УДК 614.8
DOI: https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2026.80.25.003
EDN: https://elibrary.ru/puecrs

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ ДОБЕШИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ГИБЕЛИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Евгений Васильевич Бобринев, Андрей Александрович Кондашов, Светлана Владимировна Нестерова

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Аннотация. Рассмотрен метод сглаживания статистических данных с использованием вейвлетов Добеши на основе матричного подхода. Для получения аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов разложения использованы низкочастотный и высокочастотный фильтры и введен мягкий порог для детализирующих коэффициентов. С помощью вейвлет-сглаживания проведено изучение динамики количества погибших в техногенных и природных чрезвычайных ситуациях на территории Российской Федерации за период с 2010 по 2025 г. Отмечена тенденция к снижению количества погибших в техногенных чрезвычайных ситуациях с 636 человек в 2011 году до 333 человек в 2025 году. Количество погибших в природных чрезвычайных ситуациях находится примерно на одном уровне: 14–25 человек в год за исключением 2012 года, когда произошло резкое увеличение уровня гибели.

Ключевые слова: вейвлеты Добеши, сглаживание, матрица, низкочастотный фильтр, высокочастотный фильтр, чрезвычайная ситуация, гибель

Для цитирования: *Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Нестерова С.В.* Использование вейвлетов добеши для изучения динамики гибели в чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2026. № 4 (30). С. 24–29. DOI 10.37657/vniipo.avpb.2026.80.25.003. EDN PUECRS.

USE OF DAUBECHIES WAVELETS TO STUDY THE DYNAMICS OF MORTALITY IN EMERGENCIES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Evgeny V. Bobrinev, Andrey A. Kondashov, Svetlana V. Nesterova

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Abstract. The paper considers a method for smoothing statistical data using Daubechies wavelets based on a matrix approach. To obtain the approximation and detail coefficients of the decomposition, low-pass and high-pass filters are used, and a soft threshold is introduced for the detail coefficients. Using wavelet smoothing, the dynamics of the number of fatalities in man-made and natural emergencies in the Russian Federation over the period from 2010 to 2025 is studied. A downward trend in the number of fatalities in man-made emergencies is noted, from 636 people in 2011 to 333 people in 2025. The number of fatalities in natural emergencies remains approximately at the same level: 14–25 people per year, with the exception of 2012, when there was a sharp increase in the number of fatalities.

Keywords: Daubechies wavelets, smoothing, matrix, low-pass filter, high-pass filter, emergency, mortality

For citation: Bobrinev E.V., Kondashov A.A., Nesterova S.V. Use of Daubechies wavelets to study the dynamics of mortality in emergencies in the Russian Federation. Aktual'nye voprosy pozharnoi bezopasnosti – Current Fire Safety Issues, 2026, no. 4, pp. 24-29. (In Russ.). DOI 10.37657/vniipo.avpb.2026.80.25.003. EDN PUECRS.

Вейвлеты Добеши представляют собой семейство ортогональных вейвлетов с компактным носителем, то есть функция отлична от нуля только на ограниченном интервале [1]. Это обеспечивает локализацию во времени и упрощает вычисления. Вейвлеты Добеши образуют ортогональный базис, что позволяет эффективно раскладывать сигнал без избыточности.

Вейвлеты Добеши не имеют явного аналитического выражения – они задаются набором коэффициентов фильтра, которые определяют, каким образом сигнал раскладывается на аппроксимирующие и детализирующие компоненты:

- низкочастотный фильтр h (для аппроксимации данных);
- высокочастотный фильтр g (для выделения деталей).

Коэффициенты этих фильтров связаны определенными соотношениями, обеспечивающими ортогональность и компактность носителя.

Вейвлет-функции Добеши принято обозначать буквой D с цифрой, соответствующей длине фильтра:

- $D2$ – самый простой вариант, похож на вейвлет Хаара, имеет низкую гладкость;
- $D4$ и выше – более гладкие функции, лучше подходят для анализа гладких сигналов.

Чем выше порядок, тем выше гладкость вейвлета и тем лучше он подавляет полиномиальные составляющие сигнала.

В работе [2] изучалась динамика гибели людей в чрезвычайных ситуациях (далее – ЧС) с использованием метода экспоненциального сглаживания. В настоящей работе с использованием вейвлет-преобразования Добеши проведено изучение динамики количества погибших в техногенных и природных ЧС в Российской Федерации за период с 2010 по 2025 г. Данные о количестве погибших получены из государственных докладов МЧС России [3]. Для сглаживания данных по количеству погибших в ЧС использовались вейвлеты Добеши $D4$ [4].

Вейвлет Добеши $D4$ задается набором коэффициентов низкочастотного фильтра

$$h = [h_0, h_1, h_2, h_3] = \left[\frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}\right] \quad (1)$$

и коэффициентов высокочастотного фильтра

$$g = [-h_3, h_2, -h_1, h_0]. \quad (2)$$

Для получения коэффициентов разложения использовался матричный метод [5]. Матрица W_A для аппроксимирующих коэффициентов содержит 8 строк и 16 столбцов. Ее строки получаются путем последовательного сдвига коэффициентов низкочастотного фильтра на две позиции

$$W_A = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \ddots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 0 & h_0 & h_1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Матрица W_D для детализирующих коэффициентов имеет аналогичный вид и содержит коэффициенты высокочастотного фильтра g.

Введем столбец Y, состоящий из исходных данных

$$Y = [y_0, y_1, \ldots, y_{15}]^T. \quad (4)$$

Тогда коэффициенты 1-го уровня разложения вычисляются следующим образом

$$A_1 = W_A \cdot Y, \quad (5)$$
$$D_1 = W_D \cdot Y,$$

где A_1 – вектор аппроксимирующих коэффициентов; D_1 – вектор детализирующих коэффициентов. A_1 содержит сглаженную версию исходных данных, D_1 содержит детали, которые отличают исходные данные от сглаженных.

Для достижения необходимого уровня сглаживания был введен мягкий порог для коэффициентов D 1-го и последующих уровней разложения

$$D = \begin{cases} 0, \text{ если } |D| < \lambda, \\ \text{sign } (D) \cdot (|D| - \lambda), \text{если } |D| \geq \lambda, \end{cases} \quad (6)$$

где пороговое значение λ определяется следующим образом

$$\lambda = \sigma\sqrt{2 \log N}, \quad (7)$$

где σ – оценка стандартного отклонения шума; N – длина вектора исходных данных (в нашем случае N = 16).

Для оценки коэффициентов 2-го уровня разложения описанная выше процедура повторяется для вектора A_1

$$A_2 = W_A^2 \cdot A_1, \quad (8)$$
$$D_2 = W_D^2 \cdot A_1.$$

Матрица W_A для 2-го уровня имеет следующий вид

$$W_A^2 = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_0 & h_1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Аналогичный вид имеет матрица W_D^2 с заменой коэффициентов h-фильтра на коэффициенты g-фильтра.

Наконец, для оценки коэффициентов 3-го уровня разложения процедура повторяется для вектора A_2

$$A_3 = W_A^3 \cdot A_2, \quad (10)$$
$$D_3 = W_D^3 \cdot A_2.$$

Матрица W_A для 3-го уровня имеет следующий вид

$$W_A^3 = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_2 & h_3 & h_0 & h_1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Аналогичный вид имеет матрица W_D^3.

Для восстановления данных используются транспонированные матрицы

$$A_{2rec} = (W_A^3)^T \cdot A_3 + (W_D^3)^T \cdot D_3,$$
$$A_{1rec} = (W_A^2)^T \cdot A_{2rec} + (W_D^2)^T \cdot D_2, \quad (12)$$
$$Y_{rec} = (W_A)^T \cdot A_{1rec} + (W_D)^T \cdot D_1,$$

где значения детализирующих коэффициентов вычислены с учетом порога (6).

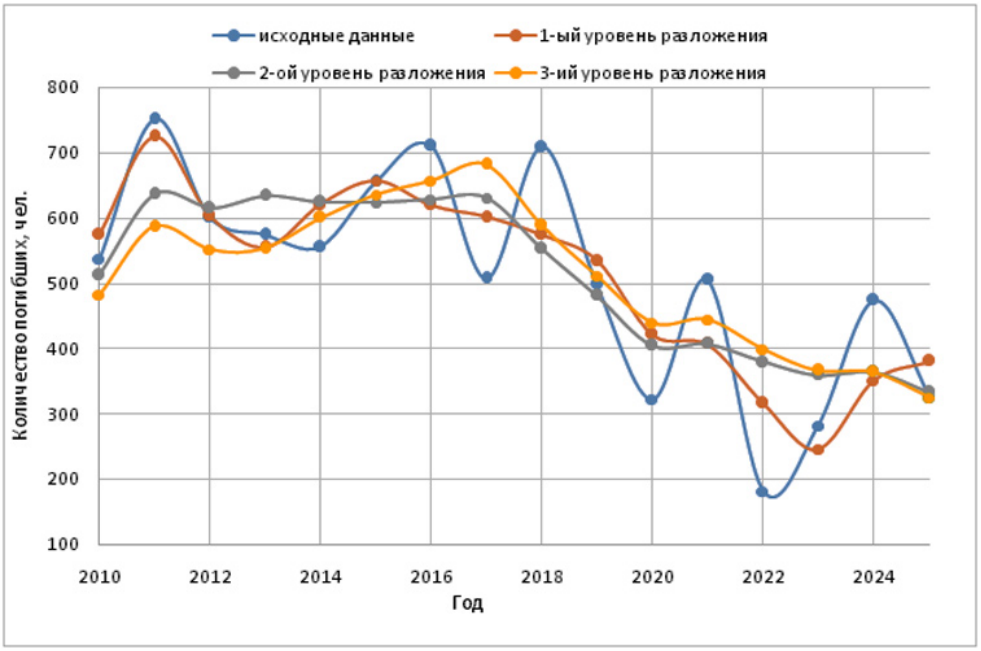

Рис. 1. Количество погибших в техногенных чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации за период 2010–2025 гг.

Количество погибших в техногенных ЧС в Российской Федерации за период 2010–2025 гг. представлено на рис. 1. В среднем за год за указанный период в техногенных ЧС погибало 512 человек. За рассматриваемый период наблюдаются значительные колебания количества погибших в разные годы. Максимальное количество погибших зарегистрировано в 2011 году – 751 человек. Меньше всего людей погибло в техногенных ЧС в 2022 году – 181 человек.

Выполнено сглаживание данных по количеству погибших в техногенных ЧС с использованием вейвлетов Добеши $D4$. Как видно из рис. 1, оптимальный уровень сглаживания достигается на 2-м уровне разложения. Полученная аппроксимирующая кривая показывает, что для сглаженных данных в период 2011–2017 гг. количество погибших меняется незначительно и находится на уровне 615–636 человек в год. Начиная с 2017 года наблюдается снижение количества погибших на 47 % с 631 человека в 2017 году до 333 человек в 2025 году.

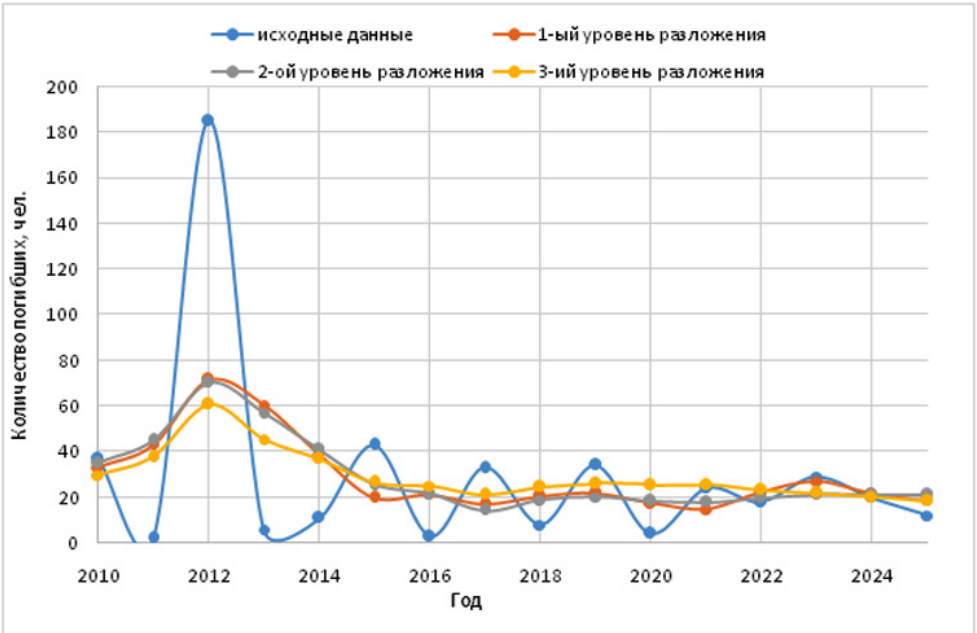

Рис. 2. Количество погибших в природных чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации за период 2010–2025 гг.

Количество погибших в природных ЧС в Российской Федерации за период 2010–2025 гг. представлено на рис. 2. В среднем за год за указанный период в природных ЧС погибало 29 человек. За рассматриваемый период наблюдаются значительные колебания количества погибших в разные годы. Максимальное количество погибших зарегистрировано в 2012 году – 185 человек. Меньше всего людей погибло в природных ЧС в 2011 году – 2 человека, в 2016 году – 3 человека, в 2020 году – 4 человека.

Выполнено сглаживание данных по количеству погибших в природных ЧС с использованием вейвлетов Добеши $D4$. Как видно из рис. 2 аппроксимирующие кривые достаточно близки для 3 уровней разложения. Исходя из 2-го уровня разложения получено, что для сглаженных данных количество погибших сначала увеличивается в 2 раза с 35 человек в 2020 году до 70 человек в 2012 году, затем снижается на 80 % до 14 человек в 2017 году и в 2017–2025 гг. остается на уровне 14–22 погибших в год.

Таким образом, проведено изучение динамики количества погибших в техногенных и природных чрезвычайных ситуациях на территории Российской Федерации за период с 2010 по 2025 г. Для выявления тенденций изменения наблюдаемых зависимостей использован метод вейвлет-сглаживания с использованием вейвлетов Добеши. В 2010–2025 гг. в среднем в год погибало 512 человек в техногенных ЧС и 29 человек в природных ЧС. За рассматриваемый период среднегодовое количество погибших в техногенных ЧС с учетом сглаживания снизилось с 636 человек в 2011 году до 333 человек в 2025 году. Среднее количество погибших в природных ЧС с учетом сглаживания находится на практически на одном уровне в 2015–2025 гг. – 14–25 человек, в 2012 году наблюдается всплеск до 70 погибших.

Использование вейвлет-сглаживания для анализа данных, существенно изменяющихся от года к году, позволяет отделить случайные колебания от долговременных тенденций и провести более точную интерпретацию наблюдаемой динамики.

Список литературы

1. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. Москва; Ижевск: РХД, 2004. 463 с. ISBN 978-5-93972-044-7.

2. Применение метода экспоненциального сглаживания при изучении динамики гибели людей в чрезвычайных ситуациях / *А.А. Кондашов, Е.В. Бобринев, Е.Ю. Удавцова, О.В. Стрельцов* // Техногенная и природная безопасность. Медицина катастроф (SAFETY-2025): сборник материалов VIII Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием. Саратов: 2025. С. 40–43.

3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2010–2025 гг: государственные доклады МЧС России // МЧС России: официальный сайт. URL: https://mchs.gov.ru/search?main_search%5Btext%5D=О+состоянии+защиты+населения+и+территорий+Российской+Федерации+от+чрезвычайных+ситуаций+природного+и+техногенного+характера&main_search%5Bsubmit%5D=&main_search%5Boperator%5D=and&main_search%5Bcategory%5D=&main_search%5BdateFrom%5D=&main_search%5BdateTo%5D=&main_search%5Bsort%5D=score&main_search%5Btag%5D= (дата обращения: 15.09.2026).

4. *Иванов В.Э., Чье Ен Ун*. Модульные вейвлет-фильтры: модели, алгоритмы и средства: монография. Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2020. 175 с. ISBN 978-5-7389-3051-5.

5. *Захарова Т.В., Шестаков О.В.* Вейвлет-анализ и его приложения: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2021. 158 с. ISBN 978-5-16-005056-0.

Статья поступила в редакцию 15.09.2026;

одобрена после рецензирования 15.10.2026;

принята к публикации 13.11.2026.

Бобринев Евгений Васильевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; ***Кондашов Андрей Александрович*** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; ***Нестерова Светлана Владимировна*** – старший научный сотрудник.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Evgeny V. Bobrinev – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher; ***Andrey A. Kondashov*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher; ***Svetlana V. Nesterova*** – Senior Researcher.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.