

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.8.3>

УДК 621.391:004.93:6

ВЭЙВЛЕТ АНАЛИЗ ПЕРВОЙ ВОЛНЫ ДИНАМИКИ ЗАРАЖЕНИЯ КОРОНОВОРУСОМ В ИТАЛИИ, ГЕРМАНИИ И ВЕЛИКОБРИТАНИИ

А. П. Анютин, Т. М. Ходыкина

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 29 июля 2021 г.

Аннотация. В данной работе рассчитаны и исследованы Вэйвлет спектры для временных рядов, представляющих собой динамику новых случаев заражения коронавирусом в Италии, Германии и Великобритании. Обнаружено, что Вэйвлет спектры для этих стран имеют характерные три разномасштабных внутренних цикла. Показано, что нормированные графики средних значений новых случаев заражения коронавирусом имеют одинаковую скорость нарастания и различную скорость убывания.

Ключевые слова: Вэйвлет спектры, вэйвлеты Добеши, динамика новых случаев заражения коронавирусом в Италии, Германии и Великобритании.

Abstract. In this work, the wavelet spectra were calculated and analyzed for time series representing the dynamics of new daily cases of coronavirus infection in Italy, Germany and the UK. It was found that the Wavelet spectra for these countries have characteristic three different-scale internal cycles. It is shown that normalized graphs of the mean values of new daily cases of coronavirus infection have the same rate of increase and different rate of decrease.

Key words: the wavelet spectra, Daubechies wavelets, dynamics of new cases of coronavirus infection in Italy, Germany and the UK.

Введение

Всесторонний анализ пандемии COVID-19 является в настоящее время актуальной задачей как с теоретической, так и практической точки зрения. При этом существуют различные методы и подходы к решению, возникающих при этом биологических, химических, медицинских и других проблем. Отметим, что наиболее доступной информацией, характеризующей динамику развития пандемии, являются данные, которые представляют собой временные ряды новых случаев заражения, смерти и выздоровления. Такие данные обычно изображаются на графике в виде столбцов (столбцовых графиков) [1]. Хорошо известно, 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 Вэйвлет анализ [2-5]. Так например, Вэйвлет анализ использовался для выявления скрытых циклов в экономических рядах Конратьева [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 связано с тем, что он имеет существенное преимущество перед Фурье анализом. Это преимущество заключается в том, что Вейвлет анализ позволяет обнаружить хорошо локализованные изменения временных рядов (внутренние циклы), тогда как анализ Фурье принципиально этого не дает, поскольку в коэффициентах Фурье содержится информация о поведении временных рядов за все время их существования.

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы на основе Вэйвлет анализа временных рядов, представляющих динамику новых случаев заражения коронавирусом в Италии, Германии и Великобритании, исследовать особенности спектрограмм для этих стран и установить в них наличие внутренних циклов. Выбор этих стран связан с тем, что с одной стороны они имеют разное географическое расположение (разные климатические зоны), а с

другой стороны эти страны имеют примерно одинаковые плотность и равномерное распределение населения: Италия - 193 человек на 1 квадратный километр; Германия – 230 человек на 1 квадратный километр; Великобритания – 255 человек на 1 квадратный километр, а так же осуществляли одинаковые карантинные мероприятия: полный карантин, домашний режим, изоляция, ограничение передвижений, ношение масок и перчаток и др..

1. Тестовый Вэйвлет анализ временных рядов, представляющих новые случаи заражения коронавирусом в Италии

Рассмотрим сначала ситуацию, связанную с развитием новых случаев заражения коронавирусом в Италии. На рис. 1 представлены два графика функции $N(d)$, представляющий собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Италии в период с 21.02.2020 по 04.07.2020. На графике цифрой 1 обозначена столбчатая (кусочно-постоянная) функция, где каждый столбец соответствует числу зараженных коронавирусом в день [1]. Цифра 2 этого графика относится к непрерывной функции, которая получена в результате интерполяции кубическими сплайнами [2,3] кусочно-постоянной функции [1].

Из рис. 1 видно, что процесс развития пандемии за указанный период содержит три стадии. Первая стадия характеризуется резким ростом числа ежедневно заболевших. Вторая стадия соответствует временной области, где наблюдается максимальные значения числа ежедневно заболевших. Наконец третья стадия – область постепенного уменьшения числа ежедневно заболевших. При этом, график ежедневно заболевших на каждой стадии содержит характерные разномасштабные колебания.

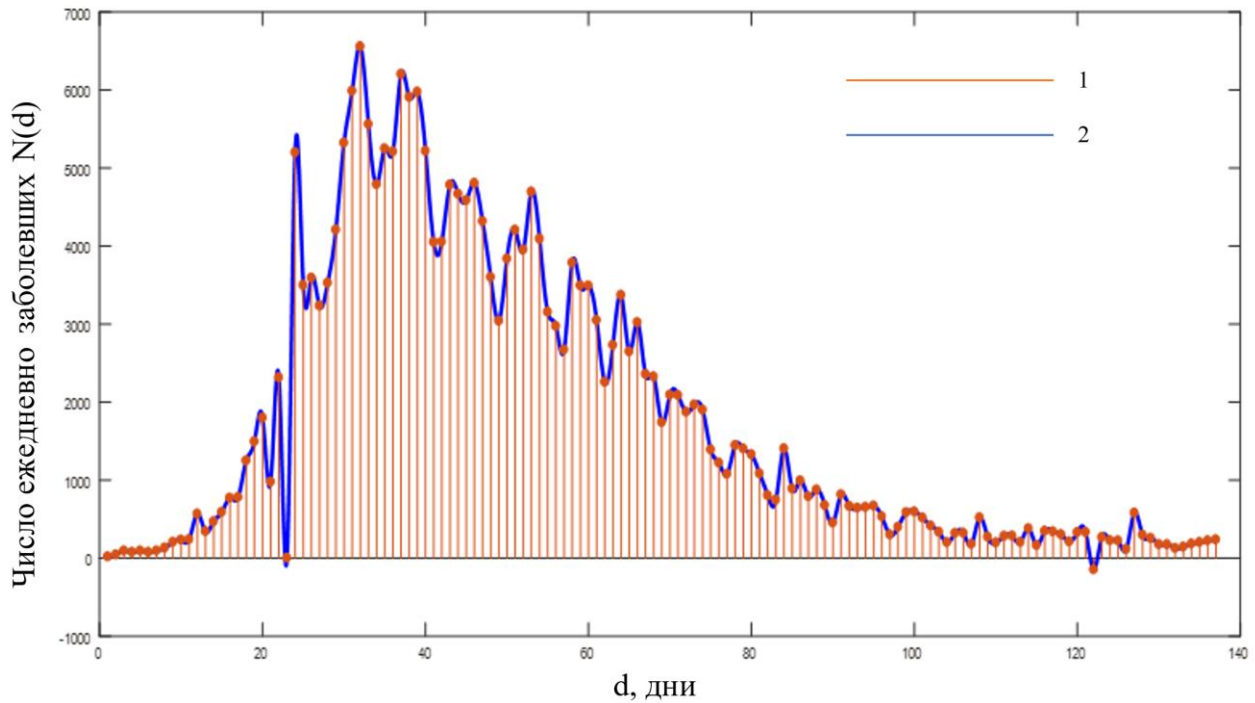


Рис. 1. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Италии в период с 21.02.2020 по 04.07.2020; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, 2 - интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

Используем Вэйвлет анализ [2,3] для исследования данных, представленных на рис. 1 непрерывной кривой функции $N(d)$. В качестве базисных функций используем вэйвлеты Добитши шестого порядка [7,8]. Результат расчета Вэйвлет 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 вэйвлетов Добитши на каждом из 512 уровней (на каждом уровне частота колебаний вэйвлетов постоянна и увеличивается с увеличением номера уровня). Заметим, что при фиксированном уровне расстояние между линиями одинакового цвета соответствуют длительности циклов колебаний.

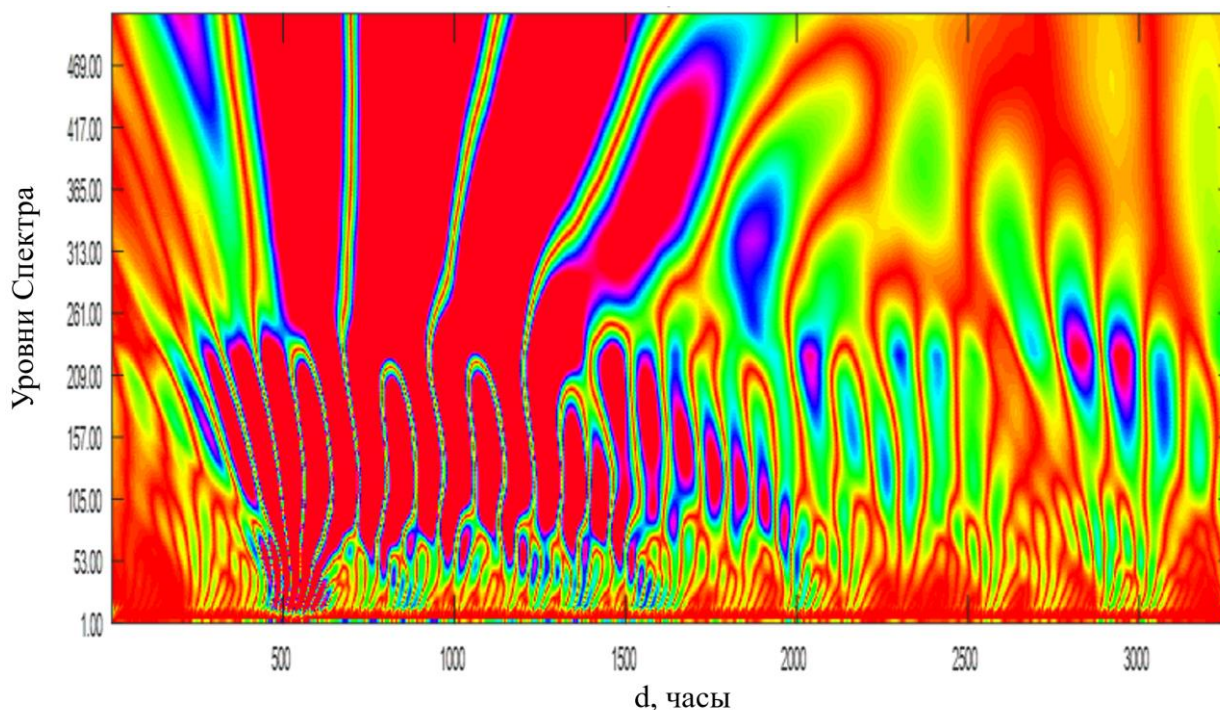


Рис. 2. Вэйвлет спектр непрерывной функции $N(d)$, представляющих собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Италии в период с 21.02.2020 по 04.07.2020.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что в Вэйвлет 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. Вэйвлет анализ временных рядов, представляющих новые случаи заражения коронавирусом в Германии и Великобритании

Рассмотрим теперь ситуацию, связанную с временным ходом новых случаев заражения коронавирусом в Германии и Великобритании. На рис. 3, рис. 4 изображены графики функции $N(d)$, характеризующие собой соответственно временной ход новых случаев заражения в Германии в период с 27.02.2020 по 04.07.2020 и Великобритании в период с 02.03.2020 по 04.07.2020 [1]. Сравнение графиков этих рисунков с графиками рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что

качественные тенденции в развитии новых случаев заражения коронавирусом эпидемии в этих трех странах совпадают.

Рис. 3. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Германии в период с 27.02.2020 по 04.07.2020; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, 2 - интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

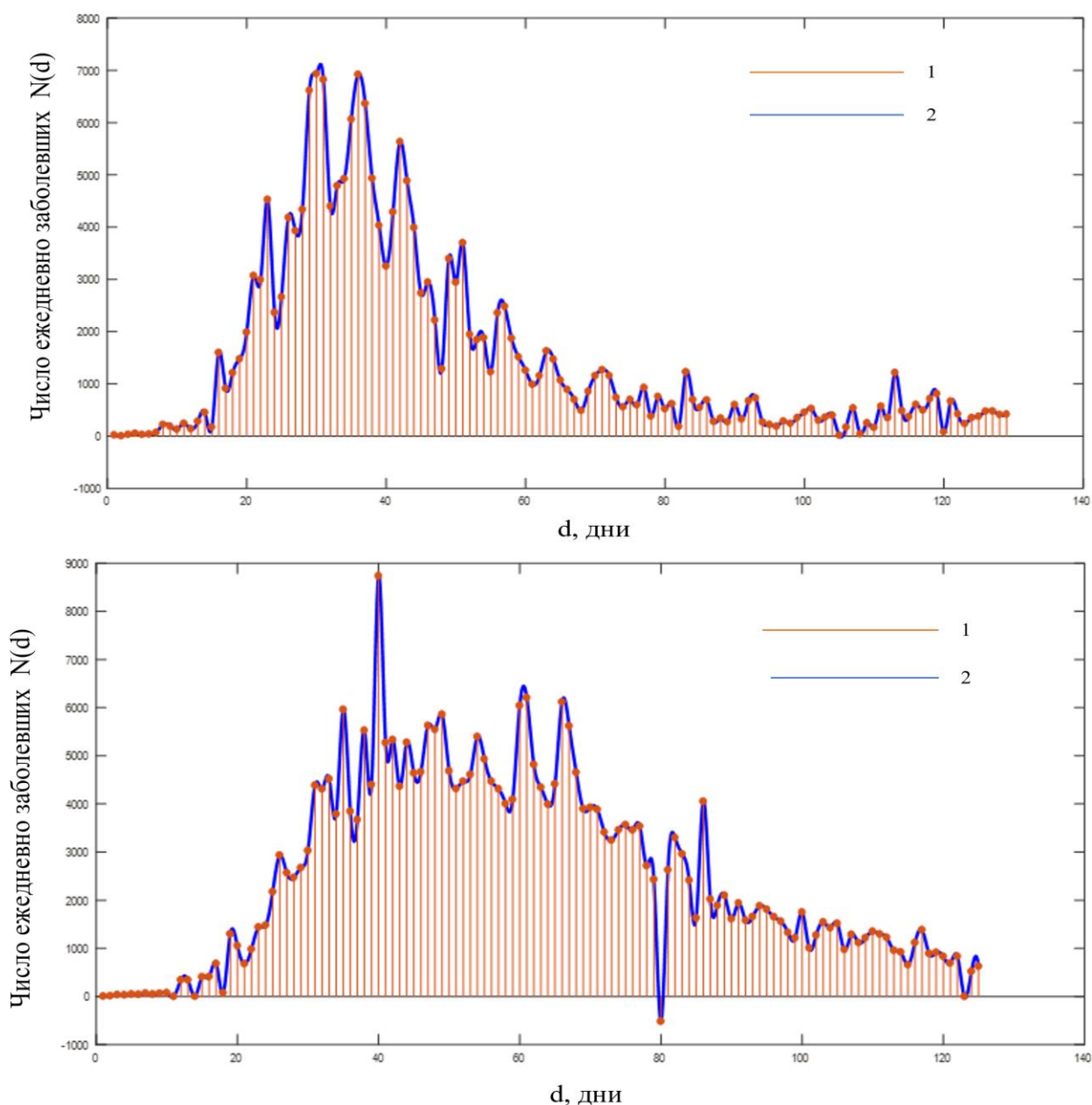


Рис. 4. Графики функции $N(d)$, представляющие собой временной ход новых случаев заражения коронавирусом в Великобритании в период с 02.03.2020 по 04.07.2020; 1 – реальный временной ход новых случаев заражения

коронавирусом, 2 - интерполяция кубическими сплайнами реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом.

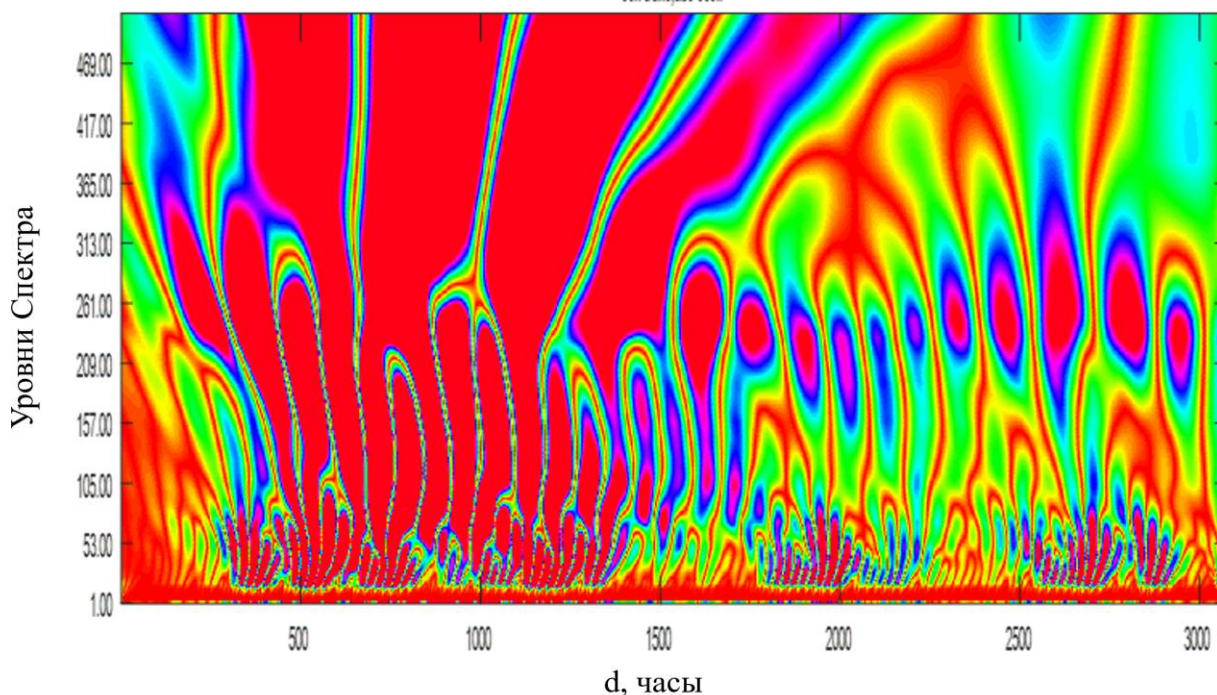


Рис.5. Вэйвлет спектр непрерывной функции $N(d)$ Рис. 3, представляющий собой временной ход новых заражения коронавирусом в Германии в период с 27.02.2020 по 04.07.2020.

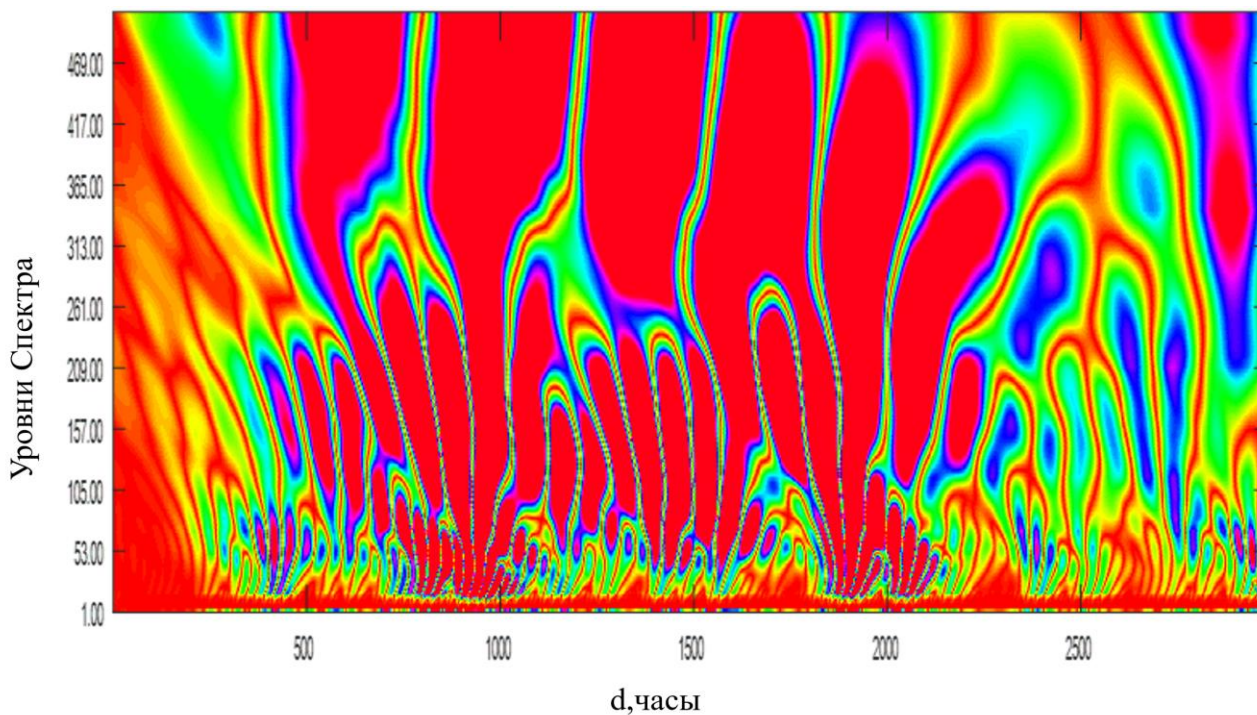


Рис. 6. Вэйвлет спектр непрерывной функции $N(d)$ Рис. 3, представляющий собой временной ход новых заражения коронавирусом в Великобритании в период с 02.03.2020 по 04.07.2020.

Рис. 5, рис. 6 иллюстрируют результаты расчета Вэйвлет спектров временного хода новых случаев заражения в Германии и Великобритании, представленные на рис.3, рис. 4. Анализ Вэйвлет спектров, приведенных на рис. 5 и рис. 6, позволяет сделать вывод о том, что для них также, как и в рассмотренном выше случае Италии, характерно присутствие трех обнаруженных выше циклов.

Таким образом мы выявили существование трех циклов, сопровождающих временной ход новых заражений коронавирусом в трех странах с разным географическим расположением (разным климатом) и имеющих примерно одинаковую плотность и распределение населения и проводивших примерно одинаковые карантинные мероприятия. Образование 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.

Выше мы анализировали Вэйвлет спектры временных рядов, представляющих собой реальный временной ход случаев новых заражений коронавирусом.

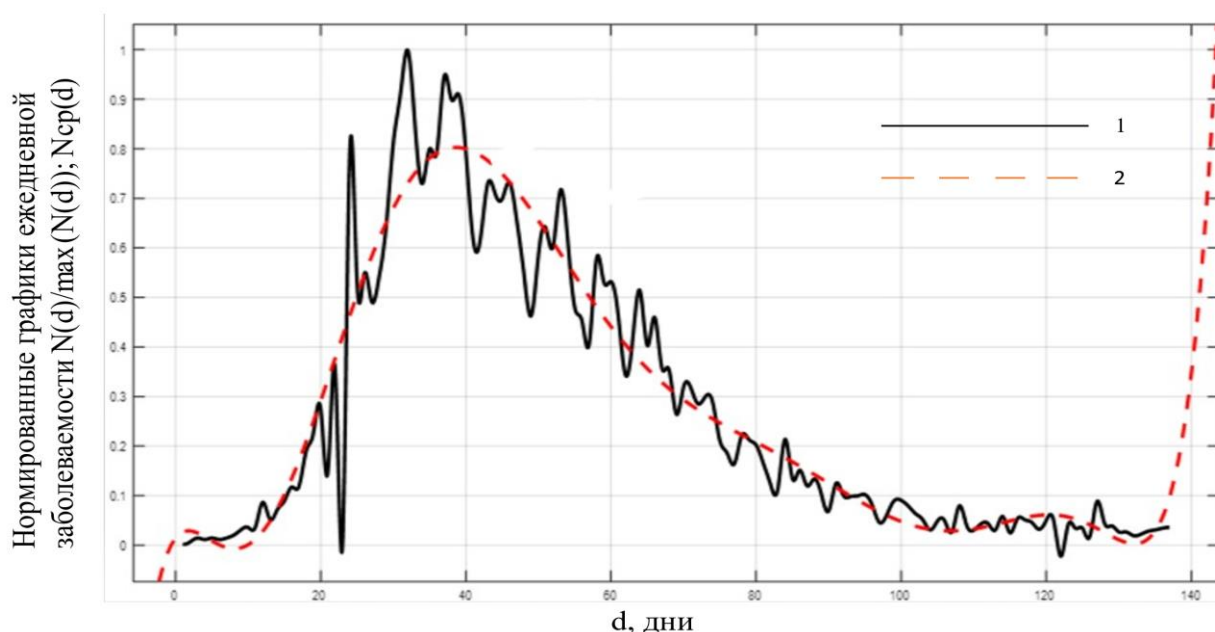


Рис. 7. Графики функции, $N(d) / \max(N(d))$ и $N_{sr}(d)$ для усредненного временного хода новых случаев заражения коронавирусом в Италии в период с 21.02.2020 по 04.07.2020; кривая 1 - усредненный временной ход новых случаев

заражения коронавирусом $N(d) / \max(N(d))$, 2 - усредненный временной ход новых случаев заражения коронавирусом $N_{sr}(d)$, полученный методом наименьших квадратов.

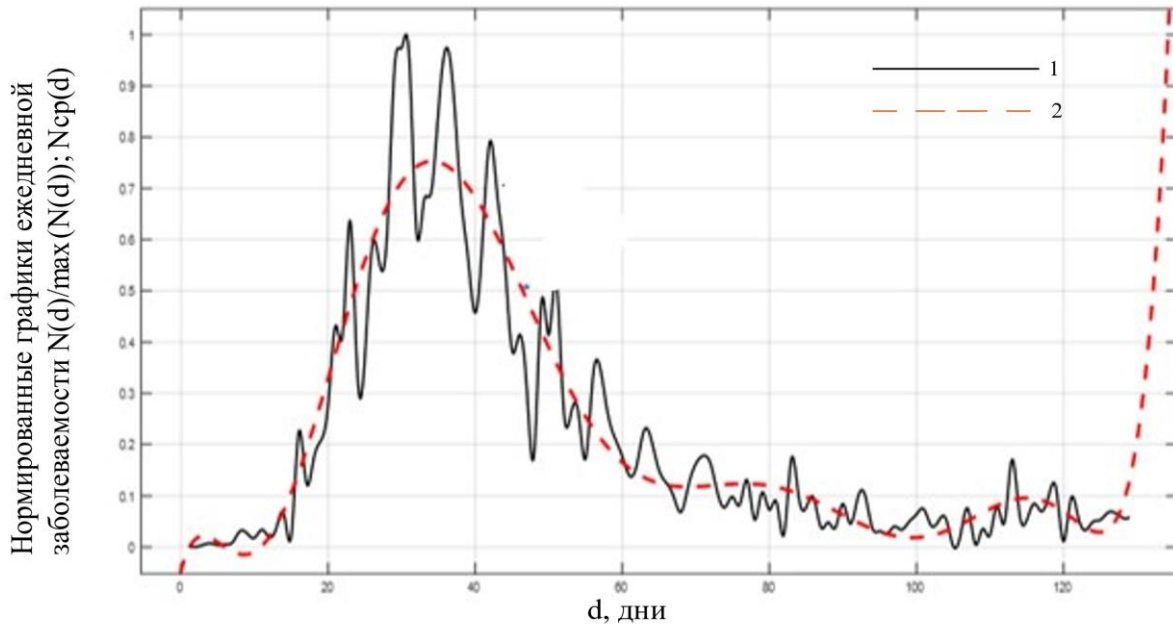


Рис. 8. Графики функции, $N(d) / \max(N(d))$ и $N_{sr}(d)$ для усредненного временного хода новых случаев заражения коронавирусом в Германии в период с 27.02.2020 по 04.07.2020; кривая 1 - усредненный временной ход новых случаев заражения коронавирусом $N(d) / \max(n(d))$, кривая 2 - усредненный временной ход новых случаев заражения коронавирусом $N_{sr}(d)$, полученный методом наименьших квадратов.

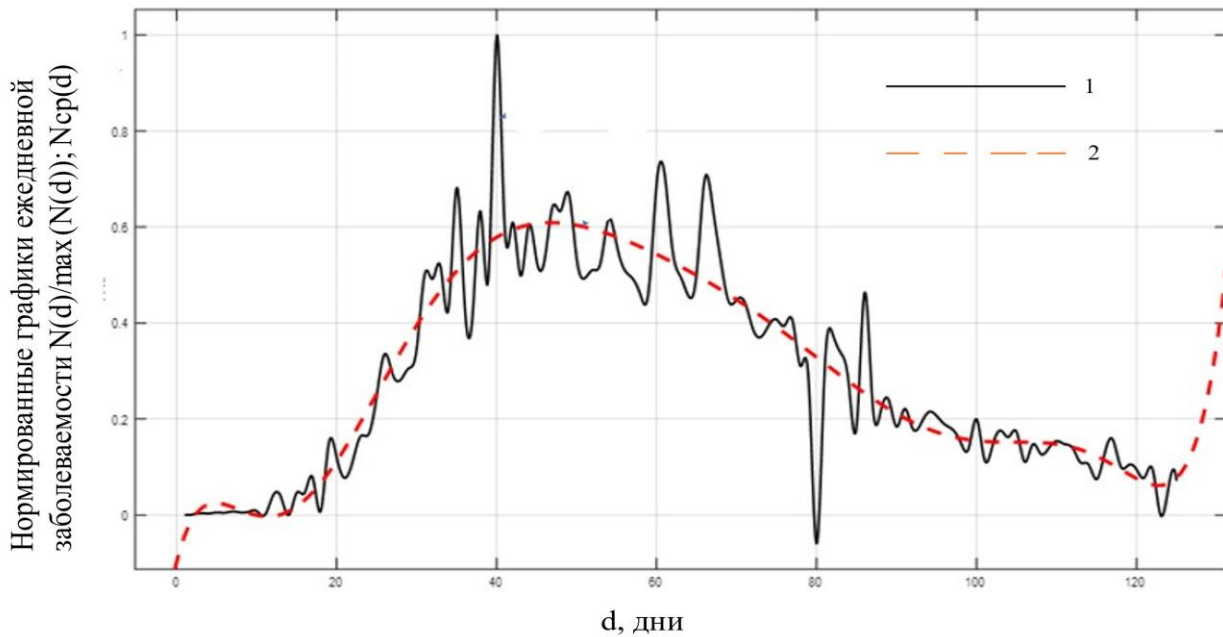


Рис. 9. Графики функции, $N(d) / \max(n(d))$ и $N_{sr}(d)$ для усредненного временного хода новых случаев заражения коронавирусом в Великобритании в период с 02.03.2020 по 04.07.2020; кривая 1 - усредненный временной ход

новых случаев заражения коронавирусом $N(d)/\max(n(d))$, кривая 2 - усредненный временной ход новых случаев заражения коронавирусом, полученный методом наименьших квадратов $N_{sr}(d)$.

Не меньший интерес представляет расчет и анализ 'усредненного' поведения таких временных рядов, что позволяют отвлечься от мелкомасштабных осцилляций кривых. На каждом рис. 7, рис. 8 и рис. 9 представлены два графика. Первый график, отмеченный цифрой 1, изображает реальный временной ход случаев новых заражений коронавирусом и получена в результате деления значений функции $N(d)$ на ее максимальное значение $\max(N(d))$. Вторым графиком, отмеченным цифрой 2 - результат интерполяции первой кривой полиномом девятой степени, коэффициенты которого находятся методом наименьших квадратов. Таким образом кривая 2 каждого рисунка изображает усредненное (нормированное) изменения реального временного хода новых случаев заражения коронавирусом $N_{sr}(d)$. Анализ этих рисунков призывает, что эти страны имеют примерно одинаковую "усредненную" скорость нарастания новых случаев заражения коронавирусом - порядка 200 чел. в день. Однако отметим, что "усредненная" скорость убывания новых случаев заражения коронавирусом у них разная.

Заключение

В современных условиях всесторонний анализ пандемии COVID-19 является актуальной задачей. С целью изучения особенностей спектрограмм и установления в них наличия внутренних циклов для Италии, Германии и Великобритании был проведен Вэйвлет анализ временных рядов, представляющих динамику новых случаев заражения коронавирусом в этих странах. Мы выявили существование трех циклов, сопровождающих временной ход новых заражений коронавирусом в странах с разным географическим расположением (разным климатом) и имеющих примерно одинаковую плотность и распределение населения и проводивших примерно одинаковые карантинные мероприятия. Существование 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.

При анализе ‘усредненных’ характеристик временных рядов было выявлено, что эти страны имеют примерно одинаковые средние скорости нарастания и различные средние скорости убывания значений новых случаев заражения коронавирусом. Сдвиг во времени кривых новых случаев заражения может быть связан с разным географическим положением этих стран. Особо укажем на необходимость проведения комплексных исследований как самого вируса, его штаммов, восприимчивости и среды обитания людей для построения модели развития пандемии COVID-19.

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

Литература

1. *Статистика коронавируса в мире*. <http://www.covid19-2020.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. Аняутин 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 вэйвлеты*. Москва, Мир. 2001. 412 с.

Для цитирования:

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>