Влияние атмосферного рассеяния и переноса вирусных аэрозолей на эпидемии гриппа

13.06.2020

Перевод G. W. Hammond, R. L. Raddatz, D. E. Gelskey "Impact of Atmospheric Dispersion and Transport of Viral Aerosols on the Epidemiology of Influenza", Reviews of Infectious Diseases, 1989, 11(3):494–497.[1]

Современные теории эпидемий гриппа не объясняют персистентность, сезонность и стремительность появления вируса на обширных территориях. В настоящей статье постулируется, что атмосферное рассеяние и перенос вирусного аэрозоля на межконтинентальные расстояния могут способствовать распространению, персистентности и массовости заболевания, взрывному характеру эпидемий и быстрому возникновению множественных очагов. А также, что сезонные изменения атмосферных циркуляций и её дисперсные свойства могут объяснять годовые циклы активности гриппа.

Современная концепция эпидемий гриппа подобна модели распространения кори, в которой считается, что инфекция распространяется последовательно от человека к человеку при близких контактах посредством распыления содержащего вирусы аэрозоля. И хотя мы признаём, что такой способ передачи является обычным, он не позволяет уверенно объяснить постоянное присутствие вируса гриппа среди людей (персистентность) и сезонность вспышек заболевания. Также эта модель не может объяснить другие черты гриппа: повсеместность, взрывной характер вспышек, быстрое возникновение множественных очагов и относительно постоянный профиль эпидемий на протяжении веков — Hope-Simpson R. E., Golubev D. B. "A new concept of the epidemic process of influenza A virus" («Новая концепция развития эпидемий гриппа А»), Epidemiology and infection, 1987, 99(1):5–54.[2]

Гипотезы

Мы предполагаем, что перенос вирусного аэрозоля в атмосфере на большие расстояния обуславливает распространение и персистентность гриппа, а сезонные изменения циркуляций атмосферы и рассеивание примесей в ней (дисперсия) объясняют годовые циклы активности гриппа. Приведенные далее факты говорят в поддержку этих гипотез.

Межконтинентальный перенос аэрозолей. В результате вынужденной и естественной конвекции аэрозоли распределяются вертикально в пограничном слое атмосферы (100–1500 метров), а ветрами распределяются горизонтально на десятки и сотни километров. Глубокая конвекция и циклоны забрасывают аэрозоли на бóльшую высоту, где они могут преодолевать тысячи километров перед тем как вернуться на землю — Jaenicke R. "Natural aerosols" («Природные аэрозоли»), Annals of the New York Academy of Sciences, 1980, 338(1):317–329.[3] Крупные частицы аэрозолей становятся центрами конденсации дождевых капель и удаляются вместе с дождём (смываются). Они также удаляются в результате осаждения и фильтрации. Однако, частицы диаметром от 0,1 до 3,0 мкм — а таких большинство среди десятков и сотен тысяч производимых при кашле или чихании за раз — слишком малы для этого. Аэрозольные частицы такого размера остаются подвешенными в воздухе несколько дней и недель перед тем как спуститься на землю в антициклоне или иным нисходящим потоком воздуха.

Имеются надёжные свидетельства атмосферного переноса аэрозолей на большие расстояния, полученные в основном с помощью спутникового наблюдения или ретроспективного анализа траекторий с химической идентификацией переносимых веществ. Пыль из Китая преодолела более 10000 км над Тихим океаном. Дым от лесных пожаров на северо-западе Канады обнаружен в Европе на расстоянии более 9000 км — Chung Y. S. "Detection of forest-fire smoke plumes by satellite imagery" («Спутниковое наблюдение дыма лесных пожаров»), Atmospheric Environment, 1984, 18(10):2143–2151.[4] Радиоактивные осадки после Чернобыльской аварии наблюдались во всем миру. Евразия была определена как основной источник антропогенного аэрозольного загрязнения полярных районов Северной Америки — Barrie L. A. "Arctic air pollution: An overview of current knowledge" («Загрязнение воздуха Арктики: обзор современных знаний»), Atmospheric Environment, 1986, 20(4):643–663.[5]

Пути передачи и рассеяния в атмосфере. Вероятный путь атмосферного переноса вируса гриппа существует между Азией и Северной Америкой. Зимой юго-восточное побережье Азии находится в атмосферном фронте с частым образование циклонов — зон пониженного давления. В таких зонах приповерх-

[1] https://academic.oup.com/cid/article/11/3/494/397025
[2] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2249185
[3] https://sci-hub.ru/10.1111/j.1749-6632.1980.tb17129.x
[4] https://sci-hub.ru/10.1016/0004-6981(84)90201-4
[5] https://sci-hub.ru/10.1016/0004-6981(86)90180-0

ностные аэрозоли, в том числе содержащие вирусы гриппа, могут забрасываться в верхние слои атмосферы. Там они встречаются с западными ветрами умеренного пояса, которые переносят их в сторону Северной Америки. Летом атмосферный фронт смещается на север и слабеет, циклоны становятся редки, а направление ветров сменяется на преимущественно восточное (пассаты), тем самым отрезая путь из Азии в Северную Америку.

Таким образом можно допустить, что Дальний Восток является зимним источником вирусного аэрозоля, долетающего до Северной Америки в течении одной или двух недель после попадания в атмосферу, а сезонные изменения атмосферных циркуляций объясняют летнее отсутствие гриппа на североамериканском континенте.

Когда западные ветра, потенциально переносящие вирусные аэрозоли, достигают наступающий на юг клин арктического воздуха (то есть холодный фронт), воздух вынуждено поворачивает вниз к поверхности земли. Часто это происходит над Северной Америкой зимой, когда холодный полярный купол арктического воздуха распространяется на юг континента. Обычно это узкая полоска резко снижающегося потока, за которой следует более спокойное, но и более обширное оседание в догоняющей зоне высокого давления — Browning K. A. "Conceptual Models of Precipitation Systems" («Концептуальные модели осадков»), Weather and Forecasting, 1985, 1(1):23–41.[1] Этим механизмом аэрозоли, принесённые западными ветрами, могут опускаться на землю. По мере продвижения холодного фронта на юг, аэрозоли могут быть распределены по большой территории. Затем вирусные аэрозоли попадают в органы дыхания, вызывая первичные инфекции во множестве отдельных мест. С учётом этой последовательности событий, распространение эпидемий гриппа в масштабах всего региона и их взрывной характер больше не является загадкой.

Независимо от того, как вирус гриппа начинает распространение среди населения, будь то посев из атмосферы или завоз путешественниками, последующее рассеивание вирусных аэрозолей ограничивалось бы пограничным слоем атмосферы, и вирус мог бы сохраняться в районах с застойными погодными условиями. Застойная погода преобладает в арктических центрах высокого давления, которые обычно следуют за холодным фронтом зимой, а рассеивающая способность нижних слоёв атмосферы (характеризуемая максимальным суточным коэффициентом вентиляции — толщиной слоя турбулентности, умноженной на среднюю скорость ветра), как правило, зимой значительно ниже, чем летом. Этот фактор может ещё более усилить сезонный характер эпидемий гриппа (возможно, уже в значительной степени обусловленный сезонностью циркуляций в атмосфере).

Это лишь один возможный путь атмосферного переноса вирусных аэрозолей на большие расстояния. Вместе с тем, исследования позволили выявить и другие — Chung Y. S. "Air pollution detection by satellites: The transport and deposition of air pollutants over oceans" («Спутниковое наблюдение загрязнения воздуха: перенос и осаждение загрязнителей воздуха над океанами»), Atmospheric Environment, 1986, 20(4):617–630.[2] Таким образом, всё население мира может подвергнуться воздействию переносимого по воздуху вируса, что объясняет повсеместность и персистентность гриппа.

Распространение вирусных инфекций в воздухе на большие расстояния. Эпидемиологические исследования подтвердили, что вирус ящура переносился атмосферой через Балтийское море: Gloster J., et al. "Long distance transport of foot-and-mouth disease virus over the sea" («Перенос вируса ящура на большие расстояния над морем»), Veterinary Record, 1982, 110(3):47–52[3] — и через Ла-Манш: Donaldson A. I., et al. "Use of prediction models to forecast and analyse airborne spread during the foot-and-mouth disease outbreaks in Brittany, Jersey and the Isle of Wight in 1981" («Использование моделей для прогнозирования и анализа атмосферного распространения ящура во время вспышек в Бретани, Джерси и на о. Уайт в 1981 году»), Veterinary Record, 1982, 110(3):53–57.[4] Эти региональные явления, наряду с продемонстрированным локальным распылением некоторых вирусов, свидетельствуют о том, что подобно загрязнению воздуха, атмосферное распространение микробов может быть проблемой как местного так и континентального масштаба.

Заразность низких концентрации вирусных аэрозолей. В зависимости от обильности выделений в носоглотке, каждый раз при кашле или чихании в воздух выбрасываются от 10 тысяч до миллиона мельчайших частиц, которые остаются в подвешенном стоянии продолжительное время. Отсюда следует, что инфицированное население на Дальнем Востоке может представлять собой значительный источник вирусных аэрозолей. Перенос на большие расстояния в сочетании с атмосферным рассеянием неизбежно приведёт к гораздо более низким концентрациям в конечных пунктах. Тем не менее, некоторые относительно концентрированные воздушные массы могут преодолеть Тихий океан, а заразность вирусного аэрозоля при небольших концентрациях попрежнему может быть достаточной для развития болезни.

Исследования гриппа на мышах показали, что вдыхание вирусного аэрозоля более заразно, чем посев через носоглотку — Shechmeister I. L. "Studies on the Experimental Epidemiology of Respiratory Infections: III. Certain Aspects of the Behavior of Type A Influenza Virus as an Air-Borne Cloud" («Эксперименты по эпидемиологии респираторных инфекций: III. Некоторые аспекты поведения вируса гриппа A в аэрозоле»), Journal of Infectious Diseases, 1950, 87(2):128–132.[5] Аналогичные исследования вируса

[1] https://journals.ametsoc.org/waf/article/1/1/23/37939 [2] https://sci-hub.ru/10.1016/0004-6981(86)90177-0 [3] https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6278697 [4] https://doi.org/10.1136/vr.110.3.53 [5] https://sci-hub.ru/10.1093/infdis/87.2.128

гриппа на добровольцах показали разницу в 5–10 раз. Аденовирус 4-го серотипа оказался в 4–70 раз более заразным в аэрозольной форме. Минимальные дозы вирусного аэрозоля, достаточные для развития гриппа у человека, не превышают одной аэрозольной частицы.

Измерения концентраций и размеров аэрозолей в необжитых районах Аляски показали, что зимние воздушные массы идущие с Тихого океана содержат 100 аэрозольных частиц в кубическом сантиметре — Shaw G. E. "Aerosol measurements in central Alaska" («Аэрозольные измерения в центральной части Аляски»), Atmospheric Environment, 1985, 19(12):2025–2031.[1] Некоторые аэрозоли, достигающие Северной Америки, могут содержать жизнеспособный вирус гриппа.

Выживание вируса гриппа в атмосфере. Период полураспада (время, за которое половина вирусов теряют способность заражать) коронавируса HCoV-229E повышается с падением температуры. Это наводит на мысль, что некоторые оболочечные вирусы могут выдерживать длительные путешествия в атмосфере, где температура резко снижается с ростом высоты. Например, на широте 40° температура равна −5 °C на высоте 3300 м, −25 °C при 6500 м и −44 °C на 9800 м. Настолько низкие температуры могут увеличить период полураспада вирусов и способствовать их переносу на большие расстояния.

Влияние влажности на долговечность вирусных аэрозолей было замечено ранее — 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;[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.[3] Зимой умеренный климат Северной Америки и обогрев помещений дают ещё более низкую относительную влажность, способствуя сохранению вирусного аэрозоля и местному распространению инфекции.

Примечательно, что мелкие частицы (не более 1 мкм), возможно содержащие вирусы, интенсивно взаимодействует с солнечным светом — Shaw G. E. "Aerosols as climate regulators: A climate-biosphere linkage?" («Аэрозоли как климатический фактор: связь между климатом и биосферой?»), Atmospheric Environment, 1987, 21(4):985–986.[4] Однако влияние этого взаимодействия на сами вирусы неизвестно, как не известно и влияние селективного рассеяние, отражения и поглощения видимого и ультрафиолетового излучения частицами диаметром до 3 мкм.

Будущие исследования

Для проверки изложенных гипотез необходимо продумать ряд мероприятий. Во всем мире следует усилить надзор за гриппом и развитием эпидемий. Оценки метеорологических факторов и особенностей эпидемий гриппа в различных частях света могут выявить характерные атмосферные явления до и во время распространения гриппа. Это может иметь важное значение для разработки новых методов наблюдения и обнаружения вирусов и, возможно, для борьбы с гриппом.

Вирус гриппа необходимо изучать при различных значениях температуры и влажности, с тем чтобы подтвердить его способность к длительному выживанию в атмосфере.

Более подробное исследование нуклеотидной последовательности вирусов гриппа может помочь установить, существует ли общий источник вируса. Последние исследования показали, что ген гемагглютинина H1 вируса гриппа A за две эпидемии прошёл два пути эволюции — Raymond F. L. "The antigenicity and evolution of influenza H1 haemagglutinin, from 1950–1957 and 1977–1983: Two pathways from one gene" («Антигенность и эволюция гриппа A/H1 в 1950–1957 и 1977–1983: два пути одного гена»), Virology, 1986, 148(2):275–287.[5] Другой подтип гриппа был обнаружен во множественных вариантах — Both G. W. "Antigenic drift in influenza virus H3 hemagglutinin from 1968 to 1980: multiple evolutionary pathways and sequential amino acid changes at key antigenic sites" («Дрейф антигенов в вирусе гриппа A/H3 с 1968 по 1980 год: множественные эволюционные пути и последовательные изменения аминокислот на ключевых антигенных участках»), Journal of virology, 1983, 48(1):52–60.[6] Было бы интересно сопоставить нуклеотидные последовательности многочисленных штаммов, собранных в течение одного года в различных регионах. Высокое сходство штаммов могло бы означать посев или передачу из единого источника (как продемонстрировала химическая идентификация источников загрязнения атмосферы).

Изучение исторических данных в географически изолированных районах до эпохи современных путешествий может послужить основой для изучения атмосферного происхождения клинически подтверждённого гриппа.

Пробы воздуха на наличие вирусного аэрозоля будут иметь важное значение для обоснования наших гипотез, хотя нынешняя техника может быть недостаточно чувствительной для этого.

Таким образом, вышеизложенные гипотезы и модель возможной передачи вируса гриппа в атмосфере на большие расстояния призваны содействовать обсуждению и оценке важного инфекционного заболевания, эпидемиология которого не полностью изучена.

[1] https://sci-hub.ru/10.1016/0004-6981(85)90110-6 [2] https://sci-hub.ru/10.1038/188430a0 [3] https://doi.org/10.1017/s0022172400039176 [4] https://sci-hub.ru/10.1111/j.1749-6632.1980.tb17129.x [5] https://sci-hub.ru/10.1016/0042-6822(86)90325-9 [6] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC255321