

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.8.8>

УДК: 621.391:004.93:6

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОЛН ЗАРАЖЕНИЯ КОРОНОВИРУСОМ ВО ФРАНЦИИ, ШВЕЦИИ И КИТАЕ

А. П. Анютин¹, Т. М. Ходыкина²

¹ **Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН, 141190, г. Фрязино Московской области,
пл. Введенского, д. 1.**

² **Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, 119048, г. Москва,
ул. Большая Пироговская, д. 19, стр. 1.**

Статья поступила в редакцию 30 июля 2021 г.

Аннотация. В данной работе рассчитаны и исследованы вейвлет-спектры для временных рядов, представляющих собой динамику новых случаев заражения коронавирусом во Франции, Швеции и Китае. Обнаружено, что вейвлет-спектры для этих стран имеют характерные разномасштабные внутренние циклы, число которых зависит от характера карантинных мероприятий. Установлено, что структура вейвлет-спектров, их внутренние циклы и их длительность практически не зависят от географического положения, плотности и количества населения.

Ключевые слова: вейвлет-спектры, вейвлеты Добиши, динамика новых случаев заражения коронавирусом во Франции, Швеции и Китае, пандемия, COVID-19, карантинные мероприятия.

Abstract. In this work, the wavelet spectra were calculated and studied for time series representing the dynamics of the new cases of coronavirus infection in France, Sweden and China. It was found that the Wavelet spectra for these countries have characteristic different-scale internal cycles, the number of which depends on the nature of the quarantine activities. It was detected that structure of the Wavelet spectra, their duration is practically independent of the geographic location, density and population size.

Key words: the wavelet spectra, Daubechies wavelet, dynamics of new cases of coronavirus infection in France, Sweden and China, pandemic, COVID-19, quarantine activities.

Введение

Одно из направлений исследования развития пандемии COVID-19 связано с анализом временных рядов, образованных ходом случаев ежедневного заражения, смерти и выздоровления. Как известно такие данные обычно приводятся в виде графиков [1], в которых число ежедневных заражений, смерти и выздоровления изображаются в виде столбцов (т. е. кусочно-непрерывными кривыми). Отметим, что наиболее распространенный способ исследования временных рядов различного происхождения связан с использованием метода спектрального Фурье анализа [2,3]. Однако, в последнее время для анализа временных рядов стал широко применяться альтернативный метод – спектральный вейвлет-анализ [2-5]. Так, например, вейвлет-анализ использовался для выявления скрытых циклов в экономике (рядах Кондратьева [6]), в геофизике (определения циклов Эль-Ниньо) [2-5], в медицине (для анализа изменений динамики пульса и ритмической деятельности сердца) [2-5], томографии [2-5].

Предпочтительное использование вейвлет-анализа в таких задачах связано с тем, что он имеет существенное преимущество перед Фурье анализом, которое заключается в том, что вейвлет-анализ позволяет обнаружить хорошо локализованные изменения сигнала (внутренние циклы), тогда как анализ Фурье принципиально этого не дает. Последнее связано с тем, что в коэффициентах Фурье содержится информация о поведении сигнала за все время его существования.

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы на основе вейвлет-анализа временных рядов, представляющих суточную динамику случаев заражения COVID-19 во Франции, Швеции и Китае, исследовать особенности спектрограмм для эти стран и установить наличие внутренних циклов в развитии

пандемии COVID-19. Выбор этих стран связан с тем, что с одной стороны они имеют разное географическое расположение (разные климатические зоны), разную плотность населения, а с другой стороны, различаются строгостью карантинных мероприятиями.

1. Вейвлет-анализ временного ряда, представляющего суточную динамику случаев заражения COVID-19 во Франции.

Рассмотрим сначала ситуацию развития пандемии COVID-19 во Франции. Заметим, что в этой стране применялись обычные карантинные мероприятия: ношение масок и перчаток, ограничение посещений мест общественного использования, запрет на проведение общественных мероприятий и др.

На рис. 1 представлены графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 во Франции в период с 03.03.2020 по 01.07.2021. На нем цифрой 1 отмечен столбчатый график, построенный на основе данных, приведенных в [1]. Непрерывная кривая, отмеченная цифрой 2, построена в результате интерполяция этих данных с помощью кубических сплайнов [2,3]. Из рис. 1 следует, что развитие во времени случаев ежедневного заражения COVID-19 за указанный период представляет собой сложный волнообразный процесс, в котором чередуются три периода максимальных и минимальных значений ежедневного заражения COVID-19. Такой характер изменения случаев ежедневного заражения COVID-19 можно интерпретировать как существование трех волн в развитии пандемии COVID-19. Отметим, что каждая волна имеет свою "эффективную" длительность и "эффективную" амплитуду. Кроме того, имеет место уменьшение "расстояния" между волнами и изменение их амплитуды. Следует отметить, что все волны имеют характерные мелкомасштабные колебания различной амплитуды.

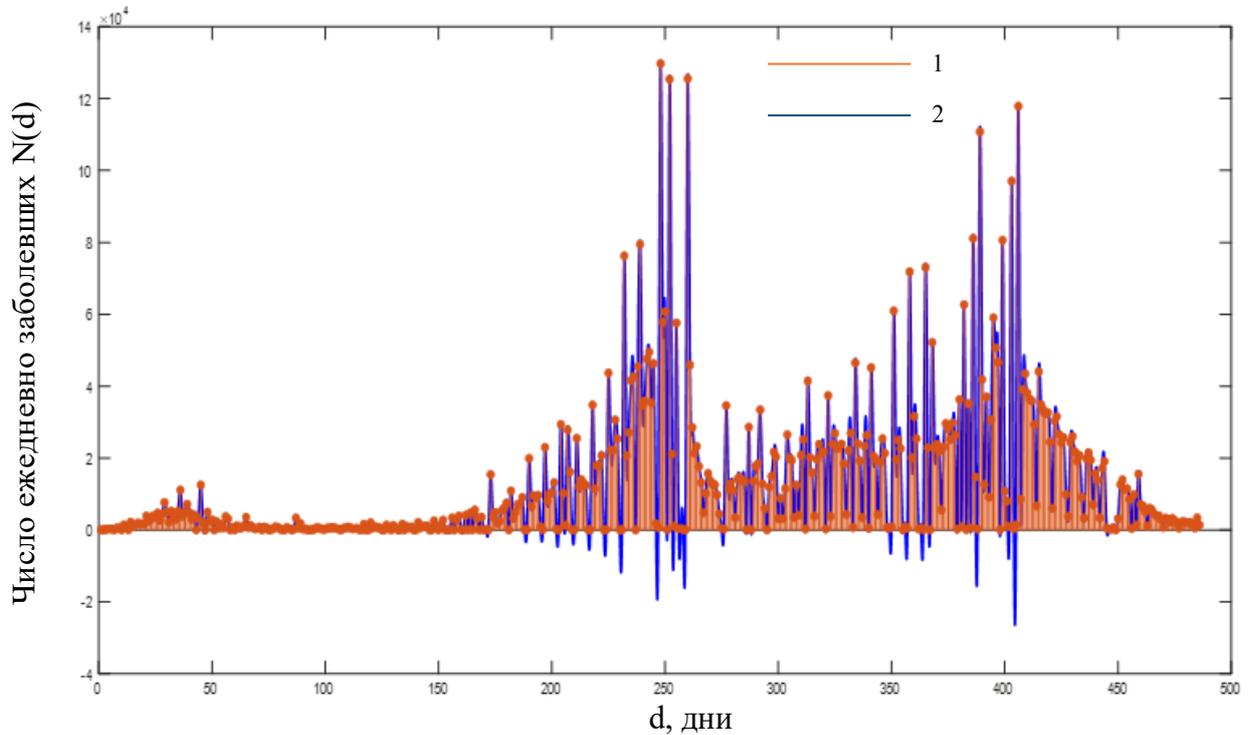


Рис. 1. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом во Франции в период с 03.03.2020 по 01.07.2021; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, 2 – интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

Вейвлет-анализ [2,3] для исследования данных, представленных на рис. 1 непрерывной кривой функции $N(d)$. В качестве базисных функций используем вейвлеты Добинши шестого порядка [7,8]. Результат расчета вейвлет-спектра непрерывной функции $N(d)$ изображен на рис. 2. Отметим, что по горизонтальной оси отложено время развития пандемии в часах, а по вертикальной оси – амплитуды вейвлетов Добинши на каждом из 512 уровней (на каждом уровне частота колебаний вейвлетов постоянна и увеличивается с увеличением номера уровня). Заметим, что при фиксированном уровне расстояние между линиями одинакового цвета соответствуют длительности циклов колебаний.

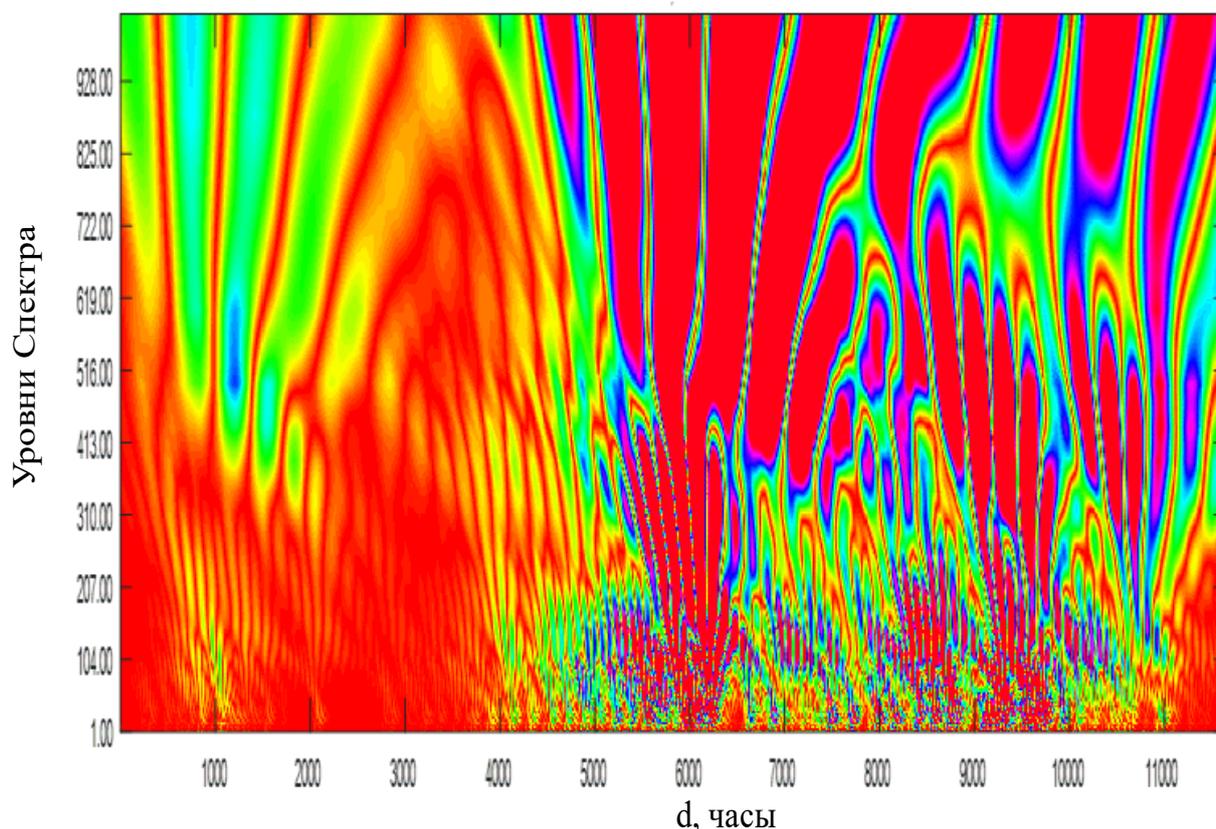


Рис. 2. Вейвлет-спектр непрерывной функции $N(d)$, представляющей собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 во Франции в период с 03.03.2020 по 01.07.2021.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что в вейвлет-спектре можно выделить три характерных цикла колебаний. Первый цикл имеет период (см. диапазон уровней с 1 по 27 на вертикальной оси) приблизительно 22-25 часов (т. е. порядка суток); второй цикл – для уровней в диапазоне с 130 по 200 и составляет приблизительно 77 час (т. е. порядка трех суток); наконец третий цикл (см. диапазон уровней в окрестности уровня 265) – порядка 250 часов (10,5 суток).

2. Вейвлет-анализ временного ряда, представляющего суточную динамику случаев заражения COVID-19 в Швеции.

Рассмотрим теперь ситуацию развития пандемии COVID-19 в Швеции. Ситуация развития пандемии COVID-19 в Швеции отличалась от других стран тем, что в этой стране в течение первых нескольких месяцев не применялись какие-либо карантинные мероприятия. Тем самым развитие эпидемии на начальной стадии нескольких месяцев протекало без вмешательства человека.

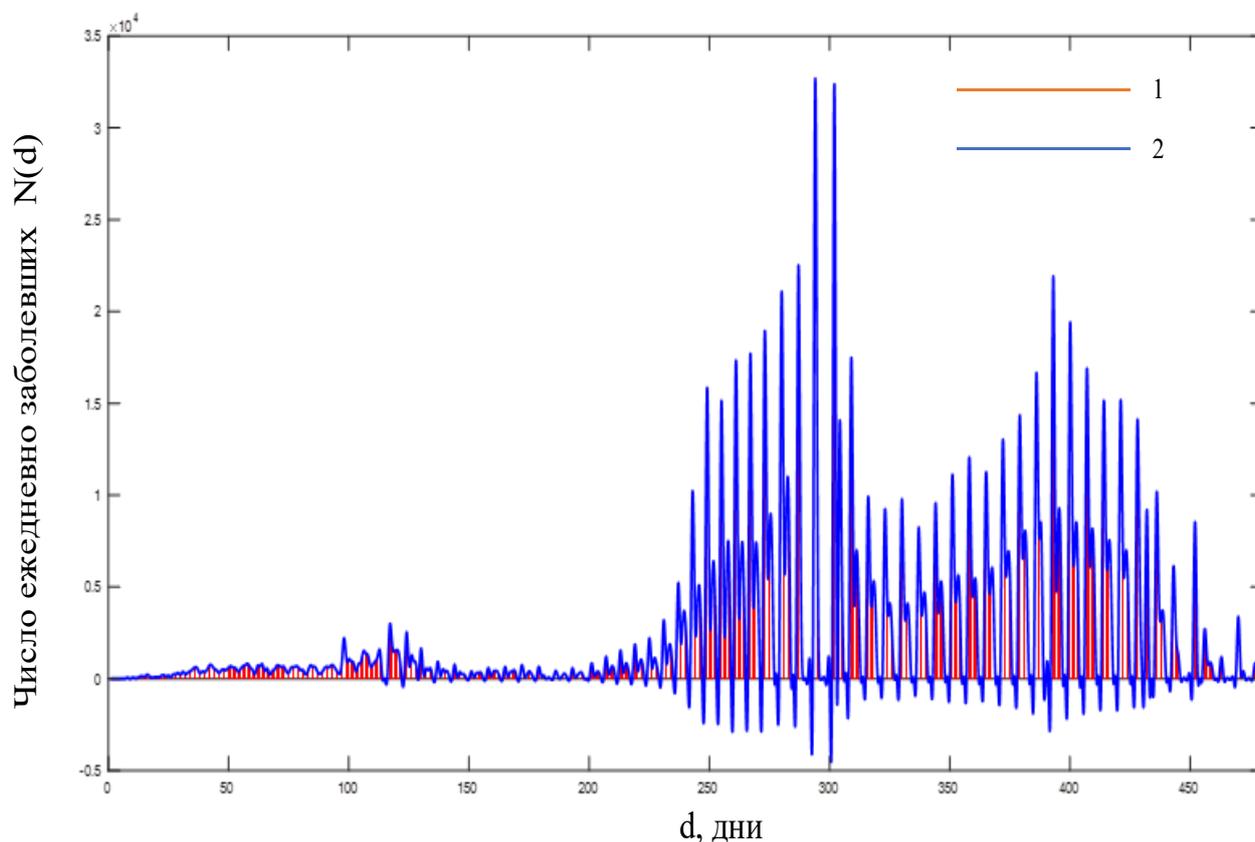


Рис. 3. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Швеции в период с 27.02.2020 по 01.07.2021; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, 2 – интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

На рис. 3 изображены графики функции $N(d)$, характеризующие собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 в Швеции в период с 27.02.2020 по 01.07.2021. Из анализа данных, представленных на этом рисунке, следует, что развитие временного хода случаев ежедневного заражения COVID-19 в Швеции за указанный период так же, как и в случае эпидемии во Франции, сопровождается образованием трех волн. При этом характерные особенности этих волн аналогичны рассмотренному выше случаю эпидемии во Франции. Однако структура первой волны существенно отличается – ее “эффективная” длительность примерно в три раза больше, чем для Франции. Такое различие в поведении первой волны может быть связано с отсутствием карантинных мероприятий в Швеции.

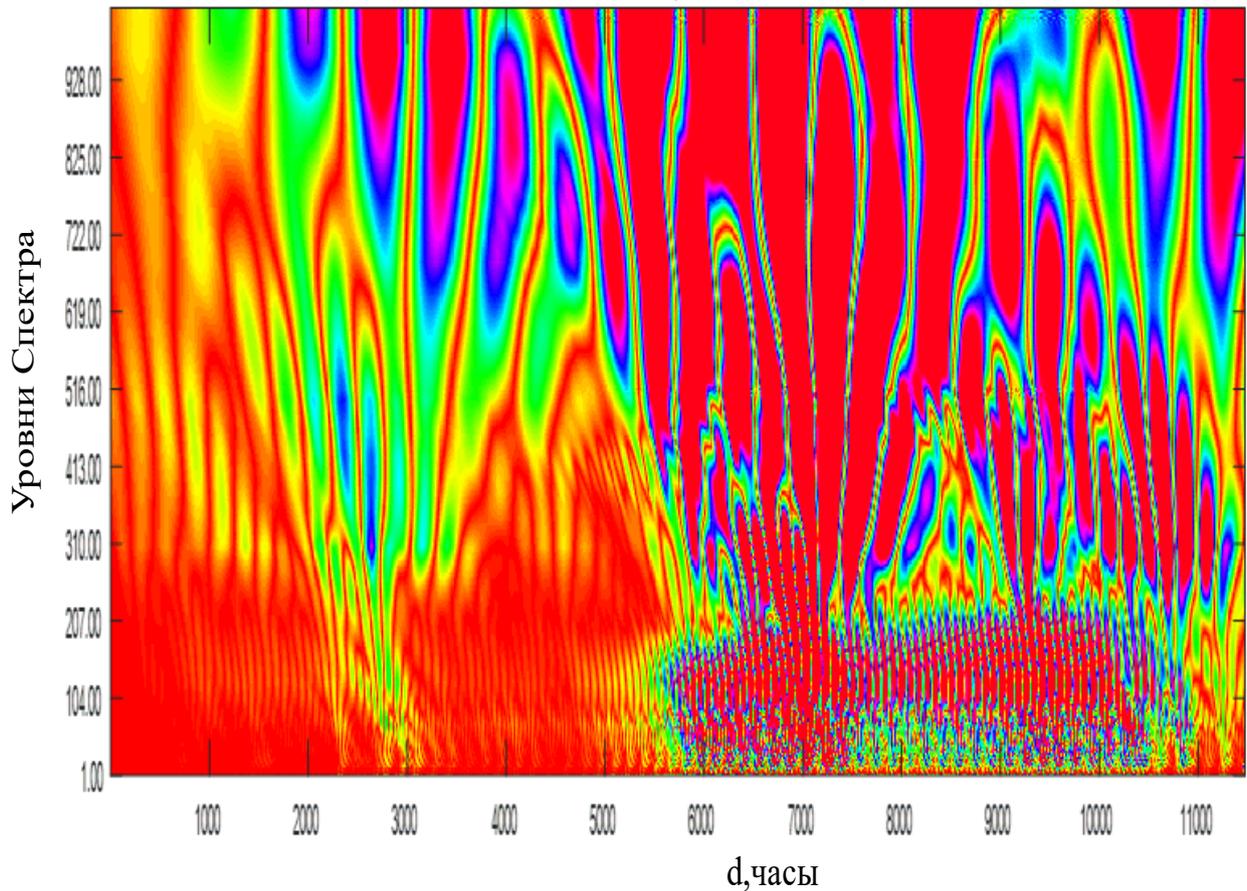


Рис. 4. Вейвлет-спектр непрерывной функции $N(d)$, представляющей собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 в Швеции в период с 27.02.2020 по 01.07.2021.

Рис. 4 иллюстрирует вейвлет-спектр функции $N(d)$, изображенной на рис. 3 непрерывной кривой. В качестве базисных функций также использовались вейвлеты Добичи восьмого порядка [6,7]. Сравнение данных вейвлет-спектров, приведенных на рис. 2 и рис. 4, показывает, что они в своих характерных чертах похожи друг на друга. При этом, для вейвлет-спектров в случае Швеции также, как и в рассмотренном выше случае Франции, характерно присутствие трех циклов с характерными тремя периодами.

Из представленных выше результатов следует, что наличие или отсутствие обычных карантинных мероприятий, различий в географическом положении, численности и плотности населения для указанных стран не сказываются на структуре вейвлет-спектров, числе и длительности периодов их внутренних циклов.

3. Вейвлет-анализ временного ряда, представляющего суточную динамику случаев заражения COVID-19 в Китае.

В заключение рассмотрим ситуацию развития пандемии COVID-19 в Китае в период 22.01.20 – 03.03.20 (начиная с марта число ежедневных заражений не меняется и составляет величину порядка нескольких десятков). Отметим, что в Китае, в отличие от других стран, были предприняты необычайно жесткие карантинные меры – практически полная изоляция и исключение контактов населения.

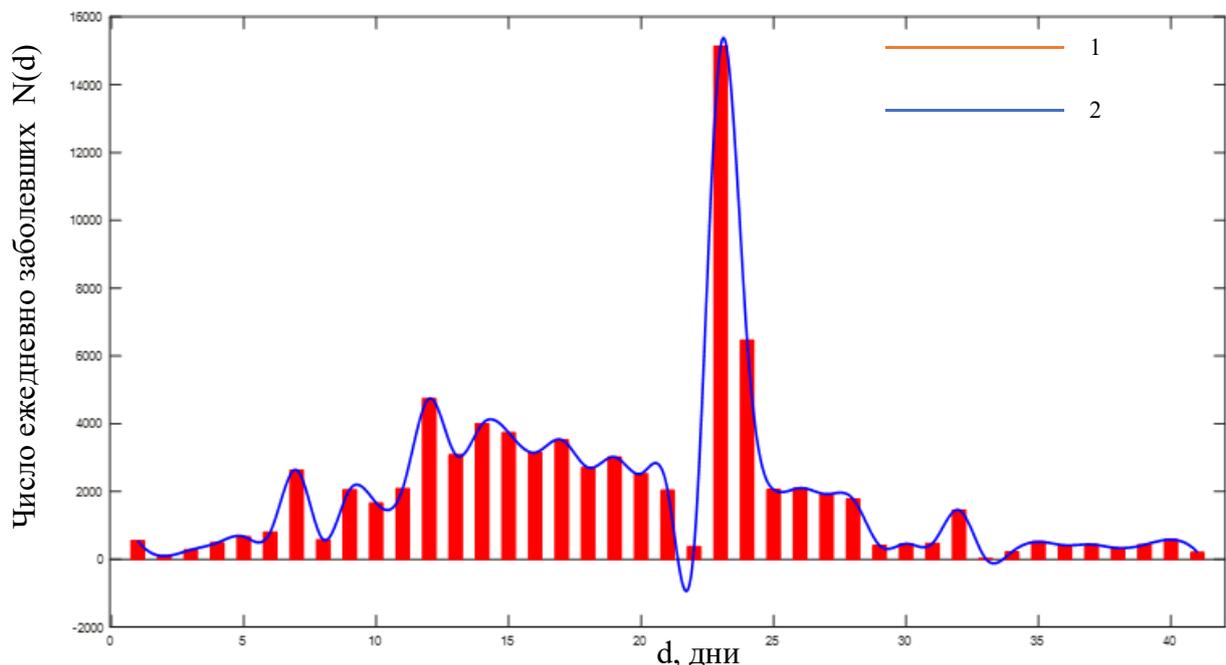


Рис. 5. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Китае в период с 22.01.2020 по 03.03.2020; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, 2 – интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

Графики функции $N(d)$, характеризующие собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 в Китае в период с 22.01.20 – 03.03.20 изображены на рис. 5. Из рисунка видно, что структура графика существенно отличается от аналогичных графиков, представленных на рис. 1 и рис.3. График рис. 5 содержит только одну волну, которая имеет мелкомасштабные осцилляции относительно малой амплитуды.

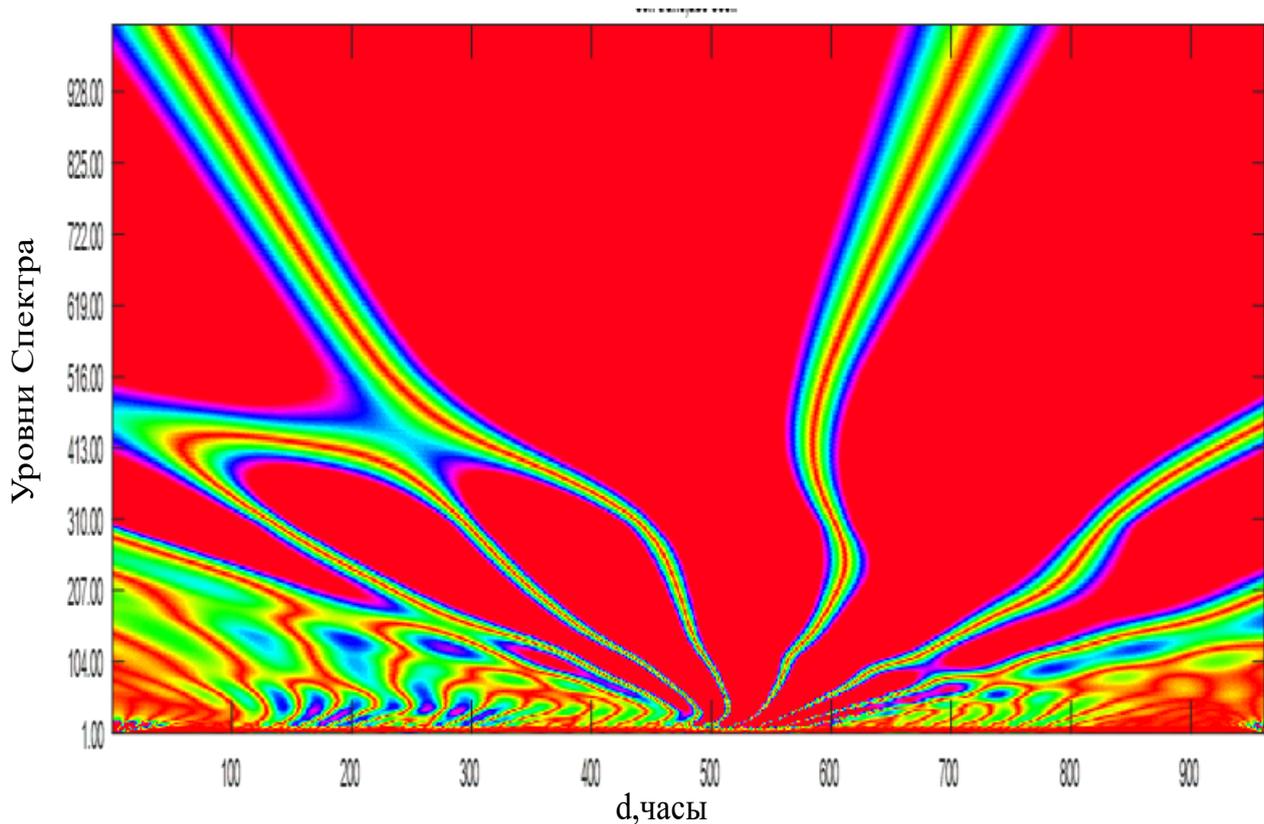


Рис. 6. Вейвлет-спектр непрерывной функции $N(d)$, представляющей собой временной ход случаев ежедневного заражения COVID-19 в Китае в период с 22.01.2020 по 03.03.2020.

Результаты расчета вейвлет-спектра, соответствующего функции $N(d)$, изображенной на рис. 5, представлены на рис. 6. Из данных, изображенных на этом рисунке, следует, что вейвлет-спектр для случая Китая содержит существенные отличия от вейвлет-спектров для Франции и Швеции – так, у него отсутствует цикл с периодом большим 4 суток.

Из сказанного выше следует, что очень жесткие карантинные мероприятия не только сказываются на числе и длительности волн эпидемии COVID-19, но и приводят к уменьшению числа внутренних циклов вейвлет-спектра – к исчезновению крупномасштабного внутреннего цикла.

Заключение

Обнаруженные у вейвлет-спектров временной зависимости числа ежедневных заражений КОВИД-19 содержат внутренние циклы с разными периодами, число которых зависит от строгости карантинных мероприятий. При этом, показано, что на структуру вейвлет-спектров практически не влияют

географическое расположение (различия в климате) стран, а также численность плотность их населения. Вопрос их происхождения остается открытым и требует дополнительных исследований. Одно из возможных объяснений существования внутренних циклов может быть связано как с особенностями самого вируса и изменчивостью его штаммов, так и с восприимчивостью популяции и особенностями механизма, путей и факторов передачи возбудителя.

Финансирование

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания по теме 0030-2019-0014.

Литература

1. Статистик коронавируса в мире: по странам на сегодня. GOGOV.ru <https://gogov.ru/covid19/world>
2. Смоленцев Н.К. *Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB*. Москва. ДМК Пресс. 2009. 448 с.
3. Дьяконов В.П. *Вейвлеты: от теории к практике*. Москва. СОЛОН-Р. 2002. 440 с.
4. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. *УФН*. 1996. Т.166. №11. С.1145-1170. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611a.1145>
5. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование. *УФН*. 2001. Т.171. №5. С.465-501. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0171.200105a.0465>
6. Анютин А.П., Морозов Д.С. Вейвлет-анализ рядов Кондратьева. *Нелинейный мир*. 2012. Т.10. №10. С.696-699.
7. Добеши И. *Десять лекций по вейвлетам*. Москва, Ижевск: РХД. 2001. 463 с.
8. Чуи К. *Введение в вейвлеты*. Москва. Мир. 2001. 412 с.

Для цитирования:

Анютин А.П., Ходыкина Т.М. Вейвлет-анализ динамики волн заражения коронавирусом во Франции, Швеции и Китае. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2021. №8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.8.8>