

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА В УКРАИНЕ

Выполнен анализ динамики количества чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в Украине за последние 13 лет различными математическими методами. Обоснованы прогнозные значения частоты возникновения подобных событий.

Виконаний аналіз динаміки кількості надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру в Україні за останні 13 років різними математичними методами. Обґрунтовані прогнозні значення частоти виникнення подібних подій.

The analysis of dynamics of technogenic and natural extraordinary situations amount in Ukraine is executed for the last 13 years by different mathematical methods. The prognosis values of emergence frequency of these events are grounded.

Постановка задачи. Население и территория Украины постоянно находятся под существенным негативным влиянием целого ряда факторов, приводящих к возникновению опасных событий и чрезвычайных ситуаций, травмированию и гибели людей, ухудшению условий их жизнедеятельности, загрязнению окружающей природной среды, значительным экономическим убыткам. Действие этих факторов усугубляется интенсивной эксплуатацией основных производственных фондов и ресурсов, несовершенством технологических процессов многих отраслей промышленности; ограниченными возможностями государства в сфере развития и реконструкции; естественными особенностями территории Украины. Поэтому прогноз возникновения чрезвычайных ситуаций и опасных событий, а также анализ и исследование их наиболее характерных тенденций с целью усовершенствования системы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) приобретает актуальность.

В связи с изложенным, в статье ставилась задача прогноза ежегодного количества ЧС техногенного и природного характера в Украине.

Основные результаты. Модели, характеризующие протекание процесса во времени или состояние одного объекта в последовательные моменты времени, часто строятся на основе анализа временных рядов, т.е. последовательности значений определенных признаков или факторов. Эти значения обычно называют уровнями ряда. Причем между уровнями временного ряда, или ряда динамики, как правило, существует вполне определенная зависимость. Иными словами, существует автокорреляция уровней ряда.

В статистике дается несколько выборочных оценок теоретических значений автокорреляции $r(k)$ процесса по конечному временному ряду из n наблюдений. Наиболее популярной оценкой является нециклический коэффициент автокорреляции с задержкой k [1]:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} x_t x_{t+k} - \sum_{t=1}^{n-k} x_t \sum_{t=k+1}^n x_t / (n-k)}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^{n-k} x_t^2 - \left(\sum_{t=1}^{n-k} x_t \right)^2 / (n-k) \right] \cdot \left[\sum_{t=k+1}^n x_t^2 - \left(\sum_{t=k+1}^n x_t \right)^2 / (n-k) \right]}}. \quad (1)$$

Если сдвиг во времени составляет всего один шаг, то соответствующий коэффициент корреляции называется коэффициентом автокорреляции уровней ряда динамики первого порядка. При этом лаг корреляции равен 1. Очевидно, что с увеличением лага число пар значений, по которым рассчитывается коэффициент автокорреляции, уменьшается.

В большинстве случаев уровень временного ряда представляется в виде суммы тренда, циклической и случайной компонент, иногда, в виде произведения этих компонент. Исследование временного ряда заключается в выявлении и придании количественного выражения каждой из этих компонент, после чего удастся использовать соответствующие выражения для прогнозирования будущих значений ряда. При этом можно также решать задачу построения модели взаимосвязи двух или нескольких временных рядов.

Для выявления трендовой, циклической компонент можно использовать коэффициент автокорреляции уровней ряда и автокорреляционную функцию как последовательность коэффициентов автокорреляции уровней первого, второго и последующих порядков. В конечном итоге строят график зависимости значений автокорреляционной функции от величины лага (порядка коэффициента автокорреляции), т.е. коррелограмму. Анализ автокорреляционной функции и коррелограммы позволяет определить лаг, при котором автокорреляция наиболее высокая, а, следовательно, и лаг, при котором связь между текущим и предыдущими уровнями ряда наиболее тесная.

Наиболее важным из различных коэффициентов автокорреляции является первый – r_1 , измеряющий тесноту связи между уровнями $x(1), x(2), \dots, x(n-1)$ и $x(2), x(3), \dots, x(n)$.

Если наиболее высоким оказался коэффициент автокорреляции первого порядка, то исследуемый ряд содержит основную тенденцию или тренд. Если ситуация иная, когда наиболее высоким оказался коэффициент корреляции некоего отличного от единицы порядка, то ряд содержит циклические компоненты (периодические колебания). Наконец, если ни один из коэффициентов корреляции не является значимым, то достаточно правдоподобны следующие две гипотезы. Либо ряд не содержит ни тренда, ни циклических компонентов, так что его структура носит флуктуационный (резко случайный) характер. Либо имеется сильная нелинейная тенденция, обнаружение которой требует дополнительных специальных исследований.

Для выявления автокорреляции во временных рядах целесообразно использовать критерий Дарбина-Уотсона [D.-W.] – d , который вычисляется по формуле:

$$d = \frac{\sum (y_{t+1} - y_t)^2}{\sum y_t^2}, \quad (2)$$

где y_{t+1} и y_t – соответствующие уровни временного ряда.

При отсутствии автокорреляции в исследуемом ряде показатель d приближается к числу 2.

Используя рассмотренные статистические оценки временных рядов, проанализируем динамику числа чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в Украине за период 1997-2010 гг. [2], которая представлена на рис. 1.

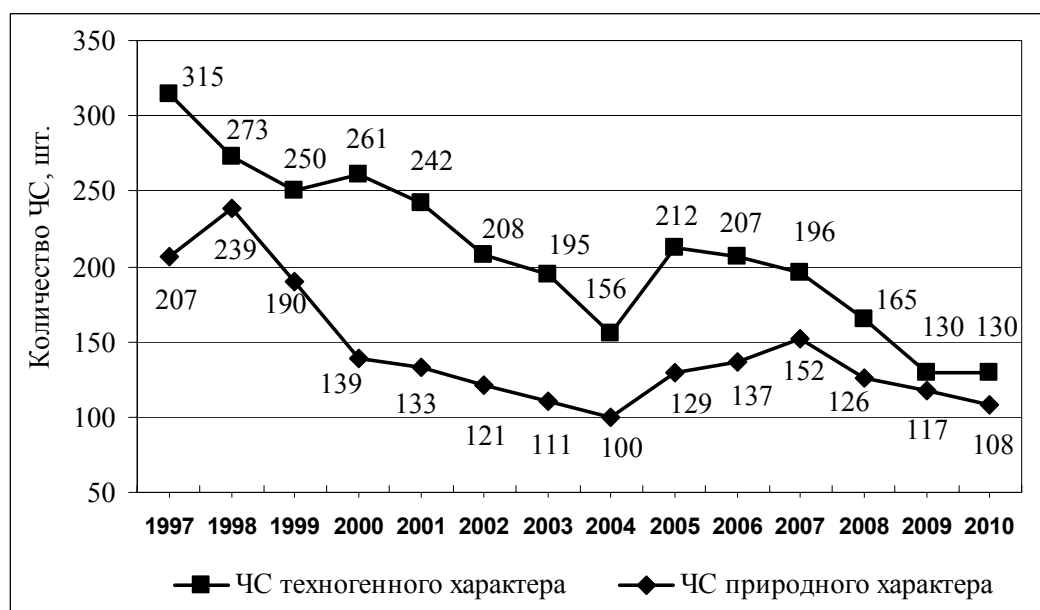


Рис. 1. Динамика числа чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера в Украине за период 1997-2010 гг.

Как видно, на представленном отрезке времени существует тенденция постепенного снижения числа этих событий. Для прогнозирования количества ЧС в такой ситуации важно иметь представление о степени влияния предшествующих событий на последующие, т.е. иметь автокорреляцию уровней ряда, что позволит принимать взвешенные управленческие решения.

На рис. 2 представлена коррелограмма количества ЧС природного характера (значения автокорреляционной функции в зависимости от порядка коэффициента автокорреляции) до лага 4. На диаграмме штриховой линией обозначен уровень «белого шума» – границы статистической значимости коэффициентов корреляции. При построении коррелограммы использовался подпрограмма «Автокорреляционная функция» для MS Excel [3].

Из приведенной коррелограммы видно, что в исследуемом временном ряду существует достаточно сильная корреляция 1-го порядка (соседних членов ряда). Коэффициент автокорреляции значительно превышает уровень «белого шума», т.е. значения каждого последующего уровня ряда зависят от предыдущих. Следовательно, на частоту возникновения ЧС природного характера в Ук-

раине существенно влияет предыдущее число подобных событий, т.е. чрезвычайных ситуаций, произошедших в предшествующем году.

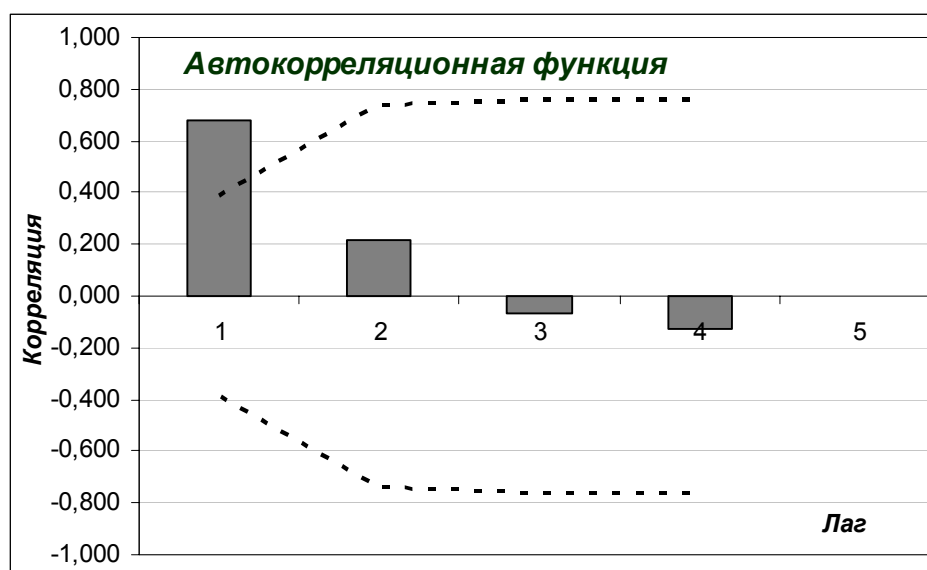


Рис. 2 . Коррелограмма частоты возникновения ЧС природного характера в Украине

В табл. 1 приведены значения автокорреляционной функции, уровня «белого шума» и критерий Дарбина-Уотсона для частоты возникновения ЧС природного характера, который подтверждает наличие автокорреляции 1-го порядка.

Таблица 1

АКФ и статистика для количества ЧС природного характера

Лаг	АКФ(ЧС _{прир.})	Ошибка АКФ		Статистика Дарбина-Уотсона [D.-W.] – d
1	0,682	0,391	-0,391	0,027
2	0,214	0,742	-0,742	Up – 1,360
3	-0,067	0,760	-0,760	Low – 1,080
4	-0,127	0,761	-0,761	

Коррелограмма количества ЧС техногенного характера представлена на рис. 3. Из этой коррелограммы видно, между соседними членами данного временного ряда также имеется сильная корреляция – коэффициент автокорреляции 1-го порядка значительно превышает уровень «белого шума». По графику автокорреляции также очевидно наличие тренда. Следовательно, на частоту возникновения ЧС техногенного характера в Украине существенно влияет предшествующее число этих событий, т.е. количество чрезвычайных техногенных ситуаций, произошедших в предыдущем году.

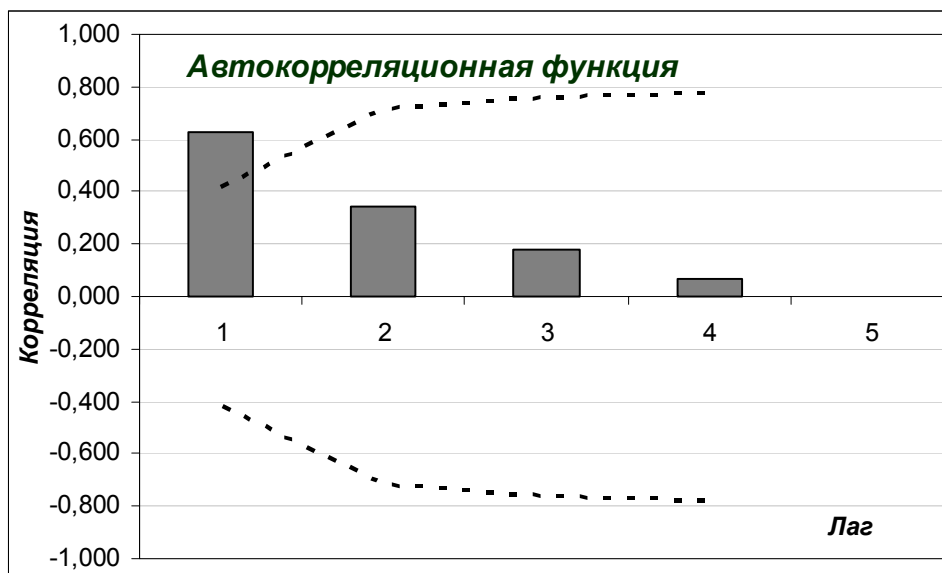


Рис. 3 . Коррелограмма частоты возникновения ЧС техногенного характера в Украине

В табл. 2 приведены значения автокорреляционной функции, ошибка автокорреляционной функции и статистика Дарбина-Ватсона для частоты возникновения ЧС техногенного характера, которая также подтверждает наличие автокорреляции 1-го порядка.

Таблица 2

АКФ и статистика для количества ЧС техногенного характера

Лаг	АКФ(ЧС _{техн.})	Ошибка АКФ		Статистика Дарбина-Уотсона [D.-W.] – d
1	0,629	0,416	-0,416	0,017
2	0,343	0,715	-0,715	Up – 1,360
3	0,179	0,761	-0,761	Low – 1,080
4	0,070	0,773	-0,773	

Полученный значимый коэффициент автокорреляции 1-го порядка может быть полезен при прогнозировании вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций методом экспоненциального сглаживания.

Сущность метода состоит в сглаживании временного ряда с помощью взвешенной скользящей средней, в которой веса наблюдений подчиняются экспоненциальному закону, т.е. с помощью так называемой экспоненциальной средней.

Р. Брауном предложена следующая формула для определения экспоненциальной средней произвольного p -того порядка [4]:

$$S_t^{[p]} = \alpha \cdot S_t^{[p-1]} + \beta \cdot S_{t-1}^{[p]}, \quad (3)$$

где α - параметр сглаживания в диапазоне $0 < \alpha < 1$; $\beta = 1 - \alpha$; $p = 1, 2, \dots, n$.

Выбор параметра сглаживания α представляет собой достаточно сложную задачу. Чем ближе параметр сглаживания к единице, тем больше влияние последних наблюдений и тем больше скорость убывания весов.

Полученный выше значимый коэффициент автокорреляции 1-го порядка для исследуемых частоты возникновения чрезвычайных ситуаций позволил обосновать выбор параметра сглаживания α .

Принимая во внимание существенную степень влияния последних точек предыстории исследуемых временных рядов, нами рассчитывались суммы квадратов остатков (наблюдаемые значения минус прогноз на шаг вперед) в интервале от 0,5 до 0,9 с шагом 0,05. В результате, было выбрано значение α , при котором данная сумма является минимальной. Таким образом, было получено $\alpha=0,55$ ($\Sigma^2_{\text{прир.}} = 3050,2$; $\Sigma^2_{\text{техн.}} = 5314,7$).

Результаты экспоненциального сглаживания и прогнозные значения частоты возникновения ЧС техногенного и природного характера в Украине с использованием модели нулевого порядка представлены в табл. 3 и на рис 4.

Таблица 3

Результаты экспоненциального сглаживания

Годы	Условные обозначения	ЧС природного характера		ЧС техногенного характера	
		исходный ряд	сглаженный ряд при $\alpha=0,55$	исходный ряд	сглаженный ряд при $\alpha=0,55$
-	$S_0^{[1]}$	-	143,5	-	210,0
1997	$S_1^{[1]}$	207	178,4	315	267,8
1998	$S_2^{[1]}$	239	211,7	273	270,6
1999	$S_3^{[1]}$	190	199,8	250	259,3
2000	$S_4^{[1]}$	139	166,4	261	260,2
2001	$S_5^{[1]}$	133	148,0	242	250,2
2002	$S_6^{[1]}$	121	133,2	208	226,9
2003	$S_7^{[1]}$	111	120,9	195	209,4
2004	$S_8^{[1]}$	100	109,4	156	180,0
2005	$S_9^{[1]}$	129	120,2	212	197,6
2006	$S_{10}^{[1]}$	137	129,4	207	202,8
2007	$S_{11}^{[1]}$	152	141,9	196	199,1
2008	$S_{12}^{[1]}$	126	133,1	165	180,3
2009	$S_{13}^{[1]}$	117	124,3	130	152,6
2010	$S_{14}^{[1]}$	108	115,3	130	140,2
2011	$S_{15}^{[1]}$		115,3		140,2

Прогнозное значение количества ЧС природного характера составило 115 событий, а техногенного характера – 140 событий в год.

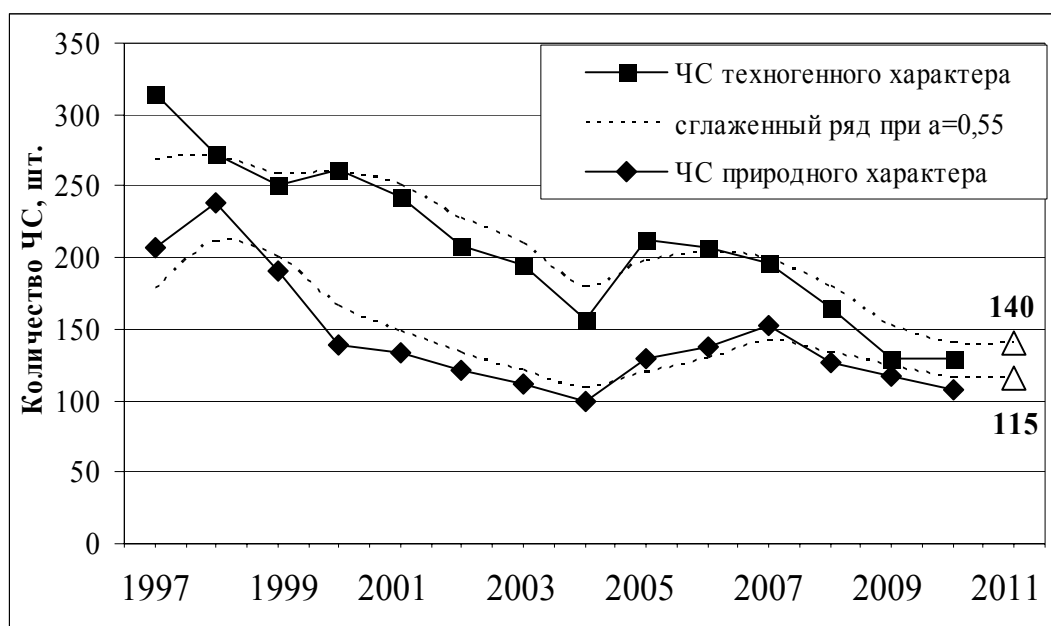


Рис. 4. Прогноз частоты возникновения ЧС техногенного и природного характера методом экспоненциального сглаживания

Аналогичные прогнозные значения были получены при использовании для аппроксимации существующего в данных временных рядах нисходящего тренда экспоненты общего вида с асимптотой. При этом зависимость частоты возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера описывается уравнением

$$N(t)=190 \cdot \exp(-0,39 \cdot t)+116; \quad R^2=0,72, \quad (4)$$

а техногенного характера уравнением

$$N(t)=265 \cdot \exp(-0,28 \cdot t)+141; \quad R^2=0,69. \quad (5)$$

Проверка полученных уравнений на адекватность выполнялась с помощью критерия Фишера F при заданном уровне достоверности α . Для обоих уравнений расчетное значение критерия F_b превышает стандартную величину $F_{k1;k2;\alpha}$ ($F_{b1} = 1653,4 / 500,2 = 3,31$; $F_{b2} = 2953,7 / 987,4 = 2,99$; $F_{13;12;0,05} = 2,66$; $F_b > F_{k1;k2;\alpha}$) то есть выбранные зависимости адекватно описывают выявленные закономерности.

Результаты аппроксимации представлены графически на рис. 5, из которого видно, что прогнозные значения количества ЧС природного характера согласно данной модели составляет 116 событий, а техногенного характера – 141 событие в год, что всего на 1 отличаются от соответствующих прогнозных значений (115 и 140 событий), полученных методом экспоненциального сглаживания.

Таким образом, ассимтоты полученных экспонент (свободные члены в формулах 4 и 5) позволяют предположить, что 116 и 141 событие – это минимальное неизбежное количество чрезвычайных ситуаций соответственно природного и техногенного характера, которые можно ожидать в 2011 году. Их количество обусловлено объективными причинами (климатическими условиями, геологическими, гидрологическими и другими особенностями территории Ук-

раины, а также состоянием технических систем), ниже которого данный показатель в настоящее время снизиться не может. Следовательно, учет этого фактора при планировании работы соответствующих государственных служб позволит усовершенствовать систему защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

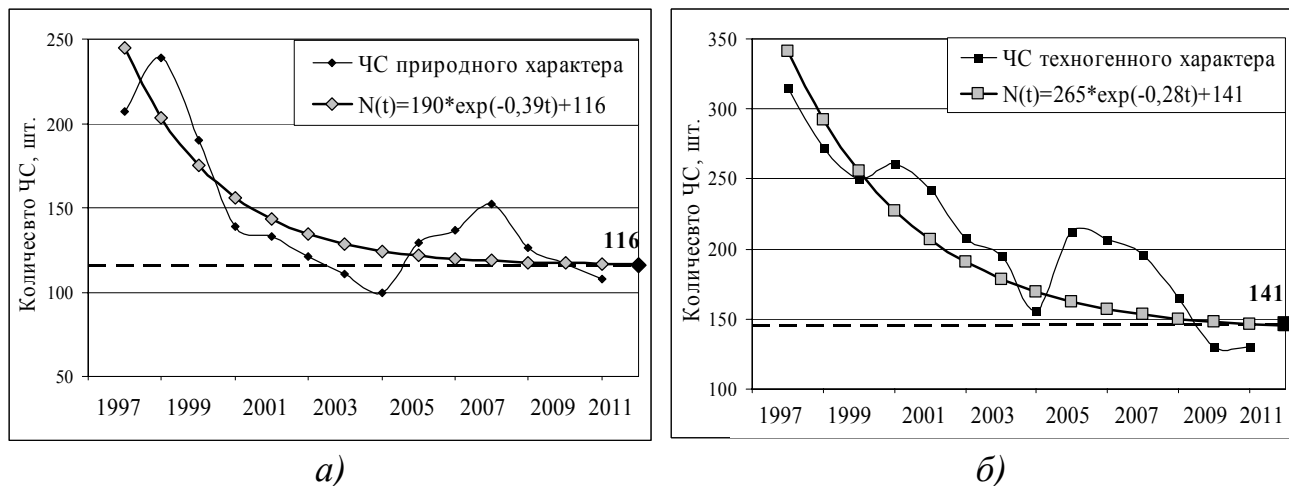


Рис. 5. Зависимость частоты возникновения чрезвычайных ситуаций природного (а) и техногенного характера (б)

Выводы.

1. Частота возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Украине на рассматриваемом временном интервале существенно зависит от предшествующего числа этих событий, т.е. количества чрезвычайных ситуаций, произошедших в предыдущем году.

2. Прогнозные значения количества чрезвычайных ситуаций, полученные методом экспоненциального сглаживания и путем аппроксимации значений временного ряда экспонентой общего вида с асимптотой, составили, соответственно, для ситуаций природного характера 115 и 116 событий, а для ситуаций техногенного характера – 140 и 141 событие в год. Полученная частота возникновения чрезвычайных ситуаций является минимальным неизбежным количеством подобных событий, которые обусловлены климатическими условиями, геологическими, гидрологическими и другими особенностями территории Украины, а также состоянием технических систем и объектов.

Список літератури

1. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). - Тольятти, 1994. - 182 с.
2. Національні доповіді про стан екологічної та техногенної безпеки в Україні. Офіційний сайт МНС України. http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.
3. Количественные методы в менеджменте. Надстройки для MS Excel. <http://www.hcxl.ru/af02.html>.
4. Кильдишев Г.С., Френкель А.А. Анализ Временных рядов и прогнозирование. М.: Статистика, 1973. –103 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 24.05.11*