

В.М. Войціцький,
С.В. Хижняк,
О.О. Кисіль,
А.О. Прохорова,
А.В. Курашов,
М.Є. Кучеренко

Київський національний
університет
ім. Тараса Шевченка

Багатофакторний аналіз комбінованої дії йонізуючого випромінювання та іонів кадмію на організм

Multi-factor analysis of combined action
of ionising radiation and cadmium ions
on the organism

Цель работы: Оценка комбинированного действия ионизирующего излучения и ионов кадмия на организм с использованием метода многофакторного анализа.

Материалы и методы: Экспериментальных животных (крыс-самцов) подвергали отдельному и комбинированному действию рентгеновского излучения (в дозе 1,0 Гр и 2,0 Гр с мощностью 0,35 Гр/мин) и хлорида кадмия (1,0 мг/кг массы тела в пересчете на Cd^{2+}). Объектами исследований служили печень и тонкий кишечник (двенадцатиперстная и тощая кишка). Исследовано содержание липидов, активность ферментов, показатели перекисного окисления липидов, цитоморфометрические показатели. Анализ полученного массива биологических показателей представляли в виде линейной комбинации нескольких гипотетических переменных — факторов или главных компонент, которые отражают существующие корреляции между показателями. Эффект комбинированного воздействия исследуемых факторов оценивали по главным факторам измеряемого множества показателей, определяя коэффициент синергизма.

Результаты: Выявлено различие в биологическом статусе организма, подвергнутого отдельному или комбинированному действию ионизирующего излучения и ионов кадмия. Анализ 45 показателей состояния организма свидетельствует, что в основе отдельного и комбинированного действия ионизирующего излучения и ионов кадмия лежат различные механизмы, причем наблюдаемые изменения имеют неаддитивный и немонотонный характер. Присутствует конкуренция эффектов действия, что проявляется в уменьшении коэффициента синергизма.

Выводы: Показана целесообразность использования метода многофакторного анализа, на основании измерения биологических показателей, при оценке отдельного и комбинированного влияния физических и химических факторов на организм. Выявлены показатели, которые в условиях эксперимента позволяют оценить эффект комбинированного действия ионизирующей радиации и кадмия. Определен коэффициент синергизма, свидетельствующий о конкуренции эффектов комбинированного действия ионизирующей радиации и кадмия.

Ключевые слова: факторный анализ, комбинированное действие, синергизм, ионизирующее излучение, кадмий.

Objective: To evaluate combined action of ionising radiation and cadmium ions on the organism using the method of multi-factor analysis.

Materials and Methods: Experimental animals (male rats) were exposed to x-rays (at dose of 1.0Gy or 2.0Gy, dose rate 0.35 Gy/min), combined or separately with cadmium chloride influence (1.0 mg/kg of body mass in conversion to Cd^{2+}). The subjects of investigation were the liver and small intestine (duodenum and jejunum). Lipid content, enzyme activities, lipid peroxidation products and cytomorphometric indices were investigated. The analysis of received array of biological indices was represented as linear combination of several hypothetical variables — factors or principal components. They reflect the existent correlation between variables. The effect of combined action of external factors was evaluated based on principal factors from all measuring indices. The synergism coefficient was also determined.

Results: The difference in biological status of the organisms exposed to separate or combined action of ionising irradiation and cadmium ions was revealed. The analysis of obtained data testifies the different mechanisms on the basis of separate and combined action of ionising irradiation and cadmium ions. The observed changes had nonadditive and non-monotone character. The competition of action effects was also revealed that appeared in observed decrease of synergism coefficient.

Conclusion: The expediency of use of factorial analysis on the basis of biological indices measuring for estimation of separate and combined action of physical and chemical agents on the organism is shown.

The indices allowing to evaluate the effect of combined action of ionising radiation and cadmium ions in experimental conditions, are revealed.

The synergism coefficient that testifies the competition between the effects of combined action of ionising irradiation and cadmium ions is determined.

Key words: factorial analysis, combined action, synergism, ionising irradiation, cadmium.

У реальних умовах на живі організми впливає комплекс факторів довкілля фізичної та хемічної природи, що у поєднанні з радіаційним компонентом може призвести до прояву непередбачених біологічних ефектів. Незважаючи на значну кількість даних щодо комбінованої дії різних чинників на біологічні си-

стеми, оцінка наслідків такого роду дій доволі складна [1, 2]. Великою мірою вона ускладнюється наявністю нелінійних ефектів. Комбінована дія факторів може призводити до незалежного підсумовування ефектів (адитивності), зниження ефективності дії один одного (антагонізму) або підсилення очікуваного

ефекту (синергізму). На особливу увагу за-
слуговує вивчення синергічної дії різних чин-
ників у прикладній радіобіології — при ви-
значенні припустимих норм забруднення, ви-
явленні ризику для біоти, зокрема людини, в
умовах підвищення рівнів іонізуючої ра-
діації та зростання хемічного забруднення.

Запропоновано різні підходи в дослідженні
загальних закономірностей ефекту комбінова-
ної дії чинників різної природи та матема-
тичного моделювання такої дії [3–6]. Ши-
роко використовують методи багатовимірного
ймовірнісного аналізу [7, 8], серед яких особ-
ливо перспективним є метод багатофакторного
аналізу (головних компонент), яким розв’язу-
ють такі задачі: а) відшукування прихованих
закономірностей впливу, які визначаються дією
зовнішніх і внутрішніх причин на механізми,
що регулюють перебіг процесу в системах;
б) визначення найсуттєвіших з первинно об-
раних показників в умовах проведення до-
сліджень; в) виявлення і вивчення статистич-
ного зв’язку показників із факторами та вироб-
лення на його основі обґрунтованих висновків
про ефективність тих чи інших впливів на си-
стему, а також прогнозування розвитку про-
цесу.

У зв’язку з цим у даній роботі показано мож-
ливість використання методу багатофакторно-
го аналізу для оцінки комбінованої дії йоні-
зуючої радіації та йонів кадмію на орга-
нізм на основі результатів вимірювання мор-
фологічних і біохемічних показників таких
життєво важливих систем, як тонка кишка та
печінка.

Методика дослідження

У біологічному експерименті тварини (білі безпородні
щури-самці масою 180–200 г) були поділені на 6 груп
(по 8 особин у кожній): 1-шу — контрольну; 2-гу, яким
вводили Cd^{2+} ; а також опроміновані: 3-тю — у дозі
1,0 Гр; 4-ту — 2,0 Гр; 5-ту — у дозі 1,0 Гр після введен-
ня Cd^{2+} ; 6-ту групу — у дозі 2,0 Гр після введення Cd^{2+} .
Тварин опромінювали на установці РУМ-17 (потужність
дози 0,35 Гр/хв) за умов, описаних у [9]. Хлорид кадмію
(1,0 мг/кг маси тіла у перерахунку на Cd^{2+}) вводили пе-
рорально за 2 год до опромінювання. Тварин забивали
методом декапітації з дотриманням правил евтаназії, як
відзначено в [10], через 1 добу (у деяких випадках — че-
рез 2 год) після окремої або комбінованої дії йонів кад-
мію й випромінювання. Досліджували печінку і відділи
кишечника (дванадцятипала і порожня кишка), що зум-
овлено найбільшою чутливістю цих органів до дії кад-
мію поряд із високою радіочутливістю кишечника.

Цитоморфометричні дослідження проводили методом
світлової мікроскопії [11]. Ферментативну активність
визначали загальноприйнятими методами, згідно з
[12, 13]. Продукти пероксидного окиснення ліпідів
(ПОЛ) визначали, як описано в [14]. Кількість ліпідів ви-
значали згідно з [15]. Значення досліджуваних показ-
ників наведено у табл. 1. В подальшому, для зручності,
використано лише їх номери.

Математичні розрахунки. Для аналізу сукупності
великої кількості взаємозв’язаних властивостей об’єктів
з урахуванням структури і характеру цих зв’язків у ро-
боті застосовували метод багатофакторного аналізу. Ос-
новні положення методу досить повно висвітлено в нау-
ковій літературі [16–18], тому зупинимося тільки на
особливостях його застосування для виконання постав-
леної мети. Згідно з даним методом, множина показників
 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ подається у вигляді лінійної комбінації
кількох гіпотетичних факторів або головних компонент,
які найповніше відображають існуючі кореляції між
показниками.

Задача відбору факторів формально зводиться до тако-
го: на першому етапі дослідженні збирається максималь-
но можлива кількість експериментальних даних, які
відображають передбачувані ефекти впливу на систему
зовнішніх дій; далі, спираючись на передбачення, що ця
багатовимірна система показників може бути пояснена
за допомогою невеликої кількості факторів, знаходять
лінійне перетворення U , яке, у даному випадку, є дис-
кретним аналогом перетворення Карунена-Лосва для ви-
падкових процесів [16]. Середній внесок кожного вибрано-
го фактора у формуванні всієї сукупності даних ви-
значається відповідним власним значенням кореляцій-
ної матриці, що й дозволяє відбирати для аналізу обме-
жене число M найбільш значущих з них.

Результати аналізу зручно інтерпретувати геометрич-
но. Для цього будується m -вимірний простір факторів,
координатами якого слугують коефіцієнти розкладу век-
тора даних a_{jk} за відповідним фактором. Кожний об’єкт,
що досліджувався, представляється у цьому просторі
точкою. Увесь простір розбивають на підпростори, кож-
ний із яких відповідає групі об’єктів, близьких за сукуп-
ністю характеристик.

Кількісно ефект сумісної дії зовнішніх чинників оці-
нювали за головними факторами множини вимірюваних
показників, визначаючи коефіцієнт синергізму (K_s). Ви-
користано підхід, при якому синергізм можна розгляда-
ти на основі будь-якого біологічного ефекту від дії зов-
нішніх чинників, який має кількісну характеристику
[4]. У такому разі коефіцієнт синергізму визначають за
формулою

$$K_s = \frac{E(A+B)}{E_{add}(A,B)}, \quad (1)$$

де $E(A+B)$ — сумісний ефект, що спостерігається за
комбінованою дією чинників A і B ;

$E_{add}(A,B)$ — розрахований адитивний ефект.

Таким чином, коефіцієнт синергізму можна визначати
за величиною будь-якого біологічного ефекту, який за-
довольняє таким умовам: ефект представляється певни-
ми параметрами, які мають кількісний вираз; за неза-
лежної дії чинників результуючий ефект є адитивним.

Сумарну інтегральну оцінку сумісної дії чинників за
значенням головних факторів зроблено таким чином.
Фактична зміна стану об’єкта за дією зовнішнього чинни-
ка характеризується вектором зміни його показників або
 m -мірною проекцією на підпростір найбільш значущих
головних факторів. Якщо як ефект чинника A — $E(A)$
приймається значення норми вектора приросту показ-
ників відносно контролю, то

$$E(A) = \|\mathbf{d}a_M(D_A)\| \equiv \sqrt{\sum_{j=1}^M \delta a_j^2(D_A)}, \quad M \leq N \quad (2)$$

Таке ж значення приймають для ефекту чинника В–Е(В). Відповідно для Е(А,В)

$$E_{\text{add}}(A, B) = \|\delta a_M(A) + \delta a_M(B)\| \equiv \sqrt{\sum_{j=1}^M [\delta a_j(A) + \delta a_j(B)]^2}, \quad (3)$$

де М — кількість враховуваних головних компонент, N — загальна кількість вимірюваних показників, $\delta a_j(A) = a_j(A) - a_j(K)$ — приріст головного фактора відносно контролю (К).

У цьому разі для кількісної оцінки комбінованої дії двох чинників (А і В) доцільно використовувати такий інтегральний коефіцієнт синергізму:

$$K_s = \frac{E(A+B)}{E_{\text{add}}(A, B)} = \frac{\|\delta a(A, B)\|}{\|\delta a(A) + \delta a(B)\|} \equiv \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M \delta a_j^2(A, B)}{\sum_{j=1}^M [\delta a_j(A) + \delta a_j(B)]^2}}. \quad (4)$$

Визначений таким чином, він характеризує величину ефекту незалежно від знаків приростів вимірюваних показників.

Експериментальні дані обробляли на персональному комп'ютері з використанням пакета програм, розроблених на кафедрі криогенної та мікроелектроніки радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Результати та їх обговорення

На першому етапі на підставі отриманих результатів вимірювань 45 показників стану різних органів експериментальних тварин у ранній термін (до 24 год) після разової окремої чи комбінованої дії йонізуючої радіації та йонів кадмію (див. табл. 1) вирахована повна матриця коефіцієнтів кореляцій, яка, з огляду на великий об'єм, не наводиться. Аналіз матриці свідчить, що між певними показниками вірогідно існують як прямі, так і зворотні кореляції.

На наступному етапі виконано діагоналізацію повної кореляційної матриці всіх 45 показників з метою виявлення загальної кількості факторів, які описують стан об'єкта, та факторних навантажень. Сингулярні числа кореляційної матриці I_r наведено у табл. 2. За своїм змістом вони визначають середній внесок кожного фактора в сумарні кореляції всіх показників. Аналіз даних, наведених у табл. 2, свідчить, що середня величина квадратів значень досліджуваних показників вичерпується, в основному, першими трьома факторами. З огляду на це повний аналіз усієї сукупності даних проведено на підставі врахування перших трьох головних факторів (a_1, a_2, a_3).

Значення факторних навантажень досліджуваних показників на перші три фактори наведено в табл. 3. При її складанні були відібрані лише ті з них (їх виявилось 18), навантаження яких на головні фактори складає не менше 0,2. При обробці результатів досліджень усі дані попередньо нормувалися на контроль.

Представлені в табл. 3 дані свідчать, що навантаження усіх показників на перший фактор (a_1) мають однаковий знак, значення цього фактора пропорційне числу досліджених показників та їх середньому значенню. Найбільші навантаження на цей фактор мають показники, які характеризують перебіг процесів ПОЛ ($x_{24} - x_{29}$).

Найбільші навантаження на другий головний фактор (a_2) мають показники, які характеризують загальом стан кишечника — перебіг у ньому процесів ПОЛ і клітинної регенерації ($x_6, x_7, x_{28}, x_{29}, x_{37}$). При цьому показники (x_6, x_7, x_{37}) відповідають позитивним навантаженням, а (x_{28}, x_{29}) — від'ємним. Отже, підвищення значення фактора (a_2) відповідає збільшенню значень показників (x_6, x_7, x_{37}) і зменшенню — (x_{28}, x_{29}) та навпаки.

Таким чином, групування даних у проекції на фактор (a_2) визначає конкуренцію відповідних процесів у кишечнику.

Аналогічний аналіз для фактора (a_3) дозволяє виділити групи показників, які відповідають позитивним ($x_7, x_{24}, x_{26}, x_{27}$) і від'ємним ($x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$) навантаженням. Таким чином, значення даного фактора пов'язане з процесами утворення та загибелі клітин епітелію і перебігу ПОЛ у печінці.

Відображення даних у тривимірному просторі ознак, які визначаються найбільш суттєвими факторами, характеризує як їх групування, так і тенденції змін (рис. 1). Аналіз отриманих результатів свідчить, що спостерігається виділення областей локалізації груп об'єктів, що відповідають групам тварин, яких піддавали окремій та комбінованій дії йонізуючої радіації та йонів кадмію. З підвищенням дози опромінення збільшується внесок показників ($x_7, x_{24}, x_{26}, x_{27}$) і зменшується — ($x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$). Таким чином, з підвищенням дози опромінення вагомішими стають інтенсифікація процесів ПОЛ та пригнічення мітотичної

Біологічні показники, використані для оцінки дії йонізуючого випромінювання та йонів кадмію на організм
Biological indices, used for estimation of ionising irradiation and cadmium ion action on the organism

<i>Висота ентероцитів</i>	<i>Вміст продуктів пероксидного окиснення ліпідів</i>
1 Дванадцятипала кишка	22 Дієнові кон'югати (у печінці)
2 Порожня кишка	23 Дієнові кон'югати (у тонкій кишці)
<i>Площа ядер ентероцитів</i>	24 Шифові основи (у печінці)
3 Дванадцятипала кишка	25 Шифові основи (у тонкій кишці)
4 Порожня кишка	26 Малоновий діальдегід (у печінці)
5 Діаметр ядер у клітинах печінки	27 Швидкість утворення малонового діальдегіду у печінці
<i>Мітотичний індекс (через 1 добу)</i>	28 Малоновий діальдегід (у тонкій кишці)
6 Дванадцятипала кишка	29 Швидкість утворення малонового діальдегіду у тонкій кишці
7 Порожня кишка	<i>Кількість ліпідів у препаратах:</i>
<i>Мітотичний індекс (через 2 год)</i>	<i>Печінка</i>
8 Дванадцятипала кишка	30 Триацилгліцероли
9 Порожня кишка	31 Фосфоліпіди
<i>Кількість клітин у крипті (через 1 добу)</i>	32 Холестерол
10 Дванадцятипала кишка	<i>Тонка кишка</i>
11 Порожня кишка	33 Триацилгліцероли
<i>Кількість клітин у крипті (через 2 год)</i>	34 Фосфоліпіди
12 Дванадцятипала кишка	35 Холестерол
13 Порожня кишка	<i>Плазматична мембрана ентероцитів (апикальна)</i>
<i>Активність ферментів печінки</i>	36 Триацилгліцероли
14 Лужна фосфатаза	37 Фосфоліпіди
15 •-глутамілтрансфераза	38 Холестерол
16 Аланінамінотрансфераза	39 Активність Са-АТФази у препаратах тонкої кишки
	<i>Активність Na,K –АТФази у препаратах:</i>
17 Лужна фосфатаза	40 Тонкої кишки
18 •-глутамілтрансфераза	41 Печінки
19 Аланінамінотрансфераза	<i>Активність Mg – АТФази у препаратах:</i>
<i>Вміст тіолових груп</i>	42 Тонкої кишки
20 Печінка	43 Печінки
21 Тонка кишка	<i>Антиокиснювальна активність</i>
	44 Тонкої кишки
	45 Печінки

Таблиця 2

Власні значення кореляційної матриці
Proper values of correlation matrix

Фактор	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
• r	53,8641	1,5976	0,4081	0,0889	0,0534	0,0399

активності клітин тонкої кишки. Дія лише кадмію призводить до зміни показників ($x_7, x_{10} - x_{13}$). Комбінований вплив випромінювання та йонів кадмію характеризується зменшенням показника (x_7) при такому ж різкому збільшенні показників ($x_{10} - x_{13}$). Загалом це групування визначається різким зменшенням

фактора (a_2). Таким чином, комбінована дія досліджуваних чинників характеризується меншим внеском змін показників з позитивним (x_6, x_7, x_{37}) і більшим — з від'ємним навантаженням (x_{28}, x_{29}).

Розрахунок похибок результатів, наведених на рис. 2, здійснювали таким чином. Визна-

чали абсолютну похибку вимірювань кожного показника у відповідності до прогнозованої точності до 15 %. Оскільки головний фактор утворюється з даних вимірювання показників певним лінійним перетворенням зі своїми ваговими множниками, похибку кожного фактора визначали відповідно до правил визначення помилки зваженої суми показників. На рис. 2 подано отримані результати у просторі головних факторів (a_1, a_2) сумісно з величинами похибок відносно кожної з компонент. Похибку даних подано у вигляді відповідних інтервалів відносно кожного з показників. Подібні результати отримано й у просторі факторів (a_1, a_3) і (a_2, a_3) (дані не наведено).

На наступному етапі розглянуто можливість зменшення кількості показників, що вимірювалися, при оцінці сумісної дії випромінювання й кадмію. Як показує наведений вище аналіз факторних навантажень, лише невелика кількість показників робить помітний внесок у три перших головних фактори (див. табл. 3). Тому виконано аналогічну обробку результатів стосовно 12 показників ($N = 12$), які мають максимальні навантаження на перші три фактори ($x_6, x_7, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{24}, x_{26}, x_{27}, x_{28}, x_{29}, x_{37}$). Групування ознак для цих 12 показників близьке до таких, отриманих за їх повним на-

бором ($N = 45$) (рис. 3). Виняток становить фактор a_1 , який, як було зазначено вище, збільшується пропорційно кількості досліджуваних показників, зберігаючи загальну структуру простору ознак.

Кількісну оцінку ефекту комбінованої дії йонізуювальної радіації (P) та йонів кадмію (Cd) проводили за першими трьома факторами, виходячи з їх значущості. Коефіцієнт синергізму $K_S(P, Cd)$ розраховували за формулою (4). При цьому зважали на можливість існування таких ситуацій:

- а) $K_S(P, Cd) = 1$. Результат комбінованої дії дорівнює сумі різних ефектів — проявляється адитивність дії;
- б) $K_S(P, Cd) < 1$. Має місце антагонізм дії;
- в) $K_S(P, Cd) > 1$. Ефект комбінованої дії перевищує суму незалежної дії двох факторів окремо — проявляється підсилення, потенціювання дії, тобто синергізм.

У табл. 4 подано значення K_S залежно від кількості головних факторів, що враховують-

Таблиця 3

Факторні навантаження найвагоміших показників на перші три головних фактори
Factor loadings of primary indices for the first three principal factors

показника (x)	Номер фактора (a)		
	1	2	3
2	-0,1414	0,0180	-0,0805
5	-0,1297	0,0498	-0,0477
6	-0,1293	0,2327	0,1784
7	-0,1615	0,1772	0,4024
9	-0,1175	0,1090	-0,0001
10	-0,1215	-0,0498	-0,2865
11	-0,1111	-0,0339	-0,2751
12	-0,0901	0,0381	-0,3292
13	-0,0911	0,0733	-0,2488
23	-0,1259	0,1243	-0,1129
24	-0,1831	-0,0183	0,2081
26	-0,1889	-0,0989	0,2397
27	-0,1882	-0,1224	0,2191
28	-0,2702	-0,7068	-0,1210
29	-0,2141	-0,2980	0,0877
37	-0,1069	0,2174	-0,0834
41	-0,1198	0,1562	-0,1383
44	-0,1691	0,0721	0,1580

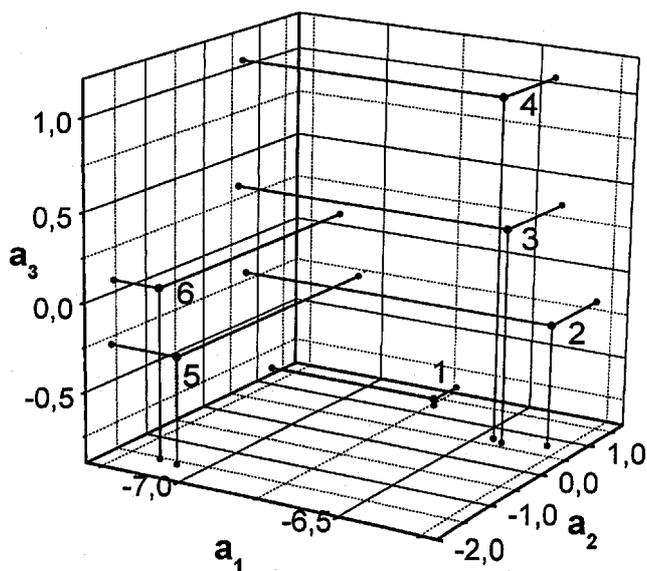


Рис. 1. Групування ознак у просторі (a_1, a_2, a_3) із урахуванням усіх 45 досліджуваних показників.

Примітка. Тут і далі: (1–6) — номери груп експериментальних тварин

Fig 1. Grouping of data in (a_1, a_2, a_3) space, taking into account all 45 investigated indices

Таблиця 4

Значення коефіцієнта синергізму (K_s) та похибки визначення (DK_s/K_s) для перших трьох головних факторів
 Values of synergy coefficient (K_s) and estimation errors (DK_s/K_s) for the first three principal factors

Номер фактора	Cd + 1,0 Гр		Cd + 2,0 Гр	
	K_s	$\bullet K_s/K_s$	K_s	$\bullet K_s/K_s$
1	$3,81 \pm 1,68$	0,44	$4,03 \pm 1,89$	0,47
2	$1,89 \pm 0,06$	0,03	$1,27 \pm 0,13$	0,01
3	$1,59 \pm 0,28$	0,28	$1,14 \pm 0,17$	0,15

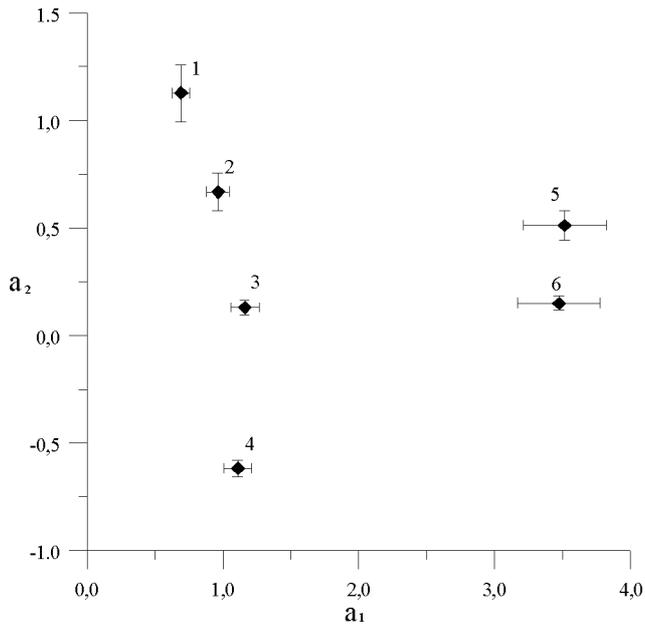
Рис. 2. Діаграма розсіювання у просторі проєкцій головних компонент (a_1 , a_2) повного набору показників (x_1 – x_{45})

Fig 2. The diagram of dispersion (x_1, \dots, x_{45}) of full investigated indices (x_1, \dots, x_{45}) in projection space of principal components (a_1, a_2)

ся. Похибку визначення цього коефіцієнта вираховували з величин похибки відповідних головних факторів. Визначення K_s за кількісної оцінки ефекту комбінованої дії випромінювання та йонів кадмію правомірне і має певну перевагу: головні фактори зберігають властивість адитивності за незалежної дії чинників, на відміну від оцінки за індивідуальним показником.

Аналіз отриманих даних дозволяє твердити, що в умовах проведення досліджень має місце неадитивний ефект за комбінованої дії йонізувальної радіації та йонів кадмію, а наведені оцінки його величини є самодостатніми. Відмінність кількісних значень K_s за різного числа враховуваних компонент пов'язана з самим принципом формування голов-

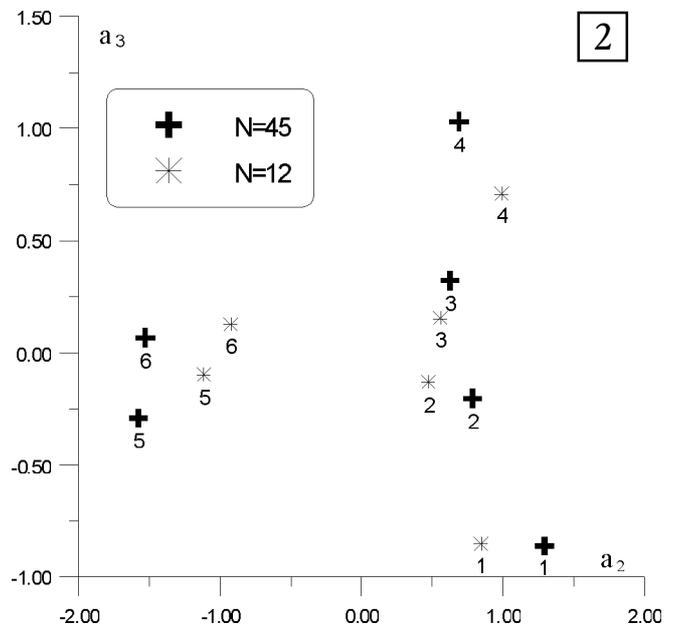
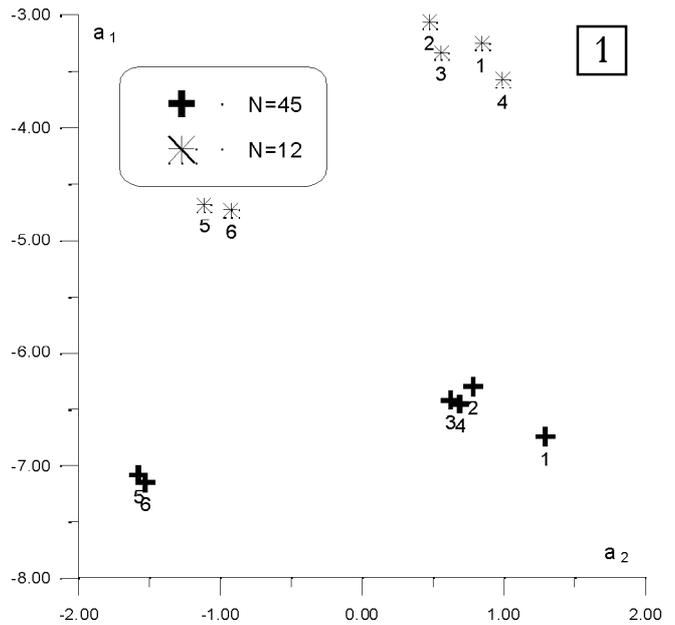
Рис. 3. Групування ознак у підпросторах (a_1, a_2) і (a_3, a_2), відповідно (1) та (2), для всього досліджуваного ($N = 45$) та основного набору показників ($N = 12$)

Fig 3. Grouping of data in (a_1, a_2) and (a_3, a_2) subspaces, where (1) or (2) corresponds to all investigated indices ($N = 45$) or primary indices ($N = 12$)

них факторів. Згідно з ним кожний із факторів визначається різними групами показників з максимальними навантаженнями, які проявляють різний характер чутливості до діючих чинників.

Отже, в результаті проведених досліджень виявлена відмінність у біологічному статусі організму, який піддається разовій окремій чи комбінованій дії йонізувального випромінен-

ня та йонів кадмію, про що свідчать результати угруповання даних у тривимірному просторі ознак.

ВИСНОВКИ

Використання методу багатофакторного аналізу дозволило виявити неадитивний характер дії зазначених чинників. При формуванні головних факторів має місце конкуренція ефектів дії, що відбивається на кінцевому значенні величини коефіцієнта синергізму — в його зменшенні при збільшенні кількості головних чинників.

Основні положення розробленого підходу мають загальний характер і можуть бути використані при оцінці дії різноманітних чинників довкілля на організм.

Література

1. Руднев М.И., Варецкий В.В., Береговская Н.И. и др. Влияние низких доз ионизирующей радиации и других факторов окружающей среды на организм. — К.: Наук. думка, 1994. — 216 с.
2. Лапша В.И., Бочарова В.Н., Уткина Л.Н., Ролевич И.В. // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1999. — Т. 39. — № 5. — С. 534–538.
3. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Пантюхина А.Г., Рассохина А.В. // Там же. — № 1. — С. 113–126.
4. Кузин А.М. // Изв. АН СССР. Сер.биол. — 1983. — № 4. — С. 485–502.
5. Рябова С.В., Петин В.Г. // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2000. — Т. 40. — № 2. — С. 192–196.
6. Петин В.Г., Комаров В.П. Количественное описание модификации радиочувствительности. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 192 с.
7. Максимов Г.К., Синицын А.Н. Статистическое моделирование многомерных систем в медицине. — М.: Медицина, 1983. — 142 с.
8. Розанов В.А., Рейтарова Т.Є., Черніков Г.Б. та ін. // УРЖ. — 1997. — Т. V, вип. 2. — С. 174–177.
9. Хижняк С.В., Коваленко Й.Є., Войцицкий В.М. // Укр. биохим. журн. — 1997. — Т. 69. — С. 41–46.
10. Горбань Є.М. // УРЖ. — 2000. — Т. V, вип. 3. — С. 262–264.
11. Волкова О.В., Елецкий Ю.К. Основы гистологии и гистологической техники. — М.: Наука. — 1982. — С. 25–40.
12. Ghijsen W.E., De Jong M.D., Van Os C.H. // Biochem. biophys. acta. — 1980. — Vol. 599. — № 2. — P. 538–551.
13. Harms V., Wright E.M. // J.Membr.Biol. — 1980. — Vol. 53. — № 2. — P. 119–128.
14. Современные методы в биохимии /Под ред. В.Н. Ореховича. — М.: Медицина. — 1977. — 268 с.
15. Takayama Y., Nagasaki T., Tanimizu I. // Clin. Chem. Acta. — 1977. — Vol. 79. — P. 93–96.
16. Иберла К. Факторный анализ. — М.:Статистика, 1980. — 399 с.
17. Харман Г. Современный факторный анализ. — М.: Статистика, 1972. — 486 с.
18. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. — М.: Наука, 1983. — 464 с.

Надходження до редакції 24.10.2005.

Прийнято 29.11.2005.

Адреса для листування:
Хижняк Світлана Володимирівна,
вул. Васильківська, 42, кв. 69, Київ, 03022, Україна