

**О. Г. Кукуш,**

доктор фізико-математичних наук, професор,  
професор кафедри,

E-mail: alexander\_kukush@univ.kiev.ua

ResearcherID: I-1313-2018,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4143-8928>;

**А. А. Мелекесцева,**

магістрантка,

E-mail: homtom.alice.2016@gmail.com

ResearcherID: AAA-6162-2022,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1437-5084>;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

**Н. В. Гунько,**

кандидат географічних наук, старший науковий співробітник,  
завідувач лабораторії,

Державна установа "Національний науковий центр радіаційної медицини  
Національної академії медичних наук України",

E-mail: labmeddem@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0112-1376>

## Прогнозування демографічних показників з допомогою сплайнів

Нині демографічна ситуація в Україні характеризується скороченням народжуваності, зростанням смертності, а відтак зменшенням людності та старінням населення, що порушує сприятливий демографічний баланс. На територіях України, які зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, вказані процеси протікають дещо інакше, ніж на інших. Зважаючи на значний вплив надзвичайних ситуацій на перебіг демографічних процесів, доцільно опрацьовувати специфічні для цих процесів методи прогнозування та досліджувати можливість їх використання.

Метою роботи є прогнозування з допомогою кубічних та лінійних неперервних сплайнів імовірних змін демографічних показників (чисельність населення, народжуваність, мертвонароджуваність, смертність, зокрема смертність немовлят) для найбільш радіоактивно забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС районів Житомирської області (Коростенський, Лугинський, Народицький, Овруцький та Олевський) на 2020–2023 рр. та м. Коростень на 2021–2023 рр. Інформаційну базу дослідження становили дані Державної служби статистики України за 1979–2020 рр. та МОЗ України за період пандемії COVID-19.

На першому етапі сплайн-функції використано для прогнозування зазначених показників на 2017–2020 рр. за даними 1979–2016 рр. для м. Коростень. Порівняння отриманих прогнозних значень з фактичними даними уможливило висновок про дієвість сплайнових моделей спостережень для короткотермінового прогнозування смертності, народжуваності та чисельності населення. Причому для чисельності населення найбільш адекватні прогнози дають кубічні сплайни, а для народжуваності та смертності – лінійні неперервні сплайни.

Прогнози народжуваності та смертності на 2017–2020 рр. є доволі оптимістичними. Водночас в умовах пандемії виявлено негативні відхилення прогнозованих показників чисельності населення, народжуваності та смертності: фактичні значення усіх трьох показників за 2020 р. виходять за межі прогнозної довірчої смуги, що не спостерігалось у 2017–2019 рр. Значно гірші за прогнозовані фактичні показники за 2020 р. швидше за все зумовлені впливом непередбачуваного фактора – пандемії COVID-19. Для м. Коростень оцінено надлишкову смертність через COVID-19 у 2020 р.

На другому етапі спрогнозовано ймовірні зміни чисельності населення, народжуваності й смертності на період 2021–2023 рр. для зазначених територій. На основі прогнозів побудовано 95% довірчу смугу та довірчі інтервали. Визначено, що тенденції останніх років щодо змін демографічних показників на радіоактивно забруднених територіях продовжуватимуться у короткостроковій перспективі. Показано неможливість спрогнозувати динаміку щорічних показників смертності немовлят та мертвонароджуваності через значні коливання їх значень, тому доцільно використовувати усереднені дані за п'ятирічні періоди. Побудовано прогноз на п'ятирічні періоди, для яких наразі невідомі фактичні дані. Також зазна-

чено, що для показників, які прогноуються лінійними неперервними сплайнами, фактичні дані можуть виявитися далекими від прогнозованих через наявність точок розвороту тенденції, в яких зростання раптово змінюється спаданням чи навпаки. Такі точки неможливо спрогнозувати методами екстраполяції спостережуваних тенденцій на майбутнє, тому слід шукати інші методи для їх передбачення.

У подальшому планується дослідити інші методи прогнозування для досягнення більшої точності результатів, а також урахувати під час побудови прогнозів економічні показники.

**Ключові слова:** демографічні показники, чисельність населення, прогнозування, пандемія COVID-19, кубічні сплайни, лінійні неперервні сплайни.

**Вступ.** Сучасні інтернет-ресурси у режимі реального часу дозволяють побачити зміни основних демографічних показників населення та імовірний напрям розвитку процесів у майбутньому для багатьох країн світу [1]. Але ці відомості є лише оціночними, а практична значущість наукових демографічних прогнозів полягає в тому, що вони стають підґрунтям для розроблення рекомендацій органам державного управління щодо необхідності вжиття заходів зі стабілізації або поліпшення існуючої демографічної ситуації [2].

Протягом останніх десятиліть в Україні спостерігається негативна динаміка основних демографічних показників, що відображає зменшення людності та старіння населення, а отже, порушення сприятливого демографічного балансу [3]. На територіях, які постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, демографічні процеси мають певні особливості [4], тому доцільно створювати специфічні методи їх прогнозування та досліджувати можливості використання таких методів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В Україні проблеми прогнозування демографічних явищ і процесів не є новими [5]. У системі органів державної статистики та в академічних наукових школах напрацьований чималий досвід застосування методів демографічного моделювання. Зокрема, в останні 10–20 років прогнозуванням демо процесів на державному рівні займалися С. Пирожков, Е. Лібанова, П. Шевчук та ін. [3; 6; 7], а на регіональному рівні – представники різних наукових шкіл [8–11]. Зазвичай фахівці здійснюють прогнози за трьома варіантами (сценаріями): песимістичним, середнім та оптимістичним. Середній варіант відповідає найвірогіднішому стану, а песимістичний та оптимістичний задають нижню й верхню межі динаміки демографічних показників. Демографічний прогноз вважається точним, якщо його помилка становить не більше 5%.

Відаючи належне науковому доробку вітчизняних і зарубіжних учених, слід зауважити, що основну увагу у своїх дослідженнях вони приділяли оцінюванню змін демографічних показників за умов стабільності у суспільстві. Але в історичному аспекті існує безліч відомостей про природні та техногенні катастрофи, військові та політичні конфлікти, які спричиняли зміни у суспільному житті та впливали на демографічні показники населення у різних частинах Землі. Яскравим прикладом впли-

ву на демографічні зміни у популяціях є аварії на АЕС в Україні та Японії [12].

Попередні дослідження довели, що на тлі стало-го скорочення чисельності населення радіоактивно забруднених територій України внаслідок як екологічної міграції (евакуації та організованого переселення мешканців) [13], так і природного убутку [14] існує регіональна диференціація демографічної ситуації та показників стану здоров'я [15]. Тому прогнозування тенденцій розвитку демографічних процесів за умови впливу на їх перебіг аварії на ЧАЕС набуває особливої актуальності.

Метою роботи обрано прогнозування сплайн-функціями ймовірних змін демографічних показників (чисельність населення, народжуваність, смертність, смертність немовлят і мертвороджуваність) для найбільш радіоактивно забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС районів Житомирської області (Коростенський, Лугинський, Народицький, Овруцький та Олевський) на 2020–2023 рр. та м. Коростень на 2021–2023 рр.

**Матеріали та методи дослідження.** Інформаційною базою дослідження є архівні та поточні матеріали Державної служби статистики України (раніше – Державного комітету статистики України, Міністерства статистики України, Центрального статистичного управління Української РСР тощо) 1979–2020 рр. щодо чисельності населення, народжуваності, смертності, мертвороджуваності та смертності немовлят (статистична форма “Загальні підсумки природного руху населення”). Також використані дані МОЗ України [16] щодо смертності через COVID-19. Обрахунки проводилися на основі програми MATLAB версії R2017b [17].

Для прогнозування використано сплайнову модель спостережень [18]:

$$y_i = s(t_i) + \sigma \varepsilon_i, \quad i = 0, 1, \dots, n,$$

де  $t_0 < t_1 < \dots < t_n$  – відомі моменти часу (роки спостережень);  $\{y_i\}$  – спостережувані випадкові величини (чисельність населення, народжуваність, смертність тощо);  $s$  – невідома функція регресії, яку потрібно оцінити. Це деякий сплайн, причому його вузли  $\tau_i$  вважаються відомими:  $\Delta' = \{\tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_p\}$ ,  $p$  – кількість вузлів;  $\{\varepsilon_i\}$  – нормовані похибки, незалежні випадкові величини з нульовим математичним сподіванням ( $E\varepsilon_i = 0$ ) і одиничною дисперсією ( $D\varepsilon_i = 1$ );  $\sigma$  – невідоме стандартне відхилення похибки спостережень. За-

значимо, що  $n + 1$  – кількість років спостережень; для м. Коростень їх 42 (від 1979 р. до 2020 р.), для районів – 41 (від 1979 р. до 2019 р.).

У 1979, 1989 та 2001 роках проводилися переписи населення, тож дані за ці роки можна вважати точними. Щоб врахувати цей факт, змінено сплайнову модель спостережень: у роки і переписів виконується рівність  $y_i = s(t_i)$ , тобто немає похибок, а в інші роки похибка наявна.

Для прогнозування обираємо сплайн (кубічний або лінійний неперервний залежно від досліджуваного демографічного показника), який найповніше описує дані за минулі роки, і припускаємо, що він достатньо добре передбачить майбутню динаміку цього показника. Тобто шукаємо так званий апроксимуючий сплайн  $f$ , на якому досягається мінімум функціонала  $Q(f) = \sum_{i=0}^n (y_i - f(t_i))^2$  серед усіх кубічних або лінійних неперервних сплайнів із фіксованою сіткою вузлів  $\Delta'$ . У сплайновій моделі спостережень припускається, що вузли сплайна відомі. На практиці їх потрібно обрати експертам. Для цього перебираються різні сітки вузлів (від чотирьох до восьми). Оптимальну кількість вузлів у розбитті  $\Delta'$  слід обрати так, щоб їх було не надто багато і щоб побудовані сплайни досить добре описували динаміку демографічних показників. За фіксованої кількості вузлів найкращим вважали таке їх положення, при якому досягалося найменше значення функціонала  $Q(f)$ . У результаті для різних демографічних показників різних територій було обрано сплайни, що мають від п'яти до восьми вузлів.

Аналіз побудованих графіків  $C^2$ -гладких (тобто таких, що мають неперервну другу похідну) кубічних і лінійних неперервних сплайнів засвідчив, що кубічні сплайни краще вловлюють тенденцію зміни чисельності населення, а лінійні неперервні – тенденцію зміни народжуваності та смертності. Че-

рез це було вирішено користуватися двома видами сплайнів для прогнозування різних показників.

На прогноз найбільше впливає поведінка сплайна наприкінці досліджуваного періоду. З цих міркувань для побудованих сплайнів перевірено, чи потрібен останній внутрішній вузол, тобто перевірено гіпотезу про відсутність структурної перебудови сплайна у цьому вузлі [14]. Виявилося, що в усіх побудованих сплайнах згаданий вузол важливий і відкинути його не можна.

Для отриманих прогнозів побудовано довірчі інтервали й довірчі смуги [20]. Щоб їх побудувати, припустили, що нормовані похибки  $\{\varepsilon_i\}$  мають стандартний нормальний розподіл. Це припущення перевірено за допомогою  $QQ$ -діаграми та зроблено висновок, що його слід прийняти, адже точки лежать приблизно на одній прямій. Довірчі смуги будували за методом Шеффе: шукали смугу, в яку з імовірністю, не меншою за  $1-\alpha$ , потрапить істинне значення  $s(t)$  одночасно при всіх  $t \in [\tau_0, \tau_p]$ . Виявлено, що показники смертності немовлят і мертвонароджуваність сильно змінюються щороку, тому для них неможливо вловити тенденцію. Тож замість щорічних даних вирішено розглядати середні значення цих показників за послідовні п'ять років. Це дало можливість помітити певну тенденцію, зробити прогноз за допомогою лінійних неперервних сплайнів і побудувати довірчі інтервали й довірчі смуги.

**Основні результати дослідження.** З метою перевірити дієвість розробленого методу спрогнозовано ймовірні зміни демографічних показників на 2017–2020 рр. для м. Коростень за даними 1979–2016 рр. Отримані прогнозні значення порівняно з фактичними даними і зроблено висновок, що прогнози є доволі точними, тож цей метод може застосовуватися для прогнозування (табл. 1).

Таблиця 1

**Фактичні та прогнозні значення чисельності населення і народжуваності, м. Коростень, 2017–2020 рр.**

Рік	Чисельність населення, тис. осіб			Народжуваність, ‰		
	прогноз	довірчий інтервал	фактичні дані	прогноз	довірчий інтервал	фактичні дані
2017	64,38	[63,98; 64,78]	63,89	9,0	[8,3; 9,7]	8,3
2018	63,94	[63,49; 64,38]	63,41	8,4	[7,9; 9,4]	7,6
2019	63,39	[62,89; 63,88]	63,07	8,3	[7,5; 9,1]	7,2
2020	62,72	[62,17; 63,26]	62,56	7,9	[7,1; 8,7]	6,2

Виявлено, що прогнозовані на 2020 р. показники чисельності населення, народжуваності та смертності виходять за межі прогнозної довірчої смуги, хоча у 2017–2019 рр. перебувають у її межах. Прогнози народжуваності та смертності на 2017–2020 рр. вийшли дещо оптимістичними. Реальні показники за 2020 р. є значно гіршими за прогнозовані; вважаємо, що швидше за все, це зумовлено впливом непередбачуваного фактора –

пандемії COVID-19, яка значно вплинула насамперед на показник смертності.

Проаналізовано відхилення прогнозу для м. Коростень від дійсних показників. Встановлено, що відповідно до тенденцій смертності упродовж 1979–2019 рр. прогнозні показники на 2020 р. мали бути у межах від 14,4‰ до 17,1‰ з імовірністю 95%. Але справжній показник смертності у 2020 р. виявився вищим: 18,0‰, з яких 0,8‰ складає смертність від COVID-19 та 17,2‰ – смерт-

ність з інших причин. Отже, реальна смертність не від коронавірусу перевищує верхню межу довірчого інтервалу для прогнозу на 0,1%.

З огляду на поточні дані за 1979–2020 рр. спрогнозовано ймовірні зміни чисельності населення, народжуваності та смертності на найближчі три роки для м. Коростень. Для досліджуваних районів обчислено прогноз на найближчі чотири роки на основі поточних даних за 1979–2019 рр.

*Чисельність населення.* На усіх досліджуваних територіях спостерігається довгострокова тенденція зменшення людності (рис. 1). Майже в усіх районах цей спад є рівномірним упродовж періоду, що розглядається; винятком є лише Народицький район, де відбувся різкий спад чисельності населення на початку 1990-х рр. через обов'язкове переселення мешканців. У м. Коростень помітні значні коливання показника у період до 2000 р., після чого він стабільно і доволі швидко спадає.

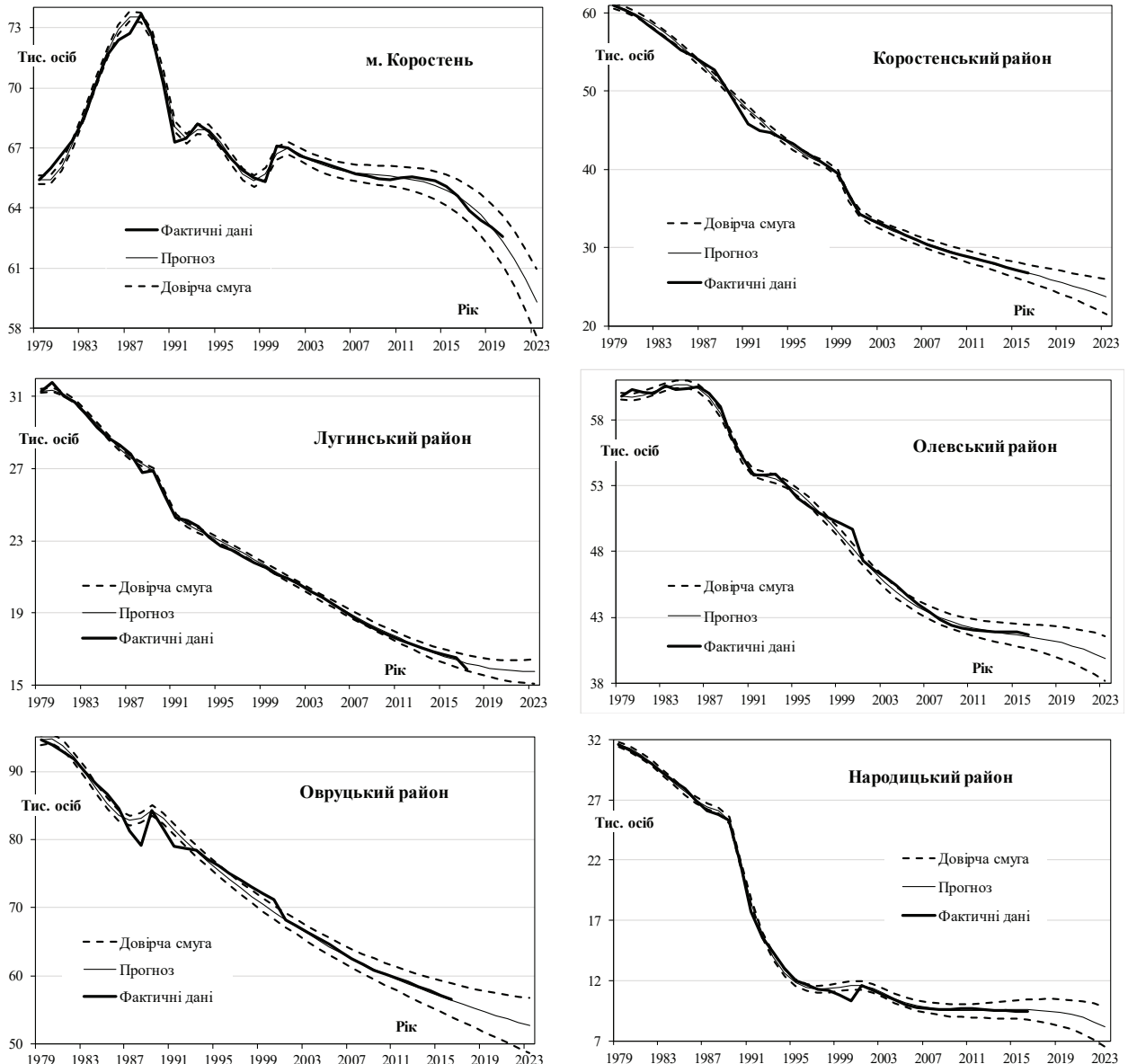


Рис. 1. Динаміка чисельності населення у 1979–2019 рр., прогноз на 2020–2023 рр.

На основі статистичних даних підібрано кубічні  $S^2$ -гладкі сплайни для прогнозування чисельності населення на наступні три роки для м. Коростень та на чотири роки для районів дослідження. Результати свідчать, що лише у Лугинському районі прогнозується стабілізація показника, тоді як в усіх інших районах передбачається

його подальший спад. Зокрема, у м. Коростень чисельність населення спадає, починаючи з 2013 р. (від 65,48 тис. осіб до 62,56 тис. осіб у 2020 р.), тому прогнозується стрімке її зменшення і в майбутньому.

*Народжуваність.* Тенденції зміни народжуваності мають схожі риси на усіх досліджуваних те-

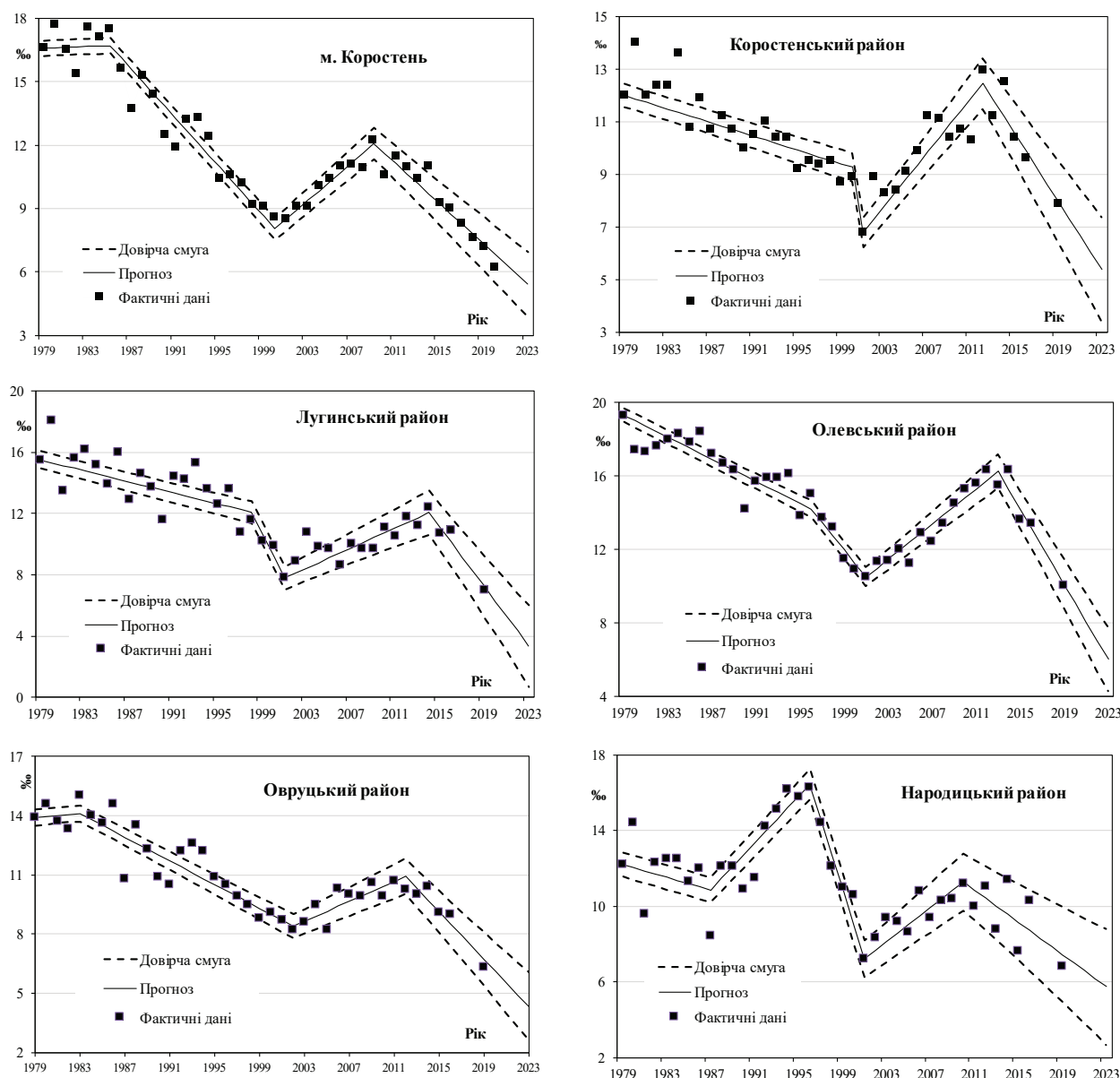


Рис. 2. Динаміка народжуваності населення у 1979–2019 рр., прогноз на 2020–2023 рр.

риторіях (рис. 2). Від початку періоду дослідження до 2000 р. помітний спад цього показника, за винятком Народицького району, де у 1988–1995 рр. відбулося стрімке зростання народжуваності, яке змінилося ще більш значним спадом у подальший період. Починаючи з 2001 року, цей показник змінювався однаково на усіх територіях: зростав до 2010 р., після чого скоротився до найнижчого наразі наявного значення (у 2019 р.).

У майбутньому прогнозується продовження негативних тенденцій. Але в історії розвитку цього показника, так само як і в розвитку показників мертвонароджуваності та смертності (зокрема смертності немовлят), була не одна точка перегину, коли спад раптово змінювався зростанням і навпаки. Імовірно, скоро настане черговий момент розвороту тенденції. Це неможливо спрогнозувати за допомогою лінійних неперервних сплайнів,

які використовувались у дослідженні, та й іншими методами таке явище складно передбачити.

**Смертність.** Динаміка цього показника для різних районів подібна лише на початку періоду, а наприкінці вона суттєво відрізняється, що спричиняє різні прогнози (рис. 3). До 1990 р. в усіх районах помітне спочатку повільне, а потім пришвидшене зростання смертності до 2005 р., коли вона досягла своїх найвищих значень – від 18% у м. Коростень до 30% у Народицькому районі. Далі смертність пішла на спад. У деяких районах (Коростенський, Олевський, Народицький) цей спад виявився досить стрімким і продовжується до теперішнього часу. У Лугинському районі цей показник також продовжує спадати, але не такими швидкими темпами. В Овруцькому районі після нетривалого спаду показник смертності стабілізувався на рівні 20%, а у м. Коростень знову почав зростати і досяг свого максимального значення 18% у 2020 р.



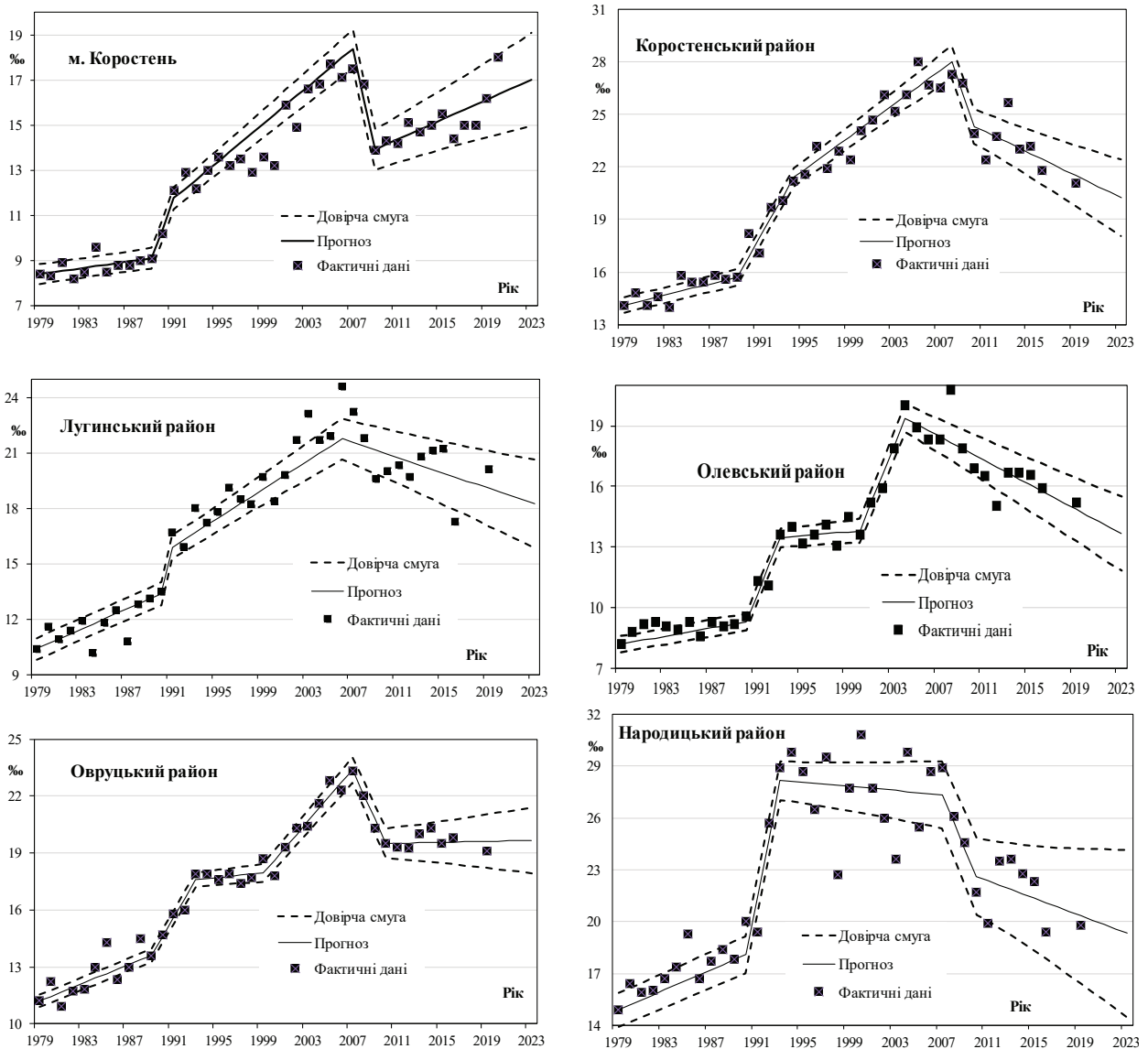


Рис. 3. Динаміка смертності населення у 1979–2019 рр., прогноз на 2020–2023 рр.

Прогнози показують, що тенденції останніх років продовжуватимуться у короткостроковій перспективі. Для показника смертності в районах ці тенденції є позитивними: в Овруцькому районі згаданий показник має стабілізуватися, в інших районах прогнозується його зменшення. У м. Коростень ситуація гірша: там передбачається доволі швидке зростання смертності.

*Смертність немовлят і мертвонароджуваність.* Для показників смертності немовлят і мертвонароджуваності не вдалося вловити тенденцію, оскільки щороку вони сильно змінюються. Тому вирішено розглядати усереднені значення цих показників за послідовні п'ять років. Для таких середніх можна помітити тенденцію, хоча і зі значними коливаннями навколо

неї. Для прикладу на рис. 4 наведено щорічні та усереднені показники по Лугинському району за 1979–2016 рр.

Такі фактичні значення для усереднених можна розрахувати до періоду 2012–2016 рр. включно, оскільки щорічні дані є по 2016 р. Для декількох наступних п'ятирічних періодів (2013–2017, 2014–2018, 2015–2019, 2016–2020, 2017–2021 рр.) спрогнозовано усереднені значення, побудовано довірчі інтервали та довірчі області. У табл. 2 для прикладу представлено результати для м. Коростень, які свідчать, що смертність немовлят залишатиметься на одному рівні, а мертвонароджуваність буде зменшуватись. Отже, у м. Коростень ці показники змінюються в позитивному напрямі.

## ДЕМОГРАФІЧНА СТАТИСТИКА

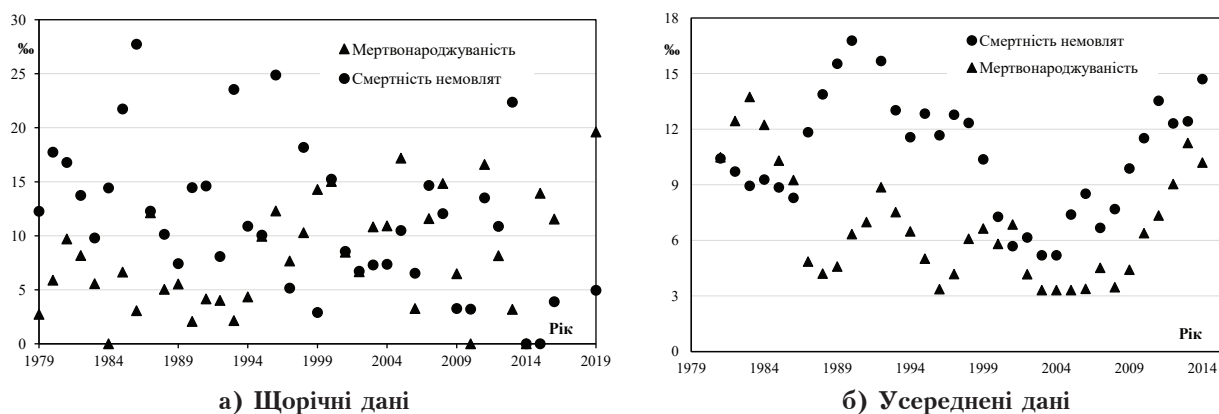


Рис. 4. Щорічні (а) й усереднені (б) показники мертвороджуваності та смертності немовлят, Лугинський район, 1979–2016 рр.

Таблиця 2

Прогнози середніх значень смертності немовлят і мертвороджуваності на 2013-2017 – 2017-2021 рр., м. Коростень

Період, роки	Смертність немовлят		Мертвороджуваність	
	прогноз	довірчий інтервал	прогноз	довірчий інтервал
2013–2017	9,5	[8,6; 10,4]	5,9	[5,3; 6,4]
2014–2018	9,5	[8,6; 10,4]	5,5	[4,9; 6,1]
2015–2019	9,5	[8,5; 10,4]	5,2	[4,6; 5,8]
2016–2020	9,5	[8,5; 10,5]	4,8	[4,2; 5,4]
2017–2021	9,5	[8,4; 10,5]	4,5	[3,8; 5,1]

(%)

В Олевському районі прогнозується спадання досліджуваних показників. Непогана ситуація і в Коростенському районі, де мертвороджуваність швидко зменшуватиметься, однак смертність немовлят зростатиме, хоча і дуже повільно. У решті

районів передбачається негативна тенденція зміни мертвороджуваності та смертності: в Овруцькому, Народицькому і Лугинському (рис. 5) районах обидва показники доволі швидко зростатимуть.

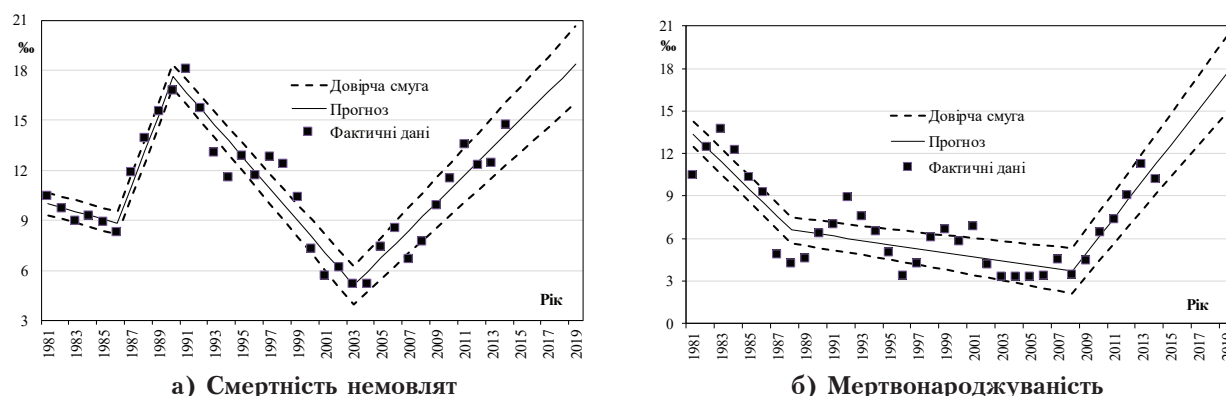


Рис. 5. Динаміка усереднених показників смертності немовлят (а) та мертвороджуваності (б) за періоди з 1979–1983 рр. по 2012–2016 рр., прогноз на наступні п'ятирічні періоди (2013–2017 рр. – 2017–2021 рр.), Лугинський район

**Висновки.** Прогнози показують, що тенденції останніх років щодо змін демографічних показників на найбільш радіоактивно забруднених територіях Житомирської області продовжуватимуться у короткостроковій перспективі. За умови пандемії виявлено відхил прогнозування показників чисельності населення, народжуваності та смертності: реальні значення усіх трьох показників за 2020 р. виходять за межі прогнозованої довірчої смуги, перебуваючи у 2017–2019 рр. у межах цієї смуги. Прогнози наро-

джуваності та смертності на 2017–2020 рр. вийшли доволі оптимістичними, справжні ж показники за 2020 р. є значно гіршими за прогнозовані; скоріш за все, це зумовлено впливом непередбачуваного фактора – пандемії COVID-19.

Використання слайдових моделей спостережень для короткотермінового прогнозування смертності, народжуваності та чисельності населення є дієвим. Для чисельності населення найбільш адекватні прогнози дають кубічні слайди, а для прогно-

зу народжуваності та смертності – лінійні неперервні сплайни.

Показано, що за щорічними показниками майбутню динаміку смертності немовлят та мертвонароджуваності неможливо спрогнозувати через значні коливання їх значень, тому доцільно використовувати усереднені дані за п'ятирічні періоди. Помічено, що для показників, які прогноуються лінійними неперервними сплайнами, фактичні дані можуть вияви-

тися далекими від прогнозованих через наявність точок розвороту тенденції, в яких зростання раптово змінюється спаданням чи навпаки. Такі точки зміни спостережуваних тенденцій неможливо спрогнозувати методами екстраполяції останніх, тому слід шукати інші методи для їх передбачення.

У подальшому для досягнення більшої точності прогнозів планується дослідити інші методи прогнозування, а також урахувати економічні показники.

#### Список використаних джерел

1. Population of the world and countries. Countrymeters. URL: <https://countrymeters.info> (дата звернення: 22.01.2021).
2. Словник основних демографічних термінів. 2016. URL: [https://stud.com.ua/44130/sotsiologiya/slovník\\_ósnovnih\\_demografichnih\\_terminiv](https://stud.com.ua/44130/sotsiologiya/slovník_ósnovnih_demografichnih_terminiv) (дата звернення: 21.09.2020).
3. Населення України. Демографічні тенденції в Україні у 2002–2019 рр.: кол. моногр. / за ред. О. М. Гладуна; НАН України, Ін-т демографії та соціальн. досліджень ім. М. В. Птухи. Київ, 2020. 174 с. <https://www.idss.org.ua/arhiv/population.pdf>
4. Вплив комплексу факторів Чорнобильської катастрофи на здоров'я населення / Гунько Н. В. та ін. Тридцять п'ять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки, стратегії захисту та відродження: нац. доповідь України. Розділ 4. Київ, 2021. С. 178–201. URL: [https://drive.google.com/file/d/1airZj4IOoX\\_bv1cisKi2pXRM1fFmdqQT/view](https://drive.google.com/file/d/1airZj4IOoX_bv1cisKi2pXRM1fFmdqQT/view)
5. Людський розвиток регіонів України: аналіз та прогноз: кол. моногр. / за ред. Е. М. Лібанової; Ін-т демографії та соціальн. досліджень, НАН України. Київ, 2007. 367 с. URL: [https://idss.org.ua/monografii/rozvitok\\_regioniv.pdf](https://idss.org.ua/monografii/rozvitok_regioniv.pdf)
6. Комплексний демографічний прогноз України на період до 2050 р. / за ред. Е. М. Лібанової. Київ: Український центр соціальних реформ, 2006. 138 с. URL: <http://idss.org.ua/monografii/Prognoz%20Ukrain.pdf>
7. Баб'як Г., Сабатюк О. Формування трудового потенціалу Тернопільської області: демографічні аспекти. *Регіональні аспекти розвитку і розміщення продуктивних сил України*: зб. наук. праць. 2011. № 16. С. 43–49. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/garpsu\\_2011\\_16\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/garpsu_2011_16_10)
8. Бараняк І. Є. Прогнозна оцінка демографічного розвитку в Закарпатській області. *Науковий вісник Ужгородського ун-ту: Серія "Економіка"*. 2013. Вип. 3 (40). С. 171–176.
9. Сегіда К. Геодемографічний прогноз Харківської області (за допомогою методу екстраполяції). *Вісник Харківського нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна: Серія "Геологія. Географія. Екологія"*. 2015. № 43. С. 164–173. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoco/article/view/5761>
10. Демографічний прогноз для Дніпропетровська. 2013. URL: <https://dniprorada.gov.ua/uk/articles/item/9510/demografichnij-prognoz-dlja-dnipropetrovska>
11. Стратегія розвитку Львівської області на період до 2027 року. Проект. 2014. URL: [http://loda.gov.ua/upload/users\\_files/22/upload/Strategy-LV-OBL.pdf](http://loda.gov.ua/upload/users_files/22/upload/Strategy-LV-OBL.pdf)
12. Health Effects of Chernobyl and Fukushima: 30 and 5 years down the line / N. Omelianets et al. Commissioned by Greenpeace. Brussels, March 2016. 98 p. URL: <https://nrcrm.gov.ua/downloads/report.pdf>
13. Гунько Н. В. Оцінка ефективності організованого переселення в Україні жителів із зони безумовного (обов'язкового) відселення як заходу протирадіаційного захисту населення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 174–184.
14. Омелянець Н., Гунько Н., Дубовая Н. Демографические потери Украины от Чернобыльской катастрофы. Радиационным авариям стоп. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2015. 193 с. URL: [https://nrcrm.gov.ua/downloads/monograph2\\_ukr.pdf](https://nrcrm.gov.ua/downloads/monograph2_ukr.pdf)
15. Гунько Н. В., Короткова Н. В. Интегральне оцінювання демографічного стану радіоактивно забруднених територій України. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2020. Вип. 25. С. 164–179.
16. Моніторинг ситуації із кількістю госпіталізованих осіб з підозрою та підтвердженими випадками захворювання на COVID-19 в Україні. Національна служба здоров'я України. URL: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjI3YmNkMzAtNDMyYy00ZTEhLThhMTYtYzZMOTJlYzIzNDhmIiwidCI6IjI4OGJmYmNmLTVhYjItNDk2MS04YTM5LTg2MDYxYWVhYzY2Q4NiIsImMiOjI9>
17. MATLABR2017b. URL: <https://www.mathworks.com/help/slcoverage/release-notes-R2017b.html> (дата звернення: 27.01.2021).



18. Кукуш А. Г. Кубические одномерные сплайны в статистике: метод. рекомендации для студентов механико-математического факультета. Киев: КГУ, 1991. 60 с.
19. Майборода Р. Є. Регресія: лінійні моделі. Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2007. 291 с. URL: <http://probability.univ.kiev.ua/userfiles/mre/ora0.pdf>
20. Seber G. A. F. *Linear Regression Analysis*. New York: John Wiley and Sons, 1977. 465 p.

### References

1. Population of the world and countries. *Countrymeters*. Retrieved January 01, 2021 from <https://countrymeters.info>
2. Slovník osnovných demografických terminiv [Vocabulary of main demographic terms]. (2016). *stud.com.ua*. Retrieved January 01, 2021 from [https://stud.com.ua/44130/sotsiologiya/slovník\\_osnovnih\\_demografichnih\\_terminiv](https://stud.com.ua/44130/sotsiologiya/slovník_osnovnih_demografichnih_terminiv) (in Ukrainian).
3. Gladun, O. M. (Ed.). (2020). *Naseleniia Ukrainy. Demografichni tendentsii v Ukraini u 2002–2019 rr. [The Population of Ukraine. Demographic trends in Ukraine in 2002–2019]*. Kyiv: NAN Ukrainy, Institut Demografii i Sotsialnykh Doslidzhen imeni M. V. Ptukhy. Retrieved from <https://www.idss.org.ua/arhiv/population.pdf> (in Ukrainian).
4. Gunko, N. V., Korotkova, N. V., Masiuk, S. V., Omelianets, M. I. (2021). The impact of the complex of factors of the Chernobyl disaster on the population's health. *Thirty-five years after the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences, strategies of protection and revival*. National Report of Ukraine. Part 4. (178–201). Kyiv. Retrieved from [https://drive.google.com/file/d/1airZj4IOoX\\_bv1cisKi2pXRM1fFmdqQT/view](https://drive.google.com/file/d/1airZj4IOoX_bv1cisKi2pXRM1fFmdqQT/view) (in Ukrainian).
5. Libanova, E. M. (Ed.). (2007). *Liudskiyi rozvytok rehioniv Ukrainy: analiz ta prohnoz [People's development of Ukrainian regions: analysis and forecast]*. Kyiv: (in Ukrainian).
6. Libanova, E. M. (Ed.). (2006). *Kompleksnyi demografichniy prohnoz Ukrainy na period do 2050 r. [Complex demographic forecast of Ukraine for the period till 2050]*. Kyiv: Ukrainskyi tsentr sotsialnykh reform. Retrieved from <http://idss.org.ua/monografii/Prohnoz%20Ukrain.pdf> (in Ukrainian).
7. Babiak, H., & Sabatiuk, O. (2011). Formuvannia trudovoho potentsialu Ternopilskoi oblasti: demografichni aspekty [Developing the labor potential of Ternopil oblast: demographic aspects]. *Rehionalni aspekty rozvytku i rozmishchennia produktyvnykh syl Ukrainy – Regional aspects of Ukrainian workforce development and placement*, 16, 43–49. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rarpsu\\_2011\\_16\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rarpsu_2011_16_10) (in Ukrainian).
8. Baraniak, I. Ye. (2013). Prohnozna otsinka demografichnoho rozvytku v Zakarpatskii oblasti. [Forecast estimate of demographic development of Zakarpatska oblast]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya “Ekonomika” – Scientific bulletin of Uzhhorod University. Series “Economics”, 3 (40)*, 171–176. (in Ukrainian).
9. Sehida, K. (2015). Heodemografichniy prohnoz Kharkivskoi oblasti (za dopomohoiu metodu ekstrapoliatsii) [Geodemographic forecast of Kharkiv region (using the extrapolation method)]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V. N. Karazina. Seriya “Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia” – Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series “Geology. Geography. Ecology”, 43*, 164–173. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/5761> (in Ukrainian).
10. Demografichniy prohnoz dlia Dnipropetrovska [Demographic forecast for Dnipropetrovsk]. (2013). *dniprorada.gov.ua*. Retrieved from <https://dniprorada.gov.ua/uk/articles/item/9510/demografichnij-prohnoz-dlja-dnipropetrovska> (in Ukrainian).
11. Stratehiia rozvytku Lvivskoi oblasti na period do 2027 roku. Proekt. [Development strategy of Lviv Oblast till 2027. Project]. (2014). *loda.gov.ua*. Retrieved from [https://loda.gov.ua/upload/users\\_files/22/upload/Strategy-LV-OBL.pdf](https://loda.gov.ua/upload/users_files/22/upload/Strategy-LV-OBL.pdf) (in Ukrainian).
12. Omelianets, N., Bazyka, D., Igumnov, S., Loganovsky, K., Prysyzhnyuk, A., & Stepanova, E. et al. (2016). *The health impacts of Chernobyl and Fukushima 30 and 5 Years Later Commissioned by Greenpeace*. Brussels. Retrieved from <https://nrcrm.gov.ua/downloads/report.pdf>
13. Gunko, N. V. (2015). Otsinka efektyvnosti orhanizovanoho pereseleння v Ukraini zhyteliv iz zony bezumovnoho (oboviazkovoho) vidseleння yak zakhodu protyradiatsiinoho zakhystu naselennia [The estimate of efficiency of organised relocation of inhabitants from the zone of unconditional (obligatory) resettlement as a protective measure of the population against radiation in Ukraine]. *Problemy radiatsiinoi medytsyny ta radiobiologii – Problems of radiation medicine and radiobiology*, 20, 174–184 (in Ukrainian).
14. Omelianets, N., Hunko, N., & Dubovaya, N. (2015). *Demograficheskie poteri Ukrainy ot Chernobylskoy katastrofy. Radiatsionnym avariyam stop [Demographic loss of Ukraine caused by the Chernobyl disaster. Stop radiation accidents]*. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing. Retrieved from [https://nrcrm.gov.ua/downloads/monograph2\\_ukr.pdf](https://nrcrm.gov.ua/downloads/monograph2_ukr.pdf) (in Russian).

15. Gunko, N. V., & Korotkova, N. V. (2020). Integralne otsiniuvannia demografichnoho stanu radioaktyvno zabrudnenykh terytorii Ukrayiny [Integral estimation of demographic condition of the radioactively contaminated territory of Ukraine]. *Problemy radiatsiinoi medytsyny ta radiobiologii – Problems of radiation medicine and radiobiology*, 25, 164–179. (in Ukrainian).
16. Monitoring of situation on the number of hospitalized persons with suspicion and confirmed cases of COVID-19 disease in Ukraine. National Health Service of Ukraine. *app.powerbi.com*. Retrieved January 27, 2021 from <http://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMjI3YmNkMzAtNDMyYy00ZTEwLThhMTYtYzMiOTJlYzIzNDhmIiwidCI6IjI4OGJmYmNmLTVhYjItNDk2MS04YTM5LTg2MDYxYWYyQ4NiIsImMiOiJl9> (in Ukrainian).
17. MATLAB R2017b. *www.mathworks.com*. Retrieved January 27, 2021 from <https://www.mathworks.com/help/slcoverage/release-notes-R2017b.html>
18. Kukush, A. G. (1991). *Kubicheskie odnomernye splayny v statistike. Metodicheskie rekomendatsii dlya studentov mekhaniko-matematicheskogo fakulteta [Cubic Univariate Splines in Statistics. Methodical recommendations for students of Faculty of Mechanics and Mathematics]*. Kyiv: KGU. Retrieved from <http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/03/Method.pdf> (in Russian).
19. Maiboroda, R. Ye. (2007). *Rehresia: Liniini modeli [Regression: Linear Models]*. Kyiv: VPTs “Kyivskyi Universytet”. Retrieved from <http://probability.univ.kiev.ua/userfiles/mre/ora0.pdf> (in Ukrainian).
20. Seber, G. A. F. (1977). *Linear Regression Analysis*. New York: John Wiley and Sons, 1977.

**A. G. Kukush,**

*DSc in Physics and Mathematics,*

*Professor of Department,*

*E-mail: alexander\_kukush@univ.kiev.ua*

*Researcher ID: I-1313-2018,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4143-8928>;*

**A. A. Melekestseva,**

*Master's student,*

*E-mail: homtom.alice.2016@gmail.com*

*ResearcherID: AAA-6162-2022,*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1437-5084>;*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv;*

**N. V. Gunko,**

*PhD in Geography, Senior researcher,*

*Head of the laboratory,*

*State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of*

*National Academy of Medical Sciences of Ukraine”,*

*E-mail: labmeddem@ukr.net*

*ORCID: 0000-0003-0112-1376*

## **Predicting Demographic Indicators by Splines**

The current demographic pattern in Ukraine features the decreasing birth rate and the increasing mortality, resulting in ageing and decline of the population, which breaks the favourable demographic balance. At the Ukrainian territories affected by radioactive contamination because of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, these processes differ from those on other territories. Given the considerable impact of emergency situations on the course of demographic processes, developing and testing prediction techniques specifically designed for those territories has essential importance.

The purpose of this work is to forecast changes in demographic indicators (population number, birth rate, mortality, infant mortality and stillbirth) by spline functions, for the areas with the heaviest radioactive contamination after the Chernobyl disaster, which are located in Zhytomyr region (Korosten, Luhyno, Narodychy, Ovruch and Olevsk), for 2020–2023, and the town of Korosten for 2021–2023. The data sources for the research were State Statistic Service of Ukraine for 1979–2020, and the Ministry of Health of Ukraine for the period of the COVID-19 pandemic.

At the first phase, spline functions were used to forecast the abovementioned indicators in 2017–2020 by data for 1979–2016 for the town of Korosten. A comparison of the resulting forecast with the actual data led to the conclusion that that spline models of observations could be an effective tool for short-term forecasting of population number, birth rate and mortality. The most adequate prediction of population numbers could be

achieved with cubic splines, whereas the best prediction of birth rate and mortality – with linear continuous splines.

The forecasts of birth and mortality rates for 2017–2020 proved to be quite optimistic. However, in the pandemic conditions, a deviation of the predicted population numbers, birth rate and mortality was revealed: actual numbers for all the three indicators in 2020 were beyond the confidence region, which had not been the case in 2017–2019. The actual figures in 2020, found to be far worse than the predicted ones, may be caused by the impact of the COVID-19 pandemic in 2020, which is an unpredictable factor. The extra mortality caused by COVID-19 in 2020 was estimated for the town of Korosten.

At the second phase, probable changes in the population number, birth rate and mortality were predicted for 2021–2023 in all the areas. The 95% confidence region and confidence intervals were built for the predictions. It was found that the last years' trends in demographic indicators in radioactively contaminated territories would continue in a short-term perspective. It was shown that because annual numbers of infant mortality and stillbirth could not be predicted due to their significant variations, averaging for 5-year periods should be used.

A forecast of the average numbers was made for the 5 five-year periods where actual data were unknown. Also, it was emphasized that for the indicators predicted with linear continuous splines, actual numbers might turn to be far from the forecasted ones, because of the existence of extreme points, with growth suddenly changing for decline, and vice versa. Because such points cannot be predicted by extrapolation of observed trends, it is necessary to find other methods for their prediction.

Further research will focus on other prediction methods, to achieve higher prediction accuracy, and on inclusion of economic indicators in the prediction models.

**Key words:** *demographic indicators, population number, prediction, COVID-19 pandemic, cubic splines, linear continuous splines.*

Бібліографічний опис для цитування:

Кукуш А. Г., Мелекесцева А. А., Гунько Н. В. Прогнозування демографічних показників з допомогою сплайнів. *Статистика України*. 2021. № 4. С. 76–86. Doi: 10.31767/su.4(95)2021.04.08

Bibliographic description for quoting:

Kukush, A. G., Melekestseva, A. A., & Gunko, N. V. (2021). Prohnozuvannia demohrafichnykh pokaznykiv z dopomohoiu splainiv [Predicting Demographic Indicators by Splines]. *Statystyka Ukrainy – Statistics of Ukraine*, 4, 76–86. Doi: 10.31767/su.4(95)2021.04.08