

## ЕКОЛОГІЯ ДЕМОСФЕРИ І МЕДИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.75.05

*Савчук Л.Я.*

*Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

### ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЗАХВОРЮВАННЯМ ДОРΟΣЛОГО НАСЕЛЕННЯ КАЛУСЬКОГО РАЙОНУ ТА ВПЛИВОМ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ

Розглянуті методи кореляційного аналізу в екологічних дослідженнях. Складена схема кореляції між вмістом хімічних речовин у воді, ґрунтах і в атмосферному повітрі та захворюванням населення Калушського району. Узагальнені розрахункові параметри парної кореляції медико-демографічних та екологічних чинників лікарських дільниць району. Встановлено, що дуже сильний кореляційний зв'язок зафіксований при впливі таких домінуючих екологічних чинників, як Cu, Cl<sub>2</sub>, Cr на хвороби органів дихання.

**Ключові слова:** екологічні чинники, хвороби, статистичні дослідження, кореляційний зв'язок.

Рассмотрены методы корреляционного анализа в экологических исследованиях. Составлена схема корреляции между содержанием химических веществ в воде, почвах и в атмосферном воздухе и заболеванием населения Калушского района. Обобщены расчетные параметры парной корреляции медико-демографических и экологических факторов врачебных участков района. Установлено, что очень сильная корреляционная связь зафиксирована при влиянии таких доминирующих экологических факторов, как Cu, Cl<sub>2</sub>, Cr на болезни органов дыхания.

**Ключевые слова:** экологические факторы, болезни, статистические исследования, корреляционная связь.

The considered methods of cross-correlation analysis are in ecological researches. The made chart of correlation is between content of chemicals in water, soils and in atmospheric air and by the disease of population of Kalush district. Generalized calculation parameters of pair correlation of mediko-demographic and ecological factors of medical areas of district. It is set that a very closely-coupled cross-correlation interface is fixed at to influence of such dominant ecological factors, as Cu, Cl<sub>2</sub>, Cr on illnesses of breathing organs.

**Keywords:** ecological factors, illnesses, statistical researches, cross-correlation.

**Актуальність проблеми.** Сучасна соціоекологічна криза, що супроводжується катастрофічним погіршенням якості життєвого середовища і відповідно до цього зниженням рівня здоров'я народонаселення Земної кулі, поставила під загрозу не лише подальший розвиток людської цивілізації, а й існування людства взагалі. У зв'язку з цим медичні аспекти гармонізації взаємодії суспільства та природи набирають особливої ваги. Високий рівень здоров'я населення стає основним показником оптимізованої соціоекосистеми, а параметри навколишнього середовища, що забезпечують цей рівень – визначальними критеріями при оптимізації соціоекосистем. Реалізація цього завдання неможлива без аналізу, систематизації, узагальнення досліджень про закономірність взаємодії людини і довкілля. З цією метою складена методологічна база економічних та конструктивно-нозогеографічних досліджень, що синтезувала напрацювання вітчизняних і зарубіжних вчень, починаючи з середини XIX століття.

**Багаторічна техногенна діяльність гірничо-хімічних підприємств у Калуському промисловому регіоні призвела до суттєвих змін природного стану довкілля та деградації його складових об'єктів, що проявляється у високому рівні техногенного забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів й ґрунту та у погіршенні якості соціальної складової екологічної безпеки внаслідок значного зростання дитячої і дорослої захворюваності.**

Таким чином, накопичені екологічні проблеми на території Калуської промислово-міської агломерації терміново вимагають розроблення управлінських методів мінімізації впливу екологічних чинників на довкілля, насамперед на соціальну складову, що є першочерговим, актуальним завданням.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питанням аналізу оцінки та впливу екологічних чинників на здоров'я дорослого і дитячого населення присвячені роботи О.В.Бердника [3], І.Б.Абрамова [1], Є.М. Нейка [7], М.А. Голубця [4], В.А. Шевченка [12], Л.В. Міщенко [6].

Під чинниками, які впливають на соціальне середовище, треба розуміти певну силу чи сукупність сил, необхідних для здійснення певного процесу [11,13]. Є декілька класифікацій екологічних чинників. Зокрема, проводиться класифікація за такими ознаками: за часом, за періодичністю, за характером, за об'єктом, за умовами середовища, за ступенем впливу та за спектром впливу. За В.М. Пашенком [9] існує схема чинників навколишнього середовища, які детермінують здоров'я людини. У своїй сукупності усі чинники визначають соціальні умови життя та біологічні властивості організму, які мають безпосередній вплив на формування індивідуального і суспільного здоров'я.

Також у цих роботах екологічні чинники, що впливають на захворюваність, розглядалися як сукупність станів об'єктів у рамках певної території (ландшафт, річковий басейн, адміністративний район, природний регіон чи адміністративна область) у певний проміжок часу без аналізу екологічних показників чи характеристик джерел забруднення довкілля.

**Виклад основного матеріалу.** Для встановлення зв'язку між захворюванням населення Калуського промислового району і впливом екологічних чинників нами був використаний метод статистичного дослідження, при якому встановлюється наявність, тіснота, напрям і форма співвідношень (кореляційних зв'язків) між випадковими величинами. З усіх статистичних методів в екологічних дослідженнях кореляційний аналіз використовується найчастіше.

Загалом, кореляційний зв'язок (кореляційна залежність) між випадковими величинами  $X$  і  $Y$  присутній, коли кожному значенню однієї з них відповідає групове середнє значення іншої. При цьому можна говорити про кореляційну залежність  $Y$  (екологічний чинник) від  $X$  (вид хвороби). Особливість кореляційного зв'язку полягає в тому, що в ньому встановлюється сам факт зв'язку, і вивчаються його властивості, але не пояснюються причинно-наслідкові відносини [5].

Залежно від структури досліджуваної сукупності розрізняють кореляцію двовимірну (або парну) та множинну. У випадку парної кореляції зміна досліджуваної величини пов'язана з одним фактором. При багатовимірній кореляції може бути проведений багатofакторний кореляційний аналіз.

Якщо величини, що досліджуються, не підпорядковані нормальному закону розподілу, часто застосовуються непараметричні методи кореляційного аналізу, зокрема кореляція рангів.

За тісністю розрізняють такі види зв'язку, як

- за характером залежності: функціональний, кореляційний;
- за напрямом: прямий і обернений;
- за аналітичним виразом: прямолінійний і криволінійний.

Вивчення кореляційних залежностей проводиться табличним, графічним і аналітичним методами.

При табличному вивченні кореляційного зв'язку залежність між величинами  $X$  і  $Y$  задається двовимірною таблицею, що називається кореляційною. Складається вона тим же способом, що і ряди розподілу, але тут потрібно розносити кожен пару даних одночасно по класах значень  $X$  та  $Y$ . Якщо обидві величини дискретні, то розбивання на класи не проводять. Класи значень величини  $X$  записують у заголовку таблиці, а класи  $Y$  – у боковику. У клітинах таблиці записують частоту окремих пар значень  $x_i$  та  $y_i$ .

Найповнішим методом вивчення кореляційних залежностей є аналітичний. Він полягає у визначенні числових показників тісноти і форми залежностей між  $X$  та  $Y$ . Основними з них є коваріація, кореляційне відношення і коефіцієнт кореляції.

Коваріація – це середній добуток варіацій двох випадкових величин  $X$  і  $Y$ . Для вибірки з парами значень  $x_i, y_i$  вона обчислюється за формулою

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}, \quad (1)$$

де  $\bar{x}, \bar{y}$  – середні значення випадкових величин  $X$  і  $Y$ ;  $n$  – обсяг вибірки. Коваріація відображає взаємозв'язок двох величин і має мішану одиницю виміру  $XY$ . Коваріація може бути як додатною, так і від'ємною. Якщо коваріація додатна, то малим значенням  $X$  відповідають здебільшого малі значення  $Y$ , великим значення  $X$  – великі значення  $Y$ . При від'ємній коваріації співвідношення між значеннями  $X$  і  $Y$  обернене: малим значенням  $X$  відповідають здебільшого великі значення  $Y$ , великим значення  $X$  – малі значення  $Y$ .

Кореляційним відношенням  $Y$  до  $X$  називається відношення міри розсіювання групових середніх  $y_x$  залежної величини  $Y$  до міри розсіювання цієї величини, тобто відношення середньоквадратичного відхилення  $\sigma_{yx}$  умовних середніх до середньоквадратичного відхилення  $\sigma_y$  самої величини  $Y$ :

$$\eta_{yx} = \frac{\sigma_{yx}}{\sigma_y}. \quad (2)$$

Для вибірових даних обсягом  $n$  визначають вибірове кореляційне відношення за формулою

$$\eta_{yx} = \frac{s_{yx}}{s_y}, \quad (3)$$

де

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (y_{xk} - \bar{y})^2 Z_k}{n - 1}}; \quad (4)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}, \quad (5)$$

де  $m$  – число груп (класів) в кореляційній таблиці, на які розбитий інтервал зміни величини  $Y$ ;  $Z_k$  – частота  $k$ -го класу величини  $Y$ ;  $y_{xk}$  – групове середнє значення  $Y$  для  $k$ -го класу ряду розподілу  $X$ .

Кореляційне відношення є універсальним показником тісноти зв'язку, що не залежить від форми зв'язку. Величина кореляційного відношення змінюється в межах від 0 до 1, тобто  $0 \leq \eta_{yx} \leq 1$ . При  $\eta_{yx} = 0$  кореляційної залежності  $Y$  від  $X$  не існує, а при  $\eta_{yx} = 1$  кореляційна залежність переходить у функціональну.

Коефіцієнт кореляції  $r$  між випадковими величинами  $X$  та  $Y$  – це відношення їхньої коваріації до добутку середньоквадратичних відхилень  $X$  та  $Y$ :

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6)$$

Коефіцієнт кореляції є нормованою безрозмірною величиною й характеризує силу (тісноту) та напрям лінійної залежності між фактором  $X$  і результуючою ознакою  $Y$  [2].

Коефіцієнт кореляції може набувати будь-якого значення в інтервалі від -1 до +1, тобто  $-1 \leq r \leq 1$ . Кореляційний зв'язок буває додатним (прямим) і від'ємним (оберненим). Якщо  $r > 0$ , то говорять про додатну кореляцію або прямий зв'язок між  $X$  та  $Y$ , коли із збільшенням значень однієї із величин зростає в середньому значення іншої. Якщо  $r < 0$ , то кореляція від'ємна, і між  $X$  та  $Y$  зв'язок обернений. Це означає, що при зростанні однієї випадкової величини друга в середньому буде зменшуватись.

Оцінка тісноти зв'язку за коефіцієнтом кореляції наведена в таблиці 1 за даними [8,10].

Таблиця 1

**Значення оцінки тісноти зв'язку за коефіцієнтом кореляції**

Коефіцієнт кореляції	Тіснота зв'язку
1,00	Зв'язок функціональний
0,90-0,99	Дуже сильний
0,70-0,89	Сильний
0,50-0,69	Значний
0,30-0,49	Помірний
0,10-0,29	Слабкий
0	Зв'язок відсутній

Коефіцієнти кореляції як міри зв'язку між випадковими величинами є також величинами випадковими, носять імовірнісний характер. Коефіцієнт кореляції, як вибіркова характеристика, перевіряється на значущість за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента. Фактичне значення  $t$  статистики обчислюється за формулою:

$$t_{експ} = \frac{R\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (7)$$

$t_{експ}$  порівнюється з табличним значенням  $t$ -розподілу з  $n-m-1$  ступенями свободи, та при заданому рівні значущості  $\alpha/2$ . Якщо:  $|t_{експ}| > t_{табл}$ , можна зробити висновок, що коефіцієнт кореляції достовірний (значущий), а зв'язок між залежною змінною та всіма незалежними чинниками суттєвий.

Виявивши статистичні зв'язки між випадковими величинами, можна будувати регресійні математичні моделі. Стандартні похибки оцінок параметрів моделі з урахуванням дисперсії залишків можна визначити:

$$S_{aj} = \sqrt{\sigma_u^2 \cdot c_{jj}} \quad (8)$$

де  $\sigma_u^2$  - дисперсія залишків, обчислюється за формулою:

$$\sigma_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n-m} \quad (9)$$

$c_{jj}$  - відповідний діагональний елемент матриці похибок  $C$  (матриця, обернена до матриці коефіцієнтів системи нормальних рівнянь):

$$C = A^{-1} = \begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{pmatrix}^{-1}. \quad (10)$$

Статистичну значущість кожного параметра моделі можна перевірити за допомогою  $t$ -критерію. При цьому нульова гіпотеза буде:  $H_0: a_j=0$ , альтернативна  $H_1: a_j \neq 0$ . Експериментальне значення  $t$ -статистики для кожного параметра моделі обчислюється за формулою:

$$t_j = \frac{a_j}{S_{a_j}}. \quad (11)$$

Довірчі інтервали для кожного параметра  $a_j$  обчислюються на основі його стандартної похибки та критерію Стьюдента:

$$\left( a_j - t_{\text{табл}} \sqrt{\sigma_u^2 \cdot c_{jj}}; a_j + t_{\text{табл}} \sqrt{\sigma_u^2 \cdot c_{jj}} \right). \quad (12)$$

Табличне значення  $t_{\text{табл}}$ , як і раніше, має  $n-m-1$  ступенів свободи і рівень значущості  $\alpha/2$ :

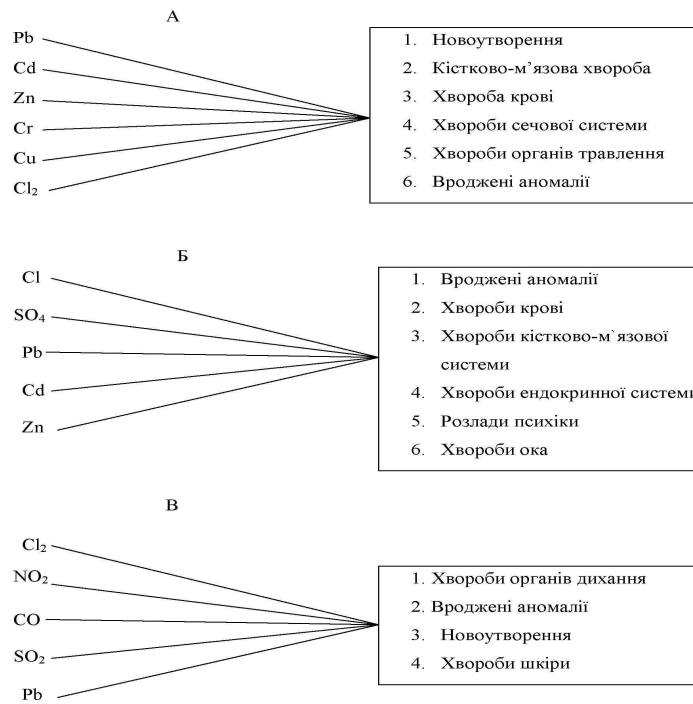
$$t_{\text{табл}} = t_{\alpha/2}(n-m-1). \quad (13)$$

Для виявлення впливу екологічних чинників на здоров'я населення Калуського промислового району використаний алгоритм (програма), розроблена нами для дослідження кореляційних зв'язків між екологічними чинниками та видом захворювання.

Екологічні чинники (хімічні речовини), які досліджувались у пробах ґрунтів, води та в атмосферному повітрі протягом п'яти років (2007-2011 рр.). Для досліджень взято такі хімічні елементи Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Cl<sub>2</sub>, Co, SO<sub>2</sub>. Кожен елемент корелювався з певним видом захворювання. Всього для досліджень вибрано 10 хвороб, які найбільш поширені у Калуському районі. Схеми кореляції між вмістом хімічних речовин у ґрунтах та видом захворювання (схема А) наведені на рис.1.

На цій схемі показано, що кожний екологічний чинник (хімічний елемент) корелювався окремо з певною хворобою і між ними встановлювався певний ступінь кореляції (тіснота зв'язку), причому у цьому випадку зроблено 468 розрахунків. На схемі кореляції Б показані напрямки зв'язку хімічних елементів, визначені у водних об'єктах з шістьма видами хвороб, які спостерігаються на тринадцяти лікарських дільницях. Всього було розраховано 390 параметрів парної кореляції. Схема кореляції між вмістом хімічних речовин в атмосферному повітрі і чотирма видами захворювань показана на схемі В, причому зроблено 260 кореляційних розрахунків. У загальному, для визначення коефіцієнтів парної кореляції між екологічними чинниками і захворюванням дорослого населення Калуського району, проведено 1078 досліджень.

В результаті кореляційних досліджень встановлено, що дуже сильний кореляційний зв'язок зафіксований при впливові таких домінуючих екологічних чинниках, як Cu, Cl<sub>2</sub>, Cr на хвороби дихання. Підвищений їх ріст спостерігається у населених пунктах - Копанки, Калуш, Сівка-Войнилівська. Встановлений коефіцієнт парної кореляції змінюється від 0,9120 до 0,9541 (табл. 2). Дуже сильна тіснота зв'язку до 0,9883 спостерігається при розрахунку параметрів парної кореляції між екологічними чинниками Cd, Pb і хворобами сечостатевої системи. Тут загальна захворюваність на кінець 2011 року становить 88,9 осіб на 1 тис. населення.



А – вміст хімічних речовин у ґрунтах; Б – вміст хімічних речовин у воді;

В – вміст хімічних речовин в атмосферному повітрі.

**Рис. 1. Схеми кореляції між вмістом хімічних речовин (екологічних чинників) і захворюванням населення Калуського району**

Таблиця 1

**Узагальнені розрахункові параметри парної кореляції медико-демографічних та екологічних чинників лікарських дільниць Калуського промислового регіону**

№ п/п	Класи хворіб	Медико-демографічні чинники (загальна захворюваність (на 1 тис. нас.))		Корелюючі екологічні чинники	Домінантні корелюючі екологічні чинники	Розрахункові параметри		
		2007	2011			Значення аргументу і функції	Коефіцієнт парної кореляції	Ступінь кореляції (тіснота зв'язку)
1	Хвороби органів дихання	336,2	320,6	Cl, Co, Cr, NO <sub>2</sub>	Cu, Cl, Cr	$y=a+b \cdot z^3$	0,9120÷0,9541	дуже сильний
2	Хвороби органів травлення	140,8	148,1	Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Cl <sub>2</sub>	Cu, Cd	$y=a+b \cdot \ln(z)$	0,7901÷0,8714	сильний
3	Кістково-м'язеві хвороби	117,2	121,0	Pb, Co, Cd, Zn, Cu,	Pb, Co, Cd, Zn	$y=a+b \cdot \ln(z)$	0,7125÷0,8091	сильний
4	Хвороби сечостатевої системи	87,2	88,9	Pb, Cd, Zn, Cr, Cu	Cd, Pb	$y=a+b/z$	0,9214÷0,9853	дуже сильний
5	Хвороби ендокринної системи	57,9	54,2	Co, Pb, Cd, Zn, Cu,	Co, Cd	$y=a+b \cdot z$	0,7415÷0,7908	сильний
6	Хвороби ока	42,5	43,8	Cl <sub>2</sub> , Cr, NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	$y=a+b/z$	0,1523÷0,2843	слабкий
7	Новоутворення	24,5	27,5	Cu, Pb, Cd, Zn, Cr, Cl <sub>2</sub>	Cu, Cr, Cd	$y=z \cdot (a \cdot z + b)$	0,7353÷0,8551	сильний
8	Хвороби шкіри	25,9	21,00	Pb, Cd, Zn, Cr, Cu	Zn, Pb	$y=a+b \cdot z$	0,1291-0,2805	слабкий
9	Хвороби крові	14,8	11,2	Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Co	Pb, Co, Zn	$y=a+b \cdot z^3$	0,9334-0,9614	дуже сильний
10	Вроджені аномалії	2,1	2,5	Zn, Pb	Zn	$y=z \cdot (a \cdot z + b)$	0,3514-0,4343	помірний

Сильна кореляція (тіснота зв'язку) між важкими металами і хворобами систем кровообігу, травлення, кістково-м'язовими хворобами, хворобами крові спостерігається у осіб населених пунктів Войнилів, Підмихайля, Кропивник, Копанки, Мислів, Студінка, Калуш.

**Висновки.** Проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу домінуючих хімічних речовин (екологічних чинників) у ґрунтах, воді та атмосферному повітрі на захворювання населення Калуського району. Розроблено алгоритм для дослідження кореляційних зв'язків з метою визначення парної кореляції між екологічними чинниками і видом хвороби. Для визначення між ними коефіцієнтів парної кореляції проведено 1078 досліджень. Встановлено, що дуже сильний кореляційний зв'язок для окремих видів хвороб змінюється від 0,9120 до 0,9541, а сильний – становить 0,7125 – 0,8551.

### Література

1. Абрамов И. Б. Оценка воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности. Нормативное обеспечение. Основные положения оценки воздействия на геологическую и водную среду / И. Б. Абрамов // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. – 2004. – № 5. – С. 80 – 85.
2. Аронов В. И. Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ / В. И. Аронов. – М. : Недра, 1977. – 168 с.
3. Бердник О. В. Навколишнє середовище і здоров'я населення / О. В. Бердник, Л. В. Серих, В. Ю. Зайковська, Е. І. Парасадян // *Гігієна населених міст*. – 2001. – Вип. 38. – Т. 2. – С. 408 – 418.
4. Голубець М. А. Плівка життя / М. А. Голубець. – Л.: Поля, 1997. – 185 с.
5. Лозинський О. Є. Математичні методи в нафтогазовій геології : підручник / О. Є. Лозинський, В. О. Лозинський, Б. Й. Маєвський, В. В. Гладун, П. М. Чепіль. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 276 с.
6. Міщенко Л. В. Геоекоекологічний аудит техногенного впливу на довкілля та здоров'я населення (на прикладі регіону Покуття) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. географ. наук / Л. В. Міщенко. – Чернівці, 2003. – 20 с.
7. Нейко Є. М. Медико-геоекологічний аналіз стану довкілля як інструмент оцінки та контролю здоров'я населення / Є. М. Нейко, Г. І. Рудько, Н. І. Смоляр. – Івано-Франківськ – Львів : ЕКОР, 2001. – 350 с.
8. Немцов В. И. Правильное питание при бронхиальной астме / В. И. Немцов – Москва-Санкт-Петербург : «ДИЛЯ», 2002. – С. 5 – 6.
9. Пащенко В. М. Основні поняття і проблеми еколого-географічних досліджень / В. М. Пащенко // *УГ ж.* – 1994. – № 4. – С. 8 – 16.
10. Передерий В. Г. Популярная иммунология / В. Г. Передерий, Н. Г. Бычкова – К. : Наук. думка, 1990. – С. 32.
11. Хабер Н. В. Состояние и перспективы размещения и утилизации отходов от переработки полиминеральных руд Прикарпатья / Н. В. Хабер // *Использование и солирование отходов обогатительных фабрик*. – Л. : ВНИИГ, 1974. – С. 7 – 11.
12. Шевченко В.А. Медико-географическое картографирование территории Украины / В.А. Шевченко. – Киев : Наук. думка, 1994. – 159 с.
13. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию [переклад з німецької] / Г. Фелленберг. – М. : Мир, 1997. – 58 с..

*Поступила в редакцію 20 листопада 2014 р.*

*Рекомендувала до друку д.т.н. Я.М. Семчук*