

# Влажность воздуха и ОРВИ

01.11.2021

Эксперименты показали сильную зависимость заразности гриппа от температуры и влажности. Пересмотр полученных данных позволяет заключить, что в действительности играет роль абсолютная влажность. Изменения абсолютной влажности оказываются единственным, логичным и физически ясным объяснением сезонных колебаний гриппа в средних широтах. Последовавшие за этим эпидемиологические наблюдения выявили связь между вспышками острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ) и местными значениями влажности и температуры. Тем самым было получено долгожданное объяснение сезонности ОРВИ. Однако несмотря на достигнутый прогресс, механизм влияния температуры и влажности на эффективность передачи ОРВИ остаётся не ясным.

## Содержание

<b>1</b>	<b>Контекст</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Публикации</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Абсолютная влажность</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Фактические данные</b>	<b>14</b>

# 1 Контекст

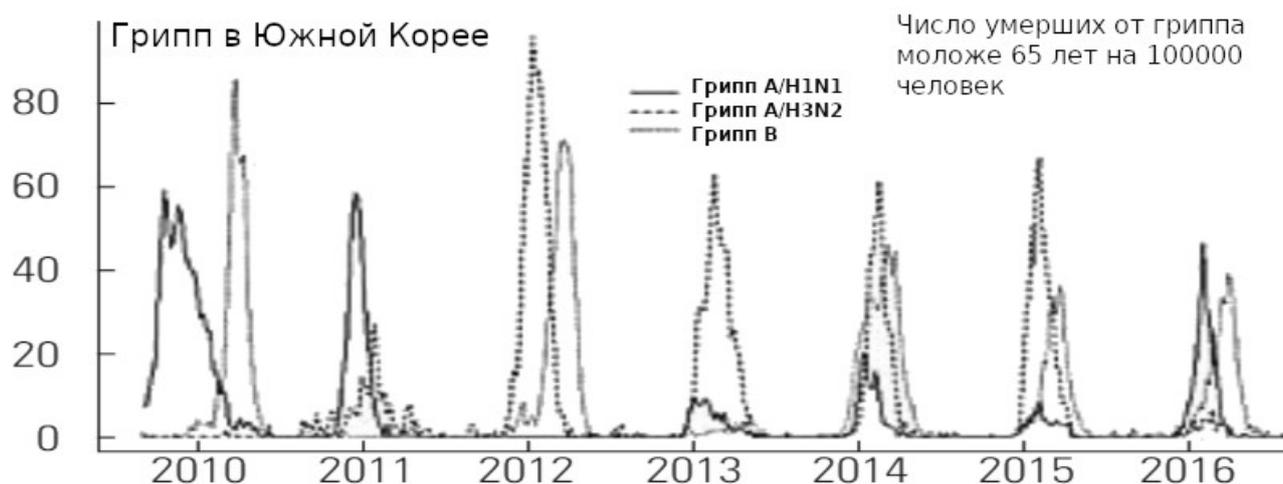
Rancourt D. “Masks Don’t Work: A review of science relevant to COVID-19 social policy” («Маски бесполезны: научная критика социальной политики при КОВИД-19<sup>1</sup>»), Vixra.org, 05.06.2020:<sup>2</sup>

Помимо пандемий, которые могут возникать в любое время, в средних широтах обнаруживается повышенная смертность от респираторных заболеваний, носящая сезонный характер и вызванная вирусами.

Сезонные инфекционные вирусные респираторные заболевания, которые каждый год поражают средние широты, переходят от умеренно заразных к очень заразным просто благодаря биофизическому способу передачи, определяемому атмосферной влажностью, независимо от каких-либо других соображений.

Проще говоря, «вторая волна» эпидемии это не следствие человеческого греха в отношении ношения масок и рукопожатий. Скорее, «вторая волна» является неизбежным следствием многократного увеличения заразности заболевания из-за сухости воздуха — в популяции, которая ещё не получила иммунитета.

Учебный год в Южной Корее поделён на два семестра. Первый начинается в марте и заканчивается в середине июля; второй начинается в конце августа и заканчивается в середине февраля. Грипп в Южной Корее — Hong K., et al. “Estimating Influenza-associated Mortality in Korea: The 2009-2016 Seasons” («Оценка связанной с гриппом смертности в Корее в 2009–2016 годах»), Journal of Preventive Medicine & Public Health, 2019, 52(5):308–315:<sup>3</sup>



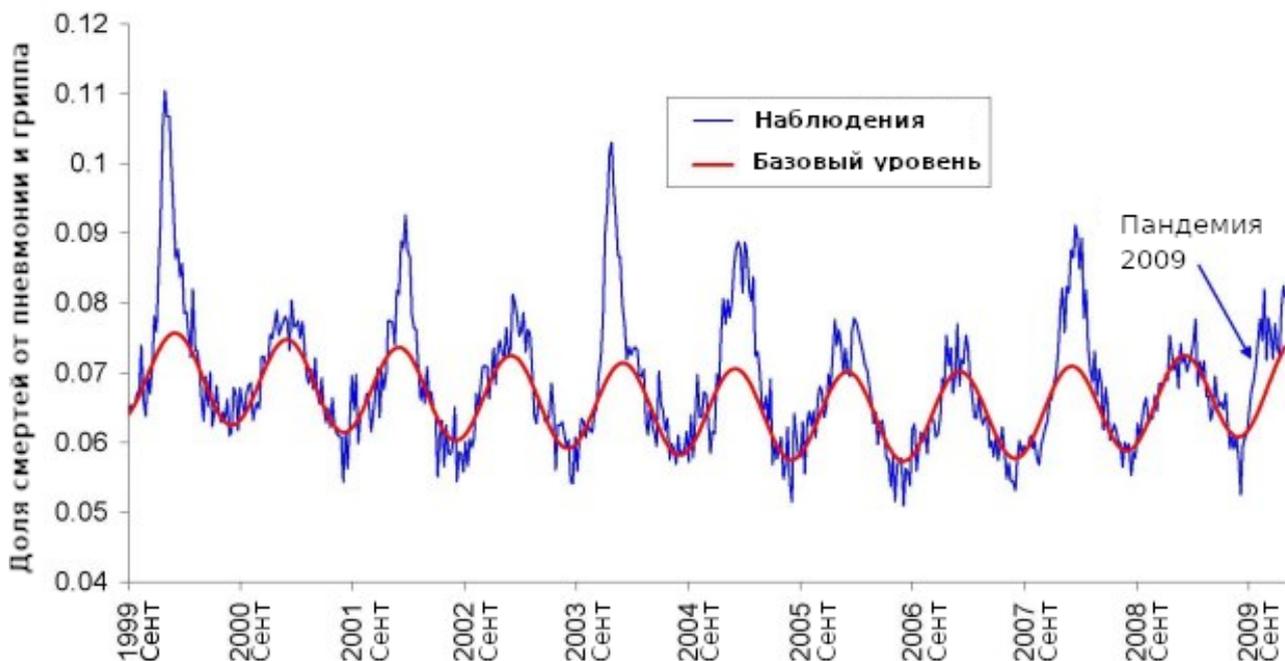
Грипп на Тайване — Taiwan Centers for Disease Control, “Severe Complicated Influenza in Taiwan, 2008/7-2019/6” («Осложнённые случаи гриппа на Тайване в 2008–2019 годах»), 2014/11/25:<sup>4</sup>



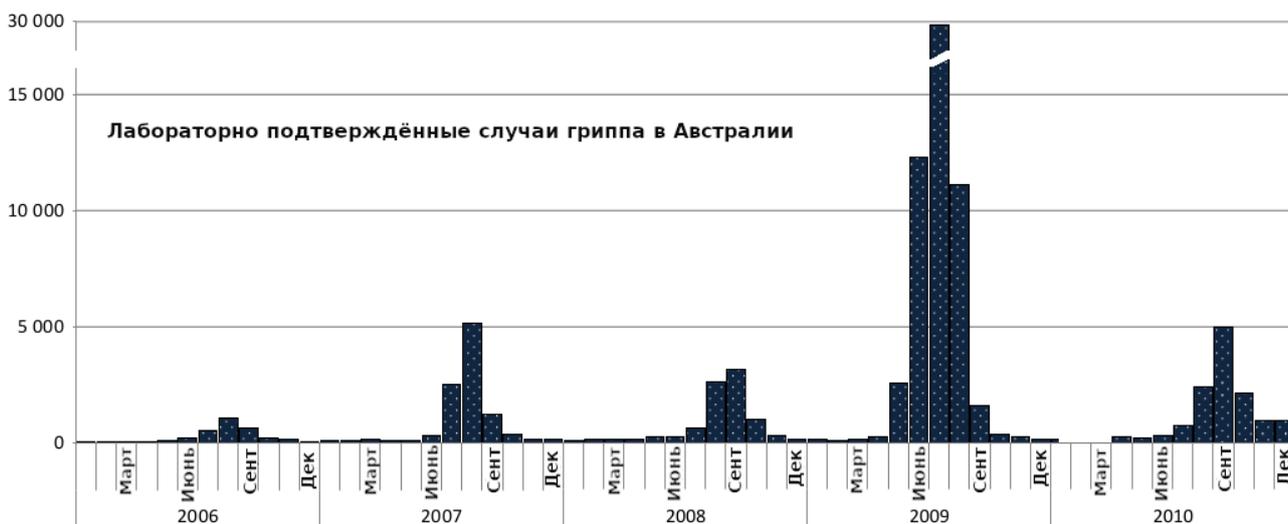
<sup>1</sup> <https://pashhev.ru/posts/rancourt-2020>    <sup>2</sup> <https://vixra.org/abs/2006.0044>    <sup>3</sup> <https://doi.org/10.3961/jpmph.19.156>    <sup>4</sup> [https://www.cdc.gov.tw/En/Category/ListContent/bg0g\\_VU\\_Ysrgkes\\_KRUDgQ?uaid=Zvnt3Ff941PorUmUD0-1eA](https://www.cdc.gov.tw/En/Category/ListContent/bg0g_VU_Ysrgkes_KRUDgQ?uaid=Zvnt3Ff941PorUmUD0-1eA)

Грипп в США — Viboud C., et al. “Preliminary Estimates of Mortality and Years of Life Lost Associated with the 2009 A/H1N1 Pandemic in the US and Comparison with Past Influenza Seasons” («Предварительные оценки смертности и преждевременной гибели в США в связи пандемией 2009 года и сравнение с прошлыми сезонами гриппа»), PLoS, 2:RRN1153:<sup>1</sup>

### Еженедельная смертность от пневмонии и гриппа в 122 городах США



Учебный год в Австралии обычно начинается в конце января и заканчивается в середине декабря. Грипп в Австралии — Gavin K., et al. “Annual report of the National Influenza Surveillance Scheme, 2010” («Годовой отчёт государственной системы наблюдения за гриппом, 2010 год»), Communicable Diseases Intelligence, 2017, 41(4):<sup>2</sup>



Учебный год в Японии формально начинается в апреле и длится фактически круглый год с небольшими каникулами. Грипп в Японии — Infectious Agents Surveillance Report. “Influenza 2018/19 season, Japan” («Сезон гриппа 2018–2019 годов в Японии»), National Institute of Infectious Diseases, 2019, 40(11):177–180.<sup>3</sup>

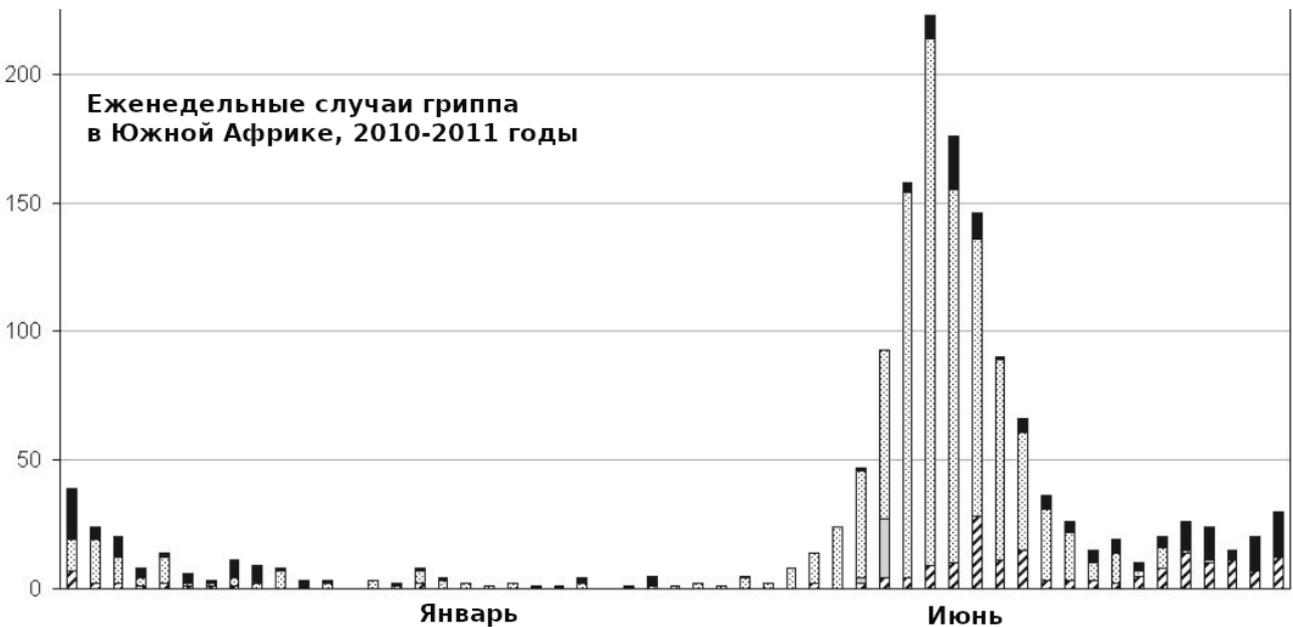
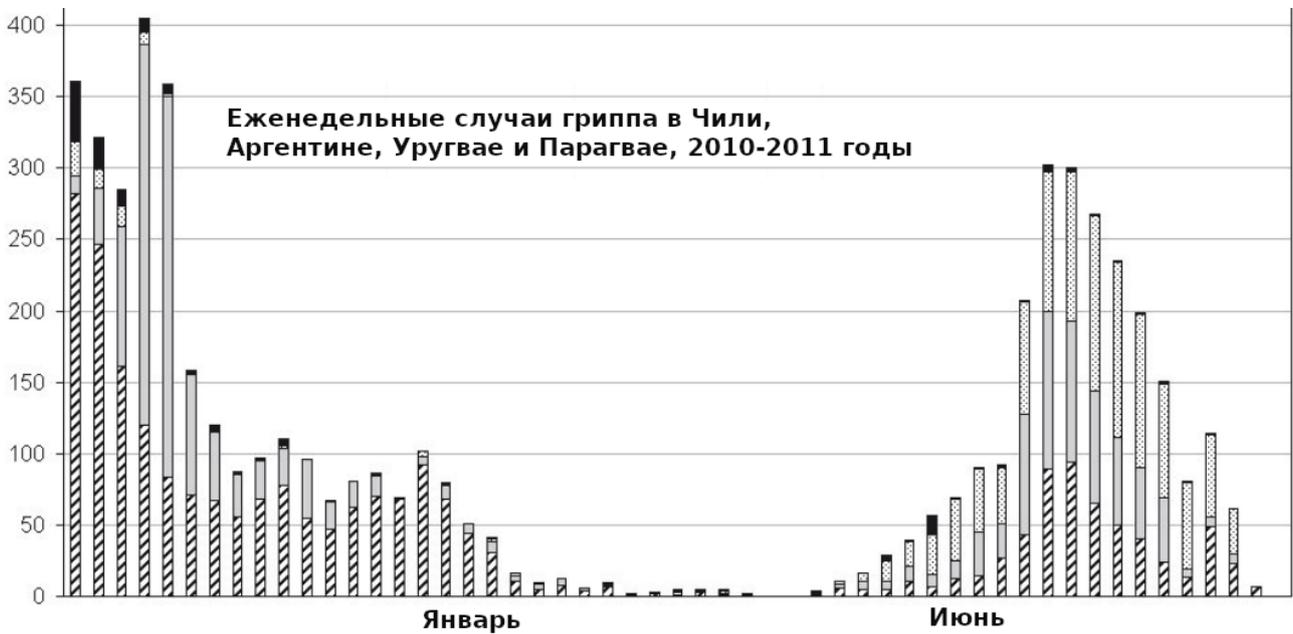
<sup>1</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2843747>  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2843747/internet/main/publishing.nsf/Content/cdi4104-f>

<sup>2</sup> <https://www1.health.gov.au/>

<sup>3</sup> <https://www.niid.go.jp/niid/en/iasr-vol40-e/9295-idx477-e.html>



Грипп в Южной Америке и Южной Африке — World Health Organization, “Review of the 2011 winter influenza season, southern hemisphere” («Обзор гриппа зимой 2011 года в южном полушарии»), Weekly Epidemiological Record, 2011, 86(44):481–496.<sup>1</sup>

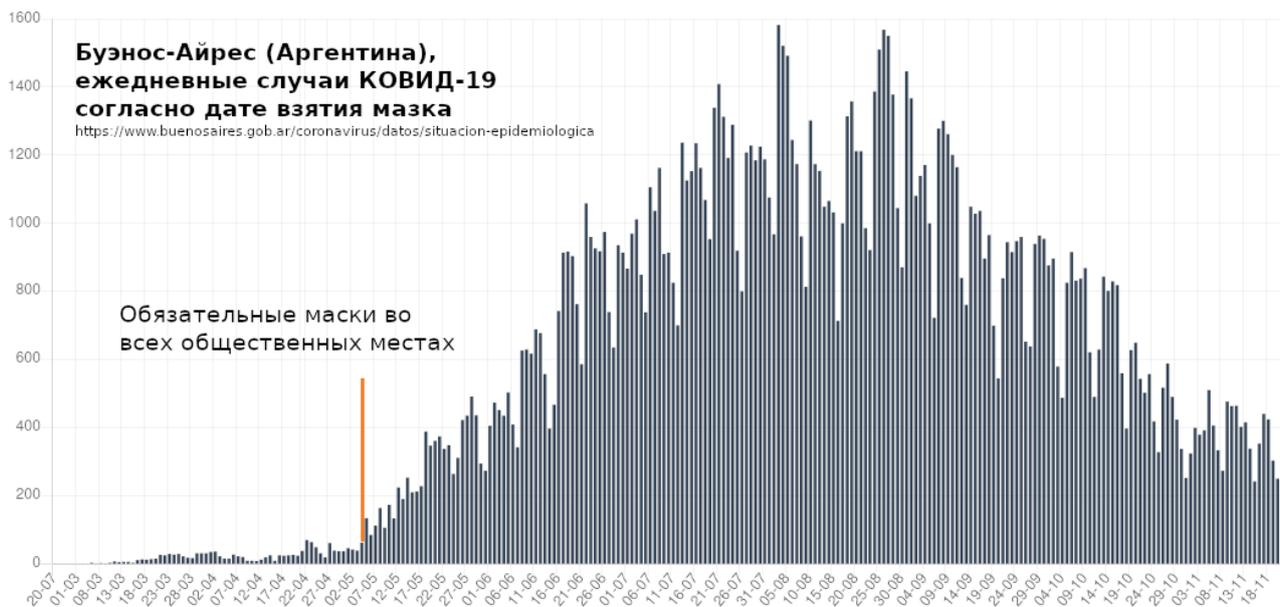


<sup>1</sup> <https://www.who.int/wer/2011/wer8644/en>

КОВИД-19 в Австралии и Южной Африке — Hasell J., et al. “Coronavirus Source Data, 2020-10-17” («Данные по коронавирусу»), Sci Data, 7, 345 (2020).<sup>1</sup> Мартовский пик в Австралии можно объяснить массовыми привозными случаями (в связи с объявленным закрытием границ), которые прекратились после закрытия границ 20 марта 2020 года.<sup>2</sup>



КОВИД-19 в Буэнос-Айресе (Аргентина):<sup>3</sup>



<sup>1</sup> <https://github.com/owid/covid-19-data/blob/e41a7cfb5d8e061f0b5f9aa323b31a0a947277a1/public/data/owid-covid-data.csv>

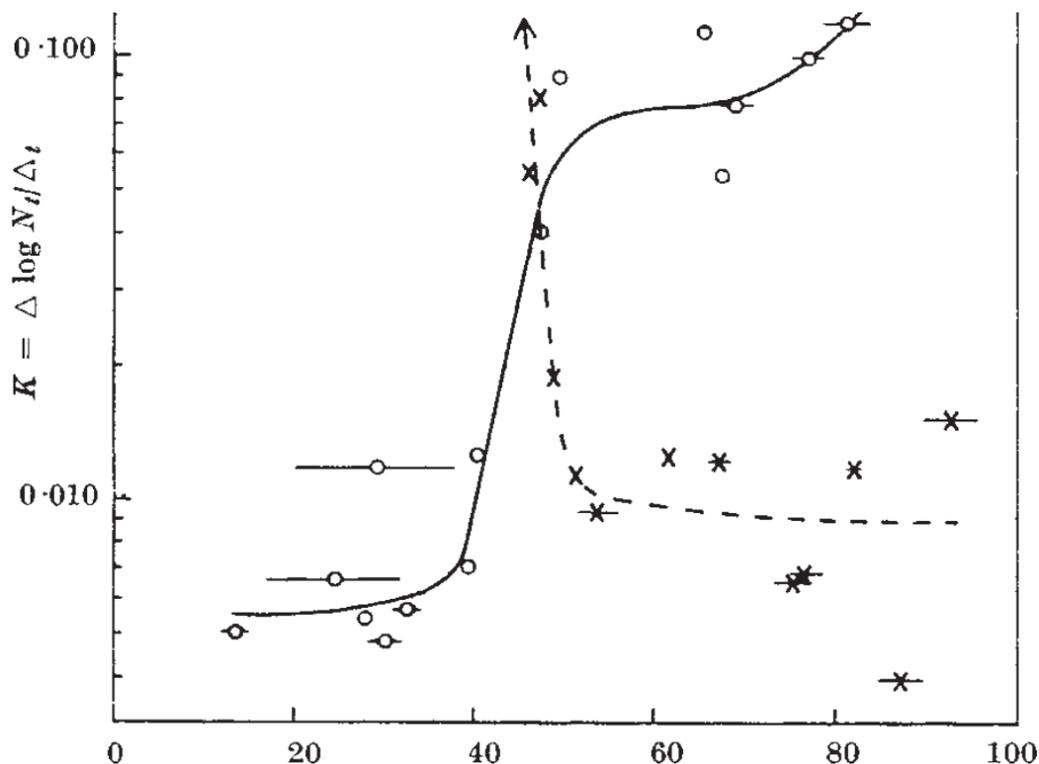
<sup>2</sup> <https://www.abc.net.au/news/2020-03-20/12075340>

<sup>3</sup> <https://www.buenosaires.gov.ar/coronavirus/datos/situacion-epidemiologica>

## 2 Публикации

1. Hemmes J. H., et al. "Virus Survival as a Seasonal Factor in Influenza and Poliomyelitis" («Выживание вируса как сезонный фактор гриппа и полиомиелита»), *Nature*, 1960, 188:430–431.<sup>1</sup>

Эксперименты выявили, что вирус гриппа дольше сохраняется в воздухе при пониженной влажности, а вирус полиомиелита — при повышенной. Это согласуется с наблюдаемой активностью гриппа зимой, а полиомиелита — летом. На первом графике в статье в логарифмическом масштабе приведены скорости инактивации («гибели») вирусов гриппа (○) и полиомиелита (×) в зависимости от относительной влажности (в процентах):



2. Harper G. J. "Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses" («Переносимые по воздуху микроорганизмы: проверка живучести четырёх вирусов»), *Epidemiology & Infection*, 1961, 59(4):479–486.<sup>2</sup>

В работе экспериментально исследовалось влияние относительной влажности на выживаемость аэрозолей с вирусами коровьей оспы, гриппа, венесуэльского лошадиного энцефалита и полиомиелита в темноте при постоянных температуре и относительной влажности. При одной и той же относительной влажности вирусы оставались более активными при более низкой температуре. Вирус полиомиелита дольше сохранял активность при более высокой относительной влажности, остальные вирусы — при более низкой. Например, концентрация активного вируса гриппа падала в два раза уже через пять минут при влажности 64% и температуре 24 °С, через шесть часов — до 3–4%.

3. Akers T. G., et al. "Airborne stability of simian virus 40" («Живучесть вируса SV40 в воздухе»), *Applied microbiology*, 1973, 26(2):146–148.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> <https://sci-hub.ru/10.1038/188430a0> <sup>2</sup> <https://doi.org/10.1017/s0022172400039176> <sup>3</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC379741>

Исследовалось влияние относительной влажности на стабильность аэрозоля, содержащего вирус SV40 (вид полиомавируса обезьян). При температуре 21 °С вирус оставался одинаково активным при любой относительной влажности (от 22% до 88%). Однако при температуре 32 °С и средних значения влажности (50–60%) инактивировался в течении часа.

4. Schaffer F. L., et al. “Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids” («Выживание вируса гриппа в воздухе: роль носителя, влажности и состава аэрозолей»), Archives of Virology, 1976, 51(4):263–273.<sup>1</sup>

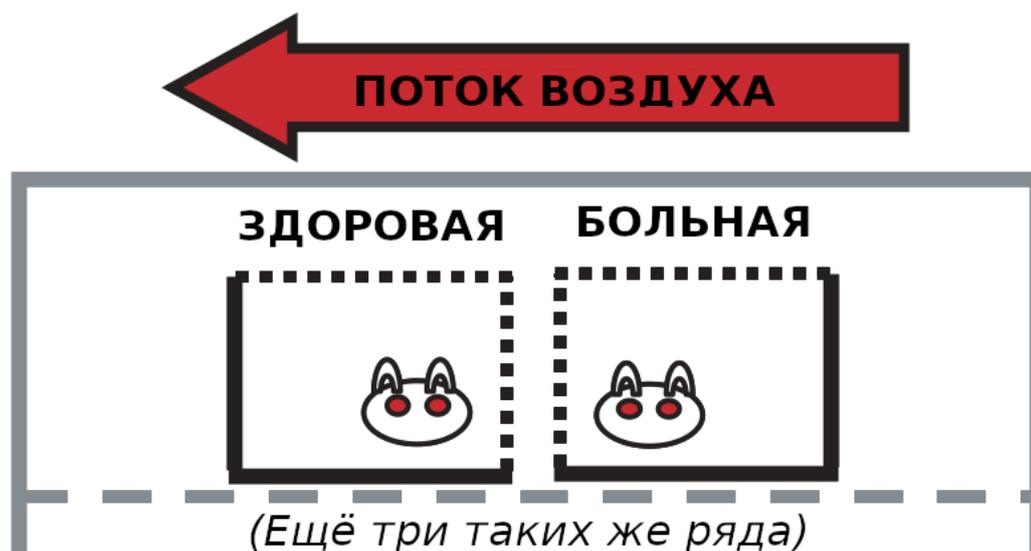
Вирус гриппа А, выращенный в коровьих, человеческих и куриных эмбриональных клеточных культурах, распылялся в виде аэрозоля. В таком виде, вирус был максимально стабилен при низкой относительной влажности, минимально стабилен при средней и умеренно стабилен при высокой относительной влажности.

5. Chew F. T., et al. “Seasonal trends of viral respiratory tract infections in the tropics” («Сезонные тенденции ОРВИ в тропиках»), Epidemiology & Infection, 1998, 121(1):121–128.<sup>2</sup>

Проведён ретроспективный обзор лабораторных данных двух больниц Сингапура за период с сентября 1990 по сентябрь 1994. Рассматривались вспышки респираторно-синцитиальной инфекции (РСИ), гриппа и парагриппа. Стабильная сезонность наблюдалась у РСИ (март–август) и гриппа А (пики в июне, декабре–январе). Вспышкам РСИ сопутствовала более высокая температура, пониженная влажность и большие колебания максимальной дневной температуры. Связь гриппа А с погодой не обнаружена, однако гриппу В сопутствовали дожди. Полученные данные подтверждают сезонные особенности ОРВИ в тропиках.

6. Lowen A. C., et al. “Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature” («Распространение вируса гриппа зависит от относительной влажности и температуры»), PLoS Pathogens, 2007, 3(10):1470–1476.<sup>3</sup>

В эксперименте обнаружено, что передача вируса гриппа между морскими свинками (очень восприимчивыми к нему) остро зависит от температуры и относительной влажности. Проведены 20 идентичных экспериментов различающихся только относительной влажностью и температурой. В каждом эксперименте участвовали по 8 морских свинок:



<sup>1</sup> <https://sci-hub.ru/10.1007/BF01317930>

<sup>2</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2809482>

<sup>3</sup> <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030151>

В целом, поведение свинок при разных температурах не отличалось, то есть уровень активности, потребление корма и воды, симптомы инфекции оставались одинаковыми и при 5 °С, и при 20 °С. При температуре 30 °С свинки потребляли больше воды и были вялыми.

При температуре 20 °С были проведены эксперименты при относительной влажности 20%, 35%, 50%, 65% и 80%. При низкой влажности 20% или 35% заражение было очень эффективным (заражались 3–4 свинки из 4). Однако при влажности 50% заразилась лишь одна свинка. При влажности 65% заразились 3 из 4 свинок, а при 80% — ни одной.

При температуре 5 °С и относительной влажности 50% и 80% заразность была выше, чем при температуре 20 °С и соответствующей относительной влажности, и эта разница оказалась статистически значимой.

В работе обсуждаются возможные механизмы влияния влажности. Во-первых, это сухость и повреждение эпителия дыхательных путей при низкой влажности, что делает организм более восприимчивым к ОРВИ. Однако, этот вряд ли сыграло значительную роль, так как свинки находились в сухом воздухе не более 3 суток. Во-вторых, это инактивация самих вирусных частиц (как описано в приведённых выше работах). В-третьих, это более быстрое при пониженной влажности испарение и превращение респираторных капель в аэрозоль, который может преодолевать большие расстояния.

7. Lowen A. C., et al. “High Temperature (30 °C) Blocks Aerosol but Not Contact Transmission of Influenza Virus” («Высокая температура (30 °C) блокирует аэрозольную передачу гриппа, но не контактную»), *Journal of virology*, 2008, 82(11):5650–5652.<sup>1</sup>

Эксперимент, аналогичный описанному выше, был повторён при температуре 30 °С и относительной влажности 20%, 50%, 65% и 80%. Во всех случаях аэрозольной передачи гриппа не наблюдалось.

8. Shaman J., et al. “Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality” («Абсолютная влажность модулирует выживаемость, передачу и сезонность гриппа»), *PNAS*, 2009, 106(9):3243–3248.<sup>2</sup>

Предыдущие исследования показали, что относительная влажность влияет как на передачу, так и на выживаемость вируса гриппа. Пересмотр полученных данных позволяет заключить, что в действительности играет роль *абсолютная* влажность. Изменения абсолютной влажности оказываются единственным, логичным и физически ясным объяснением сезонных колебаний гриппа в средних широтах.

Абсолютная влажность характеризуется давлением паров воды, которое зависит от температуры и относительной влажности. Проведён регрессионный анализ связи заразительности гриппа с температурой, относительной и абсолютной влажностью. Связь между заразительностью и температурой или относительной влажностью оказалась минимально значимой ( $p = 0,048$  и  $p = 0,059$  соответственно), тогда как связь с абсолютной влажностью гораздо сильнее ( $p = 0,00027$ ).

9. Shaman J., et al. “Absolute Humidity and the Seasonal Onset of Influenza in the Continental United States” («Абсолютная влажность и сезонные вспышки гриппа в континентальной части США»), *PLoS Biology*, 2010, 8(2):e1000316.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2395183>    <sup>2</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2651255>    <sup>3</sup> <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000316>

Значительная доля избыточной смертности в умеренных широтах зимой вызвана вспышками гриппа. Свежий обзор лабораторных экспериментов подталкивает к выводу, что активность гриппа тесно связана с абсолютной влажностью. Наблюдения в масштабе человеческой популяции показали, что росту связанной с гриппом смертности предшествует аномально низкая абсолютная влажность в предыдущие недели. Несмотря на то что выделить роль отдельных факторов: температуры, относительной и абсолютной влажности, солнечной радиации, учебного года — достаточно сложно в силу их выраженной годовой цикличности, обнаруженные закономерности говорят о том, что абсолютная влажность является значительным и, вероятно, доминирующим фактором сезонности гриппа.

10. Noti J. D. et al. “High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs” («Высокая влажность снижает заразительность вируса гриппа в симуляциях кашля»), PLOS ONE, 2013, 8(2):e57485.<sup>1</sup>

В эксперименте с кашляющими и дышащими манекенами исследована роль относительной влажности на аэрозольную передачу гриппа.

При низкой относительной влажности грипп сохраняет максимальную заразительность, но быстро инактивируется при высокой относительной влажности. Хотя вирусы в аэрозольных частицах размером до 4 микрон могут длительное время оставаться подвешенными в воздухе и переноситься на большие расстояния, их быстрая инаktivация при повышенной влажности нивелирует эту возможность. Поддержание влажности выше 40% внутри помещений существенно снизит заразительность вирусных аэрозолей.

11. Коep T. H., et al. “Predictors of indoor absolute humidity and estimated effects on influenza virus survival in grade schools” («Факторы абсолютной влажности и выживания вируса гриппа в школьных помещениях»), BMC Infect Dis., 2013, 13:71.<sup>2</sup>

Зимой абсолютная влажность внутри школьных помещений существенно колеблется и может достигать очень низких значений. В целом в течении дня она зависит от абсолютной влажности снаружи и уровня углекислого газа (вероятно это связано с человеческой активностью). Искусственное увлажнение может быть приемлемым способом снижения заразительности гриппа.

12. Lowen A. C., Steel J. “Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality” («Роль влажности и температуры в сезонных колебаниях гриппа»), Journal of Virology, 2014, 88(14):7692–7695.<sup>3</sup>

Эксперименты с морскими свинками (см. выше) показали сильную зависимость заразности гриппа от температуры и влажности. Последовавшие за этим эпидемиологические наблюдения выявили в умеренных широтах связь между вспышками гриппа и местными значениями влажности и температуры. Тем самым было получено долгожданное объяснение сезонности гриппа. Однако несмотря на достигнутый прогресс, механизм влияния температуры и влажности на эффективность передачи гриппа остаётся не ясным и может включать несколько факторов, рассматриваемых в статье.

13. Seleznev N. E., Leonenko V. N. “Absolute humidity anomalies and the influenza onsets in Russia: a computational study” («Аномалии абсолютной влажности и начало сезонов гриппа в России: численное моделирование»), Procedia Computer Science, 2017, 119:224–233.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057485>      <sup>2</sup> <https://bmcinfectdis.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2334-13-71>      <sup>3</sup> <https://jvi.asm.org/content/88/14/7692>      <sup>4</sup> <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.180>

В работе используются численные методы анализа связи между аномальными снижениями абсолютной влажности и официальным началом эпидемии гриппа в России. Ищется корреляция между этими двумя явлениями в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Парижском регионе (Иль-де-Франс). Результаты анализа для Иль-де-Франс согласуются с результатами Шамана (см. выше), но не согласуются с данными из России (статистически незначимы), что может быть связано с различием в определении начала сезона и эпидемиологического порога (другими словами, совершенно негодным качеством<sup>1</sup> данных), а также различием в площади исследуемых регионов.

14. Shaman J., et al. “The use of ambient humidity conditions to improve influenza forecast” («Использование влажности воздуха для улучшения моделей предсказания распространения гриппа»), PLOS Computational Biology, 2018, 13(11):e1005844.<sup>2</sup>

Исследуется вопрос повышения точности моделей прогнозирования гриппа путём включения абсолютной влажности. Ретроспективные прогнозы для 95 городов США в течение 10 сезонов гриппа с учётом абсолютной влажности оказались точнее прогнозов, не включающих абсолютную влажность как фактор.

15. Ryankov O. V. “Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air” («Выживание аэрозольного коронавируса в окружающем воздухе»), Journal of aerosol science, 2018, 115:158–163.<sup>3</sup>

Исследована инактивация аэрозольного вируса ближневосточного респираторного синдрома (MERS-CoV) при двух условиях: температуре 21 °C и относительной влажности 79%, и при температуре 38 °C и влажности 23%. В первом случае спустя час выжило 63,5% вируса, во втором — 4,7%.

16. Kudo E., et al. “Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection” («Низкая влажность ослабляет защитный барьер и врождённый иммунитет против гриппа»), PNAS, 2019, 116(22):10905–10910.<sup>4</sup>

В работе на примере мышей экспериментально обнаружено, что вдыхание сухого воздуха ослабляет мукоцилиарный клиренс (неспецифический механизм защиты слизистой оболочки органов дыхания от инфекций), врождённый иммунитет и способность тканей к восстановлению, тем самым делая мышей более восприимчивыми к гриппу.

17. Yueling Ma, et al. “Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China” («Влияние температуры и влажности на летальность КОВИД-19 в Ухани»), Science of the Total Environment, 2020, 724:138226.<sup>5</sup>

Смертность от КОВИД-19 с 20 января по 29 февраля 2020 года сопоставлена с погодой и уровнем загрязнения. Обнаружена положительная корреляция дневного разброса температур (ДРТ) и отрицательная корреляция температуры и влажности с уровнем смертности от КОВИД-19:

---

<sup>1</sup> <https://pashev.ru/posts/arh>      <sup>2</sup> <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005844>      <sup>3</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7094304>      <sup>4</sup> <https://www.pnas.org/content/116/22/10905>  
<sup>5</sup> <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138226>



18. Yu Wu, et al. “Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries” («Влияние температуры и влажности на ежедневные заражения и смертность от КОВИД-19 в 166 странах.»), *The Science of the total environment*, 2020, 729:139051.<sup>1</sup>

После учёта возможного влияния сопутствовавших факторов, температура и относительная влажность показали отрицательную корреляцию с ежедневным числом заражений и смертей. Увеличение температуры на 1 °C оказалось связано с уменьшением числа заражений на 3,08%, а смертей на 1,19%. Увеличение относительной влажности на 1 процентный пункт — 0,85% и 0,51% соответственно.

19. Sajadi M. M., et al. “Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Estimate Potential Spread and Seasonality of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)” («Анализ температуры, влажности и широты при оценке распространения и сезонности КОВИД-19»), *JAMA Network Open*, 2020, 3(6):e2011834.<sup>2</sup>

Когортный обзор климатических условий в 50 городах мира с января по 10 марта 2020 года. Условия в 8 городах со значительными вспышками КОВИД-19 сопоставлены с условиями в остальных 42 городах, где не было значительного числа случаев КОВИД-19. Вспышка считалась значительной, если не менее 10 смертей вызвано КОВИД-19 по состоянию на 10 марта 2020 года.

Все 8 городов (Ухань в Китае, Токио в Японии, Тэгу в Южной Корее, Кум в Иране, Милан в Италии, Париж во Франции, Сиэтл в США, Мадрид в Испании) оказались расположены в узкой полосе от 30° до 40° северной широты, и имели весьма сходные погодные условия: температура 5–11 °C, низкая абсолютная влажность 4–7 г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, распространение КОВИД-19 совпадало с поведением сезонного гриппа.

20. Günther Th., et al. “Investigation of a superspreading event preceding the largest meat processing plant-related SARS-Coronavirus 2 outbreak in Germany” («Расследование со-

<sup>1</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7187824>

<sup>2</sup> <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2767010>

бытий, предшествовавших самой крупной вспышке заболевания КОВИД-19 на мясоперерабатывающем заводе в Германии»), Social Science Research Network, 23.07.2020.<sup>1</sup>

Проанализированы график, пространственное расположение рабочих, климатические условия и вентиляция, транспорт и условия проживания, проведён полный анализ генома вирусов. Обнаружено, что передача инфекции происходила в замкнутом помещении, в котором воздух постоянно циркулировал и охлаждался до 10 °С. Передача вируса среди сотрудников осуществлялась в течение трёх рабочих дней, начавшись с одного из них. Вирус передавался на расстоянии более 8 метров. Все сотрудники были обязаны носить маски и соблюдать дистанцию.

21. Park S., et al. “Global Seasonality of Human Coronaviruses: A Systematic Review” («Общая сезонность человеческих коронавирусов: систематический обзор»), Open Forum Infectious Diseases, 2020, 7(11):ofaa443.<sup>2</sup>

В обзор включены 22 исследования — все в странах северного полушария. Результаты обзора свидетельствуют, что человеческие коронавирусы (HCoV, «простуда») распространяются больше в зимние месяцы с максимумом в феврале. Частота заболевания у детей выше, чем у взрослых.

---

<sup>1</sup> <https://ssrn.com/abstract=3654517>  
5929649

<sup>2</sup> <https://academic.oup.com/ofid/article/7/11/ofaa443/>

### 3 Абсолютная влажность

Абсолютная влажность характеризуется плотностью паров воды, которая зависит от температуры и относительной влажности. Для вычисления абсолютной влажности необходимо также знать давление  $P_s$  насыщенного водяного пара. Одна из формул для вычисления давления (в Паскалях) насыщенного водяного пара при заданной температуре  $t$  ( $-30^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$ ) приведена в работе Bolton D. “The Computation of Equivalent Potential Temperature” («Вычисление эквивалентно-потенциальной температуры»), Monthly Weather Review, 1980, 108(7):1046–1053,<sup>1</sup> формула 10:

$$P_s = 100 \cdot 6,112 \cdot \exp\left(\frac{17,67 \cdot t}{t + 243,5}\right).$$

Согласно уравнению состояния идеального газа, плотность  $\rho$  водяного пара, выраженная в  $\text{г/м}^3$ , будет равна

$$\rho = \frac{\mu P}{RT} = \frac{\mu h_r P_s}{RT} = \frac{13,25 \cdot h}{t + 273,15} \exp\left(\frac{17,67 \cdot t}{t + 243,5}\right),$$

где  $R \approx 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  — универсальная газовая постоянная,  $\mu \approx 18,02 \text{ г/моль}$  — молярная масса воды,  $T = t + 273,15$  — абсолютная температура в Кельвинах,  $0 \leq h_r \leq 1$  — относительная влажность,  $h$  — она же в процентах.

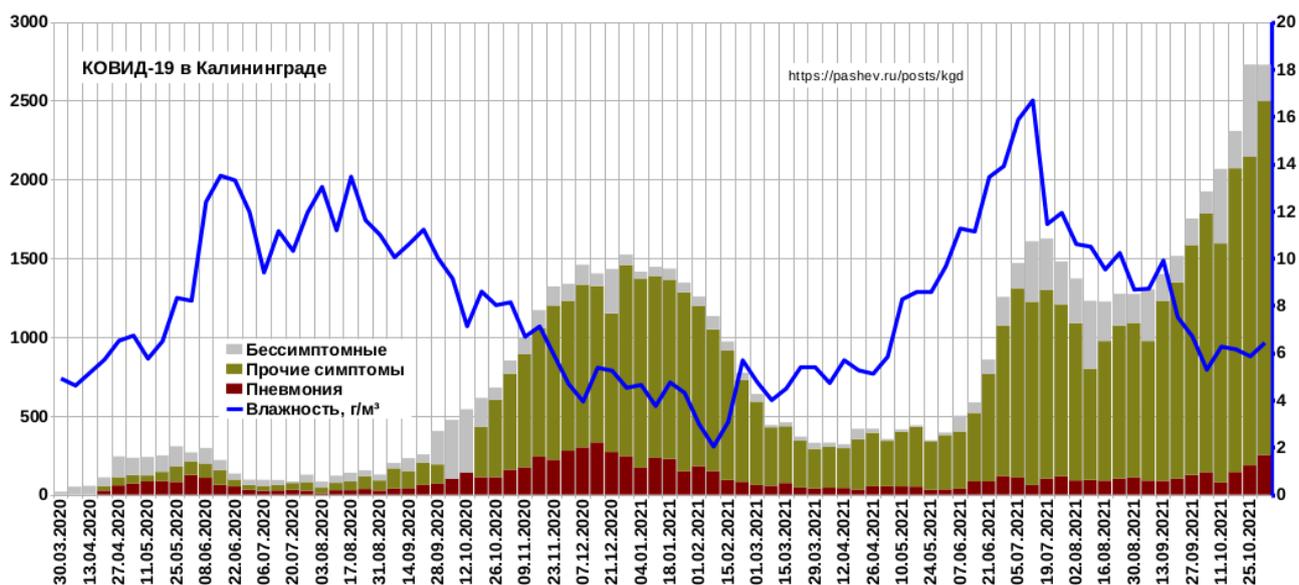
Тёплый воздух может быть как влажным, так и сухим (пустыни), а холодный воздух — только сухим. В таблице ниже примеры, полученные примерно в одно и то же время с сайта OpenWeatherMap.<sup>2</sup> Знаком вопроса помечены недостоверные из-за высокой температуры значения.

Город	Местное время	$t, ^\circ\text{C}$	$h, \%$	$\rho, \text{г/м}^3$
Архангельск, Россия	2021-05-13 11:51:55	26	30	7,31
Екатеринбург, Россия	2021-05-13 13:51:38	26	26	6,33
Калининград, Россия	2021-05-13 10:50:51	18	61	9,37
Москва, Россия	2021-05-13 11:40:30	16	47	6,40
Хабаровск, Россия	2021-05-13 18:49:05	15	58	7,44
Анкара, Турция	2021-05-13 11:49:48	25	25	5,76
Дели, Индия	2021-05-13 14:16:39	37	22	? 9,67
Каир, Египет	2021-05-13 10:43:08	27	17	4,38
Никосия, Кипр	2021-05-13 12:27:29	28	34	9,25
Монтевидео, Уругвай	2021-05-13 05:49:05	10	72	6,76
Сидней, Австралия	2021-05-13 18:49:01	17	58	8,39
Тунис, Тунис	2021-05-13 09:48:19	24	35	7,62
Хьюстон, США	2021-05-13 03:49:08	18	94	14,44
Эр-Рияд, Саудовская Аравия	2021-05-13 11:56:43	39	9	? 4,38

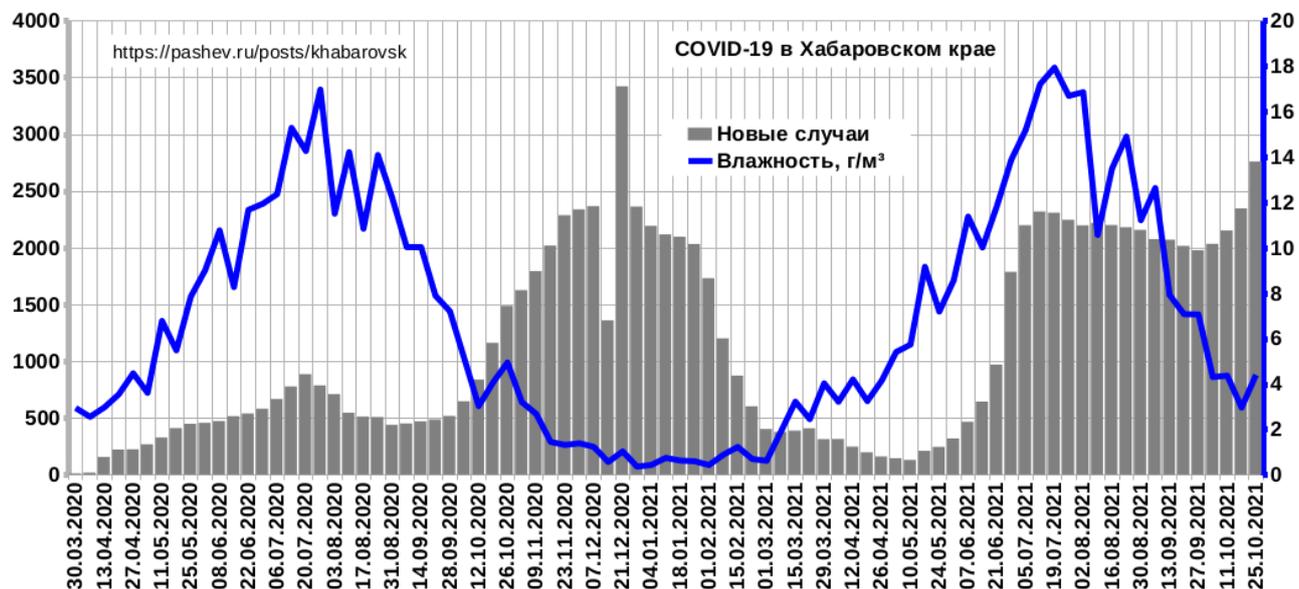
<sup>1</sup> <https://journals.ametsoc.org/mwr/article/108/7/1046/62205> <sup>2</sup> <https://openweathermap.org>

## 4 Фактические данные

КОВИД-19 в Калининграде (Россия):<sup>1</sup>

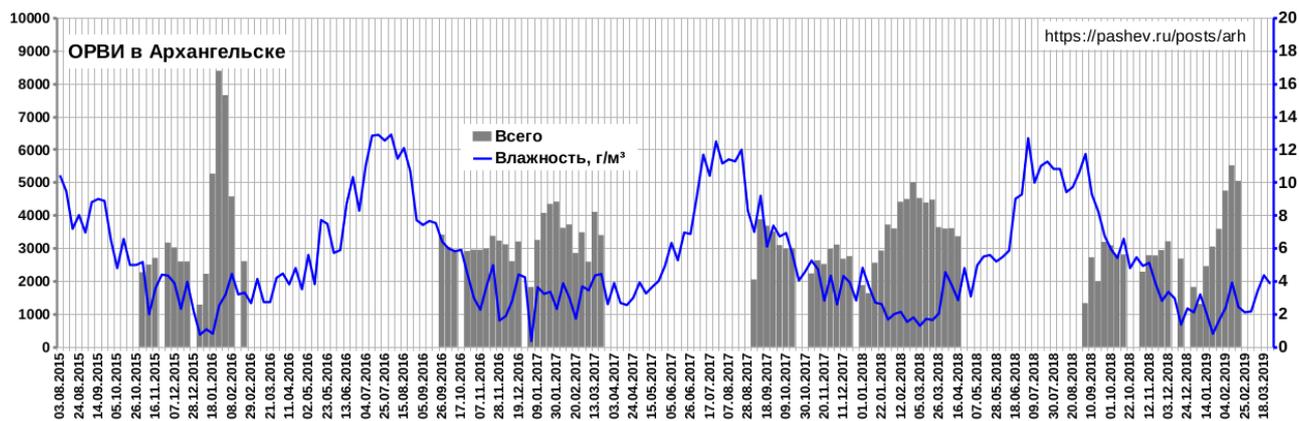


КОВИД-19 в Хабаровском крае (Россия):<sup>2</sup>

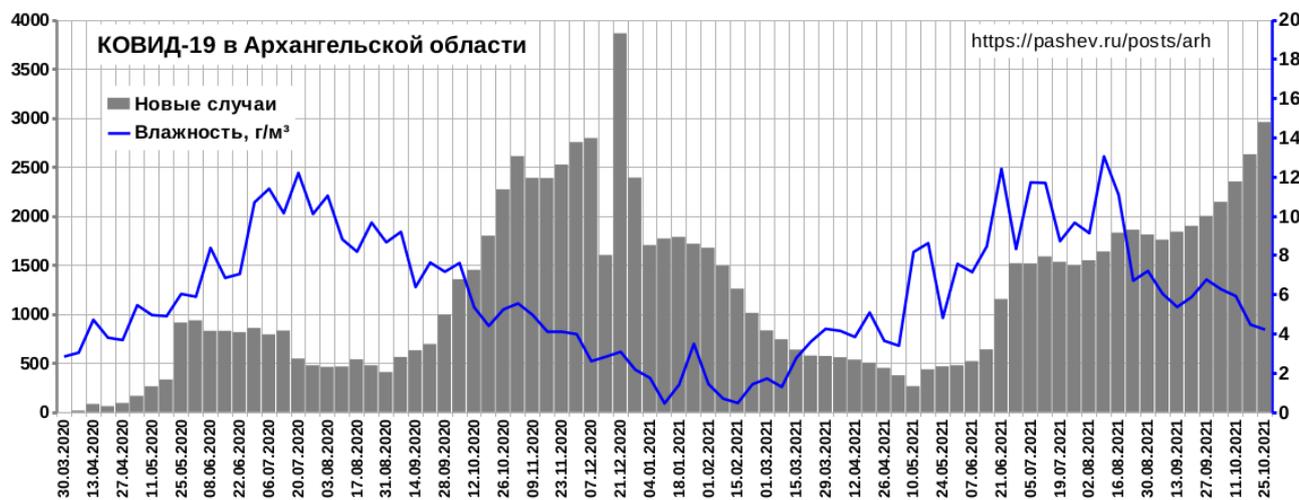


<sup>1</sup> <https://pashev.ru/posts/kgd>    <sup>2</sup> <https://pashev.ru/posts/khabarovsk>

ОРВИ в Архангельске (Россия):<sup>1</sup>

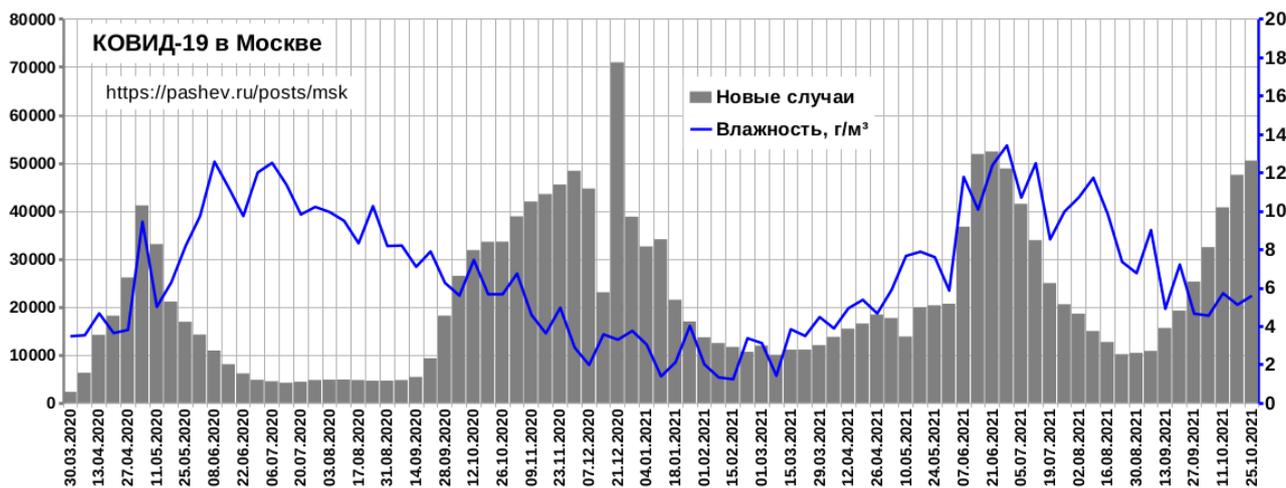


КОВИД-19 в Архангельской области:

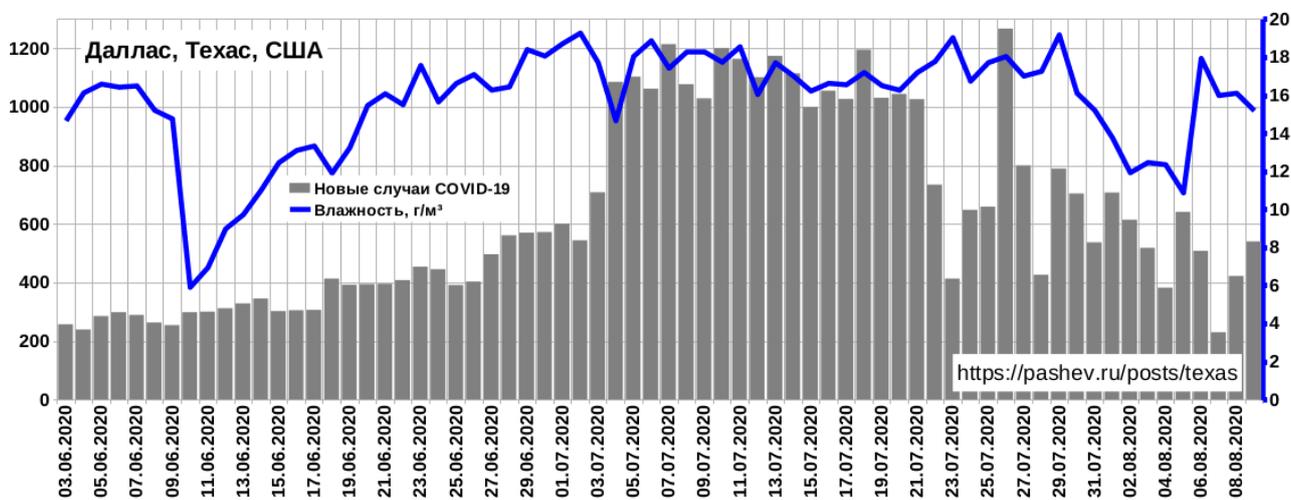


<sup>1</sup> <https://pashev.ru/posts/arh>

КОВИД-19 в Москве (Россия):<sup>1</sup>



КОВИД-19 в Техасе (США):<sup>2</sup>



<sup>1</sup> <https://pashev.ru/posts/msk>    <sup>2</sup> <https://pashev.ru/posts/texas>