

УДК 330.015:330.105

О. П. Антонюк,
здобувач, асистент кафедри економічної кібернетики
та інформаційних технологій Державного вищого
навчального закладу «Національний гірничий університет»
(Дніпропетровськ)



ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РІВНЯ ЗАХВОРЮВАНОСТІ НАСЕЛЕННЯ МІСТА КРИВИЙ РІГ ВІД ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Розроблено економіко-математичні моделі для прогнозування рівня захворюваності населення міста Кривий Ріг залежно від різних видів забруднення навколишнього природного середовища у вигляді регресійних моделей із змістовними обмеженнями на параметри, що використовують апріорну інформацію. Визначено якість і прогностичні властивості побудованих моделей, проаналізовано отримані результати, що дозволило скласти прогноз із похибкою, що не перевищує 10%.

Ключові слова: екологічний податок, забруднювачі навколишнього природного середовища, лінійні апроксимаційні моделі з обмеженнями на параметри, апріорна інформація, прогностичні властивості моделі.

О. П. Антонюк
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ
ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА
КРИВОЙ РОГ ОТ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Разработаны экономико-математические модели для прогнозирования уровня заболеваемости населения города Кривой Рог в зависимости от различных видов загрязнения окружающей среды в виде регрессионных моделей с содержательными ограничениями на параметры, использующие априорную информацию. Определены качество и прогностические свойства построенных моделей, проанализированы полученные результаты, что позволило составить прогноз с ошибкой, не превышающей 10%.

Ключевые слова: экологический налог, загрязнители окружающей среды, линейные аппроксимационные модели с ограничениями на параметры, априорная информация, прогностические свойства модели.

O. P. Antoniuk
**PREDICTION OF DEPENDENCY BETWEEN THE
MORBIDITY LEVEL IN KRYVYI RIG CITY AND
THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC
POLLUTION**

The economic and mathematical models have been developed to predict the morbidity level of Kryvyi Rig City population dependently upon different pollution types in the form of regression models with substantial constraints on the parameters using a priori information. By the quality and forward-looking properties of the constructed models have been determined, the results have been analyzed, which allowed for the prediction with an error not exceeding 10%.

Key words: environmental taxes, environmental pollutants, linear approximation model with constraints on the parameters, a priori information, forward-looking properties of the model.

Постановка проблеми. Однією з важливих причин погіршення здоров'я населення, особливо виникнення інфекційних та екологічно залежних захворювань, є стан водних об'єктів. Антропогенна діяльність викликає порушення параметрів стійкості природних екосистем, що призводить до погіршення медико-біологічних і генетичних показників людини, порушує баланс природних ресурсів, впливає на функціонування виробничих процесів та економічного комплексу в цілому, змінює соціальну сферу життя суспільства.

Здоров'я не можна розглядати як щось автономне, пов'язане тільки з індивідуальними особливостями організму, тому що воно є результатом впливу генетичних, соціальних і природних факторів та їх комбінації. Надмірні обсяги техногенного навантаження за певних умов спричиняють порушення екологічної рівноваги і викликають деградацію не тільки природного середовища, а й здоров'я людей. Тому стан здоров'я та захворюваності населення регіону можна вважати похідними від стану навколишнього середовища.

Вартість лікування різних видів захворювань (туберкульоз усіх форм, онкологічні захворювання та патології, окремі стани, які виникли в перинатальному періоді, анемії,

інсульту всіх форм, гострий інфаркт міокарду, патологія вагітності й післяпологового періоду, бронхіт, екзема та інші хронічні загострення хвороб, бронхіальна астма, хвороби системи кровообігу) різна. Окрім того, речовини, що входять у забруднені стічні води, по-різному впливають на окремі групи захворювань. Тому потрібно визначити цей вплив, а також формулу залежності кількості хворих від видів та обсягів забруднення водного середовища річок Інгулець і Саксагань, що протікають на території міста, для кожного виду захворювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив екологічного навантаження на здоров'я людей досліджували М. А. Хвесик, Б. М. Данилишин, В. Я. Шевчук, Л. М. Горбач і багато інших учених. У попередніх роботах автора було визначено, що нелінійні моделі більш точно апроксимують залежність захворюваності населення міста Кривий Ріг від різних видів та обсягів забруднення водного середовища міста [1; 2; 3], але мають гірші прогностичні властивості.

Мета статті – побудувати змістовну модель залежності рівня захворюваності населення міста Кривий Ріг від рівня забруднення природного середовища.

Основні результати дослідження. На першому етапі при побудові регресійних моделей залежності рівня захво-

рюваності населення Кривого Рогу від концентрацій забруднюючих речовин у водному середовищі р. Інгулець було визначено, що має місце лінійна залежність, але вид залежності невідомий. Для визначення параметрів (табл. 1) моделі (1) побудовано лінійні регресійні моделі, проаналізовано точність та адекватність отриманої моделі.

Параметри регресії оцінено методом найменших квадратів, який полягає в мінімізації суми (1):

$$\sum_{t=1}^T (Y_t - \alpha_0 - \alpha_1 x_{t1} - \alpha_2 x_{t2} - \dots - \alpha_n x_{t12})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

за невідомими параметрами $a_i, i=1, \dots, n, n=12$, де y_t – рівень захворюваності; x_{ti} – рівень концентрації вмісту забруднюючих речовин у водному середовищі річок Інгулець та Сакагань; $T=825$ – кількість спостережень.

Використавши пакет статистичного аналізу MS Excel «Дані» → «Пакет аналізу» → «Регресія», методом найменших квадратів отримано такі параметри лінійної регресійної моделі залежності рівня захворюваності населення Кривого Рогу від рівня забруднення водного середовища міста, при довірчій ймовірності $p < 0,05$, апроксимованого рівня кількості осіб, що хворіють на:

1) туберкульоз, табл. 2:

Таблиця 2
Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на туберкульоз (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Туберкульоз	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	37,26	0,002	-0,001	0,001	0,19	-0,003	0,35	10,89	0,01	0,75	0,03	-2,45	0,09
2 Стандартна помилка	3,53	0,0003	0,0004	0,0002	0,03	0,01	0,07	0,88	0,15	0,04	0,01	0,40	0,01
3 t-статистика	10,55	6,01	-1,56	6,39	5,67	-0,42	5,38	12,41	0,07	21,38	2,35	-6,11	7,97
4 p-значення	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,94	0,00	0,02	0,00	0,00
5 Значимість, якщо p-значення ≤ 0,05	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа p ≤ 95%	30,33	0,001	-0,002	0,001	0,13	-0,02	0,22	9,17	-0,29	0,68	0,004	-3,24	0,07
7 Верхня межа p ≤ 95%	44,19	0,002	0,0002	0,002	0,26	0,01	0,48	12,62	0,31	0,82	0,05	-1,66	0,11

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на туберкульоз у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (2):

$$Y_1 = 37,3 + 0,002x_1 - 0,001x_2 + 0,001x_3 + 0,2x_4 - 0,003x_5 + 0,4x_6 + 10,9x_7 + 0,01x_8 + 0,8x_9 + 0,03x_{10} - 2,5x_{11} + 0,09x_{12}, \quad (2)$$

2) онкологічні захворювання, табл. 3:

Таблиця 3
Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на онкологічні захворювання (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Онкологічні захворювання	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	252,24	0,02	-0,02	0,05	7,36	0,45	18,17	438,58	1,93	27,63	1,51	-28,23	1,42
2 Стандартна помилка	125,87	0,01	0,02	0,01	1,22	0,25	2,35	31,30	5,41	1,25	0,41	14,29	0,40
3 t-статистика	2,00	1,90	-1,32	5,54	6,03	1,75	7,75	14,01	0,36	22,08	3,66	-1,98	3,53
4 p-значення	0,045	0,0579	0,19	0,00	0,00	0,08	0,00	0,0	0,72	0,00	0,0003	0,0485	0,0004
5 Значимість, якщо p-значення ≤ 0,05	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа 95%	5,18	-0,001	-0,05	0,03	4,96	-0,05	13,57	377,15	-8,69	25,17	0,70	-56,28	0,63
7 Верхня межа 95%	499,30	0,04	0,01	0,06	9,75	0,94	22,78	500,01	12,54	30,09	2,33	-0,18	2,21

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на онкологічні захворювання в м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (3):

$$Y_2 = 252,2 + 0,02x_1 - 0,02x_2 + 0,05x_3 + 7,4x_4 + 0,45x_5 + 18,2x_6 + 438,58x_7 + 1,93x_8 + 27,6x_9 + 1,5x_{10} - 28,2x_{11} + 1,4x_{12}, \quad (3)$$

3) Онкологічні патології, табл. 4:

Таблиця 4
Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на онкологічні патології (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Онкологічні патології	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	111,76	0,02	0,02	0,02	1,15	0,31	3,22	44,65	-1,33	8,23	0,06	-10,72	1,09
2 Стандартна помилка	38,47	0,003	0,005	0,003	0,37	0,08	0,72	9,57	1,65	0,38	0,13	4,37	0,12
3 t-статистика	2,90	6,96	4,40	6,32	3,08	3,98	4,49	4,67	-0,80	21,52	0,48	-2,46	8,86
4 p-значення	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,63	0,01	0,00
5 Значимість, якщо p-значення ≤ 0,05	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+
6 Нижня межа 95%	36,24	0,02	0,01	0,01	0,42	0,16	1,81	25,87	-4,57	7,48	-0,19	-19,30	0,85
7 Верхня межа 95%	187,28	0,03	0,03	0,02	1,88	0,46	4,62	63,42	1,92	8,98	0,31	-2,15	1,33

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на онкологічні патології у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (4):

$$Y_3 = 111,76 + 0,02x_1 + 0,02x_2 + 0,02x_3 + 1,15x_4 + 0,3x_5 + 3,2x_6 + 44,7x_7 - 1,3x_8 + 8,2x_9 + 0,06x_{10} - 10,7x_{11} + 1,09x_{12}, \quad (4)$$

4) Окремі стани, що виникли в перинатальному періоді, *табл. 5:*

Таблиця 5

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на окремі стани, що виникли в перинатальному періоді у дітей віком до 14 років (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Окремі стани, що виникли в перинатальному періоді	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	93,51	0,01	-0,01	0,01	1,79	0,003	4,26	96,21	1,13	7,00	0,51	-9,47	0,57
2 Стандартна помилка	34,32	0,003	0,004	0,002	0,33	0,07	0,64	8,53	1,47	0,34	0,11	3,90	0,11
3 <i>t</i> -статистика	2,73	4,49	-1,99	4,41	5,38	0,04	6,66	11,28	0,77	20,52	4,56	-2,43	5,20
4 <i>p</i> -значення	0,01	0,00	0,046	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,02	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа 95%	26,15	0,01	-0,02	0,01	1,14	-0,13	3,00	79,46	-1,76	6,33	0,29	-17,12	0,35
7 Верхня межа 95%	160,87	0,02	0,00	0,01	2,44	0,14	5,51	112,95	4,03	7,67	0,74	-1,82	0,78

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на окремі стани, що виникли в перинатальному періоді у дітей віком до 14 років (на 10 тис. дитячого населення віком до 14 років) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (5):

$$Y_4 = 93,51 + 0,01x_1 - 0,01x_2 + 0,01x_3 + 1,79x_4 + 0,003x_5 + 4,26x_6 + 96,21x_7 + 1,13x_8 + 7x_9 + 0,5x_{10} - 9,47x_{11} + 0,57x_{12}, \quad (5)$$

5) анемії, *табл. 6:*

Таблиця 6

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на анемії (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Анемії	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	30,05	0,002	0,004	0,002	0,46	0,05	0,75	14,03	0,18	1,26	-0,01	-0,11	0,12
2 Стандартна помилка	6,41	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,12	1,59	0,28	0,06	0,02	0,73	0,02
3 <i>t</i> -статистика	4,69	4,69	5,51	5,67	7,33	3,76	6,31	8,81	0,65	19,80	-0,70	-0,15	5,88
4 <i>p</i> -значення	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,48	0,88	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+
6 Нижня межа 95%	17,47	0,001	0,003	0,002	0,33	0,02	0,52	10,90	-0,36	1,14	-0,06	-1,54	0,08
7 Верхня межа 95%	42,63	0,003	0,01	0,003	0,58	0,07	0,99	17,16	0,72	1,39	0,03	1,32	0,16

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на анемії (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (6):

$$Y_5 = 30,05 + 0,002x_1 + 0,004x_2 + 0,002x_3 + 0,5x_4 + 0,05x_5 + 0,75x_6 + 14,03x_7 + 0,18x_8 + 1,3x_9 - 0,01x_{10} - 0,1x_{11} + 0,12x_{12}, \quad (6)$$

6) інсульти, всі форми, *табл. 7:*

Таблиця 7

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на інсульти всіх форм (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Інсульт	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	7,20	0,002	-0,002	0,002	0,23	0,01	0,88	19,13	0,02	1,49	0,11	-1,52	0,14
2 Стандартна помилка	6,95	0,001	0,001	0,000	0,07	0,01	0,13	1,73	0,30	0,07	0,02	0,79	0,02
3 <i>t</i> -статистика	1,04	3,51	-2,07	4,67	3,35	0,44	6,79	11,08	0,06	21,63	4,87	-1,93	6,53
4 <i>p</i> -значення	0,30	0,0005	0,038	0,00	0,0008	0,66	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,045	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+
6 Нижня межа 95%	-6,44	0,001	-0,003	0,001	0,09	-0,02	0,62	15,74	-0,57	1,36	0,07	-3,07	0,10
7 Верхня межа 95%	20,83	0,003	0,000	0,003	0,36	0,03	1,13	22,52	0,60	1,63	0,16	0,02	0,19

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на інсульти (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (7):

$$Y_6 = 7,2 + 0,002x_1 - 0,002x_2 + 0,002x_3 + 0,2x_4 + 0,01x_5 + 0,88x_7 + 19,13x_8 + 0,02x_9 + 1,5x_{10} + 0,1x_{11} - 1,5x_{12} + 0,14x_{12}, \quad (7)$$

7) гострий інфаркт міокарду, *табл. 8:*

Таблиця 8

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на гострий інфаркт міокарду (на 10 тис. нас.) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Інфаркт	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	31,78	0,0003	0,0001	0,0017	0,69	-0,02	1,39	35,85	-0,14	1,58	0,07	-5,28	0,14
2 Стандартна помилка	8,03	0,0006	0,0010	0,0005	0,08	0,02	0,15	2,00	0,35	0,08	0,03	0,91	0,03
3 <i>t</i> -статистика	3,96	0,46	0,07	3,14	8,91	-1,02	9,31	17,95	-0,40	19,80	2,69	-5,79	5,30
4 <i>p</i> -значення	0,00	0,65	0,94	0,002	0,00	0,31	0,00	0,00	0,69	0,00	0,0073	0,00	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+
6 Нижня межа 95%	16,01	-0,001	-0,002	0,001	0,54	-0,05	1,10	31,93	-0,82	1,42	0,02	-7,07	0,09
7 Верхня межа 95%	47,54	0,002	0,002	0,003	0,85	0,02	1,69	39,77	0,54	1,74	0,12	-3,49	0,19

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності інфарктами (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (8):

$$Y_7 = 31,8 + 0,0003x_1 + 0,0001x_2 + 0,002x_3 + 0,7x_4 - 0,02x_5 - 1,4x_6 + 35,9x_7 - 0,1x_8 + 1,6x_9 + 0,07x_{10} - 5,3x_{11} + 0,14x_{12} \quad (8)$$

8) бронхіальну астму, *табл. 9:*

Таблиця 9

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на бронхіальну астму (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Астма	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	103,67	0,003	0,004	0,003	0,88	-0,01	1,50	32,52	-0,13	1,98	0,02	-6,29	0,27
2 Стандартна помилка	9,06	0,001	0,001	0,001	0,09	0,02	0,17	2,25	0,39	0,09	0,03	1,03	0,03
3 <i>t</i> -статистика	11,44	4,51	3,95	4,81	9,99	-0,65	8,86	14,43	-0,33	21,96	0,51	-6,11	9,26
4 <i>p</i> -значення	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,52	0,0	0,0	0,74	0,00	0,61	0,0	0,0
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+
6 Нижня межа 95%	85,88	0,002	0,002	0,002	0,705	-0,05	1,16	28,10	-0,89	1,80	-0,04	-8,31	0,21
7 Верхня межа 95%	121,46	0,005	0,01	0,004	1,05	0,02	1,83	36,94	0,64	2,15	0,07	-4,27	0,32

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на бронхіальну астму (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (9):

$$Y_8 = 103,7 + 0,003x_1 + 0,004x_2 + 0,003x_3 + 0,9x_4 - 0,01x_5 + 1,5x_6 + 32,5x_7 - 0,13x_8 + 1,9x_9 + 0,02x_{10} - 6,3x_{11} + 0,27x_{12} \quad (9)$$

9) хвороби системи кровообігу, *табл. 10:*

Таблиця 10

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на хвороби системи кровообігу (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Хвороби системи кровообігу	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	762,97	0,02	-0,01	0,02	3,39	-0,11	6,81	176,26	-0,27	10,87	0,65	-35,47	1,15
2 Стандартна помилка	49,57	0,004	0,01	0,003	0,48	0,10	0,92	12,33	2,13	0,49	0,16	5,63	0,16
3 <i>t</i> -статистика	15,39	4,59	-1,91	4,64	7,05	-1,13	7,37	14,30	-0,13	22,06	3,99	-6,30	7,24
4 <i>p</i> -значення	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа 95%	665,67	0,01	-0,02	0,01	2,44	-0,31	5,00	152,07	-4,45	9,91	0,33	-46,52	0,84
7 Верхня межа 95%	860,27	0,03	0,0003	0,02	4,33	0,08	8,62	200,46	3,91	11,84	0,97	-24,42	1,46

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на хвороби системи кровообігу (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (10):

$$Y_9 = 762,97 + 0,02x_1 - 0,01x_2 + 0,02x_3 + 3,4x_4 - 0,1x_5 + 6,8x_6 + 176,3x_7 - 0,27x_8 + 10,87x_9 + 0,65x_{10} - 35,47x_{11} + 1,15x_{12} \quad (10)$$

10) патологію вагітності, *табл. 11:*

Таблиця 11

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на патологію вагітності (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Патологія вагітності	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	373,04	0,003	0,011	0,002	-0,35	-0,03	2,93	75,34	-0,47	3,36	0,13	-9,48	0,58
2 Стандартна помилка	18,51	0,001	0,002	0,001	0,18	0,04	0,34	4,60	0,80	0,18	0,06	2,10	0,06
3 <i>t</i> -статистика	20,15	2,05	4,72	1,29	-1,95	-0,84	8,51	16,37	-0,60	18,26	2,14	-4,51	9,83
4 <i>p</i> -значення	0,00	0,04	0,00	0,20	0,045	0,40	0,00	0,00	0,55	0,00	0,03	0,00	0,00
5 Значимість, якщо <i>p</i> -значення ≤ 0,05	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа 95%	336,70	0,0001	0,01	-0,001	-0,70	-0,10	2,26	66,30	-2,03	3,00	0,01	-13,61	0,46
7 Верхня межа 95%	409,37	0,01	0,02	0,004	0,003	0,04	3,61	84,37	1,09	3,72	0,25	-5,36	0,70

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на патологію вагітності (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (11):

$$Y_{10} = 373,04 + 0,003x_1 + 0,01x_2 + 0,002x_3 - 0,4x_4 - 0,03x_5 + 2,9x_6 + 75,3x_7 - 0,47x_8 + 3,4x_9 + 0,13x_{10} - 9,48x_{11} + 0,58x_{12} \quad (11)$$

11) бронхіт, екзему та інші загострення хвороб, табл. 12:

Таблиця 12

Параметри регресійної моделі апроксимації рівня захворюваності на бронхіт, екзему та інші загострення хвороб (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр.

Бронхіт, екзема та інші загострення хвороб	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
1 Значення коефіцієнту	347,63	0,0004	-0,02	0,03	4,54	0,01	9,78	249,35	-0,29	13,65	0,68	-20,76	0,93
2 Стандартна помилка	64,13	0,01	0,01	0,00	0,62	0,13	1,20	15,95	2,76	0,64	0,21	7,28	0,20
3 t -статистика	5,42	0,08	-2,54	6,00	7,31	0,07	8,18	15,64	-0,10	21,41	3,21	-2,85	4,52
4 p -значення	0,00	0,94	0,01	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00
5 Значимість, якщо p -значення $\leq 0,05$	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
6 Нижня межа 95%	221,75	-0,01	-0,04	0,02	3,32	-0,25	7,43	218,05	-5,70	12,40	0,26	-35,05	0,52
7 Верхня межа 95%	473,52	0,01	0,00	0,03	5,76	0,26	12,12	280,65	5,12	14,90	1,09	-6,46	1,33

Лінійна регресійна модель апроксимації рівня захворюваності на бронхіт, екзему та інші загострення хвороб (на 10 тис. населення) у м. Кривий Ріг за 2000–2010 рр. (12):

$$Y_{11} = 347,6 + 0,003x_1 + 0,0004x_2 - 0,02x_3 + 0,03x_4 + 0,01x_5 + 9,8x_6 + 249,4x_7 - 0,3x_8 + 13,7x_9 + 0,7x_{10} - 20,8x_{11} + 0,9x_{12}, \quad (12)$$

Перевірено значимість побудованих апроксимаційних моделей за F -критерієм із довірчою ймовірністю 95%. Висновок: моделі (2)-(12) є значимими за F -критерієм.

Визначено властивості оцінок параметрів регресії [4]: оцінки параметрів регресії (2)-(12), отримані методом найменших квадратів, є незміщеними, розподіленими нормально, ефективними у класі лінійних незміщених оцінок та спроможними.

За побудованими моделями (2)-(12) можна зробити такі висновки: вільний член регресії статистично значимий в усіх моделях зі знаком «+», що відповідає його економічному змісту – умовно постійному рівню хворих, що не залежить від екологічних факторів. Оцінки параметрів регресії: більшість із них є статистично значимими, що у цілому не впливає на якість моделі. За величиною детермінації всі моделі є змістовними та адекватними процесу. Але для змістовної інтерпретації отриманих оцінок параметрів регресії потрібно врахувати таку залежність: якщо викиди (скиди) речовин, що забруднюють довкілля, будуть рівни-

ми нулю, то розрахований рівень захворювань на туберкульоз, гострий інфаркт міокарду, бронхіальну астму, хвороби систем кровообігу, патологію вагітності перевищуватиме фактичні дані рівня захворюваності за цим видом хвороби. Значення вільного члена – це умовно постійний рівень захворюваності, що не залежить від екологічних умов. Він повинен дорівнювати не менше третини рівня хворих для кожного виду хвороб, але не більше фактичного загального рівня хворих, і бути додатним. Частина оцінок параметрів регресії має знак «-», що не відповідає їх економічному змісту.

Оцінки параметрів лінійних регресійних моделей кількості хворих не повинні бути від'ємними, бо кожен вид забруднення чинить негативний вплив на здоров'я населення Кривого Рогу.

Модель оцінювання параметрів регресії залежності рівня захворюваності населення м. Кривий Ріг від рівня забруднення природного середовища міста, з урахуванням апіорної інформації, має такий вигляд [4]:

$$\alpha' R \alpha - 2 \alpha' X' Y \rightarrow \min, \quad A \alpha \leq B, \quad (13)$$

де матриця $R = X^T X$, $X =$,
$$\begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{T1} & x_{T2} & \dots & x_{Tn} \end{bmatrix}$$

$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_T \end{bmatrix}$ – рівень захворюваності;

вектор $\hat{\alpha} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha}_0 \\ \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_2 \\ \dots \\ \hat{\alpha}_n \end{bmatrix}$ – оцінки параметрів, $\alpha_i^0 \quad i=1, \dots, n; T = 825$ – кількість спостережень, $n=12$,

$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$, розміром $(n+1) \times (n+1)$;

$B = \begin{bmatrix} -0,3Y \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}$ – стовпець обмежень на вільний член розміром $(n+1) \times 1$.

Оцінки параметрів лінійної регресійної моделі залежності рівня захворюваності населення Кривого Рогу від рівня забруднення природного середовища у вигляді $y_t = \alpha_0^0 + \alpha_1^0 x_{t1} + \dots + \alpha_n^0 x_{tn} + \varepsilon_t = x_t \alpha^0 + \varepsilon_t$, де $t = \overline{1, T}$, $T = 825$, при довірчій ймовірності $p \leq 0,05$, з обмеженнями на параметри та вільний член (13) розраховано за допомогою програмного середовища *MathCad 15* (табл. 13).

У лінійній регресійній моделі апроксимації рівня захворюваності населення Кривого Рогу (14) вплив множини факторів неекологічного походження (економічних, соціальних, спадкових, мультикомплексних), що впливають на рівень захворюваності, акумулюється в компоненті ε_t . Для більш точної апроксимації визначено вигляд $\varepsilon_t = \hat{y}_t - y_t$ з використанням авторегресійної нелінійної моделі [5], де виведено залежність ε_t від його попереднього значення. Для апроксимації ε_t використано попереднє значення цієї складової ε_{t-1} , тобто побудовано авторегресійну модель у вигляді $\varepsilon_t = f(\varepsilon_{t-1})$, що представлена в табл. 13.

Таблиця 13
Економіко-математичні моделі з обмеженнями на параметри, що враховують апіорну інформацію, апроксимації рівня захворюваності населення м. Кривий Ріг (на 10 тис. населення)

Вид захворювання	Лінійна регресійна модель з обмеженнями на параметри (осіб на 10 тис. населення)	Коефіцієнт детермінації, R^2
Туберкульоз	$Y_1 = 12,87 + 0,001x_1 + 0,0016x_3 + 0,2x_4 + 0,01x_5 + 0,31x_6 + 12,15x_7 + 0,02x_8 + 0,8x_9 + 0,003x_{10} + 0,09x_{12} + 1,08\varepsilon_{t-1}^{0,87} - 0,5(1 - e^{-0,07\varepsilon_{t-1}}) \sin(0,34\varepsilon_{t-1}^{2,47} - 3,88)$	0,91
Онкологічні захворювання	$Y_2 = 35,95 + 0,033x_1 + 0,024x_3 + 6,9x_4 + 0,4x_5 + 15,3x_6 + 470,1x_7 + 1,8x_8 + 21,7x_9 + 0,5x_{10} + 2,0x_{12} + 0,32\varepsilon_{t-1}^{1,2}$	0,96
Онкологічні патології	$Y_3 = 28,1 + 0,03x_1 + 0,02x_2 + 0,01x_3 + 1,09x_4 + 0,23x_5 + 1,98x_6 + 56,6x_7 + 6,12x_9 + 1,2x_{12} + 1,23\varepsilon_{t-1}^{0,93} + 5,9(1 - e^{-0,04\varepsilon_{t-1}}) \sin(-0,1\varepsilon_{t-1}^{-0,66} - 3,14)$	0,97
Окремі стани, що виникли в перина тальному періоді у дітей віком до 14 років	$Y_4 = 21,27 + 0,02x_1 + 1,64x_4 + 3,3x_6 + 106,3x_7 + 0,56x_8 + 5,05x_9 + 0,2x_{10} + 0,77x_{12} + 0,86\varepsilon_{t-1}^{1,01}$	0,99
Анемія	$Y_5 = 77,47 + 0,002x_1 + 0,004x_2 + 0,002x_3 + 0,5x_4 + 0,05x_5 + 0,75x_6 + 14,08x_7 + 0,15x_8 + 1,3x_9 + 0,1x_{12} - 55,12\varepsilon_{t-1}^{-0,07}$	0,94
Інсульты всі форми	$Y_6 = 0,5 + 0,004x_1 + 0,13x_4 + 0,39x_6 + 20,1x_7 + 0,02x_8 + 0,69x_9 + 0,2x_{12} - 381,0 - 14,9(1 - e^{-0,1\varepsilon_{t-1}}) \sin(1,1\varepsilon_{t-1}^{-0,2} + 4,0)$	0,93
Гострий інфаркт міокарду	$Y_7 = -1,91 + 0,53x_4 + 35,65x_7 + 0,09x_8 + 0,32x_9 + 0,15x_{12} + 1,02\varepsilon_{t-1}^{0,98}$	0,98
Патологія вагітності	$Y_8 = 297,34 + 0,01x_2 + 0,01x_3 + 2,6x_6 + 79,9x_7 + 3,3x_9 + 0,13x_{10} + 0,6x_{12} - 20,1\varepsilon_{t-1}^{-0,1} + 2,9(1 - e^{-0,1\varepsilon_{t-1}}) \sin(0,2\varepsilon_{t-1}^{0,7} + 10,3)$	0,98
Бронхіальна астма	$Y_9 = 52,92 + 0,01x_2 + 0,003x_3 + 0,95x_4 + 1,28x_6 + 37,07x_7 - 0,06x_8 + 1,9x_9 + 0,02x_{10} + 0,3x_{12} - 7,26\varepsilon_{t-1}^{-0,5} + 5,7(1 - e^{-0,24\varepsilon_{t-1}}) \sin(7,5\varepsilon_{t-1}^{-0,24} - 1,3)$	0,98
Бронхіт, екзема та інші загострення хвороб	$Y_{10} = 140,78 + 0,02x_3 + 4,6x_4 + 0,01x_5 + 9,16x_6 + 265,01x_7 + 12,9x_9 + 0,7x_{10} + 0,96x_{12} + 0,07\varepsilon_{t-1}^{1,67} + 0,82(1 - e^{-0,06\varepsilon_{t-1}}) \sin(2,57\varepsilon_{t-1}^{-2,5} + 2,43)$	0,97
Хвороби системи кровообігу	$Y_{11} = 428,77 + 0,01x_1 + 0,01x_3 + 3,8x_4 + 5,6x_6 + 201,94x_7 + 10,49x_9 + 0,65x_{10} + 1,16x_{12} + 0,9\varepsilon_{t-1}^{0,9} + 4,5(1 - e^{-0,07\varepsilon_{t-1}}) \sin(0,2\varepsilon_{t-1}^{0,7} - 2,5)$	0,99

Прогнозні значення на 2011-2012 рр. за кожним видом захворювань, розраховані із використанням економіко-математичних моделей (табл. 13), наведено в табл. 14.

Таблиця 14
Прогнозовані значення рівня захворюваності населення м. Кривий Ріг (на 10 тис. населення) по кожному виду захворювань із використанням економіко-математичних моделей із обмеженнями на параметри

Вид захворювання	Прогнозований рівень захворюваності	
	2011 р.	2012 р.
Туберкульоз, усі форми	34,48	35,47
Онкологічні захворювання	641,03	669,59
Онкологічні патології	216,34	223,32
Окремі стани, які виникли в перинатальному періоді	177,41	183,97
Анемії	62,24	63,63
Інсульты, усі форми	27,50	27,76
Гострий інфаркт міокарду	24,87	25,86
Патологія вагітності й післяпологового періоду	376,13	380,77
Бронхіт, екзема та інші хронічні загострення хвороб	479,37	495,97
Бронхіальна астма	101,58	104,00
Хвороби системи кровообігу	718,60	732,08

Було перевірено прогнозні властивості отриманих моделей. У табл. 15 наведено порівняння прогнозних властивостей економіко-математичних моделей без обмежень на оцінки параметрів (2)-(12) та моделей з обмеженнями на оцінки параметрів і нелінійною апроксимацією складової, що акумулює вплив на захворюваність факторів неекологічного походження, що наведені в табл. 13.

Таблиця 15

Порівняння прогнозних властивостей моделей

Вид захворювання	Помилка прогнозу з урахуванням обмежень, %	
	лінійна модель	лінійна модель із нелінійною апроксимацією шуму
Туберкульоз, усі форми	13	11
Онкологічні захворювання	16	10
Онкологічні патології	13	10
Окремі стани, які виникли в перинатальному періоді	11	8
Анемії	13	7
Інсульт, усі форми	14	9
Гострий інфаркт міокарду	23	11
Патологія вагітності	8	7
Бронхіт, екзема та інші хронічні загострення хвороб	13	11
Бронхіальна астма	14	13
Хвороби системи кровообігу	10	8

Як видно з табл. 15, введення обмежень дозволило зменшити похибку прогнозування рівня захворюваності населення Кривого Рогу при використанні регресійних економіко-математичних моделей із обмеженнями на параметри, що враховують апріорну інформацію, на відміну від прогнозування рівня захворюваності із використанням методів статистичного прогнозування, що базуються на аналізі трендових моделей [6] показників моніторингу стану здоров'я населення за останні 5–10 років. Більшість таких підходів до прогнозування рівня захворюваності зводилася до застосування вбудованих функцій у пакети статистичного аналізу, при цьому відносно мало уваги приділялося інтелектуальному аналізу причинно-наслідкових зв'язків, які виникають у результаті розширення можливостей щодо моделювання цих зв'язків, з появою нових більш потужних інструментів для інформаційної й операційної підтримки аналізу [7].

Висновки. У статті:

1) виведено формули для прогнозування рівня захворюваності населення Кривого Рогу, що захворіло внаслідок несприятливої екологічної ситуації у місті, залежно від видів та концентрації забруднюючих речовин, із використанням регресійних економіко-математичних моделей із обмеженнями на параметри, що враховують апріорну інформацію;

2) використано нелінійну апроксимацію складової, що акумулює вплив на захворюваність факторів неекологічного походження, замість прогнозування із використанням трендових моделей, що дозволило розробити прогноз на 2011–2012 рр. можливих змін показників стану здоров'я населення м. Кривий Ріг унаслідок негативної дії забруднення природного середовища Кривбасу гірничорудними підприємствами. Похибка прогнозування виявилася на 18% меншою, ніж при використанні трендових моделей;

3) представлено моделі, які мають високі апроксимаційні та прогнозні властивості; коефіцієнт детермінації і похибка прогнозу в середньому складають відповідно 0,96 та 10%.

Напрямом подальших досліджень є визначення рівня недофінансування охорони здоров'я населення м. Кривий Ріг та шляхів його покриття.

Література

1. Пістунов І. М. Аналіз захворюваності населення в м. Кривий Ріг, спричиненої екологічними факторами, та розрахунок витрат на лікування / І. М. Пістунов, О. П. Антонюк // Науковий вісник НГУ – Дн. : Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – № 1. – С. 107–112.
2. Пістунов І. М. Складова платежу за забруднення навколишнього природного середовища на витрати на лікування населення Кривого Рогу / І. М. Пістунов, О. П. Антонюк // Науковий вісник НГУ – Дн. : Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – № 4. – С. 126–132.
3. Пістунов І. М. Визначення виду залежності захворюваності населення м. Кривого Рогу від забруднення навколишнього природного середовища / І. М. Пістунов, О. П. Антонюк // Науковий вісник НГУ – Дн. : Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – № 5. – С. 143–148.
4. Корхін А. С. Комп'ютерна статистика : навч. посіб. – Ч. 2: Статистичний аналіз зв'язків між ознаками. Ряди динаміки. Статистичні індекси. Елементи економічної статистики / А. С. Корхін, О. П. Мінакова. – Дн. : Національний гірничий університет, 2009. – 239 с.
5. Пістунов І. М. Прийняття рішень із застосуванням економіко-математичного моделювання : навч. посіб. / І. М. Пістунов. – Дн. : Національний гірничий університет, 2007. – 71 с.
6. Овсянников Ю. А. Прогнозирование и планирование природопользования : учеб. пособ. / Ю. А. Овсянников, Я. Я. Яндыганов ; Федер. агентство по образованию, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2008. – 129 с.
7. Об одном подходе к прогнозированию эпидпроцессов с использованием временных рядов / [В. И. Вьюн, Т. К. Еременко, Г. Е. Кузьменко и др.] // Математичні машини і системи. – 2011. – № 2. – С. 131–136.

Стаття надійшла до редакції 5 січня 2012 року

ІНТЕРНЕТ-ХОЛДІНГ
ІНСТИТУТУ ТРАНСФОРМАЦІЇ СУСПІЛЬСТВА

56 веб-ресурсів

www.SOSKIN.info