

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРИБЫТИЙ В ТУРИЗМЕ

© 2019 ЩЕЛКУНОВА Л. И., ЕМЕЦ М. С.

УДК 519.246.8

Щелкунова Л. И., Емец М. С. Фрактальный анализ динамики международных прибытий в туризме

Поставлена задача определения глобальных и локальных фрактальных характеристик временных рядов, характеризующих развитие международного туризма, с целью выявления особенностей динамики их эволюции, свойств самоподобия, трендоустойчивости, наличия «эффекта памяти». В результате исследования были выявлены свойства трендовости динамики международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке. Также удалось выявить цикличность этих процессов и установить длину цикла для Европейского региона и для мира в целом. Кроме того, была установлена высокая зависимость развития туризма от геополитической ситуации в Ближневосточном регионе.

Ключевые слова: международный туризм, фрактальность, персистентность, нормированный размах, показатель Хёрста, V-статистика.

Рис.: 4. **Табл.:** 3. **Библ.:** 13.

Щелкунова Любовь Ивановна – доцент, кафедра высшей математики, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ул. Сумская, 40, Харьков, 61000, Украина)

E-mail: lshelkunovam@gmail.com

Емец Мария Сергеевна – кандидат экономических наук, старший преподаватель, кафедра гостинично-ресторанного бизнеса, Одесская национальная академия пищевых технологий (ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина)

E-mail: mshelkunchik@gmail.com

УДК 519.246.8

UDC 519.246.8

Щелкунова Л. И., Емец М. С. Фрактальный анализ динамики международных прибытий в туризме

Поставлено завдання визначення глобальних і локальних фрактальних характеристик часових рядів, які характеризують розвиток міжнародного туризму, з метою виявлення особливостей динаміки їх еволюції, властивостей самоподібності, трендостійкості, наявності «ефекту пам'яті». У результаті дослідження були виявлені властивості трендовості динаміки міжнародних прибуттів у світі, Європі і на Близькому Сході. Також вдалося виявити циклічність цих процесів і встановити довжину циклу для Європейського регіону і світу в цілому. Крім того, було встановлено високу залежність розвитку туризму від геополітичної ситуації у Близькосхідному регіоні.

Ключові слова: міжнародний туризм, фрактальність, персистентність, нормований розмах, показник Хьорста, V-статистика.

Рис.: 4. **Табл.:** 3. **Бібл.:** 13.

Щелкунова Любов Іванівна – доцент, кафедра вищої математики, Харківський національний університет будівництва та архітектури (вул. Сумська, 40, Харків, 61000, Україна)

E-mail: lshelkunovam@gmail.com

Емец Марія Сергіївна – кандидат економічних наук, старший викладач, кафедра готельно-ресторанного бізнесу, Одеська національна академія харчових технологій (вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна)

E-mail: mshelkunchik@gmail.com

Shchelkunova L. I., Yemets M. S. The Fractal Analysis of the Dynamics of International Arrivals in Tourism

The article sets the task of determining the global and local fractal characteristics of the time series characterizing the development of international tourism, in order to identify the peculiarities of the dynamics of their evolution, properties of self-similarity, trend-tolerance, presence of «memory effect». As a result of research the properties of trends of international arrivals in the world, Europe and the Middle East are identified. It was also possible to identify the cyclicity of these processes and define the length of the cycle for the European region and for the world as a whole. In addition, a high dependence of tourism development on the geopolitical situation in the Middle East region is determined.

Keywords: international tourism, fractality, persistence, normalized scale, Hirst indicator, V-statistics.

Fig.: 4. **Tbl.:** 3. **Bibl.:** 13.

Shchelkunova Liubov I. – Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Kharkiv National University of Construction Engineering and Architecture (40 Sumska Str., Kharkiv, 61000, Ukraine)

E-mail: lshelkunovam@gmail.com

Yemets Mariia S. – Candidate of Sciences (Economics), Senior Lecturer, Department of Hotel and Restaurant Business, Odesa National Academy of Food Technology (112 Kanatna Str., Odesa, 65039, Ukraine)

E-mail: mshelkunchik@gmail.com

К анализу динамики временных рядов, которые характеризуют функционирование рынка туристических услуг, довольно часто подходят с помощью инструментария эконометрических методов. Такой подход позволяет оценивать поведение исследуемого признака (объекта) в целом на определенном промежутке времени.

По мнению авторов, недостатком такого подхода является отсутствие предварительного анализа временных рядов на стохастичность (хаотичность) и особых состояний исследуемой системы. Этапом, предшествующим построению эконометрической модели, должна стать проверка выборочных данных на однородность

относительно исследуемых характеристик. К построению эконометрической модели приступают, если ответ на такое тестирование является положительным. В противном случае ставится задача обнаружения моментов изменения исследуемых вероятностных характеристик и представления исходной выборки в виде объединения однородных частей. Существуют разные подходы к решению этой задачи, одним из направлений которых является фрактальный и энтропийный анализ. Фрактальный анализ позволяет учитывать свойства системы не только в данный момент, но и в прошлом с целью дальнейшего прогнозирования ее поведения, в том числе и возможных нестабильных состояний.

Целью данной работы является определение глобальных и локальных фрактальных характеристик временных рядов, характеризующих развитие международного туризма, с целью выявления особенностей динамики их эволюции, свойств самоподобия, трендоустойчивости, наличия «эффекта памяти» и его уровня. Такой подход позволяет обнаружить моменты отклонений в тенденции развития международного туризма в регионах с целью дальнейшего прогнозирования и внесения необходимых изменений в стратегию их развития [11].

Объектом исследования являются временные ряды, характеризующие туристическую деятельность и связанные с ней экономические показатели в регионе.

Экономико-математическое моделирование в области международного туризма применялось в работах таких ученых, как Гамильтон Ж., Фергуссон Л., Брейк М., Маас Ф., Голднер С., Баясгалан Ц., Бегеулова М., Демин А., Загорулькин А., Кабаян Н., Семенова Ю., Тихонова А., Хазова Д., Чуракова Е., Шебзухова М. и др.

В большинстве работ основными объектами моделирования являются объемы туристических потоков, доходы от туризма, показатели, которые связаны с сезонностью. Среди них выделяют показатель количества прибывающих в регион туристов, поскольку он является макроэкономическим показателем, на основе которого строятся следующие оценки. Однако практически отсутствуют исследования, направленные на прогнозирование с использованием фрактального анализа в туризме.

В настоящее время появилось много исследований, результаты которых указывают на то, что многие стохастические процессы не только в природе и технике, но и в социальных процессах обладают долгосрочной зависимостью и фрактальной структурой [13]. Наиболее адекватным математическим аппаратом для исследования динамики и структуры таких рядов является фрактальный анализ, особое значение которого состоит в том, что он учитывает поведение системы не только в период измерений, но и его предысторию [9; 10].

Авторы отмечают отсутствие комплексных исследований, направленных на прогнозирование с использованием фрактального анализа в туризме.

В работе для анализа самоподобия временных рядов и измерения уровня сложности описываемого ими процесса используют методы фрактального анализа. Под фракталом понимают систему, состоящую из частей, которые в геометрическом смысле подобны целому [1]. Такие объекты имеют, как правило, дробную фрактальную размерность, которая служит мерой сложности системы (процесса), «изломанности», «пористости» геометрической фигуры и позволяет количественно характеризовать направление и темп процессов самоорганизации (распада) в среде и корреляционные связи между его элементами [2].

Среди показателей фрактального анализа выделяют показатель Хёрста H , фрактальную размерность D , индекс фрактальности μ . Следует отметить, что разные

подходы к определению данных характеристик приводят к оценкам разной точности. Одним из направлений повышения достоверности результата является множественный подход к получению оценок с дальнейшим их усреднением [12].

В данной работе для выявления уровня стохастичности временных рядов международных прибытий (определения, является ли ряд случайным или персистентным, т. е. обладающим долговременной памятью) выполнено вычисление показателя Хёрста. Процесс вычисления базируется на применении так называемого метода нормированного размаха или метода Хёрста (R/S-метод) [1]. В книге Е. Федерера «Фракталы» R/S-методу посвящены 8 и 11 главы. Содержание R/S-метода связано с анализом размаха случайной величины и ее среднеквадратического отклонения.

Фрактальную размерность D (характеристику сложности процесса) можно определить с помощью показателя Хёрста из соотношения

$$D = 2 - H.$$

По уровню величины H можно выявить наличие или отсутствие эффекта памяти временного ряда. Существует следующий подход к интерпретации различных значений показателя Хёрста.

Значение $H = 0,5$ соответствует стохастическому временному ряду. Такой процесс называют «белым шумом» (отсутствие «эффекта памяти» и определенных трендовых свойств).

При значениях $H < 0,5$ процесс, описываемый данным временным рядом, антиперсистентный (неустойчивый, со стремлением к возврату к среднему). Чем ближе H к нулю, тем неустойчивее процесс (за подъемом идет спад и наоборот).

При $H > 0,5$ временной ряд является персистентным (трендоустойчивым, обладающим долговременной памятью). Чем H ближе к 1, тем сильнее тренд (за подъемом – подъем, за спадом – спад). В частности, Хёрст эмпирически показал, что для природных явлений $H \approx 0,72$.

С помощью величины показателя Хёрста можно определить, будет ли следующее значение исследуемого ряда больше или меньше текущего. Например, будет ли следующее значение x_{n+1} больше / меньше предыдущего x_n , если текущее x_n – меньше x_{n-1} ? В этом случае для антиперсистентного ряда ($H < 0,5$) следующее x_{n+1} будет больше текущего. В случае персистентного ряда ($H > 0,5$) следующее значение будет меньше текущего (тренд). Для случайного ряда ($H = 0,5$) следующее значение непредсказуемо [10].

В данной работе для исследования взяты два макрорегиона (по классификатору Всемирной туристической организации UNWTO): Европа и Ближний Восток. На протяжении всего рассматриваемого периода Европа является лидером международного туризма в мире. Однако ее доля в международных туристических потоках постоянно уменьшается. Ближний Восток, отличающийся политической нестабильностью стран региона, в 1980 году имел всего 2 % доли международных прибытий в мире. В начале XXI века ближнево-

сточные страны представляют собой один из наиболее динамично развивающихся туристических регионов мира. В 2017 году доля Ближнего Востока в международном туризме выросла до 4,4 %, хотя процесс роста не являлся устойчивым (рис. 1) [3; 4].

Рассматриваемые временные ряды международных прибытий в мире и макрорегионах являются экви-

дистантными, за исключением небольшого интервала времени, на котором временной шаг не фиксирован, что связано с ограниченностью статистических данных. По этой причине в данной работе использованы не очень «длинные» временные ряды, что позволяет рассматривать полученные в данном исследовании результаты как предварительные, в качестве первого приближения.

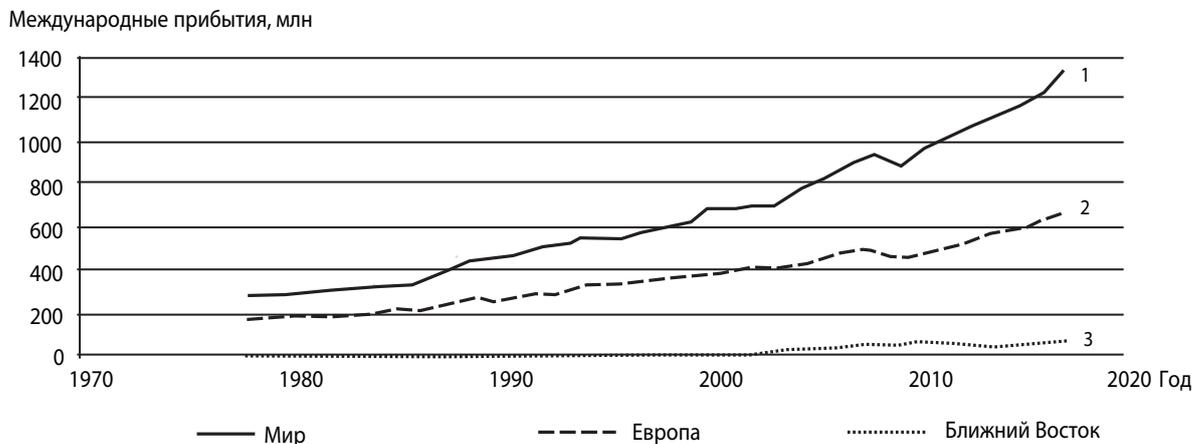


Рис. 1. Динамика международных прибытий за период 1978–2017 гг. [3–8]

Как видно из рис. 1, во всех трех случаях долговременная тенденция повышения числа международных прибытий сопровождается многочисленными колебаниями. Это означает, что невозможно на основании визуального анализа сделать вывод о наличии или отсутствии тренда. Известно, что появление фрактального анализа связано с установлением отдельных случаев ошибочного представления о поведении некоторых объектов и процессов. В большинстве случаев по умолчанию опираются на действие центральной предельной теоремы, согласно которой к нормальному распределению приближается сумма большого числа независимых, одинаково распределенных случайных величин [2]. В некоторых случаях условия теоремы могут нарушаться, а значит, не наблюдаться нормальный закон. Например, может появляться эффект «тяжелых хвостов» и высоких пиков. Несмотря на наличие явного линейного тренда (рис. 1), гистограммы распределений международных прибытий по регионам и миру не де-

монстрируют нормальный закон распределения и характеризуются высокими пиками (рис. 2).

В рамках данной работы были проанализированы показатели международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке за период 1978–2017 гг. Для получения оценок показателя Хёрста по данным регионам все значения соответствующих временных рядов разбиты на группы по 4-5-8-10-20-40 значений.

В табл. 1 приведены значения нормированного размаха для разных периодов по макрорегионам и миру в целом.

Из рис. 3 следует, что величина показателей Хёрста динамики международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке за период 1978–2017 гг. составила соответственно $H = 0,9535$, $H = 0,956$ и $H = 0,992$.

Поскольку величина показателя Хёрста $H > 0,5$ во всех трех случаях, то исследуемые ряды можно считать персистентными. Это означает, что можно утверждать о наличии долговременной памяти («эффекта памя-

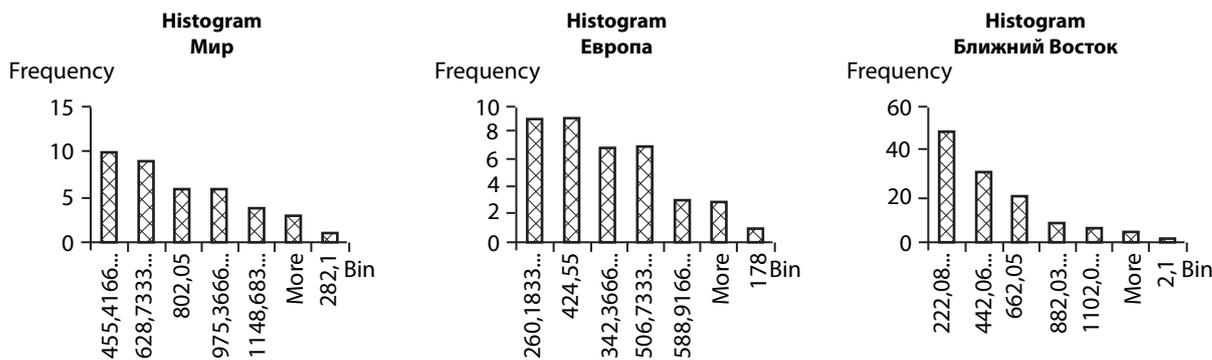


Рис. 2. Гистограммы распределений международных прибытий

Таблица 1

Значения нормированного размаха R/S

n	R/S		
	Мир	Европа	Ближний Восток
4	1,78	1,79	1,76
5	2,05	2,09	2,08
8	3,49	3,3	3,32
10	4,64	4,31	4,11
20	8,71	8,46	7,98
40	17,68	16,92	20,07

Источник: авторская разработка.

ти») и трендовости процесса динамики международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке за исследуемый промежуток времени. А это дает основания провести исследование на существование точек срыва тренда и оценки продолжительности возможных циклов.

Такой анализ проведен с использованием V -статистики (табл. 2).

Анализ данных табл. 2 показывает, что показатель V_n по каждому макрорегиону и странам мира в целом постоянно растет. Такая динамика изменений показателя V_n указывает на отсутствие явных моментов срыва тренда (точек отсчета падающей фазы). Однако следует заметить, что относительная величина возрастания показателя V_n не является устойчивой. Наибольшие

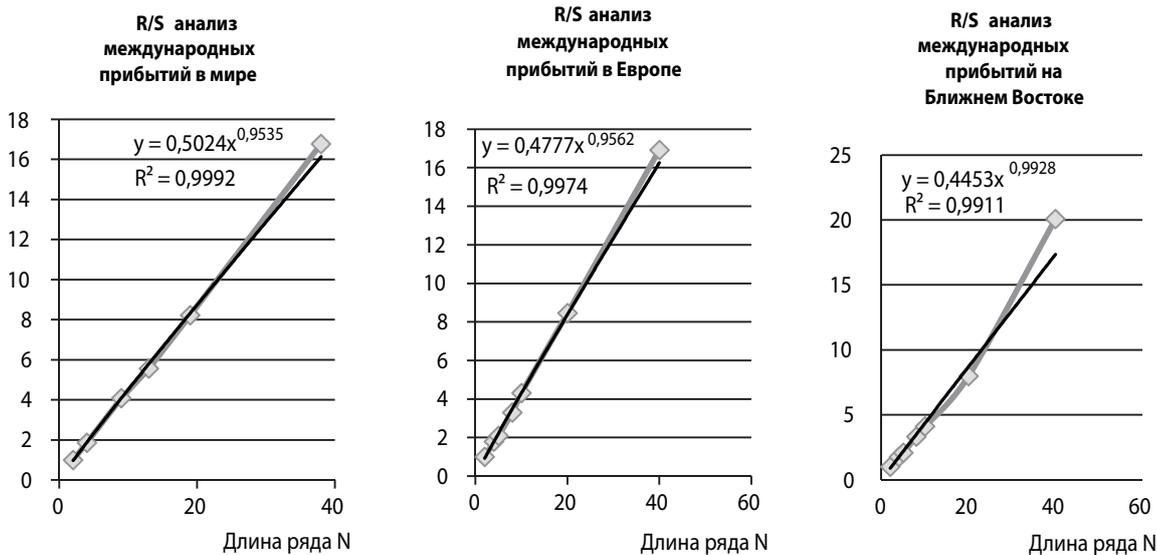


Рис. 3. Показатель Хёрста динамики международных прибытий за период 1978–2017 гг.

Таблица 2

Значения V -статистики для динамики прибытий

n	V_n			$V_{n(пред)} / V_{n(посл)}$		
	Мир	Европа	Ближний Восток	Мир	Европа	Ближний Восток
2	0,707	0,707	0,7071			
4	0,8899	0,895	0,88	1,259	1,2657	1,2445
5	0,9145	0,93468	0,9302	1,028	1,0443	1,0571
8	1,2338	1,1667	1,1738	1,349	1,2483	1,2618
10	1,4668	1,3629	1,2997	1,189	1,1682	1,1073
20	1,9469	1,8917	1,7844	1,327	1,3879	1,3729
40	2,796	2,6753	3,1733	1,436	1,4144	1,7784

Источник: авторская разработка.

отклонения наблюдаются для показателя V_n Ближневосточного региона.

Из табл. 3 видно, что значения показателя V_n (при $n = 4$) для социума в целом постоянно меняются. Причем по рис. 3 можно заметить цикличность этого изменения. Так, для рядов международных прибытий в мире моменты таких изменений повторяются практически

через три взятых для рассмотрения периода. Если считать первый период продолжением предыдущего цикла, то первое падение показателя V_n наблюдается с четвертого периода (1990–1993 гг.) после двух периодов роста. Далее повторяется такое же поведение – два периода роста и период падения. Следующий этап опять повторяет рост на протяжении двух периодов. Ограничен-

ность данных не позволяет продолжить анализ. Длина возрастающей фазы составила 2 взятых периода (8 лет), а длина падающей фазы один период (4 года). Таким образом, общая длина цикла составила 3 периода (12 лет).

Проведенный анализ подтверждается данными изменений показателя V_n при $n = 10$, т. е. за период практически охватывающий длину цикла (табл. 3). Динамика значений этой характеристики для данных периодов не изменяется.

Показатель длины цикла, полученный ранее, указывает на минимально необходимый объем наблюдений, необходимых для получения значимых прогнозов изменений показателей международных прибытий в мире.

Из рис. 4 также видно, что для стран Европы кривая динамики V -статистики является более сглаженной по сравнению с кривой для мира в целом. Самой «искривленной» является кривая динамики V -статистики для Ближневосточного региона. Причем, если для стран Европы цикличность изменений практически совпадает с цикличностью кривой для

социума в целом, то для стран Ближнего Востока такую явную закономерность на рассматриваемом промежутке времени выявить оказалось затруднительно. Такой результат можно объяснить высокой зависимостью региона от геополитической ситуации в мире. С одной стороны, Ближний Восток известен как «колыбель цивилизации» и обладает высокой туристической привлекательностью. С другой стороны, после бурного подъема туристической активности начала XXI века в ряде стран региона с 2011 года произошли массовые протесты, перевороты, и начались продолжающиеся по сей день гражданские войны.

Результаты фрактального анализа временных рядов международных прибытий позволяют сделать следующие выводы:

1. Гистограммы международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке за период 1978–2017 гг. демонстрируют эффект «тяжелых хвостов» и высоких пиков, что исключает нормальный закон распределения. Такой характер динамики требует качественного исследования этих процессов путем анализа большого коли-

Таблица 3

Значения V -статистики прибытий для разных периодов

$n = 4$	V_n			$n = 5$	V_n			$n = 10$	V_n		
	Мир	Европа	Ближний Восток		Мир	Европа	Ближний Восток		Мир	Европа	Ближний Восток
1978/81	0,90	0,97	0,902								
1982/85	0,83	0,85	0,837								
1986/89	0,91	0,88	0,915	1978/82	0,85	1,07	1,095				
1990/93	0,97	0,85	0,976	1983/87	0,93	0,97	1,046				
1994/97	0,86	0,92	0,86	1988/92	0,86	0,89	0,642				
1998/01	0,96	0,87	0,962	1993/97	0,79	0,87	1,032				
2002/05	0,93	0,89	0,938	1998/02	1,04	0,85	1,061	1978/87	1,30	1,33	1,108
2006/09	0,76	0,97	0,765	2003/07	0,93	1,01	0,881	1988/97	1,38	1,43	1,395
2010/13	0,88	0,91	0,889	2008/12	0,97	0,91	0,771	1998/07	1,52	1,31	1,391
2014/17	0,85	0,78	0,853	2013/17	0,93	0,89	0,831	2008/17	1,66	1,38	1,175

Источник: авторская разработка.

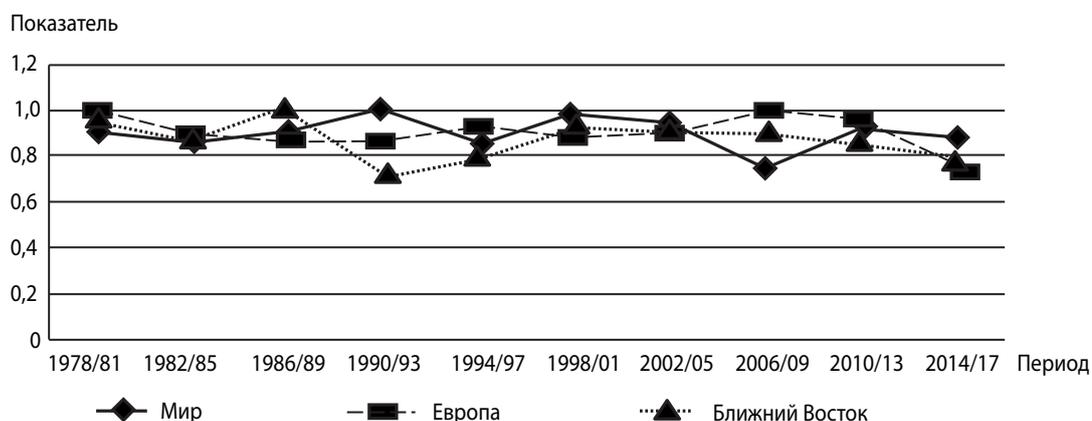


Рис. 4. Динамика V -статистики международных прибытий по регионам

чества факторов, влияющих на развитие международного туризма, в том числе с помощью фрактального анализа.

2. Процесс динамики международных прибытий в мире, Европе и на Ближнем Востоке обладает свойством трендовости, т. е. наличием «эффекта памяти» на исследуемом промежутке времени.
3. Для стран Европы и мира в целом выявлена цикличность динамики международных прибытий, и установлена длина цикла, которая составила 12 лет.
4. Для Ближневосточного региона установлена высокая зависимость развития туризма от геополитической ситуации. На рассматриваемом промежутке времени оценку продолжительности возможных циклов установить не удалось. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 274 с.
2. Чумак О. В. Энтропии и фракталы в анализе данных. М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ин-т компьютерных исследований, 2011. 164 с.
3. Отчёт Всемирной туристской организации. Основные показатели развития туризма, издание 2005 (Tourism Highlights, edition 2005). URL: http://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2005.pdf
4. «Туристический барометр» (UNWTO World Tourism Barometer). URL: https://www.e-unwto.org/doi/abs/10.18111/wto_barometerrus.2018.16.4.1?journalCode=wtobarometerrus
5. Worldbank. URL: <http://datatopics.worldbank.org/debt/ids/>
6. Central Intelligence Agency (CIA). URL: <https://www.cia.gov/index.html>
7. International Monetary Fund. URL: www.imf.org
8. UNWTO. URL: <http://unwto.org>
9. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-трейдинг, 2004. 304 с.
10. Старченко Н. В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов. URL: http://www.mirkin.ru/_docs/kon_diser/diserstarchenko.pdf
11. Ємець М. С. Методологічні основи економіко-математичних досліджень в туризмі. «Науковий вісник» Одеського національного економічного університету. Економічні науки. 2012. № 27 (179). С. 195–203.
12. Емец М. С., Щелкунова М. С. Моделирование влияния интеграционных процессов на развитие международного

туризма (на примере стран Центральной и Восточной Европы). *Бизнес Информ*. 2017. № 4. С. 107–112.

13. Щелкунова Л. И. Дифференциальная геометрия и фрактальный анализ в архитектурном проектировании. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/differentsialnaya-geometriya-i-fraktalnyy-analiz-v-arhitekturnom-proektirovanii>

REFERENCES

- Central Intelligence Agency (CIA). <https://www.cia.gov/index.html>
- Chumak, O. V. *Entropii i fraktaly v analize dannykh* [Entropies and fractals in data analysis]. Moscow; Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika»; In-t kompyuternykh issledovaniy, 2011.
- Feder, Ye. *Fraktaly* [Fractals]. Moscow: Mir, 1991.
- International Monetary Fund. www.imf.org
- “Otchet Vsemirnoy turiststkoj organizatsii. Osnovnyye pokazateli razvitiya turizma, izdaniye 2005 (Tourism Highlights, edition 2005)” [Report of the World Tourism Organization. Key indicators of tourism development, 2005 edition (Tourism Highlights, edition 2005)]. http://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2005.pdf
- Peters, E. *Fraktalnyy analiz finansovykh rynkov. Primeneniye teorii Khaosa v investitsiyakh i ekonomike* [Fractal analysis of financial markets. Application of Chaos Theory in Investment and Economics]. Moscow: Internet-treyding, 2004.
- Shchelkunova, L. I. “Differentsialnaya geometriya i fraktalnyy analiz v arkhitekturnom projektirovanii” [Differential geometry and fractal analysis in architectural design]. <https://cyberleninka.ru/article/n/differentsialnaya-geometriya-i-fraktalnyy-analiz-v-arhitekturnom-proektirovanii>
- Starchenko, N. V. “Indeks fraktalnosti i lokalnyy analiz khaoticheskikh vremennykh ryadov” [Fractality index and local analysis of chaotic time series]. http://www.mirkin.ru/_docs/kon_diser/diserstarchenko.pdf
- “Turisticheskiy barometr» (UNWTO World Tourism Barometer)” [“Tourist Barometer” (UNWTO World Tourism Barometer)]. https://www.e-unwto.org/doi/abs/10.18111/wto_barometerrus.2018.16.4.1?journalCode=wtobarometerrus
- UNWTO. <http://unwto.org>
- Worldbank. <http://datatopics.worldbank.org/debt/ids/>
- Yemets, M. S. “Metodolohichni osnovy ekonomiko-matematichnykh doslidzhen v turyzmi” [Methodological basis of economic-mathematical research in tourism]. *Naukovyi visnyk Odeskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu. Ekonomichni nauky*, no. 27 (179) (2012): 195–203.
- Yemets, M. S., and Shchelkunova, M. S. “Modelirovaniye vliyaniya integratsionnykh protsessov na razvitiye mezhdunarodnogo turizma (na primere stran Tsentralnoy i Vostochnoy Yevropy)” [Modeling the influence of integration processes on the development of international tourism (on the example of Central and Eastern Europe)]. *Biznes Inform*, no. 4 (2017): 107–112.