



DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.9.4>

УДК: 621.391:004.93:6

## ВЭЙВЛЕТ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПАНДЕМИИ КОВИД-19 В США

А.П. Аниотин<sup>1</sup>, Т.М. Ходыкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН,

141190, г. Фрязино, пл. Введенского, 1

<sup>2</sup>Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава,  
119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, строение 2

Статья поступила в редакцию 09 сентября 2022 г.

**Аннотация.** В данной работе рассчитаны и исследованы Вэйвлет спектры для временных рядов, представляющих собой динамику новых случаев ежедневного заражения COVID-19, ежедневного числа новых летальных (смертельных) случаев из-за COVID-19 и их процентного соотношения в США в период 17.03.2020 по 31.05.2022. Обнаружено, что Вэйвлет спектры таких временных рядов имеют характерные разномасштабные внутренние циклы.

**Ключевые слова:** Вэйвлет спектры, вэйвлеты Добиши, COVID-19, пандемия, новые случаи ежедневного заражения, ежедневное число новых летальных случаев.

**Финансирование:** Работа выполнена за счет частичного бюджетного финансирования в рамках государственного задания.

**Автор для переписки:** Аниотин Александр Павлович, [anioutine@mail.ru](mailto:anioutine@mail.ru)

### Введение

Как известно, одно из направлений исследования развития пандемии COVID-19 связано с анализом временных рядов, образованных ходом случаев ежедневного заражения, смерти и выздоровления. Такие данные обычно приводятся в виде графиков [1], в которых число ежедневных заражений и

летальных случаев изображаются в виде столбцов (т.е. кусочно-непрерывными функциями). Отметим, что на протяжении многих лет исследование временных рядов различного происхождения, как правило, осуществлялось на основе использования 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, ритмической деятельности сердца) [2-5] и 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 новых случаев заражения и ежедневных новых летальных случаев от COVID-19 в США, изучить особенности спектрограмм и исследовать глубинные процессы в развитии пандемии COVID-19 в США. Из близких по тематике работ отметим [7,8], где Вейвлет анализ использовался для анализа первой волны динамики ежедневных новых случаев заражения COVID-19 в Италии, Германии и Великобритании, а также в Швеции, Франции и Китае.

## **1. Вейвлет анализ суточной динамики новых случаев ежедневного заражения COVID-19 в США**

Рассмотрим ситуацию развития пандемии COVID-19 в США. Заметим, что в этой стране применялись обычные профилактические мероприятия: изоляция,

ношение масок и перчаток, ограничение посещений мест общественного использования, запрет на проведение общественных мероприятий и др.

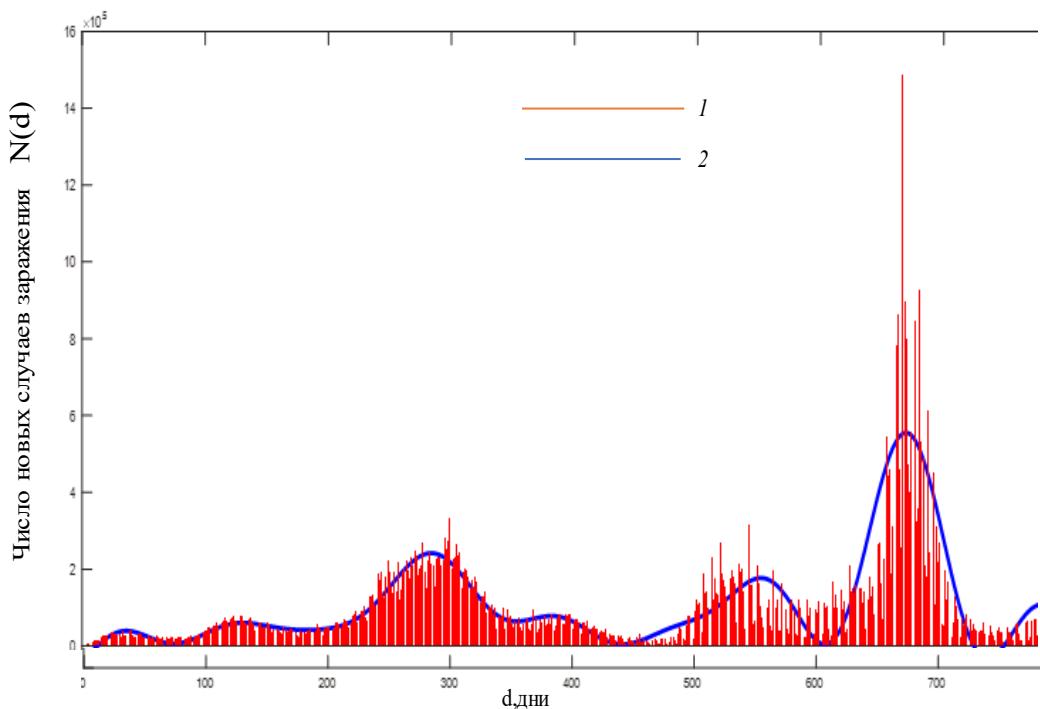


Рис. 1. Диаграмма и график функции  $N(d)$ , представляющие собой временной ход новых случаев ежедневного заражения коронавирусом в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022; 1 – реальный временной ход новых случаев ежедневного заражения коронавирусом; 2 – усредненный временной ход новых случаев ежедневного заражения коронавирусом, полученный при интерполяции (1) суммой восьми синусов

На рис. 1 представлены диаграмма и график функции  $N(d)$ , представляющие собой реальный (столбцы 1) и усредненный (кривая 2) временной ход новых случаев ежедневного заражения COVID-19 в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022. Из рис. 1 следует, что развитие во времени новых случаев ежедневного заражения COVID-19 за указанный период представляет собой сложный волнообразный процесс. Для такого процесса характерно чередование разномасштабных колебаний (волн) с различной амплитудой. Такой характер изменения новых случаев ежедневного заражения COVID-19 можно интерпретировать как существование шести "волн" в развитии пандемии COVID-19 в США. При этом каждая "волна" имеет свою "эффективную" длительность и "эффективную" амплитуду. Кроме того, имеет место изменение амплитуды волн и наложение на них мелкомасштабных

колебаний с относительно небольшой амплитудой. Заметим, что первые две волны обычно связывают с заражением штаммом COVID-19, получившим название Alpha, 3-ю и 4-ю волны – с преимущественным распространением штамма Delta, 5-ю и 6-ю волны – с распространением штамма Omicron. Так же следует отметить значительное увеличение (более, чем в три раза) амплитуды шестой волны по сравнению с предыдущими волнами, что может быть связано с более высокой заражаемостью и более коротким инкубационным периодом штамма Omicron.

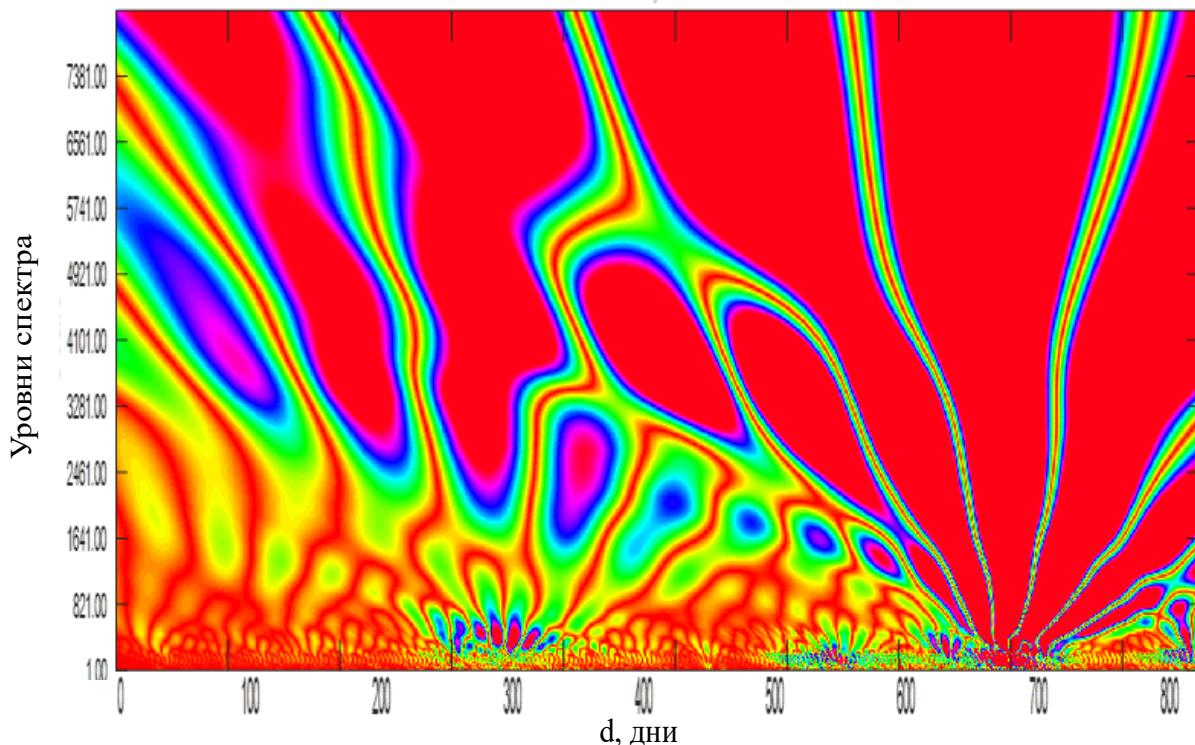


Рис. 2. Вейвлет спектр функции  $N(d)$ , представляющей собой временной ход новых случаев ежедневного заражения COVID-19 в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022

На рис. 2 изображена спектrogramма временного ряда, который представлен в виде столбчатого графика  $N(d)$  и изображает ход новых случаев ежедневного заражения коронавирусом (см. рис. 1). Спектrogramма получена на основе Вейвлет анализа [2,3]. В качестве базисных функций использовались вейвлеты Добиши восьмого порядка [7,8]. Отметим, что по горизонтальной оси отложено время развития пандемии в днях, а по вертикальной оси – амплитуды вейвлетов Добиши на каждом из 8192 уровней (на каждом уровне частота

колебаний вэйвлетов постоянна и увеличивается с увеличением номера уровня). При фиксированном уровне расстояние между линиями одинакового цвета соответствуют длительности циклов колебаний. Из данных, представленных на этом рисунке, следует, что в спектрограмме можно выделить существование пяти внутренних циклов с периодами приблизительно равными 100, 60, 30, 9 и 3-х дней. Заметим, что расстояния между «пиками» волн соответствует внутреннему циклу 100 дней.

## **2. Вэйвлет анализ суточной динамики новых летальных случаев и отношения ежедневных новых летальных случаев от COVID-19 к числу ежедневных новых случаев заражения в США.**

Рассмотрим теперь ситуацию с динамикой развития ежедневных новых летальных случаев COVID-19 в США. Рис. 3 иллюстрирует диаграмму и график функции  $L(d)$ , характеризующие собой временной ход новых ежедневных летальных случаев заражения COVID-19 в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022.

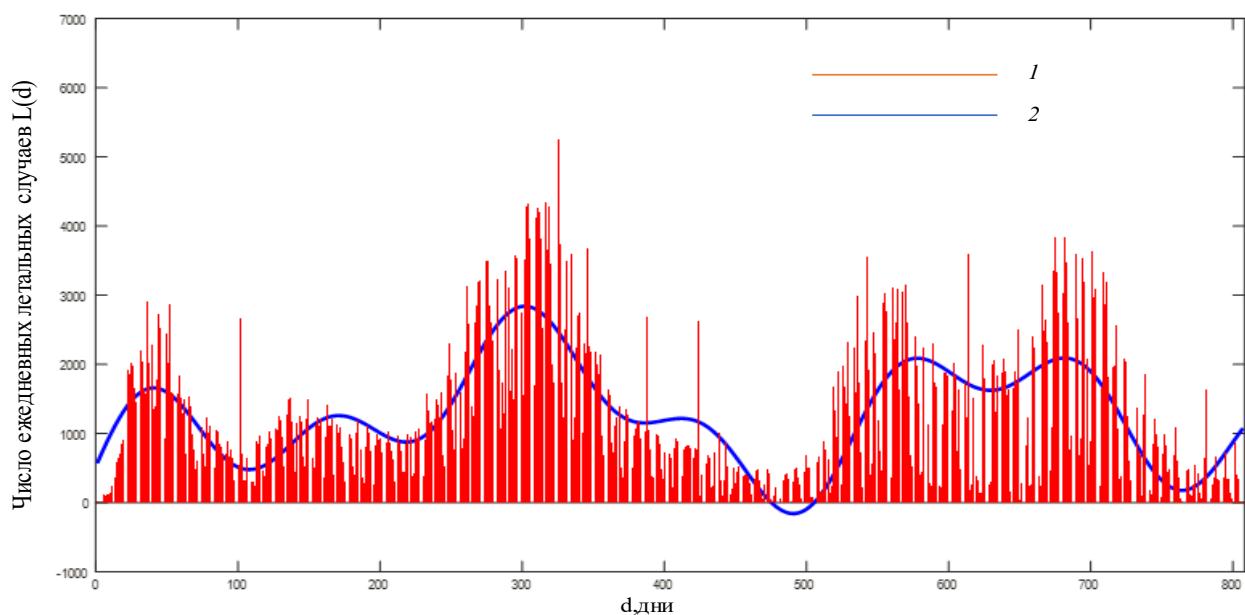


Рис. 3. Диаграмма и график функции  $L(d)$ , представляющие собой временной ход новых летальных случаев от коронавируса в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022: 1 – реальный временной ход ежедневных новых летальных случаев от COVID-19; 2 – усредненный временной ход новых летальных случаев от COVID-19, полученный при интерполяции (1) суммой четырех синусов.

Из анализа данных, представленных на этом рисунке, следует, что развитие временного хода новых ежедневных летальных случаев от COVID-19 в США в указанный период также сопровождался образованием шести волн. Максимальное число ежедневных летальных случаев нарастало от 1-ой волны к 3-ей, затем снижалось (4-я волна не ясно выражена), на 5-ой и 6-ой волнах увеличилось, однако не достигло максимального уровня 3-ей волны.

Следует отметить, что штамм Omicron характеризуется значительно большей заражаемостью, но более легким течением заболевания. На 6-ой волне кривой (рис. 3) не наблюдается резкого подъема новых летальных случаев, что может свидетельствовать о меньшей тяжести заболевания.

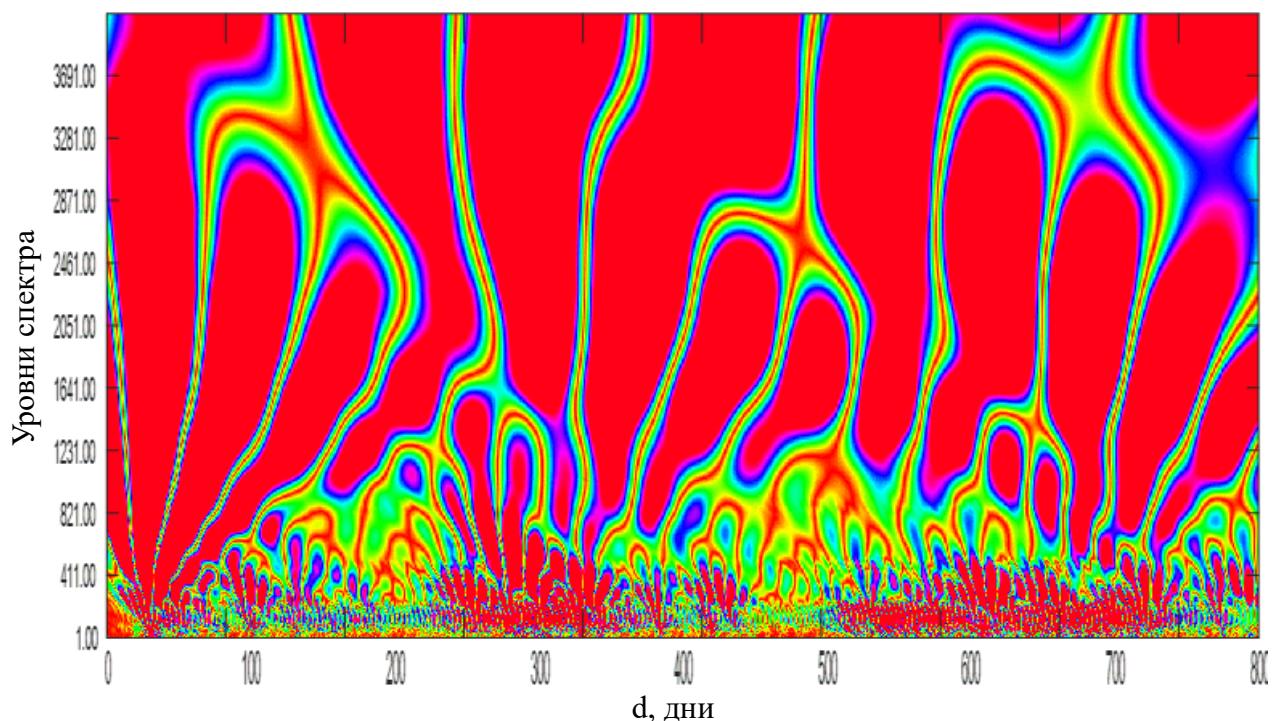


Рис. 4. Вэйвлет спектр функции  $L(d)$ , представляющей собой временной ход новых летальных случаев от COVID-19 в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022.

На рис. 4 изображен Вэйвлет спектр функции  $N(d)$ , представленной на рис. 3. В качестве базисных функций также использовались вэйвлеты Добиши восьмого порядка [6,7]. Из данных, приведенных на рис. 4, следует, что в спектре летальных случаев также можно выделить циклы с периодами 2–3 дня, 9–10 дней, 30 дней, 60 дней и 100 дней. Отметим также, что цикл в 100 дней соответствует «расстоянию» между «пиками» волн пандемии.

На рис. 5 представлены результаты расчетов, представляющие суточную динамику отношения ежедневных новых летальных случаев от COVID-19 к числу ежедневных новых случаев заражения COVID-19 в США за период с 17.03.2020 по 31.05.2022. Из рисунка следует, что за указанной период наблюдалось шесть волн. При этом амплитуда первой волны примерно в пять раз больше, чем у последующих пяти волн.

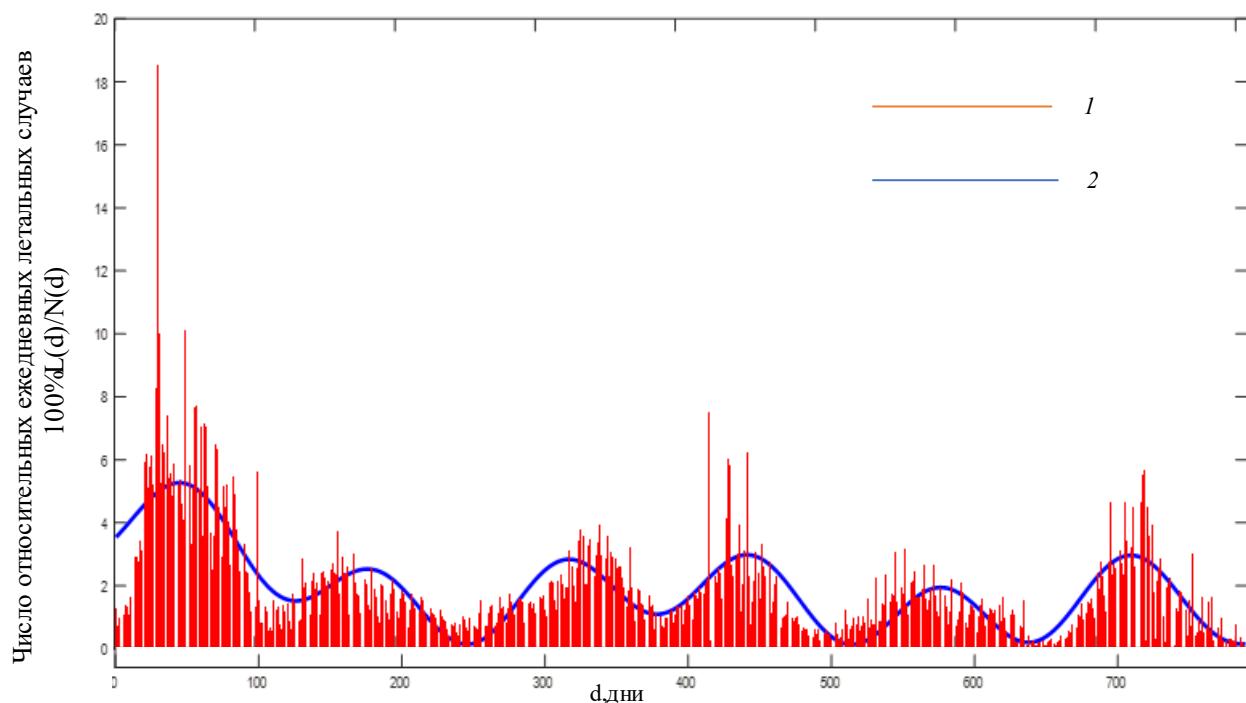


Рис. 5. Графики функции  $100\%L(d)/N(d)$ , представляющие собой временной ход процентного отношения ежедневных новых летальных случаев от COVID-19 к числу ежедневных новых случаев заражения в США в период с 17.03.2020 по 31.05.2022: 1 – реальный временной ход новых относительных летальных случаев; 2 – усредненный временной ход новых относительных летальных случаев, полученный при интерполяции (1) суммой четырех синусов.

Отметим также, что максимальные уровни волн со второй по шестую примерно одинаковы и составляет величину порядка 4%.

Отношение ежедневного числа новых летальных случаев к числу ежедневных новых случаев заражения может характеризовать тяжесть заболевания (максимум на 1-ой волне) и косвенно указывать на эффективность профилактических мероприятий, которые практически отсутствовали во время 1-ой волны и внедрялись на протяжении последующих волн пандемии.

## **Заключение**

Анализ динамики ежедневного числа новых случаев заражения COVID-19  $N(d)$ , новых летальных случаев от COVID-19  $L(d)$  в США и их соотношения с 17.03.20. по 31.05.2022. позволил выявить наличие шести волн в развитии пандемии в США, что может быть следствием изменчивости и мутации штаммов коронавируса. Резкое увеличение (более, чем в три раза) ежедневного числа новых случаев заражения COVID-19 на шестой волне по сравнению с предыдущими волнами может быть связано с более высокой заражаемостью и более коротким инкубационным периодом штамма Omicron. Штамм Omicron характеризуется значительно большей заражаемостью, но более легким течением заболевания, что видно на кривой хода новых ежедневных летальных случаев (Рис.3). Особенно четко это заметно на рис. 5, который иллюстрирует процентное отношение ежедневных новых летальных случаев от COVID-19 к числу ежедневных новых случаев заражения в США. При этом, максимум этих соотношений на 1-ой волне может свидетельствовать о максимальной тяжести заболевания по сравнению с последующими волнами. Более низкие «пики» у последующих волн можно интерпретировать как меньшую тяжесть заболевания COVID-19. Это может быть следствием как изменчивости штаммов коронавируса, так и проводимых профилактических мероприятий.

Вэйвлет анализ спектров временной зависимости числа ежедневных заражений COVID-19 и ежедневных летальных случаев выявил наличие внутренних циклов с разными периодами: периодами 2–3 дня, 9–10 дней, 30 дней, 60 дней и 100 дней. При этом отмечено, что цикл в 100 дней соответствует «расстоянию» между «пиками» волн пандемии, а циклы 3 и 9 дней могут соответствовать срокам инкубационного периода различных штаммов коронавируса. Вопрос происхождения внутренних циклов остается открытым и требует дополнительных исследований. Одно из возможных объяснений существования внутренних циклов может быть связано с совокупностью таких факторов как: особенность штамма вируса и его изменчивость; восприимчивость

популяции и особенности механизма, путей и факторов передачи возбудителя; а также наличием и характером проводимых профилактических мероприятий.

**Финансирование:** Работа выполнена за счет частичного бюджетного финансирования в рамках государственного задания.

### **Литература**

1. Статистика распространения коронавируса в мире. [web]. *КОРОНАВИРУС*. URL: <https://coronavirus-monitor.info>
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.
5. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вэйвлеты и их использование. УФН. 2001. Т.171. №5. С.465-501.
6. Анютин А.П., Морозов Д.С. Вейвлет анализ рядов Кондратьева. *Нелинейный мир*. 2012. Т.10. №10. С.696-699.
7. Анютин А.П., Ходыкина Т.М. Вэйвлет анализ первой волны динамики заражения коронавирусом в Италии, Германии и Великобритании. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.8.3>
8. 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>
9. Добеши И. *Десять лекций по вейвлетам*. Москва–Ижевск, РХД. 2001. 463 с.
10. Чуи К. *Введение в вэйвлеты*. Москва, Мир. 2001. 412 с.

**Для цитирования:**

Анютин А.П., Ходыкина Т.М. Вэйвлет анализ развития пандемии Ковид-19 в США. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.9.4>