УДК 550.34

МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО РЯДА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ЕГО ДЕТАЛИЗАЦИИ

В. А. Минаев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры специальных информационных дисциплин Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя;
orcid.org/0000-0002-5342-0864, e-mail: m1va@yandex.ru
А. О. Фаддеев, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры экономической безопасности Рязанского филиала Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя;
e-mail: fao1@mail.ru
А. В. Корячко, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры математики и информационных технологий управления Академия ФСИН России;
e-mail: akor89@yandex.ru
А. В. Мокшанцев, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: mok-av@yandex.ru

Представлена авторская методика восстановления ежемесячных величин количественного признака по его поквартальным данным. Описание последовательных этапов методики производится на примере анализа потока сейсмических событий в системе Большого Кавказа и прилегающих территорий за период 2003 – 2023 гг. Изложена процедура оценки ежемесячных значений признака по его исходным поквартальным данным и их дальнейшего преобразования в реальные значения. Предложен критерий типологизации ежемесячных сейсмических событий и приведены результаты сопоставления расчётных величин признака с его действительными значениями. Сделан вывод об эффективности методики.

Ключевые слова: *динамический ряд, сейсмические события, реконструкция, кубический сплайн, преобразование Фурье, амплитудно-частотный спектр.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2026-96-1-200-208

Введение

Одним из важных и актуальных прикладных направлений современных исследований является прогнозирование. Изучение динамики больших систем, развития разнообразных процессов в природной среде и социальной сфере, особенностей функционирования различных техногенных объектов – всё это требует не только анализа текущей ситуации в поведении исследуемых систем, объектов и в развитии процессов, но и выполнения прогностических оценок тенденций их динамики.

Для этих целей необходимо владеть достоверной информацией о состояниях исследуемых систем, процессов, объектов в различные последовательные моменты времени. Причём такой последовательный ряд данных должен быть не только достаточно протяжённым во времени, но и обладать оптимальной дискретизацией. Оптимальной в том смысле, что временн***о***й шаг представляемых данных с точки зрения их исследования методами статистического анализа должен удовлетворять требованиям соответствия минимальным временным единицам измерения в зависимости от заданного размера временн***о***го скользящего окна внутри прогнозного интервала.

Например, если требуется спрогнозировать поведение какого-либо объекта исследования на один год вперёд при размере временн***о***го скользящего окна в один месяц, шаг дискретизации исходных данных также должен составлять один месяц.

Но, к сожалению, очень часто бывает так, что исходный ряд последовательных данных представлен поквартальными отсчётами, а длина временн***о***го скользящего окна в прогнозном интервале по условию решаемой задачи, должна быть равна одному месяцу. Как восстановить, реконструировать ежемесячные значения по исходным поквартальным данным за какой-либо анализируемый фиксированный год возможно ли такое восстановление? Именно этим вопросам и посвящена настоящая статья.

Постановка задачи

Для решения поставленных вопросов необходимы такие наборы последовательных данных, достоверность которых, с одной стороны, не вызывает никаких сомнений, а с другой – они должны быть достаточно протяжёнными во времени. Ещё одно немаловажное свойство этих данных – наличие целого спектра дискретизации их представления.

На первый взгляд к подобным последовательным данным можно отнести динамические ряды различных климатических показателей, таких, например, как температура, давление, влажность, количество выпавших осадков, и т.п. Однако у таких данных есть существенные недостатки.

Во-первых, говоря о ежемесячных показателях, мы имеем в виду, например, среднемесячную температуру, а не суммарную (интегральную) температуру за месяц. То же самое можно сказать и в отношении поквартальной температуры.

Во-вторых, вариации климатических показателей, в особенности их длительные тренды, достаточно хорошо изучены, и прогнозирование значений этих показателей для определённого фиксированного населённого пункта является в значительной степени достоверным. Эти факторы не позволяют использовать климатические показатели для разработки метода реконструкции ежемесячных величин какого-либо количественного признака по его поквартальным значениям.

Ещё одним кандидатом на роль таких данных являлись статистические показатели по чрезвычайным ситуациям. Для них проблем, подобных проблемам для климатических показателей, не существует. Однако статистика по чрезвычайным ситуациям, к сожалению, оказалась очень ограниченной в отношении временн***о***го диапазона её представления, а для разработки нашего метода требуются существенно протяжённые, длительные по времени ряды последовательных данных.

Такими данными, полностью удовлетворяющими всем перечисленным выше критериям, оказалась информация по сейсмическим событиям [1-3]. С разной степенью детализации она представлена практически как для всех регионов Российской Федерации, так и для многих зарубежных государств.

Для разработки заявленного метода отобрана информация по сейсмическим событиям, произошедшим в системе Большого Кавказа и прилегающей к ней территории (рисунок 1), зафиксированным за период 2003 – 2023 гг.

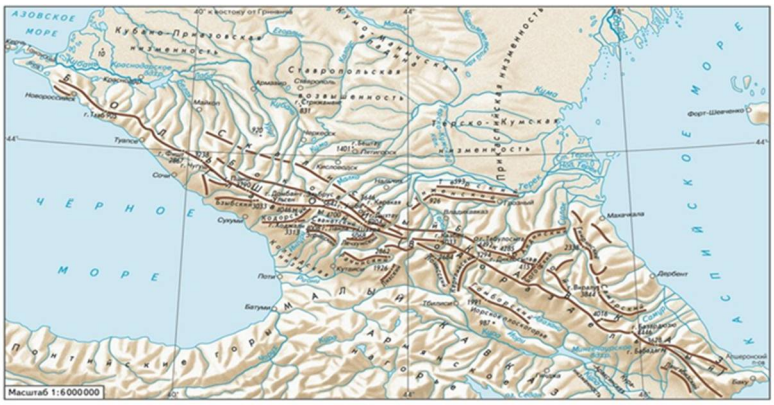

Рисунок 1 – Горная система Большого Кавказа с прилегающей территорией
Figure 1 – The Greater Caucasus Mountain System with Adjacent Territory

Данные по землетрясениям на указанном временном интервале для отобранного региона представляют собой совокупность параметров по каждому сейсмическому событию, включающих в себя дату, координаты, глубину залегания очага, магнитуду землетрясения [4, 5]. Из всех этих данных для проведения исследования важно знание количества сейсмических событий, произошедших за определённый период времени – год, квартал, месяц, неделю, день.

Собранная информация структурирована в виде двух рядов последовательных данных – один ряд содержал сведения о количестве сейсмических событий по каждому месяцу, а другой – поквартальную информацию о числе этих событий в течение того же года.

Далее задача решалась следующим образом.

Используя информацию о поквартальном распределении некоторого количественного признака в пределах фиксированного года, в нашем случае – количества сейсмических событий – восстановим (реконструируем) на основании их значений величины ежемесячного числа значений рассматриваемого признака в пределах того же фиксированного года. Затем полученную таким образом числовую последовательность ежемесячного числа сейсмических событий сравним почленно с рядом реальных данных о количестве этих событий за рассматриваемый год.

Для этой цели проделаем следующие процедуры.

1. Определим последовательные числовые значения исходного анализируемого признака.

2. Установим оптимальный тип интерполяции, используемой для увеличения длины ряда значений исходного признака.

3. Определим вид преобразования, полученного в ходе интерполяции ряда последовательных значений исходного признака с целью нахождения количественных критериев для оценки погрешности расчётных ежемесячных значений признака по сравнению с их реальными значениями.

4. Выберем из совокупности критериев оптимальный для наилучшего приближения расчётных значений признака к его реальным значениям.

Рассмотрим этапы создания методики реконструкции ежемесячных значений некоторого количественного признака по их поквартальным значениям в пределах определённого фиксированного года.

Этапы создания методики

Итак, имеется последовательность поквартального числа сейсмических событий на интервале 2003-2023 гг. Задача заключается в том, чтобы на основании поквартальных величин реконструировать число сейсмических событий, произошедших в каждый месяц на указанном временн***о***м интервале. Для этого рассмотрим четырехэтапную процедуру.

Этап 1. К примеру, требуется восстановить ежемесячные значения количества землетрясений в 2014 году. Для решения этой задачи используем не только поквартальные показатели землетрясений в указанный год, но и значение количества сейсмических событий в четвёртом квартале предыдущего, 2013 года. То есть рассмотрим пять последовательных поквартальных значений количества землетрясений.

Возникает вопрос, почему не ограничиться только поквартальными значениями текущего года, а учитывать последнее значение предыдущего года? Дело в том, что последовательность землетрясений нельзя рассматривать как отдельные, независимые друг от друга события. Они связаны друг с другом. Их следует рассматривать как некоторый поток событий, интенсивность которого изменяется во времени. Это характерно не только для землетрясений, но и для явлений и процессов другой природы.

Следовательно, необходимо учитывать смежные временн***ы***е интервалы. При этом интервалом, следующим за текущим, по существу, пользоваться нецелесообразно – ведь будущие

события не влияют на прошлые. А вот предыдущая последовательность событий с очевидностью участвует в формировании их будущего потока. Поэтому с полным основанием для решения задач анализа и прогнозирования можно воспользоваться информацией о числе событий в последнем квартале предыдущего года.

Таким образом, зададим некоторую функцию $y = f(x)$ последовательности наблюдаемых данных:

$$x_1, x_2, ..., x_n (n = 5). \tag{1}$$

Будем полагать, что x_2 соответствует марту анализируемого года (в нашем случае – 2014 г.) как месяцу, в котором подсчитывается суммарное число сейсмических событий в 1-м квартале, x_3 – июню, x_4 – сентябрю, а x_5 – декабрю рассматриваемого года. Величина x_1 соответствует декабрю года, предшествующего текущему, то есть 2013 г. – в нашем случае.

Этап 2. Выполним процедуру интерполяции к набору последовательных данных вида (1). Для ее реализации применим метод, использующий кубические сплайны следующего вида:

$$\Phi(x) = P_{i-1} \cdot \frac{(x_1 - x)^3}{6h_i} + P_i \cdot \frac{(x - x_{i-1})^3}{6h_i} + \frac{x_i - x}{h_i} \cdot \left(y_{i-1} - \frac{P_{i-1 \cdot h_i^2}}{6} \right) + \frac{x - x_{i-1}}{h_i} \cdot \left(y_i - \frac{P_i h_i^2}{6} \right), \tag{2}$$

где $P_i = \Phi''(x);\ h_i = x_i - x_{i-1};\ x \in \Delta_i = [x_{i-1}, x_i]; i = 2, ..., n;\ y_i = \Phi(x_i)$, при $i = 1, ..., n$.

Применение кубических сплайнов, как известно [6], позволяет добиться большей точности при построении аппроксимирующей функции по сравнению с обычными интерполяционными полиномами. Так, исследования в теории балок показали, что гибкая тонкая балка между всего лишь двумя узлами достаточно хорошо описывается кубическим полиномом, и, поскольку она не разрушается, то аппроксимирующая функция должна быть, по меньшей мере, непрерывно дифференцируемой.

Поэтому естественно выдвинуть требования, чтобы функция $y = \Phi(x)$, аппроксимирующая функцию $y = f(x)$, была дважды непрерывно дифференцируемой, что фактически означает использование кубического сплайна.

Значения функции $\Phi(x)$, найденные в ходе интерполяции, как правило, известны с погрешностями [7]. В нашем случае, используя кубические сплайны, решаем задачу интерполяции, но погрешности учитывать не будем.

В результате получим числовую совокупность значений интерполированного количества сейсмических событий, условно соответствующих декабрю предыдущего и 12-ти месяцам текущего года:

$$\{\tilde{x}_i\}, \text{ где } i = 1, ..., 13. \tag{3}$$

Эти значения количества сейсмических событий не являются точным отражением их действительного количества, а приближенные с достаточной степенью величины, которые нужны для того, чтобы оценить тенденцию их динамики на определенном интервале, в нашем случае – в течение года.

Этап 3. Далее над последовательностью (3) выполняем преобразование Фурье, используя известное соотношение вида:

$$q(x) = \frac{a_o}{2} + \sum\nolimits_{k=1}^{\infty} \left[a_k \cdot cos(2\pi \cdot kf_1 x) + b_k \cdot sin(2\pi \cdot kf_1 x) \right], \tag{4}$$

где f_1 – частота первой гармоники; k – порядковый номер гармоники.

Сами же коэффициенты ряда Фурье определяются выражениями [8, 9]:

$$\begin{cases} a_k = 2/T \cdot \int_0^T q(x) \cdot cos(2\pi \cdot kf_1) dx \\ b_k = 2/T \cdot \int_0^T q(x) \cdot sin(2\pi \cdot kf_1) dx \end{cases}, \tag{5}$$

где $T = 1/f_1$ – период функции $q(x)$.

Использование преобразования Фурье необходимо, в первую очередь, для выявления скрытых закономерностей периодического характера в последовательностях значений изучаемого признака, в нашем случае – количества сейсмических событий. А во-вторых, и это будет показано ниже, использование преобразования позволяет оценить характер и вид амплитудно-частотного спектра изменения анализируемого признака, знание которого важно для выбора критерия типологизации исследуемых числовых последовательностей.

После выполнения преобразования Фурье появляется новая последовательность приближенных значений числа сейсмических событий $\{\hat{x}_i\} \cdot (i = 1,...,13)$ в анализируемом периоде, соответствующих декабрю предыдущего года и 12-ти месяцам текущего года. Особенностью преобразования является то, что вычисления производятся до определённого фиксированного номера гармоники. На какой конкретной гармонике следует завершить преобразование, покажем ниже.

Этап 4. После расчёта каждой *k*-й гармоники выполняется суммирование значений оцененного количества сейсмических событий по кварталам анализируемого 2014 года. Это дает возможность проведения следующей важной процедуры.

А именно, выполняется расчёт весовых коэффициентов для каждого месяца рассматриваемого года посредством нахождения отношения оцененного числа сейсмических событий в конкретном месяце к их оцененному числу в соответствующем квартале.

Затем, используя значения весовых коэффициентов, находим для каждого месяца произведение их и реального значения поквартального числа сейсмических событий в соответствующем квартале. Таким образом, получаем оценку реального количества сейсмических событий, произошедших в каждом месяце рассматриваемого года.

На этом завершающем этапе разработки методики выполняется расчёт коэффициента корреляции между рассчитанными значениями количества сейсмических событий по месяцам с их реальными значениями. Кроме того, осуществляется оценка точности приближения расчётных значений к реальным. Она выполняется на основании величины средней относительной ошибки $\bar{E}_{отн}$ [10]:

$$\bar{E}_{отн} = 1/n \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_i - y_i^*}{y_i} \right| \right) \cdot 100\,\%, \qquad (6)$$

где y_i – реальное значение; y_i^* – расчётное значение; n – количество временных периодов.

Расчёты при выполнении 3-го и 4-го этапов производятся циклическим образом для всех рассматриваемых гармоник, начиная с первой. Вычисления завершаются в случае достижения при расчётах наименьшего значения средней относительной ошибки $\bar{E}_{\text{отн}}$. Та гармоника, при которой выполняется это условие, является конечной при расчётах ежемесячных значений количества сейсмических событий.

Таким образом, для успешной реализации методики необходимо изначально знать порядковый номер гармоники, на которой нужно завершить выполнение преобразования Фурье. То есть, по сути, необходимо владеть информацией о некотором критерии (критериях), которая позволит однозначно выбрать порядковый номер гармоники для конкретного последовательного ряда данных. Рассмотрим этот вопрос.

О выборе критерия оценки

После всестороннего анализа рядов динамики сейсмических событий, произошедших в системе Большого Кавказа и прилегающих территорий за период 2003 – 2023 гг., установлено, что перспективным направлением поиска такого критерия является анализ амплитудно-частотного спектра (АЧС) оцененных значений ежемесячных сейсмических событий по каждому анализируемому году.

Для этого построены и проанализированы графики самих АЧС, а также их градиентов. В итоге, основное внимание уделено градиентам АЧС. Это позволило типологизировать ряды последовательных значений исследуемого количественного признака, соотнеся характерные особенности изменения величин градиентов АЧС с порядковыми номерами гармоник. В качестве примера графики для отдельных годовых рядов приведены на рисунке 2.

Теперь найдем количественный критерий, являющийся числовым эквивалентом графика, интегрально его характеризующий. В роли таких критериев предполагается использовать следующие относительные безразмерные величины – коэффициент вариации V, коэффициент осцилляции K_O и линейный коэффициент вариации K_L [11]:

$$\begin{cases} V = \sigma / \overline{X} \cdot 100\,\% \\ K_O = R / \overline{X} \cdot 100\,\%, \\ K_L = \theta / \overline{X} \cdot 100\,\% \end{cases} \tag{7}$$

где $\overline{X}$ – среднее значение расчётного признака; σ – среднеквадратическое отклонение; R – размах варьирования; θ – среднее линейное отклонение.

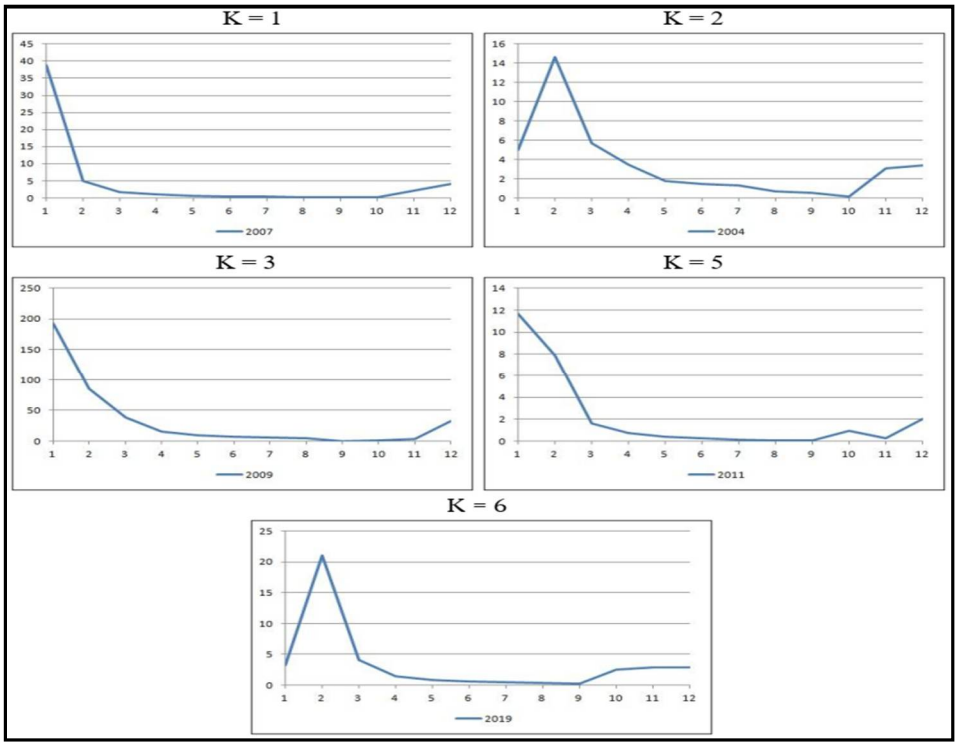

Рисунок 2 – Типологизация рядов данных по типу графика абсолютных градиентов АЧС
Figure 2 – Typology of data series by type of ASF absolute gradient graph

Проанализируем теперь полученные результаты численных оценок по выявлению критерия, определяющего выбор порядкового номера гармоники для конкретного последовательного ряда данных.

Результаты численных оценок

Численные оценки, выполненные по соотношениям (7), показали, что в качестве критерия выбора гармоники при реализации процедуры преобразования Фурье над рядами оцененных значений признака следует использовать линейный коэффициент вариации K_L (таблица 1).

Согласно таблице фиксируются чёткие диапазоны изменения величин линейного коэффициента вариации для определённых групп годовых рядов ежемесячных значений количе-

ства сейсмических событий, соответствующих конкретному порядковому номеру гармоники. При этом значения средней относительной ошибки $\bar{E}_{\text{отн}}$, рассчитываемой по формуле (6), изменяются в диапазоне $11 \div 15\,\%$, что является достаточным при решении задач такого необычного класса.

Таблица 1 – Соответствия диапазонов величин линейного коэффициента вариации порядковому номеру гармоники

Table 1 – Correspondence of values ranges for variation linear coefficient to harmonic ordinal number

Номер гармоники	K = 1	K = 2		K = 3		K = 5		K = 6	
Годы	Ошибка приближения, %	Годы	Ошибка приближения, %	Годы	Ошибка приближения, %	Годы	Ошибка приближения, %	Годы	Ошибка приближения, %
2007	14,22	2004	13,44	2009	15,62	2005	17,10	2003	11,95
2014	6,93	2012	14,26	2010	15,47	2006	16,34	2008	12,63
2021	11,32	2020	15,34	2013	8,77	2011	16,26	2015	9,95
2022	11,48	-	-	2018	11,34	2016	9,52	2019	12,39
2023	14,11	-	-	-	-	2017	9,90	-	-
Ср. ошибка, %	11,61	Ср. ошибка, %	14,35	Ср. ошибка, %	12,80	Ср. ошибка, %	13,82	Ср. ошибка, %	11,73
Значения коэфф. лин. вариации, %	> 126	Значения коэфф. лин. вариации, %	73-75	Значения коэфф. лин. вариации, %	108-112	Значения коэфф. лин. вариации, %	114-119	Значения коэфф. лин. вариации, %	80-95

Отметим, что полученные результаты не отвечают на некоторые вопросы. В частности, почему наилучшие приближения фиксируются в диапазоне от первой до шестой гармоники включительно и почему не наблюдается такое приближение при четвёртой гармонике. Это – задачи дальнейших исследований в данной области. Возможно, что при увеличении базы исходных данных или при изменении их источника будут получены ответы на возникающие вопросы.

Заключение

Подводя итоги исследования, посвящённого решению задачи реконструкции последовательных ежемесячных значений некоторого количественного признака по его поквартальным значениям в пределах фиксированного года, отметим, что эта задача решена и получены достоверные результаты.

Представлен авторский метод с описанием последовательных этапов его реализации, позволяющий реконструировать числовые ряды ежемесячных значений количества сейсмических событий по их поквартальным значениям для определённого фиксируемого года. Показана предпочтительность применения метода интерполяции, основанного на использовании кубических сплайнов, и метода преобразования Фурье.

Найден количественный критерий выбора порядкового номера гармоники в процедуре преобразования Фурье, используемой для ряда оцененных значений анализируемого признака. Показана целесообразность его применения, подтверждаемая максимальным приближением расчётных значений признака к его реальным значениям.

Говоря о продолжении исследований в данном направлении, отметим, что для совершенствования метода планируются работы, связанные с использованием иного типа исходных эмпирических данных, а также с развитием соответствующего программного обеспечения.

Библиографический список

1. **Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М.** Математическое моделирование рисков геодинамического происхождения // Спецтехника и связь. 2011. № 1. С. 48-52.

2. **Kuptsov M.I., Minaev V.A., Yablochnikov S.L.** and others. Some Statistical Features of Information Exchange in Social Networks / 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2020. 01-03 July. Svetlogorsk, Russia. P. 9166049

3. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Математические методы и модели в геоэкологическом районировании рекреационных территорий / В сборнике материалов региональной научно-практической конференции «Математические методы и информационные технологии в современном обществе». Рязань. 15 декабря 2006 года. С. 111-117.

4. База данных «Землетрясения России». Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». URL: http://eqru.gsras.ru/ (Режим доступа 3.04.2026).

5. Сейсмологические каталоги Геофизической службы РАН, Обнинск. Источник: Мировой Центр Данных по физике твердой Земли. http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/hp/seismology.ru/cat_Obninsk.ru.shtml. (Режим доступа 3.04.2026).

6. **Блатов И.А., Добробог Н.В., Задорин А.И.** Методы сплайн-функций для задач с пограничным слоем. Самара: ПГУТИ. 2019. 257 с.

7. **Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н.** Сплайны в вычислительной математике. Изд. 2-е. М.: Изд-во URSS, 2022. 248 с.

8. **Аксененкова И.М., Малыгина О.А., Чекалкин Н.С., Шухов А.Г.** Ряды. Интеграл Фурье и преобразование Фурье. М.: Изд-во URSS. Изд. 2-е, испр. и доп. 2020. 240 с.

9. **Brandwood D.** Fourier transforms in radar and signal processing. 2nd ed. Boston, London: Artech House, 2012. 264 p.

10. Математическое моделирование / Под ред. А.Н. Тихонова, В.А. Садовничего и др. М.: Физматлит, 2005. 316 с.

11. **Самарский А.А., Михайлов А.П.** Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2005. 320 с.

УДК 550.34

METHODOLOGY FOR RECONSTRUCTING DYNAMIC SERIES TO REDUCE DETAILING INTERVAL

V. A. Minaev, Doctor in Technical Sciences, Professor, Professor of Special Information Technology Department at the Moscow Order of Honor University of the Internal Affairs Ministry of Russia named after V.Ya. Kikot;
orcid.org/0000-0002-5342-0864, e-mail: m1va@yandex.ru
A. O. Faddeev, Doctor in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Economic Security Department at the Ryazan Branch at the Moscow Order of Honor University of the Internal Affairs Ministry of Russia named after V.Ya. Kikot;
e-mail: fao1@mail.ru
A. V. Koryachko, PhD (in technical sciences), Associate Professor, Professor of Mathematics and Information Technologies Department at the Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia;
e-mail: akor89@yandex.ru
A. V. Mokshantsev, PhD (in technical sciences), Associate Professor, Head of the Information Technology Department at the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia;
e-mail: mok-av@yandex.ru

The author's methodology of restoring monthly values of quantitative feature based on its quarterly data is presented. The sequential stages of methodology are described using the example of seismic events flow

analysis in Greater Caucasus system and adjacent territories for the period of 2003-2023. The procedure for estimating monthly values of a feature based on its initial quarterly data and their further transformation into real values is described. A criterion for the typologization of monthly seismic events is proposed and the results of comparing the calculated values of a feature with its actual values are presented. The conclusion about the effectiveness of the methodology is made.

Keywords: *dynamic series, seismic events, reconstruction, cubic spline, Fourier transform, amplitude-frequency spectrum.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2026-96-1-200-208

References

1. **Minaev V.A., Faddeev A.O., Danilov R.M.** Matematicheskoe modelirovanie riskov geodinamicheskogo proishozhdeniya. *Spectehnika i svyaz'*. 2011, no. 1, pp. 48-52.

2. **Kuptsov M.I., Minaev V.A., Yablochnikov S.L.** and others. Some Statistical Features of Information Exchange in Social Networks. *2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2020. 01-03 July. Svetlogorsk. Russia. P. 9166049.

3. **Minaev V.A., Faddeev A.O.** Matematicheskie metody i modeli v geoehkologicheskom rajonirovanii rekreacionnyh territorij. *V sbornike materialov regional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii «Matematicheskie metody i informacionnye tehnologii v sovremennom obshchestve*. Ryazan'. 15 dekabrya 2006 goda. Pp. 111-117.

4. *Baza dannyh «Zemletryaseniya Rossii»*. Federal'nyj issledovatel'skij centr «Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossijskoj akademii nauk. URL: http://eqru.gsras.ru/ (Rezhim dostupa 3.04.2026).

5. *Sejsmologicheskie katalogi Geofizicheskoj sluzhby RAN*, Obninsk. Istochnik: Mirovoj Centr Dannyh po fizike tverdoj Zemli. http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/hp/seismology.ru/cat_Obninsk.ru.shtml. (Rezhim dostupa 3.04.2026).

6. **Blatov I.A., Dobrobog N.V., Zadorin A.I.** Metody splajn-funkcij dlya zadach s pogranichnym sloem. *Samara: PGUTI*, 2019, 257 p.

7. **Stechkin S.B., Subbotin Yu.N.** Splajny v vychislitel'noj matematike. Izd. 2-e. M.: *Izd-vo URSS*. 2022, 248 p.

8. **Aksenenkova I.M., Malygina O.A., Chekalkin N.S., Shuhov A.G.** Ryady. *Integral Fur'e i preobrazovanie Fur'e*. M.: Izd-vo URSS. Izd. 2-e, ispr. i dop. 2020, 240 p.

9. **Brandwood D.** Fourier transforms in radar and signal processing. 2nd ed. Boston, London: *Artech House*. 2012, 264 p.

10. *Matematicheskoe modelirovanie*. Pod red. A.N. Tihonova, V.A. Sadovnichego i dr. M.: *Fizmatlit*, 2005, 316 p.

11. **Samarskij A.A., Mihajlov A.P.** Matematicheskoe modelirovanie. Idei. Metody. Primery. M.: *Fizmatlit*. 2005, 320 p.