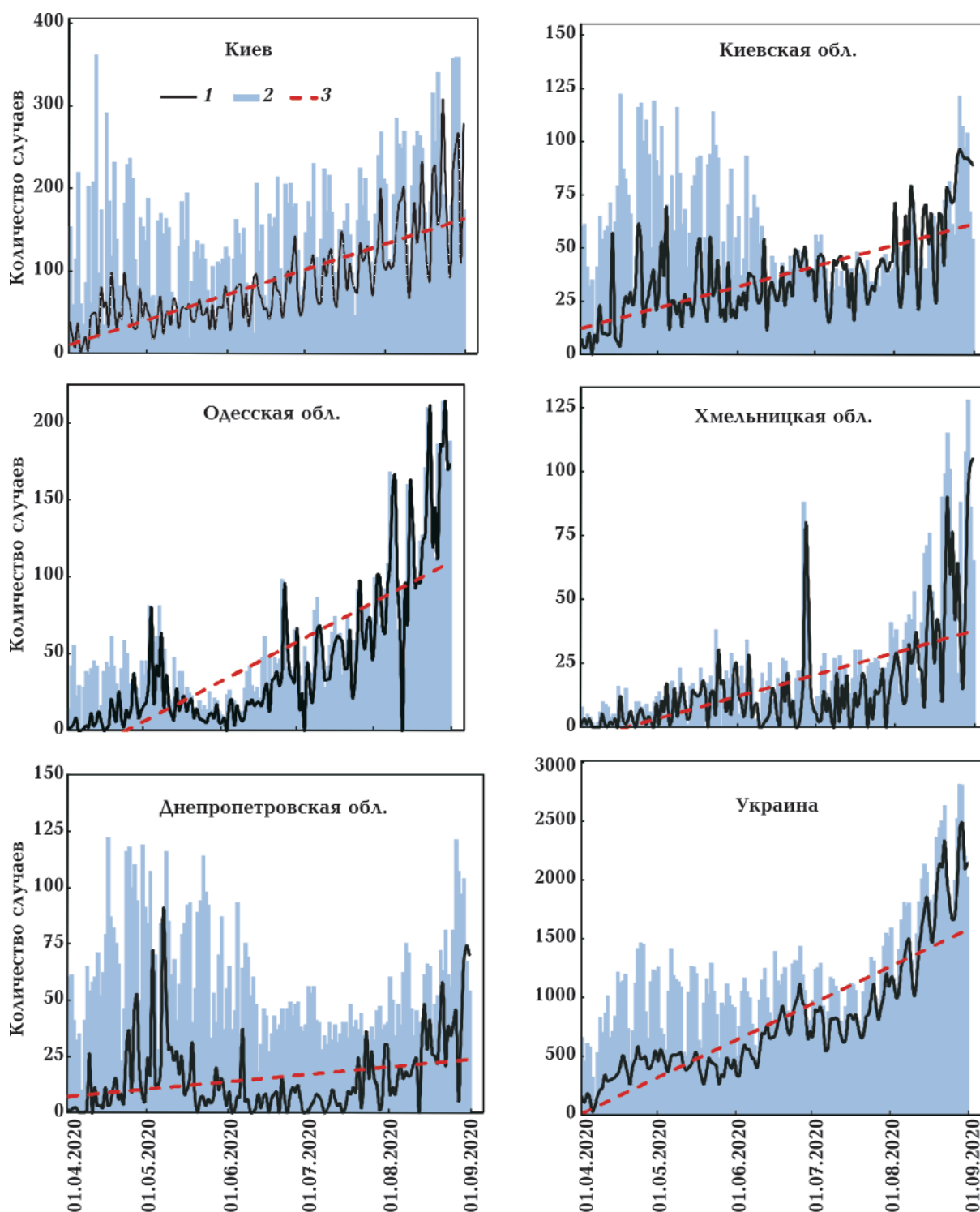


Рис. 2. Динамика подтвержденных случаев инфицирования вирусом SARS-CoV-2 (1 — количество случаев за день, 3 — тренд, случаев за день) и количество обратившихся с подозрениями на респираторный синдром (2) в Киеве, Киевской, Днепропетровской, Одесской и Хмельницкой областях и в целом для территории Украины в апреле—августе 2020 г.

Fig. 2. Dynamics of confirmed cases of infection with the SARS-CoV-2 virus (1 is cases per day; 3 is trend, cases per day) and the number of people applied with suspected respiratory syndrome (2) in Kyiv, Kyiv region, Dnipropetrovsk region, Odessa region, Khmelnytsky region and throughout the territory of Ukraine in April—August 2020.

К концу августа в Украине зафиксировано свыше 121 тыс. подтвержденных случаев и более 2 500 случаев с летальным исходом [ЦГЗ, 2020].

Динамика количества подтвержденных случаев инфицирования SARS-CoV-2 и обращений с подозрениями на респираторный синдром в Украине (Киев, Киевская, Днепропетровская, Одесская и Хмельницкая области) в апреле—августе 2020 г. [Coronavirus, 2020] представлена на рис. 2. Инфицирование SARS-CoV-2, по-видимому, началось в Украине зимой 2019—2020 гг., но системные данные о подтвержденных случаях, полученных с помощью тестов, появились во второй половине марта. Определенную ценность представляют и данные относительно случаев с подозрениями на респираторный синдром для оценки возможного влияния условий окружающей среды.

Выбор этих регионов связан с тем, что многолетний мониторинг за циркуляцией различных штаммов вирусов гриппа в Украине проводился в рамках эпиднадзора именно в городах Киев, Днепр, Одесса и Хмельницкий [Дозорний ..., 2020]. Эти города расположены в разных географических и климатических зонах Украины, имеют разные социально-экономические и миграционные особенности, крупные авто- и железнодорожные сообщения, речные и морские порты, что в целом дает возможность оперативно оценить эпидемическую ситуацию в стране, своевременно выявить и расследовать спорадические случаи, внедрить противоэпидемические мероприятия [Міроненко та ін., 2011; Голубка и др., 2012; Голубка, 2013; Meerhoff et al., 2015; Caini et al., 2019].

Как следует из рис. 2 и табл. 1, построенных на основе данных, представленных на сайте [Coronavirus, 2020], динамика подтвержденных случаев инфицирования SARS-CoV-2 в Украине имеет региональные различия. Наибольшие показатели инфицирования вирусом характерны для Киева, западных пограничных областей и южных курортных городов Украины. В остальных регионах подтвержденных слу-

чаев значительно меньше, кроме ситуаций со спонтанными всплесками показателей, которые имеют, скорее всего, социальные причины. Например, в Одесской обл. повышение случаев инфицирования связано с открытием летнего курортного сезона, в Киеве — с повышенной плотностью и мобильностью населения и нарушением масочного режима. Так, наибольшая тенденция увеличения количества подтвержденных случаев инфицирования вирусом за период апрель—август 2020 г. для Киева составляет 1 случ./день, Одесской обл. — 0,85 случ./день, а для Киевской, Днепропетровской и Хмельницких областей в пределах 0,11—0,32 случ./день.

Отметим, что динамика подтвержденных случаев инфицирования SARS-CoV-2 характеризуется положительной тенденцией, которая связана доминированием социального и медицинского факторов, а флуктуации на фоне этой тенденции, очевидно, формируются другими физическими процессами. Снятие линейного тренда позволило нам отсечь влияние этих доминирующих детерминант. Среди причин формирования флуктуаций наиболее вероятными являются условия окружающей среды. Метеорологические и климатические факторы в этой ситуации играют главную роль. Определить отдельно долю влияния каждого метеопараметра в динамике подтвержденных случаев инфицирования вирусом довольно сложно. Климатические и метеорологические процессы схожи своей изменчивостью, поэтому выловить сигнал на фоне большого шума является основной задачей этого исследования.

Далее для оценки влияния условий окружающей среды на изменение количества случаев инфицирования вирусом используется уже индекс подтвержденных случаев инфицирования вирусом (*index of confirmed cases — ICC*).

О влиянии условий окружающей среды на распространение заболеваний связанных с SARS-CoV-2. Климатические условия в целом могут способствовать как распространению, так и подавлению эпидемий, однако причины развития эпидемий весь-

ма противоречивы и имеют ряд несоответствий и неопределенностей [Yusuf et al., 2007; Lofgren et al., 2007; Bloom-Feshbach et al., 2013; Paynter, 2015; Park et al., 2020].

Согласно исследованиям [Yusuf et al., 2007; Liu et al., 2020], в умеренных широтах погодные условия с пониженной температурой зимой, умеренной амплитудой суточных температур и низкой влажностью могут способствовать передаче вируса, усиливая его выживаемость в аэрозолях и на поверхностях. В то же время в работе [Zhu, Xie, 2020] отмечено, что нет четких доказательств того, что более теплая погода может способствовать снижению количества случаев SARS-CoV-2, именно эта ситуация и наблюдается в различных регионах мира летом 2020 г. Несмотря на то, что вирусы в тропической и экваториальной зоне находятся под влиянием высоких температур и интенсивного солнечного излучения (природный ультрафиолет почти не инактивирует вирус), его распространение возможно и летом на всех широтах [Sagripanti, Lytle, 2007]. Скорее всего, механизмами переноса вирусов являются аэрозольный (воздушно-капельный и воздушно-пылевой) и контактный, в частности в различных видах транспорта при активной мобильности населения.

Именно поэтому те полярики, которые не болеют простудными заболеваниями в ограниченных условиях зимовки в суровом климате, при въезде на другие континенты могут быть легко инфицированы, пребывая в условиях жаркого лета экваториально-тропической зоны [Жданов, 1984].

Вместе с тем определенная зависимость между похолоданием в осенне-зимне-весенний период и увеличением количества простудных заболеваний верхних дыхательных путей весьма тесная, особенно в средних и высоких широтах.

Переноситься на довольно большие расстояния воздушными потоками аэрозольные частички, в состав которых входят и вирусы, могут определенными синоптическими процессами (циклонами, антициклонами и фронтами) [Oliver, 2005]. Восходящие потоки воздуха в циклонах могут

заносить аэрозоли на большую высоту, откуда крупные частицы седиментируют в результате сухого и влажного вымывания, становясь ядрами конденсации, или захватываются другими аэрозолями.

Во взвешенном состоянии мелкодисперсные частицы диаметром 0,1—3,0 мкм в воздухе могут оставаться несколько дней и недель, пока не седиментируют к земной поверхности нисходящими потоками воздуха, например при антициклоне (или фронтах) или в результате гравитации. Таким образом, аэрозоли могут преодолевать тысячи километров в тропосфере перед тем, как вернуться на землю, а последующее рассеивание вирусных аэрозолей будет ограничиваться пограничным слоем атмосферы [Hammond, 1989; Oliver, 2005].

С помощью спутниковых технологий можно проследить атмосферный перенос аэрозольных частиц на большие расстояния. Песчинки пустынь, грунтовые частички, продукты загрязнений из промышленных районов, продукты горения при лесных пожарах, выбросы при извержениях вулканов и частички биологического происхождения (в том числе и вирусы) являются источниками аэрозолей атмосфере [Oliver, 2005; Larsen et al., 2020].

Страны Европы, включая Украину, пережили достаточно сухую и аномально теплую зиму 2019—2020 гг. Такой климатический эффект не способствовал снижению инфицирования вирусом, а низкая влажность, наоборот, способствовала аэрозольному переносу.

Об особенностях эколого-климатических условий в Украине в период пандемии SARS-CoV-2. Климатические условия последних около 150 лет на территории Украины формируются под влиянием глобальных тенденций потепления [IPCC, 2013] и обусловлены общими зональными и региональными факторами и процессами [Клімат ..., 2003]. Изменения климата имеют свои региональные особенности и в пределах нашей страны. В частности, северные и северо-восточные регионы теплеют более интенсивно, чем южные и юго-восточные. По всей видимости, это

связано как с особенностями широтного распределения потепления на планете, так и с влиянием континентальности. Региональные особенности континентальности климата проявляются в виде усиления потепления и аридизации климата, а также увеличением значений амплитуды сезонного и суточного хода метеопараметров [Boychenko et al., 2018; Skrynyk et al., 2018].

К началу XXI в. в среднем по стране температура повысилась на $1,2 \pm 0,2$ °C/100 лет [УГЦ, 2020]. Максимальное потепление проявилось в холодное и, в меньшей степени, в теплое время года. Однако последние десятилетия отличились аномально высокими летними температурами на фоне значительной аридизации, а также аномально теплыми зимами с повышенной изменчивостью погодных условий и выпадением осадков в основном в виде дождя или мокрого снега («по-европейски сыкатная зима» и «средиземноморское жаркое сухое лето») [Boychenko et al., 2016].

Аномальность климатических условий 2020 г. побила все рекорды. В частности, причиной аномально теплой зимы в Украине и Европе стала интенсификация меридионального переноса теплого и сухого воздуха из Азии и Африки на фоне доминирующего западного атлантического переноса.

Необычно теплая (с превышением климатической нормы за период 1961—1990 гг. на 4—5 °C) и достаточно аридная (с количеством атмосферных осадков на 20—40 % ниже климатической нормы и чаще в виде дождя и реже мокрого снега) зима 2019—2020 гг. стала наиболее аномальной за более чем 140 лет [Кліматичний ..., 2005].

В соответствии с данными [ЦГО, 2020], еще более аномальной оказалась весна 2020 г. В частности, начало метеорологической весны в Киеве зафиксировано 10 февраля. Аномально высокие температурные показатели, чередующиеся с прохладными периодами — «температурные качели», долгое отсутствие атмосферных осадков с внезапными редкими ливнями, проявление ряда неблагоприятных явлений (суховеи, пылевые бури, шквальные ветры др.), а затем довольно прохладный и дождливый

май характеризуют весну 2020 г. в Украине.

Сложившаяся ситуация в холодный период года — бесснежная теплая зима, теплая аридная весна (в марте и апреле) и определенные сопутствующие синоптические условия (с высокими скоростями ветра до 15—20 м/с) стали причинами возникновения мощных пылевых бурь, в том числе в Киевской области (в частности, 16 апреля 2020 г.), что бывает крайне редко.

Аномальные погодные условия периода зима—весна способствовали значительному загрязнению атмосферы не только грунтовыми аэрозольными частичками в результате пылевых бурь и суховеев, но и газо-аэрозольными примесями, источниками которых стали пожары на севере Украины в апреле. Так, по данным ЦГО, в третьей декаде апреля 2020 г. в воздухе разных районов Киева отмечено превышение среднесуточных предельно допустимых концентраций: пыли в 1,3—2,1 раза, диоксида серы в 2—3 раза, диоксида азота в 4—10 раз, формальдегида в 2—4 раза.

Особенную обеспокоенность вызвали пожары на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. При этом по оценкам ЦГО в Киеве за период 3—16 апреля объемная активность ^{137}Cs в приземном слое оставалась в сотни раз меньше среднегодового норматива допустимого уровня в воздухе (800 мБк/м³).

Последний месяц весны май не стал исключением и был отмечен в климатической истории своей аномальностью: температура в этом месяце была на 2 ± 1 °C ниже климатической нормы, причем в южных районах до $1,5 \pm 0,5$ °C, а в более высоких широтах до $2,5 \pm 1$ °C, количество атмосферных осадков превысило норму в 1,5—2,5 раза.

Тенденция для летних месяцев последних десятилетий с аномально высокими температурами и значимой аридностью, также сохранилась. В частности, лето 2020 г. выдалось довольно жарким с превышением нормы на 2—4 °C и с количеством атмосферных осадков ниже нормы до 90 % в июне и до 60 % в июле и августе.

На фоне таких аномальных климатических и погодных условий в 2020 г. развива-

лись эпидемия вируса A(H1N1) и пандемия SARS-CoV-2.

Для анализа возможного влияния температурного режима на передачу и распространение вирусных инфекций в некоторых регионах Украины (Киеве, Киевской, Днепропетровской, Одесской и Хмельницкой областях) в апреле—августе 2020 г. была использована база данных [Weather, 2020]. На ее основе получены суточные температуры приземного воздуха, рассчитаны значения эквивалентно-эффективных температур, а также отобраны дни с аномально высокими температурами 30 °C и выше. С помощью эквивалентно-эффективных температур можно оценить комфортность пребывания человека в окружающей среде с учетом влияния комбинации метеопараметров (температуры, влажности и скорости ветра) [Исаев, 2001; Бойченко, Забарна, 2019].

Как видно из рис. 3, наблюдается определенная корреляция между значениями температуры воздуха для летних месяцев и значениями индекса подтвержденных случаев инфицирования вирусом. В частности, индекс ИСС снижается с наступлением лета при повышении температуры с запаздыванием инфицирования на 5—7 дней. Процесс запаздывания связан, по-видимому, как с периодом инкубации вируса (от 5 до 14 дней), так и с влиянием других социальных и природных факторов. Аномально высокие температуры (30 °C и выше), зафиксированные на метеостанциях, также не способствовали росту значений ИСС. Весной ситуация другая, особенно для прохладного мая — индекс ИСС

снижался при повышении температуры и повышался при снижении. Флуктуации значений ЭЭТ, которые учитывают комбинацию метеопараметров, для всех метеостанций имеют такие же зависимости, как и для приземной температуры воздуха.

Среднемесячные значения приземной температуры и количество дней в месяце с температурами 30 °C и выше на метеостанциях «Киев», «Днепр», «Одесса», «Хмельницкий» приведены в табл. 2 (использованы ресурсы [Weather, 2020; Open Data-Server, 2020]).

Относительная влажность воздуха и температура точки росы. Считается, что передача вирусов в воздухе может зависеть от его влажности, которая влияет на стабильность вируса и на размер вдыхаемых аэрозолей (уменьшение при испарении и увеличение при конденсации и коагуляции) [Yang, Marr, 2011]. Размер частиц влияет на скорость седиментации аэрозольной частички, т. е. на время пребывания ее в воздухе. Опустившись к земной поверхности, частичка при вдохе затем может попасть в дыхательные пути восприимчивого человека.

Низкая абсолютная влажность, по-видимому, является основной движущей силой сезонного гриппа в умеренном климате [Yusuf et al., 2007; Paynter, 2015]. Этот эффект низкой влажности при умеренных зимах, усиливается совокупностью различных факторов как метеорологических (низкая температура, высокие скорости ветра), так и социальными (повышенная скученность населения, изменение в режиме питания и т. д.).

Т а б л и ц а 2. Среднемесячные значения приземной температуры (T , °C) и количество дней в месяце с температурами 30 °C и выше (n ($T \geq 30$ °C)) на заданных метеостанциях

Месяц	Метеостанция							
	Киев		Днепр		Одесса		Хмельницкий	
	T , °C	n ($T \geq 30$ °C)	T , °C	n ($T \geq 30$ °C)	T , °C	n ($T \geq 30$ °C)	T , °C	n ($T \geq 30$ °C)
Апрель	9,9±3,9	—	9,9±3,2	—	10,4±3,2	—	9,2±4,3	—
Май	12,4±3,3	—	13,8±3,3	—	14,1±2,6	—	11,4±4,1	—
Июнь	21,7±4,7	17	21,7±3,4	11	21,0±3,5	4	19,2±4,0	3
Июль	21,9±2,9	16	23,5±2,9	18	24,6±2,6	12	19,3±2,7	1
Август	21,3±3,1	16	21,3±3,1	15	23,7±2,1	8	20,0±2,4	5

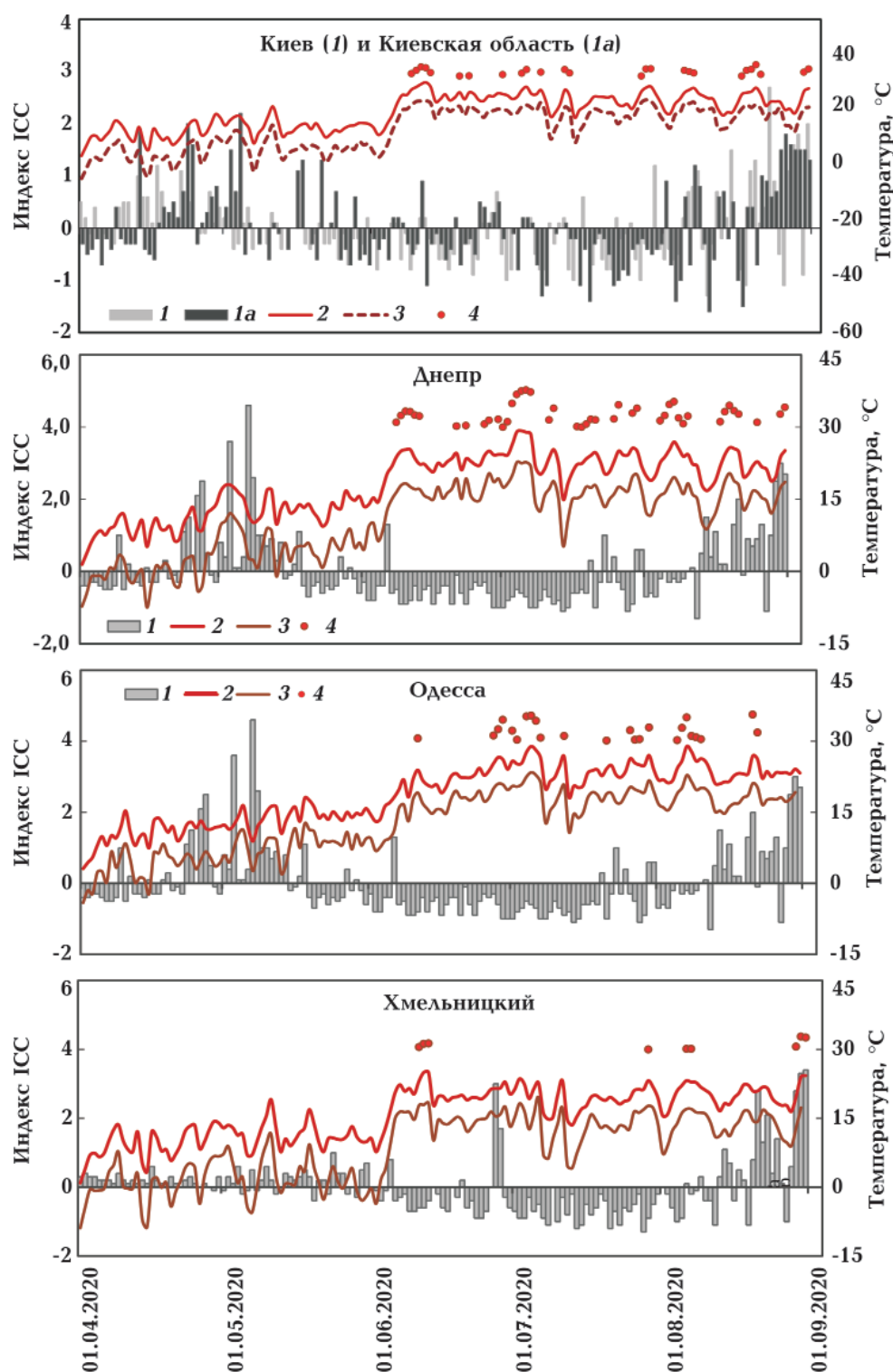


Рис. 3. Значения индексов подтвержденных случаев инфицирования вирусом SARS-CoV-2 (1 и 1a, шкала слева), приземной температуры (2, шкала справа), эквивалентно-эффективных температур (3, шкала справа) и количество дней с аномально высокими температуры 30 °C и выше в указанных регионах за период апрель—август 2020 г.

Fig. 3. The values of the indexes of confirmed cases of SARS-CoV-2 virus infection (1 and 1a, the left scale), surface temperature (2, the right scale), equivalent-effective temperatures (3, the right scale) and amount of days with temperatures of 30 °C and above (4) in selected regions during April—August 2020.

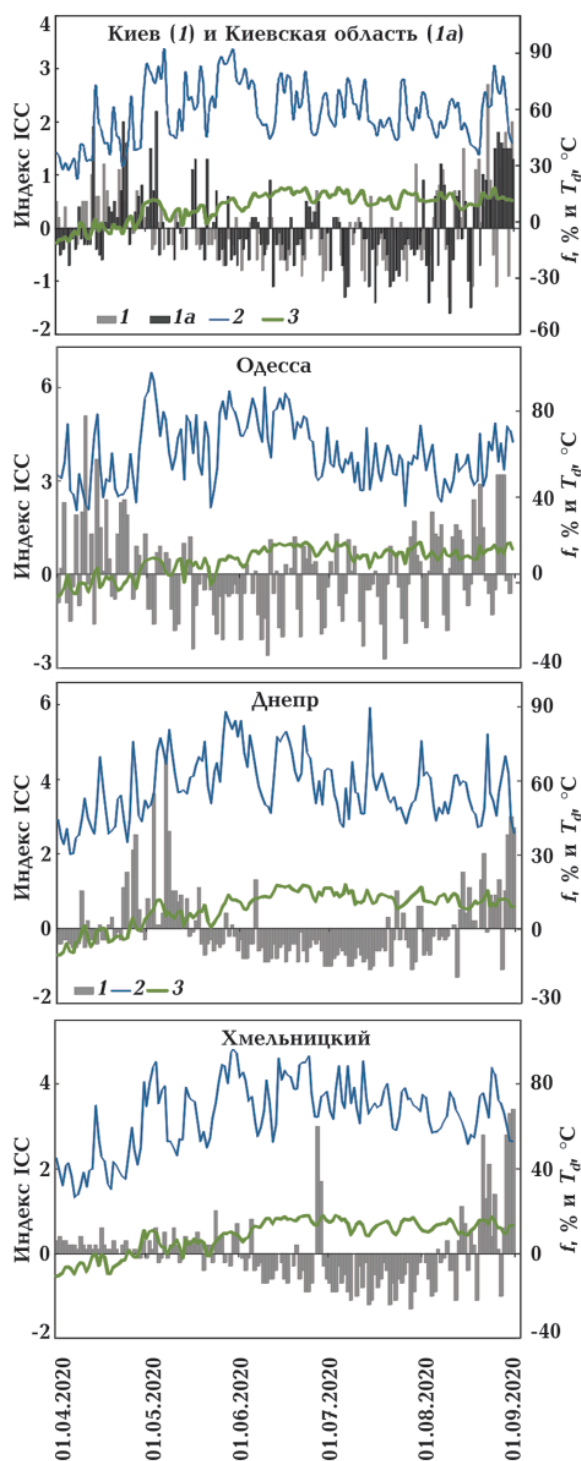


Рис. 4. Значения индексов подтвержденных случаев инфицирования вирусом SARS-CoV-2 (1 и 1a, шкала слева), относительной влажности (2, шкала справа) и температуры точки росы (3, шкала справа) в указанных регионах за период апрель—август 2020 г.

Fig. 4. The values of the indexes of confirmed cases of SARS-CoV-2 virus infection (1 and 1a, the left scale), relative humidity (2, the right scale), and dew-point temperature (3, the right scale) in selected regions during April—August 2020.

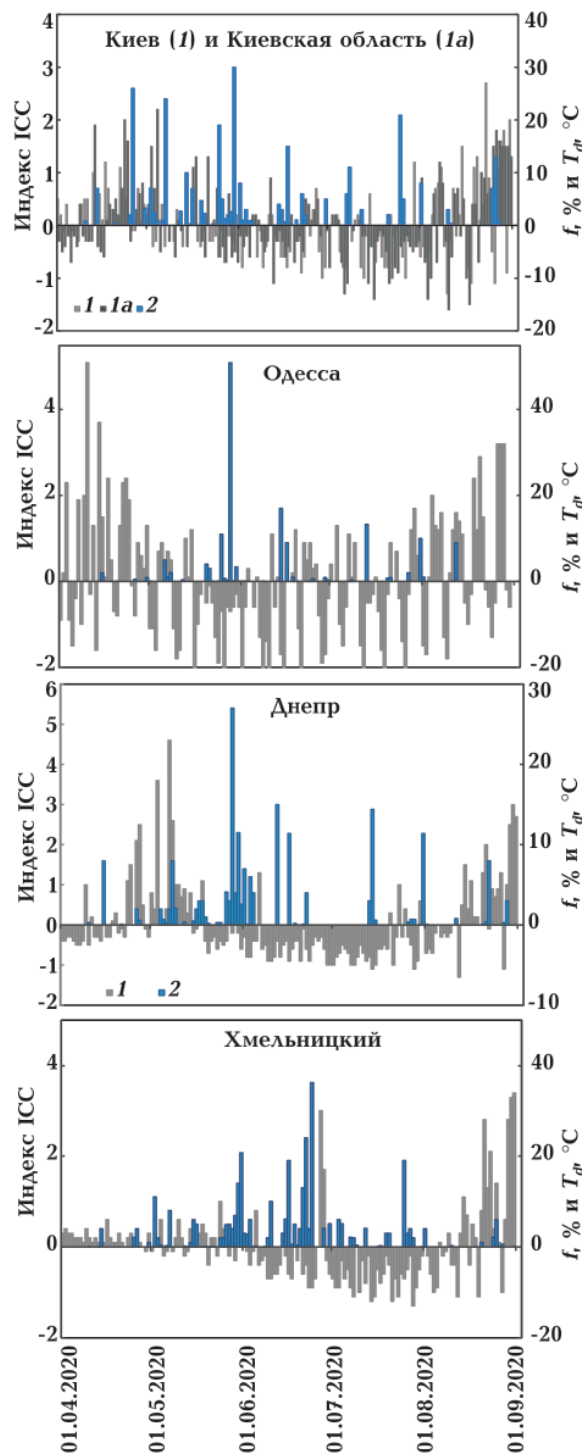


Рис. 5. Значения индексов с подтвержденных случаев инфицирования вирусом SARS-CoV-2 (1 и 1a, шкала слева) и количество атмосферных осадков (2, шкала справа) в указанных регионах за период апрель—август 2020 г.

Fig. 5. The values of the indexes of confirmed cases of SARS-CoV-2 virus infection (1 and 1a, the left scale) and the amount of atmospheric precipitation (2, the right scale) in selected regions during April—August 2020.

Т а б л и ц а 3. Среднемесячные значения относительной влажности (f , %) и температуры точки росы (T_d , °C) на заданных метеостанциях

Месяц	Метеостанция							
	Киев		Днепр		Одесса		Хмельницкий	
	f , %	T_d , °C	f , %	T_d , °C	f , %	T_d , °C	f , %	T_d , °C
Апрель	41±11	-4,2±4,5	46±11	-3,3±4,1	51±14	-0,1±4,1	42±12	-4,3±4,7
Май	71±12	6,5±4,0	67±11	7,1±3,5	70±15	8,1±3,7	71±15	5,5±3,6
Июнь	64±11	13,8±3,9	66±11	14,3±2,9	72±12	15,3±3,1	76±11	14,4±3,5
Июль	58±12	12,5±3,1	55±10	11,1±2,5	55±8	13,6±3,0	72±8	12,6±2,7
Август	57±12	11,5±2,6	54±9	11,1±2,0	56±10	13,6±2,3	65±9	12,6±2,4

Образующиеся респираторные капли в результате чихания или кашля при попадании в среду с низкой влажностью уменьшаются в размере из-за испарения и получающиеся маленькие капли и/или аэрозоли уже оседают медленнее. При более высокой влажности окружающей среды капли увеличиваются из-за процессов коагуляции и конденсации, и следовательно, становятся больше и быстрее оседают [Yang, Marr, 2011; Yang et al., 2012].

Высокая относительная влажность воздуха способствует удалению инфекционных частиц за счет увеличения седиментации крупных, насыщенных водой капель, при этом и ускоряется инаktivация вируса [Yang, Marr, 2011; Yang et al., 2012]. Конечный размер капли зависит от влажности воздуха в среде, а размер определяет аэродинамическое поведение и то, будет ли капля быстро седиментировать или оставаться в воздухе во взвешенном состоянии определенное время, вызывая вторичное инфицирование.

При эпидемиологическом исследовании было установлено, что интенсивность передачи вируса более тесно коррелирует с вариациями значений абсолютной влажности по сравнению со значениями относительной влажности. В умеренных широтах низкие значения абсолютной влажности довольно сильно коррелирует с началом вирусных эпидемий и пандемий [Shaman, Kohn, 2009; Yang, Marr, 2011].

Одним из параметров, характеризующих взаимосвязь температуры и относительной влажности, является температура

точки росы (температура, при которой воздух достигает состояния насыщения при данном содержании водяного пара, неизменном давлении и начинает конденсироваться в росу [Oliver, 2005]). При насыщении воздуха (с относительной влажностью до 100 %) фактическая температура воздуха совпадает с температурой точки росы, а при относительной влажности меньше 100 % температура точки росы ниже фактической температуры воздуха. Этот параметр также используют для оценки комфортности пребывания человека в среде при разной относительной влажности [Van Doremalen, 2020].

Вариации относительной влажности среды и температуры точки росы более тесно связаны с эффективностью передачи вируса в умеренном климате. Нами было проведено сопоставление значений индексов подтвержденных случаев инфицирования вирусом SARS-CoV-2 в заданных регионах со значениями относительной влажности и значениями температуры точки росы за период апрель—август 2020 г. Весной в прохладную погоду с увеличением относительной влажности (60—70 % и больше) происходит увеличение значений индекса ИСС и, наоборот, при снижении влажности (40—50 %) значение индекса уменьшается (рис. 4). Летом в условиях более высокой температуры воздуха и низкой относительной влажности в июне 65—75 % и в июле—августе 55—60 % индекс ИСС снижается, кроме нескольких погодных ситуаций, связанных с дождливыми периодами. Следует отметить, что температура точки

росы имеет такие же зависимости, но при этом параметр учитывает флуктуации температурного режима.

Среднемесячные значения относительной влажности воздуха (f) и температуры точки росы (T_d) на метеостанциях приведены в табл. 3 (использованы ресурсы [Weather, 2020; Open Data-Server, 2020]).

Атмосферные осадки. Атмосферные осадки являются фактором окружающей среды, который может существенно влиять на передачу вируса. Вместе с капельками дождя из атмосферы выводятся загрязняющие вещества (влажное вымывание аэрозолей), в том числе вирусные частицы, находящиеся во взвешенном состоянии. Также вирусные частицы смываются дождями с поверхностей, на которые они седиментировали в результате сухого вымывания.

Однако влияние атмосферных осадков весьма неоднозначно для холодного и теплого периодов в умеренных широтах числе [Исаев, 2001; Chan et al., 2002; Omer et al., 2008]:

- в холодный период года повышенная влажность и дождь формируют дискомфортные погодные условия и могут опосредованно влиять на распространение вируса, воздействуя на терморегуляцию организма человека, способствуя переохлаждению и простуде, но в то же время происходит аэрозольное вымывание и вирусов в том числе;
- в теплый период года повышенная влажность и дождь формируют более комфортные погодные условия, смягчая дей-

ствие высоких температур летом и также способствуя вымыванию загрязняющих веществ и вирусов из атмосферы.

Тесная взаимосвязь между сезоном дождей и госпитализацией с респираторными вирусными заболеваниями установлена в тропических и экваториальных странах [Chan et al., 2002; Omer et al., 2008]. На инфицированность населения влияют также зависящие от погоды социальные поведенческие особенности (например, скученность людей в одном месте во время дождя), а также условия жизни и контакты между людьми [Stensballe et al., 2003]. Эпидемии вируса гриппа в тропических широтах более четко коррелируют с сезонами дождей в этих широтах, в то время как в экваториальных регионах могут наблюдаться на протяжении всего года [Chan et al., 2002].

Эпидемиологические данные, как правило, подтверждают связь между вирусной инфекцией и дождливыми периодами, но не столько с количеством осадков, как с их продолжительностью (количество дней с дождем), а в умеренных широтах еще и с температурным режимом окружающей среды [Chan et al., 2002; Omer et al., 2008], с запаздыванием инфицирования на 5—7 дней [Van Doremalen et al., 2020].

Как было показано выше, в апреле—августе 2020 г. в Украине наблюдалось резкое снижение количества атмосферных осадков, что могло повлиять на активность аэрозольной передачи вирусов (преобладал воздушно-пылевой путь переноса).

По результатам проведенного анализа

Таблица 4. Месячные значения суммы атмосферных осадков (P , мм/мес.) и количество дней с осадками (P_d , дни) на метеостанциях

Месяц	Метеостанция							
	Киев		Днепр		Одесса		Хмельницкий	
	P	P_d	P	P_d	P	P_d	P	P_d
Апрель	39	6	12	4	3	4	11	5
Май	122	19	78	21	81	12	92	17
Июнь	49	12	49	7	29	6	147	19
Июль	48	6	32	7	27	6	54	13
Август	33	5	13	5	10	2	14	6

возможного влияния количества осадков (мм за день) и количества дней с осадками в апреле—августе этого года на распространение SARS-CoV-2 отмечено некоторое совпадение повышения индексов ИСС в дождливые периоды (рис. 5). В то же время значения индексов ИСС в определенные периоды имеют более четкую корреляцию в мае и в летние месяцы, но не с количеством осадков, а с количеством дней с осадками для всех метеостанций с некоторым запаздыванием инфицирования на несколько дней.

Месячные значения суммы атмосферных осадков (P) и количества дней с осадками (P_d) на метеостанциях приведены в табл. 4 (использованы ресурсы [Weather, 2020; Open Data-Server, 2020]).

Кислотность атмосферных осадков. Определенная фоновая кислотность атмосферных осадков формируется природными механизмами путем выведения из атмосферы оксидов азота и диоксида серы, которые связываясь с водяным паром, образуют HNO_3 , H_2SO_4 и др. Затем они в виде капель и/или аэрозолей вымываются вместе с атмосферными осадками или сепантируются в газообразном и аэрозольном состоянии на земную поверхность. Кислотность осадков дополнительно формируется трансграничным переносом воздушных масс из других регионов, антропогенным загрязнением тропосферы местными металлургическими заводами, ТЭС, котельными, промышленными предприятиями и двигателями внутреннего сгорания, а также вследствие чрезвычайных ситуаций (аварий и пожаров) [Израэль, 1989].

Атмосферные осадки в условно чистом воздухе имеют $\text{pH}=5,5\div 5,7$, но в некоторых регионах, особенно индустриальных и пребывающих под влиянием трансграничного переноса воздушных масс и регионального дополнительного загрязнения, могут быть

более кислотными до $\text{pH}=2\div 5$, реже слабощелочными при $\text{pH}=7,5\div 8,5$ или нейтральными $\text{pH}=7$ [Израэль, 1989].

На территории Украины в среднем за период 1996—2005 гг. pH атмосферных осадков составляло $5,8\text{—}6,7$, причем в северных, северо-восточных и юго-восточных регионах зафиксированы значения $\text{pH}=6,4\div 6,7$, а в северо-западных и центральных — $\text{pH}=5,8\div 6,0$ [Карта..., 2006]. Фоновая кислотность атмосферных осадков над нашей территорией дополняется, как в результате трансграничного переноса воздушных масс из стран Западной Европы и России, так и крупными промышленными комплексами, непосредственно действующими на территории страны. Кислотность атмосферных осадков в анализируемых городах, приведена в табл. 5 [Карта..., 2006].

Установлено, что некоторые штаммы вирусов чувствительны к значениям pH в диапазоне $4\text{—}5$ и особенно сильно к кислым и щелочным условиям, которые могут приводить к их полной инактивации [Laude, 1981; Xiao et al., 2003; Жирнов, Манькин, 2014; Sun et al., 2020]. В результате эксперимента было установлено, что вирус после помещения в щелочные условия с $\text{pH}=12\div 14$ на 1 час был полностью инактивирован, умеренные изменения условий среды с $\text{pH}=5\div 9$ оказывали незначительное влияние на вирус независимо от температурного режима, сильно кислые условия с $\text{pH}=1\div 3$ полностью инактивировали вирус при температурах 25 и 37°C , а при более низких температурах (4°C) и $\text{pH}=3$ вирус инактивировался не полностью [Darnell et al., 2004].

Следует отметить, что, согласно исследованиям китайских ученых [Sun et al., 2020], коронавирус SARS-CoV-2 может сохранять свою жизнеспособность как, в сухих, так и во влажных средах при комнатной температуре до трех дней и даже

Т а б л и ц а 5. Кислотность атмосферных осадков (средняя за период 1996—2005 гг.) в украинских городах

Города	Киев	Днепр	Одесса	Хмельницкий
pH атмосферных осадков	$6,2\text{—}6,4$	$6,3\text{—}6,5$	$6,1\text{—}6,2$	$6,2\text{—}6,3$

способен выживать в кислой среде желудка². Однако «сухая» среда оказалась менее предпочтительной для выживания вируса. Инактивация вируса полностью наступала после выдерживания его в кислой и щелочной средах более четырех дней, причем в кислом растворе при pH=2,2 SARS-CoV-2 в течение часа частично инактивировался [Sun et al., 2020].

Таким образом, атмосферные подкисленные (или подщелоченные) осадки не способствуют полной инактивации вируса, правда, нельзя исключить некоторую инактивацию вирусов на каплях при определенных условиях среды в некоторых локациях. А поэтому атмосферные осадки с pH=5,8÷6,7, выпадающие над территорией Украины в холодное или теплое время года, существенно влиять на инактивацию вирусов не могут.

Ультрафиолетовое солнечное излучение. Ультрафиолетовый спектр солнечного излучения в нашу атмосферу приходит в диапазоне 100—400 нм: УФ-А (315—400 нм), УФ-В (280—315 нм), УФ-С (100—280 нм). Однако проходя через атмосферу излучение в диапазоне УФ-С и УФ-В лучей в основном поглощается озоном, парами воды, кислородом и в меньшей степени другими газами (например, ультрафиолетовое излучение с диапазоном ниже 200 нм сильно поглощаются O₂), а УФ-А и незначительная часть излучения УФ-В могут достигать земной поверхности [Oliver, 2005].

Одним из механизмов, посредством которого вирусы гриппа могут инактивироваться в аэрозольной воздушной среде, может быть повреждение его ультрафиолетовым излучением [Perdiz et al., 2000], а относительная скорость инактивации может зависеть от размера и состава ды-

хательной капли и оптических свойств частички [Yusuf et al., 2007].

Считается, что оболочку вируса разрушает ультрафиолетовое излучение с длиной волны около 250 нм, но этот спектр излучения можно получить только искусственно (в бактерицидных лампах) [Perdiz et al., 2000].

Результаты экспериментов [Perdiz et al., 2000] показали, что при воздействии на вирус SARS излучением в диапазоне УФ-С происходит поглощение основаниями РНК и ДНК, что приводит к инактивации вируса; в диапазоне УФ-В поглощение в 20—100 раз менее эффективно, чем в диапазоне УФ-С, а в диапазоне УФ-А происходит слабое поглощение [Yusuf et al., 2007]. Так, воздействие на SARS УФ-С (100—280 нм) от 1 до 6 мин приводило к 400-кратному уменьшению количества вируса и через 15 мин — к полной инактивации, в то время как воздействие в диапазоне УФ-А не показало существенной инактивации вируса [Perdiz et al., 2000].

УФ-В излучение все же может препятствовать распространению вируса, частично инактивируя его в атмосфере, а также опосредованно стимулируя метаболизм витамина D в организме хозяина, который повышает сопротивляемость организма [Yusuf et al., 2007].

Таким образом, ультрафиолетовое излучение, которое доходит до земной поверхности (УФ-А и незначительная часть УФ-В) не обладает активной способностью к инактивации вируса, а значит, природный ультрафиолет даже в экваториальных широтах имеет весьма незначительную способность повлиять на вирус SARS.

Закключение. Климатические и атмосферные процессы в определенной мере способствуют как распространению, так и подавлению эпидемий и пандемий вирусов, однако причины развития вирусных инфекций окончательно не выяснены. Учитывая, что это процессы со множеством детерминант, формирующими флуктуации, для оценки влияния условий окружающей среды на изменение количества случаев инфицирования вирусом нами введен индекс

² Среда желудка имеет pH=1,0÷3,5, а среда тонкого и толстого кишечника pH=7,5÷8,0. Существует мнение, что вирус, попадающий в организм человека, может полностью инактивироваться в желудке. Однако, если по каким-то причинам кислотность в желудке близка к нейтральной, то частичка вируса может дойти до кишечника, где pH=7,5÷8,0 и не инактивироваться, приведя к сбою в системе пищеварения и затем быть выведена из организма, сохраняя свою живучесть [Laude, 1981].

подтвержденных случаев инфицирования вирусом (index of confirmed cases — ICC).

Несмотря на то, что динамика увеличения количества подтвержденных случаев инфицирования SARS-CoV-2 формируется в основном социальными и медицинскими факторами, нами показано, что различные флуктуации обусловлены, вероятнее всего, условиями окружающей среды. Метеорологические и климатические факторы в этой ситуации играют главную роль.

В результате анализа возможного влияния климатических условий и атмосферных процессов на изменение индекса ICC в Украине (Киеве, Киевской, Днепропетровской, Одесской и Хмельницкой областях) в апреле—августе 2020 г. было установлено, что в летние месяцы наблюдалась определенная корреляция между значениями приземной температуры и ЭЭТ и значениями индекса ICC. В частности, индекс ICC снижался при повышении температуры с запаздыванием инфицирования на 5—7 дней, что связано, по-видимому, с периодом инкубации вируса (5—14 дней). Аномально высокие температуры 30 °C и выше, которые были зафиксированы на метеостанциях также не способствовали росту значений ICC.

Относительная влажность атмосферы и температура точки росы более тесно связаны с эффективностью передачи вируса

в умеренных широтах. Анализ показал, что весной с увеличением относительной влажности воздуха происходит увеличение значений индекса ICC и, наоборот, при снижении относительной влажности индекс ICC уменьшается. Летом при высоких температурах воздуха и определенных флуктуациях относительной влажности индекс ICC в основном снижается, однако, при дождливой погоде индекс ICC увеличивается.

Снижение количества атмосферных осадков в апреле—августе 2020 г. в Украине явно могло повлиять на активность аэрозольной передачи вирусов (преобладал воздушно-пылевой перенос). Установлено, что на повышение индексов ICC в дождливые периоды влияет количество не столько выпавших осадков, сколько дней с осадками для всех метеостанций с некоторым запаздыванием инфицирования на несколько дней.

Анализ возможного влияния кислотности осадков на выживаемость вируса SARS-CoV-2 свидетельствует об отсутствии существенного влияния этого фактора на распространение вирусной инфекции.

Уровень ультрафиолетового излучения, который доходит до земной поверхности (УФ-А и незначительная часть УФ-В), не обладает активной способностью к инаktivации вируса в умеренных широтах.

Список литературы

- Бойченко С.Г., & Забарна О.Г. (2019). Оцінювання комфортності погодних умов і тенденції їх змін для Київщини в умовах змін клімату. *Геофіз. журн.*, 41(6), 128—143. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190071>.
- Голубка О.С. Эффективность системы дозорного епідеміологічного нагляду за грипом. *Профілактична медицина*. 2013. № 1. С. 14—17.
- Голубка О.С., Онищенко О.В., Міроненко А.П., Степанський Д.О. Штамова характеристика складу популяції вірусів грипу, виділених в Україні в сезон 2011—2012 рр. *Туберкульоз, легеневі хвороби, ВІЛ-інфекція*. 2012. № 4. С. 97—100.
- Дозорний епіднадгляд за грипом в Україні. 2020. Режим доступу: <http://ukrinfluenza.com.ua>.
- Жданов В.М. Человек и вирусы. В кн.: Наука и человечество: международный ежегодник. Москва: Знание, 1984, С. 44—55.
- Жирнов О.П., Манькин А.А. рН-зависимые перестройки в структуре вируса гриппа А. *Вопросы вирусологии*. 2014. № 3. С. 41—46.
- Израэль Ю.А. Кислотные дожди. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 270 с.

- Исаев А. Экологическая климатология. Москва: Научный мир, 2001. 456 с.
- Каришева В.М. Спеціальна епізоотологія: Підручник. Київ: Вища освіта, 2001. 703 с.
- Карта кислотности атмосферных осадков Украины. 2006. Режим доступа: <https://www.imbf.org/karty/karta-kislotnosti-atmosfernyh-osadkov-ukriany.html>.
- Кліматичний Кадастр України. Київ: Вид. УкрНДГМІ, ЦГО, 2005, 48 с.
- Клімат України. Ред. В. Ліпінський, В. Дячук, В. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003, 344 с.
- Микита Г.И. Исследования структуры и формы вируса гриппа типа А штаммов H5 и H7 — птичьего гриппа. *Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2009. № 1. С. 17—20.
- Міроненко А.П., Голубка О.С., Оніщенко О.В. Оцінка ефективності дозорного епіднагляду за грипом в Україні. *Профілактична медицина*. 2011. № 4. С. 25—32.
- Орлюк М.И., Фролов А.Ф., Задорожная В.И., Роменец А.А. Возмущенность магнитного поля Земли и некоторые аспекты инфекционных заболеваний. *Геофиз. журн.* 2007. Т. 29. № 6. С. 148—156.
- УГЦ: Украинский гидрометеорологический центр. 2020. Режим доступа: <https://meteo.gov.ua/ua/33345/current/ukraine/#>.
- ЦГЗ: Центр громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України». 2020. Режим доступа: <https://phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/inshi-infekciyni-zakhvoryuvannya/koronavirusna-infekciya-covid-19>.
- ЦГО: Центральна геофізична обсерваторія. 2020. Режим доступа: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1.
- Bloom-Feshbach, K., Alonso, W.J., Charu, V., Tamerius, J., Simonsen, L., Miller, M.A., & Viboud, C. (2013). Latitudinal Variations in Seasonal Activity of Influenza and Respiratory Syncytial Virus (RSV): A Global Comparative Review. *PLoS ONE*, 8(2), e54445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054445>.
- Boychenko, S., Voloshchuk, V., Kuchma, T., & Serdyuchenko, N. (2018). Long-time changes of the thermal continentality index, the amplitudes and the phase of the seasonal temperature variation in Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(3), 81—96. doi: <https://10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137175>.
- Boychenko, S., Voloshchuk, V., Movchan, Ya., Serdyuchenko, N., Tkachenko, V., Tyshchenko, O., & Savchenko, S., (2016). Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*, (4), 96—113. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>.
- Caini, S., Kuszniar, G., Garate, V., Wangchuk, S., Thapa, B. et al. (2019). The epidemiological signature of influenza B virus and its B/Victoria and B/Yamagata lineages in the 21st century. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222381>.
- Chan, P.W., Chew, F.T., Tan, T.N., Chua, K.B., & Hooi, P.S. (2002). Seasonal variation in respiratory syncytial virus chest infection in the tropics. *Pediatr Pulmonol*, 34, 47—51. <https://doi.org/10.1002/ppul.10095>.
- Cheval, S., Adamescu, C.M., Georgiadis, T., Herrnegger, M., Piticar, A., & Legates, D.R. (2020). Observed and Potential Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4140. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114140>.
- Ching, J., & Kajino, M. (2020). Rethinking Air Quality and Climate Change after COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5167. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145167>.
- Climate data: Ukraine. (2020). Retrieved from <https://en.tutiempo.net/climate/ukraine.htm>.
- COVID-19 situation in the WHO European Region. (2020). Retrieved from <https://who.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/a19d5d1f86ee4d99b013eed5f637232d>.
- Coronavirus epidemic monitoring system. (2020). Retrieved from <https://covid19.rnbo.gov.ua/>.
- Cox, N.J., & Subbarao, K. (2000). Global epidemiology of influenza: past and present. *Annual Review of Medicine*, 51, 407—421. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.51.1.407>.

- Darnell, M.E.R., Subbarao, K., Feinstone, S.M., & Taylor, D.R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, 121, 85—91. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.06.006>.
- Hammond, G.W., Raddatz, R.L., & Gelskey, D.E. (1989). Impact of Atmospheric Dispersion and Transport of Viral Aerosols on the Epidemiology of Influenza. *Reviews of Infectious Diseases*, 11(3), 494—497. <https://doi.org/10.1093/clinids/11.3.494>.
- IPCC: Climate change 2013: The Physical Science Basis. (2013). Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, UNEP/WMO. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Larsen, A., Hanigan, I., Reich, B.J., Qin, Y., Cope, M., Morgan, G., & Rappold, A.G. (2020). A deep learning approach to identify smoke plumes in satellite imagery in near-real time for health risk communication. *Journal of Exposure Sciences & Environmental Epidemiology*, 150(1). <https://doi.org/10.1038/s41370-020-0246-y>.
- Laude, H. (1981). Thermal inactivation studies of a coronavirus, transmissible gastroenteritis virus. *Journal of General Virology*, 56(2), 235—240. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-56-2-235>.
- LeDuc, J.W., & Barry, M.A. (2004). SARS, the first pandemic of the 21st century. *Emerging Infectious Diseases*, 10, e26. https://doi.org/10.3201/eid1011.040797_02.
- Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M., De-Gol, A.J., Willis, D.R., Shan, Y., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Creutzig, F. & Peters, G.P. (2020). Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Changes*, 10, 647—653. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>.
- Liu, J., Zhou, J., Yao, J., Zhang, X., Li, L., Xu, X., He, X., Wang, B., Fu, S., Niu, T., Yan, J., Shi, Y., Ren, X., Niu, J., Zhu, W., Li, S., Luo, B., & Zhang, K. (2020). Impact of meteorological factors on the COVID-19 transmission: A multicity study in China. *Sciences of the Total Environment*, 726, 13851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138513>.
- Lofgren, E., Fefferman, N.H., Naumov, Y.N., Gorski, J., & Naumova, E.N. (2007). Influenza seasonality: underlying causes and modeling theories. *Journal of Virology*, 81, 5429—36. <https://doi.org/10.1128/JVI.01680-06>.
- Meerhoff, T.J., Simaku, A., Ulqinaku, D., et al. (2015). Surveillance for severe acute respiratory infections (SARI) in hospitals in the WHO european region — an exploratory analysis of risk factors for a severe outcome in influenza-positive SARI cases. *BMC Infectious Diseases*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12879-014-0722-x>.
- Memish, Z.A., Perlman, S., Van Kerkhove, M.D., & Zumla, A. (2020). Middle East respiratory syndrome. *The Lancet*, 395, 1063—1077. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)33221-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)33221-0).
- Minnis, P., Harrison, E., Stowe, L., Gibson, G.G., Denn, F.M., Doelling, D.R., & Smith, W.L. (1993). Radiative climate forcing by the Mount Pinatubo eruption. *Science*, 259, 1411—1415. <https://doi.org/10.1126/science.259.5100.1411>.
- Oliver, J.E. (Ed.). (2005). *Encyclopedia of World Climatology*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Science & Business Media, 874 p.
- Omer, S.B., Sutanto, A., Sarwo, H., Linehan, M., Djelantik, I.G.G., Mercer, D., Moniaga, V., Moulton, L.H., Widjaya, A., Muljati, P., Gessner, B.D., & Steinhof, M.C. (2008). Climatic, temporal, and geographic characteristics of respiratory syncytial virus disease in a tropical island population. *Epidemiology & Infection*, 136(10), 1319—1327. <https://doi.org/10.1017/S0950268807000015>.
- Open Data-Server. (2020). Retrieved from https://opendata.dwd.de/climate_environment/.
- Park, J.E., Son, W.S., Ryu, Y., Choi, S.B., Kwon, O., & Ahn, I. (2020) Effects of temperature, humidity, and diurnal temperature range on influenza incidence in a temperate region. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 14, 11—18. <https://doi.org/10.1111/irv.12682>.
- Paynter, S. (2015). Humidity and respiratory virus transmission in tropical and temperate settings. *Epidemiol. Epidemiology & Infection*, 143, 1110—1118. <https://doi.org/10.1017/S0950268814002702>. Prather, K.A., Wang, C.C., & Schooley, R.T. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*, 368, 1422—1424. <https://doi.org/10.1126/science.abc6197>.

- Perdiz, D., Grof, P., Mezzina, M., Nikaido, O., Moustacchi, E., & Sage, E. (2000). Distribution and repair of bipyrimidine photoproducts in solar UV-irradiated mammalian cells. *Journal of Biological Chemistry*, 275, 26732—26742. <https://doi.org/10.1074/jbc.M001450200>.
- Sagripanti, J.-L., & Lytle, C.D. (2007). Inactivation of influenza virus by solar radiation. *Photochemistry and photobiology*, 83, 1278—1282. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2007.00177.x>.
- Shaman, J., & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 3243—48. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>.
- Skrynyk, O., Aguilar, E., Skrynyk, O., Sidenko, V., Boichuk, D., & Osadchyi, V. (2018). Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*, 39(4), 2071—2079. <https://doi.org/10.1002/joc.5934>.
- Stensballe, L.G., Devasundaram, J.K., & Simoes, E.A. (2003). Respiratory syncytial virus epidemics: the ups and downs of a seasonal virus. *The Pediatric Infectious Disease Journal*, 22, S21—S32. <https://doi.org/10.1097/01.inf.0000053882.70365.c9>.
- Sun, Z., Cai, X., Gu, C., Zhang, R., Han, W., Qian, Y., Wang, Y., Xu, W., Wu, Y., Cheng, X., Yuan, Z., Xie, Y., & Qu, D. (2020). Stability of the COVID-19 virus under wet, dry and acidic conditions. *Medrxiv Posted*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20058875>.
- Tian, H., & Xu, B. (2015). Persistence and transmission of avian influenza A (H5N1): virus movement, risk factors and pandemic potential. *Annals of GIS*, 21(1), 55—68. <https://doi.org/10.1080/19475683.2014.992368>.
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Phil, M., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, E., Munster, V.J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382, 1564—1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
- Walker, P.G.T., Whittaker, C., Watson, O.J., Bague-
lin, M., Winskill, P., Hamlet, A. et al. (2020). The impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression in low- and middle-income countries. *Science*, 369, 413—422 <https://doi.org/10.1126/science.abc0035>.
- Weather for 243 countries of the world. (2020). Retrieved from <http://rp5.ua>.
- WHO. (2005). Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/276959>.
- WHO. (2009). New influenza A (H1N1) virus: global epidemiological situation. *Weekly Epidemiological Record*, (25), 249—257. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/241366/WER8425_249-257.PDF.
- WHO. (2018a). Retrieved from <https://www.who.int/influenza/>.
- WHO. (2018b). Retrieved from https://www.who.int/influenza/surveillance_monitoring/bod/en/.
- WHO. (2019). Retrieved from https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0019/424342/NPI_guide.pdf?ua=1.
- WHO. (2020a). Retrieved from <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub>.
- WHO. (2020b). Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-rus.pdf.
- WHO. (2020b). Retrieved from <https://data.unwomen.org/resources/covid-19-emerging-gender-data-and-why-it-matters>.
- Xiao, X., Chakraborti, S., Dimitrov, A.S., Gramatikoff, K., Dimitrov, D.S. (2003). The SARS-CoV S glycoprotein: expression and functional characterization. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, 312(4), 1159—1164. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2003.11.054>.
- Yusuf, S., Piedimonte, G., Auais, A., Demmler, G., Krishnan, S., Van Caeseele, P., Singleton, R., Broor, S., Parveen, S., Avendano, L., Parra, J., Chavez-Bueno, S., Murguia de Sierra, T., Simoes, E.A.F., Shaha, S., & Welliver, R. (2007). The relationship of meteorological conditions to the epidemic activity of respiratory syncytial virus. *Epidemiology & Infection*, 135, 1077—1090. <https://doi.org/10.1017/S095026880600776X>.

- Yang, W., & Marr, L.C. (2011). Dynamics of airborne influenza A virus indoors and dependence on humidity. *PLoS ONE*, 6, e21481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481>.
- Yang, W., Elankumaran, S., & Marr, L.C. (2012). Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PLoS ONE*, 7, e46789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046789>.
- Zhu, Y., & Xie, J. (2020). Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment*, 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>.

About the influence of environmental conditions on the distribution of the SARS-CoV-2 virus in Ukraine

S.G. Boychenko¹, O.S. Holubka², V.I. Karamushka³, 2020

¹S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

²L.V. Gromashevsky Institute of Epidemiology & Infectious Diseases National Academy of Medical Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

³National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kiev, Ukraine

Taking into account that climate and atmospheric processes can, to a certain extent, affect viral epidemics, the dynamics of the rates of infection with the SARS-CoV-2 virus was analyzed in comparison with a number of climate factors (temperature, precipitation, humidity, etc.) in the territory Kiev, Dnepropetrovsk, Odessa and Khmelnytsky regions as well as the city of Kiev during April—August 2020. To assess the impact of environmental conditions on the process of virus infection, the index of confirmed cases (ICC) was introduced. It is shown that in the spring, in particular, in May, the ICC index increased with a cold snap and decreased with a warming. In summer, the ICC index decreased with an increase of temperature with a delay of infection by 5—7 days, which is apparently associated with the incubation period of the virus (5—14 days). In particular, there was no increase in ICC values at high temperatures (over 30 °C). The relative humidity of the atmosphere air and the dew point temperature are more closely related to the efficiency of virus transmission. Thus, in spring, with an increase in relative humidity, an increase in the values of the ICC index was observed, and vice versa, with a decrease in relative humidity, the ICC index decreased. In summer, at high air temperatures and fluctuations in relative humidity, the ICC index mainly decreased, with the exception of a few weather situations. A decrease in the amount of atmospheric precipitation in April–August 2020 in Ukraine affected the activity of aerosol transmission of viruses (air-dust transport prevailed). At the same time, it was found that an increase of the ICC index during rainy periods correlates with the number of days with precipitation (less — with the amount of precipitation), while there is a delay in the growth of infection rates by several days. Analysis of the possible effect of precipitation acidity on the survival of the SARS-CoV-2 virus indicates the absence of a significant effect of this factor on the dissemination of viral infection. The presented results of the analysis of data on infection with the SARS-CoV-2 virus in Ukraine indicate a certain dependence of this process on climatic factors and are important for the assessment of the risks of infection and related diseases.

Key words: SARS-CoV-2 virus, climatic conditions, surface temperature, relative humidity, dew-point temperature, atmospheric precipitation, acidity.

References

- Boychenko, S.G., & Zabarna, O.G. (2019). Estimation of comfort of weather conditions and trends of their changes for the Kyiv region in the conditions of climate change. *Geofizicheskiy zhurnal*, 41(6), 128—143. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190071>.
- Holubka, O.S. (2013). The efficiency of the system of sentinel epidemiological surveillance of influenza. *Profilaktychna medytsyna*, (1), 14—17 (in Ukrainian).
- Holubka, O.S., Onyschenko, O.V., Mironenko, A.P., & Stepanisky, D.O. (2012). Strain characteristics of the population of influenza viruses isolated in Ukraine in the season 2011—2012. *Tuberkul'oz, lehenevi khvoroby, VIL-infektsiya*, (4), 97—100 (in Ukrainian).
- Sentinel surveillance of influenza in Ukraine. (2020). Retrieved from <http://ukrinfluenza.com.ua>.
- Zhdanov, V.M. (1984). Man and viruses. In *Science and humanity: international yearbook* (pp. 44—55). Moscow: Znanie (in Russian).
- Zhirnov, O.P., & Manykin, A.A. (2014). pH-dependent rearrangements in the influenza A virus. *Voprosy Virusologii*, (3), 41—46 (in Russian).
- Israel, Yu.A. (1989). *Acid rain*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 270 p. (in Russian).
- Isayev, A. (2001). *The Ecological Climatology*. Moscow: Nauchnyy Mir, 456 p. (in Russian).
- Karisheva, V.M. (2001). *Special epizootology: Textbook*. Kyiv: Vyshcha Osvita, 703 p. (in Ukrainian).
- Acidity map of atmospheric precipitation in Ukraine. (2006). Retrieved from <https://www.imbf.org/karty/karta-kislotnosti-atmosfernyh-osadkov-ukriany.html>.
- The Climate Cadastre of Ukraine. (2005). Kyiv: Publ. of the Ukrainian Hydrometeorological Institute, 48 p. (in Ukrainian).
- Lipinsky, V., Dyachuk, V., & Babichenko, V. (Eds.). (2003). *The Climate of Ukraine*. Kyiv: Rayevskyy Publishing, 344 p. (in Ukrainian).
- Mikita, G.I. (2009). Studies of the structure and form of influenza A virus of strains H5 and H7 — avian influenza. *Vestnik RUDN. Seriya. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, (1), 17—20 (in Russian).
- Mironenko, A.P., Holubka, O.S., & Onishchenko, O.V. (2011). Evaluation of the effectiveness of sentinel surveillance for influenza in Ukraine. *Profilaktychna medytsyna*, (4), 25—32 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Frolov, A.F., Zadorozhnaya, V.I., & Romenets, A.A. (2007). Disturbance of the Earth's magnetic field and some aspects of infectious diseases. *Geofizicheskiy zhurnal*, 29(6), 148—156 (in Russian).
- UHC: Ukrainian Hydrometeorological Center. (2020). Retrieved from <https://meteo.gov.ua/ua/33345/current/ukraine/#>.
- Public Health Center of the Ministry of Health of Ukraine. (2020). Retrieved from <https://phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvannya/inshi-infektsiyni-zakhvoryuvannya/koronavirusna-infekciya-covid-19>.
- CGO: Central Geophysical Observatory. (2020). Retrieved from http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=k_klimat&f=kyiv&p=1.
- Bloom-Feshbach, K., Alonso, W.J., Charu, V., Tamerius, J., Simonsen, L., Miller, M.A., & Viboud, C. (2013). Latitudinal Variations in Seasonal Activity of Influenza and Respiratory Syncytial Virus (RSV): A Global Comparative Review. *PLoS ONE*, 8(2), e54445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054445>.
- Boychenko, S., Voloshchuk, V., Kuchma, T., & Serdyuchenko, N. (2018). Long-time changes of the thermal continentality index, the amplitudes and the phase of the seasonal temperature variation in Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(3), 81—96. doi: <https://10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137175>.
- Boychenko, S., Voloshchuk, V., Movchan, Ya., Serdyuchenko, N., Tkachenko, V., Tyshchenko, O., & Savchenko, S. (2016). Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*, (4), 96—113. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>.

- Caini, S., Kuszniar, G., Garate, V., Wangchuk, S., Thapa, B. et al. (2019). The epidemiological signature of influenza B virus and its B/Victoria and B/Yamagata lineages in the 21st century. *PLoS ONE*, 14(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222381>.
- Chan, P.W., Chew, F.T., Tan, T.N., Chua, K.B., & Hooi, P.S. (2002). Seasonal variation in respiratory syncytial virus chest infection in the tropics. *Pediatr Pulmonol*, 34, 47—51. <https://doi.org/10.1002/ppul.10095>.
- Cheval, S., Adamescu, C.M., Georgiadis, T., Hernegger, M., Piticar, A., & Legates, D.R. (2020). Observed and Potential Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4140. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114140>.
- Ching, J., & Kajino, M. (2020). Rethinking Air Quality and Climate Change after COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5167. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145167>.
- Climate data: Ukraine. (2020). Retrieved from <https://en.tutiempo.net/climate/ukraine.htm>.
- COVID-19 situation in the WHO European Region. (2020). Retrieved from <https://who.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/a19d5d1f86ee4d99b013eed5f637232d>.
- Coronavirus epidemic monitoring system. (2020). Retrieved from <https://covid19.rnbo.gov.ua/>.
- Cox, N.J., & Subbarao, K. (2000). Global epidemiology of influenza: past and present. *Annual Review of Medicine*, 51, 407—421. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.51.1.407>.
- Darnell, M.E.R., Subbarao, K., Feinstone, S.M., & Taylor, D.R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, 121, 85—91. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.06.006>.
- Hammond, G.W., Raddatz, R.L., & Gelskey, D.E. (1989). Impact of Atmospheric Dispersion and Transport of Viral Aerosols on the Epidemiology of Influenza. *Reviews of Infectious Diseases*, 11(3), 494—497. <https://doi.org/10.1093/clinids/11.3.494>.
- IPCC: Climate change 2013: The Physical Science Basis. (2013). Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, UNEP/WMO. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Larsen, A., Hanigan, I., Reich, B.J., Qin, Y., Cope, M., Morgan, G., & Rappold, A.G. (2020). A deep learning approach to identify smoke plumes in satellite imagery in near-real time for health risk communication. *Journal of Exposure Sciences & Environmental Epidemiology*, 150(1). <https://doi.org/10.1038/s41370-020-0246-y>.
- Laude, H. (1981). Thermal inactivation studies of a coronavirus, transmissible gastroenteritis virus. *Journal of General Virology*, 56(2), 235—240. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-56-2-235>.
- LeDuc, J.W., & Barry, M.A. (2004). SARS, the first pandemic of the 21st century. *Emerging Infectious Diseases*, 10, e26. https://doi.org/10.3201/eid1011.040797_02.
- Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M., De-Gol, A.J., Willis, D.R., Shan, Y., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Creutzig, F. & Peters, G.P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Changes*, 10, 647—653. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>.
- Liu, J., Zhou, J., Yao, J., Zhang, X., Li, L., Xu, X., He, X., Wang, B., Fu, S., Niu, T., Yan, J., Shi, Y., Ren, X., Niu, J., Zhu, W., Li, S., Luo, B., & Zhang, K. (2020). Impact of meteorological factors on the COVID-19 transmission: A multicity study in China. *Sciences of the Total Environment*, 726, 13851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138513>.
- Lofgren, E., Fefferman, N.H., Naumov, Y.N., Gorski, J., & Naumova, E.N. (2007). Influenza seasonality: underlying causes and modeling theories. *Journal of Virology*, 81, 5429—36. <https://doi.org/10.1128/JVI.01680-06>.
- Meerhoff, T.J., Simaku, A., Ulqinaku, D., et al. (2015). Surveillance for severe acute respiratory infections (SARI) in hospitals in the WHO european region — an exploratory analysis of risk factors for a severe outcome in influenza-positive SARI cases. *BMC Infectious Diseases*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12879-014-0722-x>.

- Memish, Z.A., Perlman, S., Van Kerkhove, M.D., & Zumla, A. (2020). Middle East respiratory syndrome. *The Lancet*, 395, 1063—1077. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)33221-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)33221-0).
- Minnis, P., Harrison, E., Stowe, L., Gibson, G.G., Denn, F.M., Doelling, D.R., & Smith, W.L. (1993). Radiative climate forcing by the Mount Pinatubo eruption. *Science*, 259, 1411—1415. <https://doi.org/10.1126/science.259.5100.1411>.
- Oliver, J.E. (Ed.). (2005). *Encyclopedia of World Climatology*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Science & Business Media, 874 p.
- Omer, S.B., Sutanto, A., Sarwo, H., Linehan, M., Djelantik, I.G.G., Mercer, D., Moniaga, V., Moulton, L.H., Widjaya, A., Muljati, P., Gessner, B.D., & Steinhof, M.C. (2008). Climatic, temporal, and geographic characteristics of respiratory syncytial virus disease in a tropical island population. *Epidemiology & Infection*, 136(10), 1319—1327. <https://doi.org/10.1017/S0950268807000015>.
- Open Data-Server. (2020). Retrieved from https://opendata.dwd.de/climate_environment/.
- Park, J.E., Son, W.S., Ryu, Y., Choi, S.B., Kwon, O., & Ahn, I. (2020) Effects of temperature, humidity, and diurnal temperature range on influenza incidence in a temperate region. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 14, 11—18. <https://doi.org/10.1111/irv.12682>.
- Paynter, S. (2015). Humidity and respiratory virus transmission in tropical and temperate settings. *Epidemiol. Epidemiology & Infection*, 143, 1110—1118. <https://doi.org/10.1017/S0950268814002702>.
- Prather, K.A., Wang, C.C., & Schooley, R.T. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*, 368, 1422—1424. <https://doi.org/10.1126/science.abc6197>.
- Perdiz, D., Grof, P., Mezzina, M., Nikaido, O., Moustacchi, E., & Sage, E. (2000). Distribution and repair of bipyrimidine photoproducts in solar UV-irradiated mammalian cells. *Journal of Biological Chemistry*, 275, 26732—26742. <https://doi.org/10.1074/jbc.M001450200>.
- Sagripanti, J.-L., & Lytle, C.D. (2007). Inactivation of influenza virus by solar radiation. *Photochemistry and photobiology*, 83, 1278—1282. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2007.00177.x>.
- Shaman, J., & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 3243—48. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>.
- Skrynyk, O., Aguilar, E., Skrynyk, O., Sidenko, V., Boichuk, D., & Osadchyi, V. (2018). Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*, 39(4), 2071—2079. <https://doi.org/10.1002/joc.5934>.
- Stensballe, L.G., Devasundaram, J.K., & Simoes, E.A. (2003). Respiratory syncytial virus epidemics: the ups and downs of a seasonal virus. *The Pediatric Infectious Disease Journal*, 22, S21—S32. <https://doi.org/10.1097/01.inf.0000053882.70365.c9>.
- Sun, Z., Cai, X., Gu, C., Zhang, R., Han, W., Qian, Y., Wang, Y., Xu, W., Wu, Y., Cheng, X., Yuan, Z., Xie, Y., & Qu, D. (2020). Stability of the COVID-19 virus under wet, dry and acidic conditions. *Medrxiv Posted*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20058875>.
- Tian, H., & Xu, B. (2015). Persistence and transmission of avian influenza A (H5N1): virus movement, risk factors and pandemic potential. *Annals of GIS*, 21(1), 55—68. <https://doi.org/10.1080/19475683.2014.992368>.
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Phil, M., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, E., Munster, V.J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382, 1564—1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
- Walker, P.G.T., Whittaker, C., Watson, O.J., Baguelin, M., Winskill, P., Hamlet, A. et al. (2020). The impact of COVID-19 and strategies for mitigation and suppression in low- and middle-income countries. *Science*, 369, 413—422 <https://doi.org/10.1126/science.abc0035>.
- Weather for 243 countries of the world. (2020). Retrieved from <http://rp5.ua>.
- WHO. (2005). Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/276959>.

- WHO. (2009). New influenza A (H1N1) virus: global epidemiological situation. *Weekly Epidemiological Record*, (25), 249—257. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/241366/WER8425_249-257.PDF.
- WHO. (2018a). Retrieved from <https://www.who.int/influenza/>.
- WHO. (2018b). Retrieved from https://www.who.int/influenza/surveillance_monitoring/bod/en/.
- WHO. (2019). Retrieved from https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0019/424342/NPI_guide.pdf?ua=1.
- WHO. (2020a). Retrieved from <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub>.
- WHO. (2020b). Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333114/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-rus.pdf.
- WHO. (2020в). Retrieved from <https://data.unwomen.org/resources/covid-19-emerging-gender-data-and-why-it-matters>.
- Xiao, X., Chakraborti, S., Dimitrov, A.S., Gramatikoff, K., Dimitrov, D.S. (2003). The SARS-CoV S glycoprotein: expression and functional characterization. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, 312(4), 1159—1164. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2003.11.054>.
- Yusuf, S., Piedimonte, G., Auais, A., Demmler, G., Krishnan, S., Van Caesele, P., Singleton, R., Broor, S., Parveen, S., Avendano, L., Parra, J., Chavez-Bueno, S., Murguia de Sierra, T., Simoes, E.A.F., Shaha, S., & Welliver, R. (2007). The relationship of meteorological conditions to the epidemic activity of respiratory syncytial virus. *Epidemiology & Infection*, 135, 1077—1090. <https://doi.org/10.1017/S095026880600776X>.
- Yang, W., & Marr, L.C. (2011). Dynamics of airborne influenza A virus indoors and dependence on humidity. *PLoS ONE*, 6, e21481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481>.
- Yang, W., Elankumaran, S., & Marr, L.C. (2012). Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PLoS ONE*, 7, e46789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046789>.
- Zhu, Y., & Xie, J. (2020). Association between ambient temperature and COVID-19 infection in 122 cities from China. *Science of the Total Environment*, 724, 138201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138201>.

Про вплив умов навколишнього середовища на поширення вірусу SARS-CoV-2 в Україні

С.Г. Бойченко¹, О.С. Голубка², В.І. Карамушка³, 2020

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

²ДУ «Інститут епідеміології і інфекційних хвороб ім. Л.В. Громашевського НАМН України», Київ, Україна

³Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Україна

З урахуванням того, що кліматичні та атмосферні процеси певною мірою можуть впливати на вірусні епідемії, проаналізовано динаміку показників інфікування вірусом SARS-CoV-2 у зіставленні з кліматичними показниками (температурою, опадами, вологістю та ін.) на територіях Києва, Київської, Дніпропетровської, Одеської та Хмельницької областей упродовж квітня—серпня 2020 р. Для оцінювання впливу умов навколишнього середовища на процес інфікування вірусом уведеної індекс підтверджених випадків інфікування (*index of confirmed cases, ICC*). Показано, що навесні, зокрема в травні, індекс *ICC* підвищувався при похолоданні і знижувався при потеплінні. Влітку індекс *ICC* знижувався при підвищенні температури із запізнюванням інфікування на 5—7 днів, що пов'язано, ймовірно, з періодом інкубації вірусу (5—14 днів). Зокрема, не спостерігали збільшення значень *ICC* при

високих температурах (понад 30 °С). Відносна вологість атмосферного повітря і температура точки роси тісніше пов'язані з ефективністю передачі вірусу. Так, навесні зі збільшенням відносної вологості спостерігали збільшення значень індексу *ICC*, і навпаки, зі зниженням відносної вологості індекс *ICC* зменшувався. Влітку при високих температурах повітря і флуктуаціях відносної вологості індекс *ICC* в основному знижувався, за винятком декількох погодних ситуацій. Зменшення кількості атмосферних опадів в квітні—серпні 2020 р. в Україні, ймовірно, вплинуло на активність аерозольної передачі вірусів (переважало повітряно-пилове перенесення). При цьому встановлено, що підвищення індексу *ICC* у дощові періоди корелює з кількістю днів з опадами (менш — з кількістю опадів), при чому спостерігали запізнювання зростання показників інфікування на декілька днів. Аналіз можливого впливу кислотності опадів на виживаність вірусу SARS-CoV-2 засвідчує відсутність істотного впливу цього чинника на поширення вірусної інфекції. Згідно з результатами аналізу даних інфікування вірусом SARS-CoV-2 в Україні, існує певна залежність цього процесу від кліматичних чинників, що важливо для оцінювання ризиків інфікування і пов'язаних з ними супутних захворювань.

Ключові слова: вірус SARS-CoV-2, кліматичні умови, приземна температура, вологість повітря, точка роси, атмосферні опади та їх кислотність.