

І. П. Дрозд, А. І. Липська, В. І. Пастушенко, М. В. Найчук

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ***ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ПОГЛИНЕНОЇ ДОЗИ  
ЗА ОДНОРАЗОВОГО НАДХОДЖЕННЯ ДО ОРГАНІЗМУ ЩУРІВ <sup>131</sup>I**

Запропоновано оригінальні алгоритми розрахунку поглинених доз у щитоподібній залозі та тимусі щурів за одноразового надходження <sup>131</sup>I, що дає змогу максимально спростити розрахунковий процес і водночас забезпечити високу достовірність розрахунків у діапазоні вхідних активностей 1 - 115000 Бк. За даними алгоритмами створено програму в середовищі MATLAB, адаптовану для використання на ПК під управлінням ОС Windows. Відносна похибка розрахунків становить ±2 %.

*Ключові слова:* ізотоп <sup>131</sup>I, щитоподібна залоза, тимус, дозоутворення, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Зазвичай розрахунок доз внутрішнього опромінення з мінімальною похибкою можна виконати, провівши попередньо експеримент з уведенням заданої кількості ізотопу (у даному випадку <sup>131</sup>I). У результаті експерименту визначають необхідні для проведення розрахунків біокінетичні параметри: коефіцієнт надходження із шлунково-кишкового тракту (ШКТ) до щитоподібної залози (ЩЗ) ( $k_{th}$ ), ефективний період напіввиведення ізотопу із ЩЗ ( $T_{ef}$ ) та масу ЩЗ ( $m_{th}$ ). Ці параметри є змінними (дозозалежними). Їхню функціональну залежність від дози за поглинених доз у ЩЗ понад 0,85 Гр визначено в результаті проведення декількох серій експериментів з одноразовим та тривалим пероральним надходженням <sup>131</sup>I до організму щурів [1 - 3]. Водночас їхнє використання в області малих вхідних активностей (менших за 1800 Бк для одноразового надходження) дає незадовільні результати. Відносна похибка визначення поглинених доз при цьому може перевищувати ±50 %. Невизначеним є і сам процес розрахунку доз, оскільки у цій області вхідних активностей суттєво порушується лінійність залежності від них поглинених доз. Для вирішення цієї проблеми необхідно проведення серії експериментів з малими вхідними активностями або удосконалення алгоритму розрахунку доз, який би враховував особливості накопичення йоду в ЩЗ, його виведення та зміни біокінетичних параметрів для будь-яких вхідних активностей.

Відомо, що за внутрішнього надходження радіоактивного йоду критичним органом, в якому формується максимальна доза, є ЩЗ [4]. Дози опромінення інших органів за рахунок депонованих у них радіонуклідів, є незначними, оскільки вміст йоду в них є на 4-5 порядків величини меншим, ніж у ЩЗ [3,5]. Особливого режиму опромінення зазнає тимус, який належить до центральних залоз імунного захисту, кровото-

рення, в якому відбувається диференціація Т-лімфоцитів, що надходять із кісткового мозку [6]. У ньому виробляються регуляторні пептиди (тимозин, тимулін, тимопоетин), які забезпечують розмноження і дозрівання Т-лімфоцитів у центральних і периферійних органах кровото-рення. При гіпофункції тимуса знижується імунітет, оскільки зменшується кількість Т-лімфоцитів у крові. Оскільки тимус безпосередньо прилягає до ЩЗ, він зазнає крім незначного опромінення від депонованого в ньому радіоїоду суттєвого додаткового опромінення від радіонуклідів, що містяться у ЩЗ. При цьому доза додаткового опромінення може перевищувати дозу основного на 2 порядки величини і більше. Це, як свідчать дані роботи [7], може суттєво впливати на систему кровото-рення та імунітет. Отже, коректне визначення дози опромінення тимуса є однією з важливих задач прикладної дозиметрії.

У даній роботі ми обмежимося створенням і програмною реалізацією оптимальних алгоритмів розрахунку доз опромінення ЩЗ і тимуса за одноразового надходження до організму щурів <sup>131</sup>I у діапазоні вхідних активностей 1 - 115000 Бк без проведення додаткових експериментальних досліджень кінетики ізотопу в організмі.

**Методи розрахунку доз**

У загальному випадку поглинену дозу в органі чи тканині розраховують за виразами:

$$D(t) = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot N_t \cdot E_{ef} / m; \quad (1)$$

$$N_t = \int_0^t Q(t) dt, \quad (2)$$

де  $N_t$  – кількість радіоактивних розпадів в органі за част, розп;  $E_{ef}$  – ефективна енергія для органа

при поглинанні  $^{131}\text{I}$ , MeB/розп;  $m$  – маса органа, кг;  $Q(t)$  – функція зміни активності в органі;  $1,6 \cdot 10^{-13}$  – узгоджувальний коефіцієнт, Дж/MeB.

Якщо використовувати питому активність у розмірності [Бк/г], формули (1) і (2) матимуть такий вигляд:

$$D(t) = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot 10^3 \cdot N_t^{sp} E_{ef}, \quad (1')$$

$$N_t^{sp} = \int_0^t Q_{sp}(t) dt, \quad (2')$$

де  $N_t^{sp}$  – кількість радіоактивних розпадів в 1 г речовини органа за част, розп;  $Q_{sp}(t)$  – функція зміни питомої активності в органі;  $1,6 \cdot 10^{-13}$  – узгоджувальний коефіцієнт, Дж/MeB;  $10^3$  – перехід від г до кг.

Дозу додаткового опромінення тимуса від радіонуклідів, що містяться в ЩЗ, розраховують, вважаючи, що ЩЗ є точковим джерелом, за формулою

$$D(r) = \Gamma \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \sum_t Q_{(t)}^{m.int} / r^2, \quad (3),$$

де  $\Gamma$  – керма постійна  $^{131}\text{I}$ ;  $\Gamma = 14,3 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Бк})$ ;  $t$  – поточний час, д (доба);  $Q_{(t)}^{m.int}$  – середньоінтегральний за добу  $t$  вміст ізотопу в органі;  $r$  – відстань від центра ЩЗ до певної ділянки тимуса, м:  $r_{min}$  – мінімальна;  $r_{max}$  – максимальна;  $r_{mint}$  – середньоінтегральна. Відповідно отримують значення мінімальної, максимальної і середньоінтегральної дози у Гр.

### Оптимізація алгоритму розрахунку дози на ЩЗ

Суть оптимізації полягає у виявленні на підставі базових експериментальних даних функціональних залежностей формування дози в органі від величини введеної активності та використання їх для написання програми розрахунку доз. В якості базових даних використовували результати експериментальних досліджень динаміки утримання ізотопу в ЩЗ тварин за трьох одноразово введених активностей [1, 2] (табл. 1).

Таблиця 1. Динаміка утримання  $^{131}\text{I}$  у ЩЗ щурів за одноразового перорального надходження ізотопу трьох різних активностей, Бк/г

Термін після введення, д	Введена активність, Бк		
	3300	19200	114800
1	82623 ± 5420	474866 ± 12823	1861746 ± 36500
2	67583 ± 3741	343000 ± 8390	1661845 ± 41270
3	46125 ± 1680	321666 ± 9145	1350370 ± 32840
7	15415 ± 495	137821 ± 4840	707195 ± 18720
14	-	31893 ± 1437	230972 ± 9443
22	-	-	83899 ± 3857
30	-	1672 ± 149	-

Для спрощення розрахунків для визначення поглиненої дози у ЩЗ використовували вирази (1') і (2'), оскільки це дозволяє виключити змінний дозозалежний параметр  $m_{th}$  – масу ЩЗ. Використовуючи дані з табл. 1, для кожної введеної

активності будували функції  $Q_{sp}(t)$ , що є простими експонентами, визначали їхні характеристики ( $k_{th}$  і  $T_{ef}$ ), які є змінними (дозозалежними), після чого впродовж 80 діб з кроком 1 доба розраховували  $N_t^{sp}$  та  $D(t)$  (табл. 2).

Таблиця 2. Сумарна кількість розпадів у 1 г тканини ЩЗ щура та поглинена доза залежно від перорально введеної активності \*

Термін після введення, д	3300 Бк		19200 Бк		114800 Бк	
	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр
1	$5,32279 \cdot 10^9$	0,15	$3,92642 \cdot 10^{10}$	1,10	$1,38976 \cdot 10^{11}$	3,89
2	$1,10214 \cdot 10^{10}$	0,31	$7,41603 \cdot 10^{10}$	2,08	$2,85314 \cdot 10^{11}$	7,99
3	$1,58868 \cdot 10^{10}$	0,44	$1,02903 \cdot 10^{11}$	2,88	$4,11218 \cdot 10^{11}$	11,51
4	$1,95295 \cdot 10^{10}$	0,55	$1,26577 \cdot 10^{11}$	3,54	$5,19541 \cdot 10^{11}$	14,55
5	$2,22568 \cdot 10^{10}$	0,62	$1,46076 \cdot 10^{11}$	4,09	$6,12738 \cdot 10^{11}$	17,16
6	$2,42987 \cdot 10^{10}$	0,68	$1,62137 \cdot 10^{11}$	4,54	$6,92921 \cdot 10^{11}$	19,40
7	$2,582751 \cdot 10^{10}$	0,72	$1,75365 \cdot 10^{11}$	4,91	$7,61907 \cdot 10^{11}$	21,33
8	$2,69720 \cdot 10^{10}$	0,76	$1,86261 \cdot 10^{11}$	5,22	$8,21260 \cdot 10^{11}$	23,00

Термін після введення, д	3300 Бк		19200 Бк		114800 Бк	
	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр	Сумарна кількість розпадів в 1 г	Поглинена доза, Гр
9	$2,78290 \cdot 10^{10}$	0,78	$1,95235 \cdot 10^{11}$	5,47	$8,72324 \cdot 10^{11}$	24,43
10	$2,84705 \cdot 10^{10}$	0,80	$2,02627 \cdot 10^{11}$	5,67	$9,16259 \cdot 10^{11}$	25,66
11	$2,89509 \cdot 10^{10}$	0,81	$2,08716 \cdot 10^{11}$	5,84	$9,54058 \cdot 10^{11}$	26,71
12	$2,93105 \cdot 10^{10}$	0,82	$2,13730 \cdot 10^{11}$	5,98	$9,86579 \cdot 10^{11}$	27,62
13	$2,95798 \cdot 10^{10}$	0,83	$2,17861 \cdot 10^{11}$	6,10	$1,01456 \cdot 10^{12}$	28,41
14	$2,97814 \cdot 10^{10}$	0,83	$2,21263 \cdot 10^{11}$	6,20	$1,03863 \cdot 10^{12}$	29,08
15	$2,99323 \cdot 10^{10}$	0,84	$2,24065 \cdot 10^{11}$	6,27	$1,05934 \cdot 10^{12}$	29,66
16	$3,00453 \cdot 10^{10}$	0,84	$2,26373 \cdot 10^{11}$	6,34	$1,07716 \cdot 10^{12}$	30,16
17	$3,01299 \cdot 10^{10}$	0,84	$2,28274 \cdot 10^{11}$	6,39	$1,09249 \cdot 10^{12}$	30,59
18	$3,01932 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,2984 \cdot 10^{11}$	6,44	$1,10568 \cdot 10^{12}$	30,96
19	$3,02407 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,31129 \cdot 10^{11}$	6,47	$1,11703 \cdot 10^{12}$	31,28
20	$3,02762 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,32192 \cdot 10^{11}$	6,50	$1,12679 \cdot 10^{12}$	31,55
21	$3,03028 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,33066 \cdot 10^{11}$	6,53	$1,13519 \cdot 10^{12}$	31,79
22	$3,03227 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,33787 \cdot 10^{11}$	6,55	$1,14242 \cdot 10^{12}$	31,99
23	$3,03376 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,34381 \cdot 10^{11}$	6,56	$1,14864 \cdot 10^{12}$	32,16
24	$3,03487 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,3487 \cdot 10^{11}$	6,58	$1,15399 \cdot 10^{12}$	32,31
25	$3,03571 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,35272 \cdot 10^{11}$	6,59	$1,15859 \cdot 10^{12}$	32,44
26	$3,03633 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,35604 \cdot 10^{11}$	6,60	$1,16255 \cdot 10^{12}$	32,55
27	$3,03680 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,35877 \cdot 10^{11}$	6,60	$1,16596 \cdot 10^{12}$	32,65
28	$3,03715 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36102 \cdot 10^{11}$	6,61	$1,16889 \cdot 10^{12}$	32,73
29	$3,03741 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36287 \cdot 10^{11}$	6,62	$1,17141 \cdot 10^{12}$	32,80
30	$3,03761 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36440 \cdot 10^{11}$	6,62	$1,17358 \cdot 10^{12}$	32,86
31	$3,03776 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36566 \cdot 10^{11}$	6,62	$1,17545 \cdot 10^{12}$	32,91
32	$3,03787 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36669 \cdot 10^{11}$	6,63	$1,17705 \cdot 10^{12}$	32,96
33	$3,03795 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36755 \cdot 10^{11}$	6,63	$1,17844 \cdot 10^{12}$	33,00
34	$3,03801 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36825 \cdot 10^{11}$	6,63	$1,17962 \cdot 10^{12}$	33,03
35	$3,03806 \cdot 10^{10}$	0,85	$2,36883 \cdot 10^{11}$	6,63	$1,18065 \cdot 10^{12}$	33,06

\* Термін надходження обмежено 35 добами, оскільки за цей час формується понад 99 % дози.

Визначили, що функція залежності  $T_{ef}$  (у добах) від уведеної активності має вигляд  $T_{ef} = 0,6435 \cdot \ln(Q) - 2,805$ , якщо  $Q \geq 1800$  Бк і  $T_{ef} = 2$  за  $Q < 1800$  Бк, а коефіцієнт переходу з ШКТ до ЩЗ  $k_{th} = Q^{-0,03075}$  у діапазоні  $0 < Q < 150000$  Бк;  $\lambda_{ef} = 0,693/T_{ef}$ .

Типова динаміка формування поглиненої дози у ЩЗ, залежно від часу після введення радіоізотопу, на прикладі введеної активності 114800 Бк показана на рис. 1.

Аналізуючи криві формування дози, виявили, що їх доцільно розбити на 2 ділянки:  $1 \div (14 - 20)$  і  $(14 - 20) \div 80$  діб (рис. 1). На кожній ділянці процес формування дози описується логарифмічною функцією, але з різною швидкістю зростання

$$D(t) = a \cdot \ln(t) + b, \quad (4)$$

де  $a$  та  $b$  константи, значення яких залежить від уведеної активності.

Границя між ділянками (у цілих добах) залежно від уведеної активності  $Q$  визначається з

виразу  $t = 1,51 \cdot \ln(Q) + 2,68$  за  $Q \geq 1800$  Бк та  $t = 14$  діб за  $Q < 1800$  Бк.

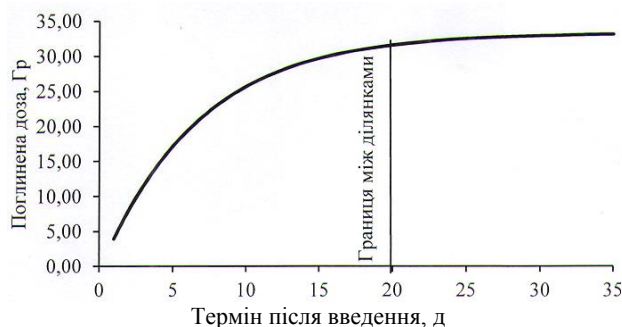


Рис. 1. Динаміка формування дози в ЩЗ шура за одноразового надходження 114800 Бк<sup>131</sup>I.

Таким чином, якщо визначити значення коефіцієнтів  $a$  та  $b$  для формули (4), можна визначити поглинені у ЩЗ дози для будь-яких вхідних активностей, не проводячи громіздких розрахунків за формулами (1), (2) чи (1'), (2').

Для цього для кожної ділянки для трьох уведених активностей будували графіки залежності дози від часу після опромінення. Математичні

вирази, що описують ці залежності, наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Залежність поглиненої у ЩЗ дози від часу для різних уведених активностей і ділянок з різною інтенсивністю формування дози

Уведена активність, Бк	Вираз, що описує залежність дози від часу	
	Ліва ділянка(див. рис. 1)	Права ділянка(див. рис. 1)
3300	$t = (1 - 15) \text{ д}^*: 0,248 \cdot \ln(t) + 0,175$	$t = (16 - 80) \text{ д}: 0,00147 \cdot \ln(t) + 0,8446$
19200	$t = (1 - 18) \text{ д}: 1,869 \cdot \ln(t) + 1,094$	$t = (19 - 80) \text{ д}: 0,0772 \cdot \ln(t) + 6,3$
114800	$t = (1 - 20) \text{ д}: 9,405 \cdot \ln(t) + 3,536$	$t = (21 - 80) \text{ д}: 0,944 \cdot \ln(t) + 29$

\* д - доба.

Таблиця 4. Залежність розрахункових коефіцієнтів *a* та *b* від уведеної активності для ділянок з різною інтенсивністю формування дози

Діапазон застосування	Вираз, що описує залежність коефіцієнта від уведеної активності	
	Ліва ділянка (див. рис. 1)	Права ділянка (див. рис. 1)
$Q \geq 1800 \text{ Бк}$	$a = -2,07274 \cdot 10^{-10} \cdot Q^2 + 1,0662 \cdot 10^{-4} \cdot Q - 0,116$	$a = 3,8644 \cdot 10^{-11} \cdot Q^2 + 3,898 \cdot 10^{-6} \cdot Q - 0,0118$
	$b = -2,89323 \cdot 10^{-10} \cdot Q^2 + 6,431 \cdot 10^{-5} \cdot Q - 0,034$	$b = -9,4699 \cdot 10^{-10} \cdot Q^2 + 3,644 \cdot 10^{-4} \cdot Q - 0,348$
$Q < 1800 \text{ Бк}$	$a = 1,39607 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2 + 7,05445 \cdot 10^{-5} \cdot Q$	$a = 2,24756 \cdot 10^{-10} \cdot Q^2 + 2,8927 \cdot 10^{-7} \cdot Q$
	$b = 2,49934 \cdot 10^{-10} \cdot Q^2 + 5,21752 \cdot 10^{-5} \cdot Q$	$b = 4,54005 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2 + 2,40956 \cdot 10^{-4} \cdot Q$

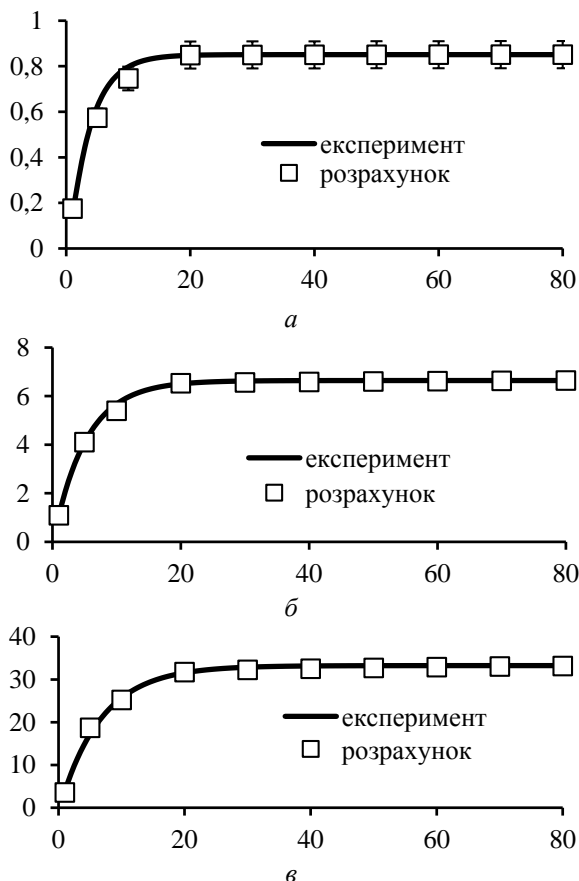


Рис. 2. Порівняння доз, розрахованих за класичним та оптимізованим методами: а, б, в – вхідна активність 3300, 19200 та 114800 Бк відповідно. По осі абсцис – термін після введення ізотопу, доби, по осі ординат – поглинена доза, Гр.

Надалі будували для кожної ділянки залежності *a* (множники при логарифмах) та *b* (вільні члени) від уведеної активності. Для всіх значень

вхідної активності ці залежності описувались лінійно-квадратичними функціями (табл. 4).

Поглинену у ЩЗ дозу за будь-якої вхідної активності та для будь-якої доби легко розрахувати, підставивши у вираз (4) розраховані згідно з табл. 4 значення *a* та *b*.

На рис. 2 показано результати розрахунку доз класичним методом за експериментально отриманими даними та за оптимізованим алгоритмом.

Спостерігається задовільний збіг результатів. Відносна похибка розрахунків  $\pm 2 \%$ .

### Алгоритм розрахунку дози додаткового опромінення тимуса від ЩЗ

Згідно з виразом (3) для розрахунку дози додаткового опромінення тимуса за одноразового перорального надходження радіоактивного йоду до ЩЗ необхідно знати середньоінтегральний щодобовий вміст ізотопу у ЩЗ упродовж терміну, на який розраховують дозу. Оскільки залежності змінних параметрів  $k_{th}$  і  $T_{ef}$  від уведеної активності нами формалізовані, для розрахунку додаткової дози на тимус пропонуємо такий алгоритм.

1. Розрахувати значення  $k_{th}$  для заданої вхідної активності  $Q$ .
2. Розрахувати  $T_{ef}$  і  $\lambda_{ef}$ .
3. Зважаючи на те, що максимальне накопичення йоду відбувається через 24 год після введення, і використовуючи значення  $k_{th}$ , розрахувати активність у ЩЗ через добу після введення  $Q_1$ .
4. Розрахувати значення активності  $Q_0$  із виразу  $Q_1 = Q_0 \cdot \exp(-\lambda_{ef})$ .

5. З кроком в 1 добу розрахувати зміну активності у ЩЗ від першої доби до терміну, на який визначається доза за виразом  $Q(t) = Q_0 \cdot \exp(-\lambda_{ef}t)$ , де  $t$  – поточний час у добах.

6. Розрахувати для кожної доби середньоінтегральну активність у ЩЗ за виразом

$$Q_{(t)}^{m.int} = \left( \frac{Q_{(t)}}{\lambda_{ef}} \right) \cdot (1 - \exp(-\lambda_{ef}t)),$$

де  $Q_{(t)}$  – вміст йоду у ЩЗ на добу  $t$ .

7. Розрахувати дозу додаткового опромінення за формулою (3).

**Примітка:** у формулі (3) для тимуса значення  $r_{min} = 0,0006$  м;  $r_{max} = 0,0023$  м;  $r_{mint} = 0,001175$  м.

Таблиця 5. Дози додаткового  $\gamma$ -опромінення тимуса  $^{131}\text{I}$ , депонованим у ЩЗ щурів для різних вхідних активностей за одноразового надходження, Гр

Термін після введення, д	Уведена активність, Бк		
	3300	19200	114800
1	0,0006	0,006	0,034
5	0,0027	0,028	0,171
10	0,0034	0,040	0,259
20	0,0036	0,046	0,322
30	0,0036	0,047	0,336

У табл. 5 наведено результати розрахунку за цим алгоритмом середньоінтегральних доз до-

даткового  $\gamma$ -опромінення тимуса до 30-ї доби після введення для трьох базових вхідних активностей  $^{131}\text{I}$ , що використовувались у даній роботі. За великих вхідних активностей ізотопу дози додаткового опромінення тимуса можуть сягати величин, достатніх, щоб викликати суттєві гематологічні та імунологічні ефекти.

### Програмна реалізація алгоритмів розрахунку доз

За описаними вище алгоритмами написано програму для проведення розрахунків поглинених доз у ЩЗ і тимусі щурів за одноразового надходження ізотопу  $^{131}\text{I}$  довільної активності (рис. 3). Програму створено в середовищі MATLAB та адаптовано для використання на будь-якому ПК під управлінням ОС Windows (версії, не старішої за XP). Отримана програма має простий та зрозумілий графічний інтерфейс користувача, вимагає в якості вхідних даних значення активності, що вводиться, у Бк, та терміну, станом на який визначаються розрахункові параметри. Результатами, що виводяться на дисплей є: орган, у якому розраховується доза; значення активності, що вводиться; час, на який розраховується доза; значення накопиченої на заданий термін дози; графік динаміки формування дози у ЩЗ протягом заданого терміну.

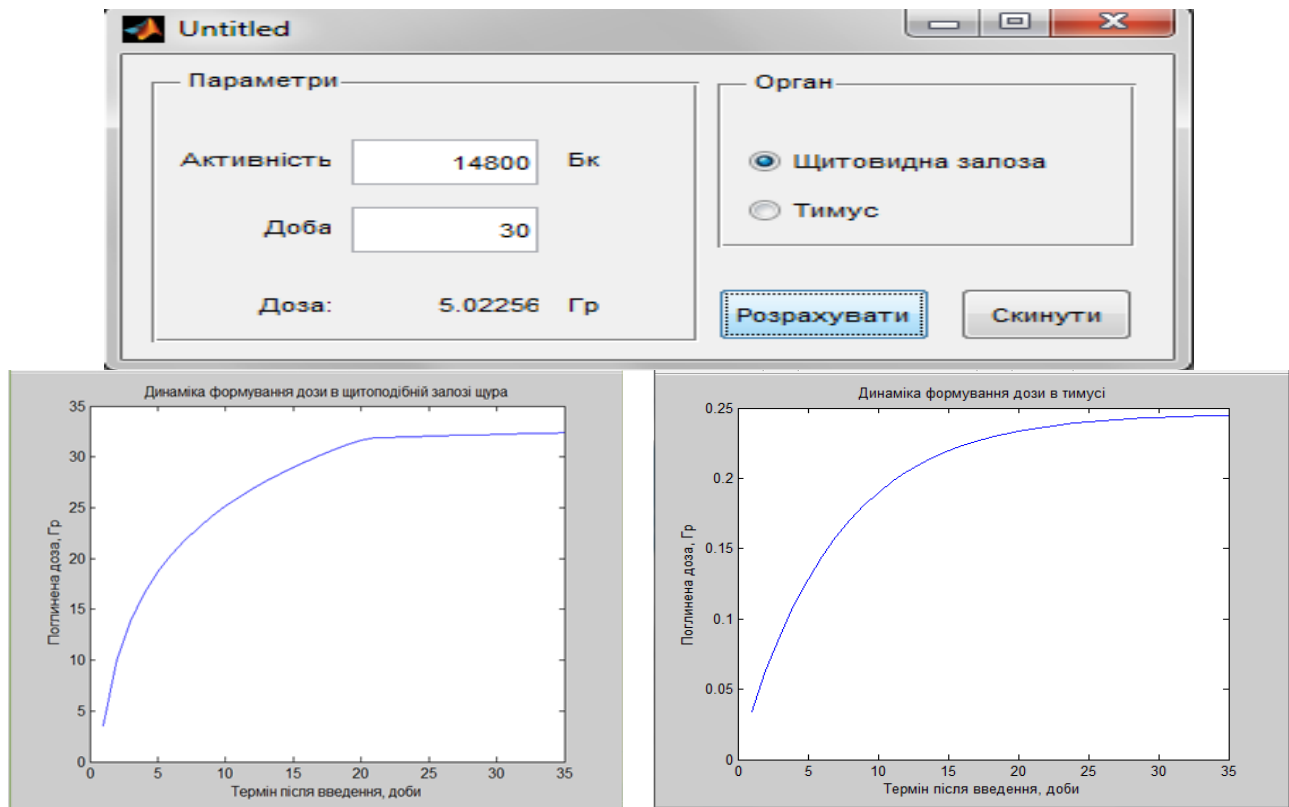


Рис. 3. Приклад результатів роботи, створеної за оптимізованими алгоритмами програми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дрозд І.П., Липська А.І., Бездробна Л.К. та ін. Дослідження кінетики  $^{131}\text{I}$  в організмі щурів за одноразового надходження // Ядерна фізика та енергетика. - 2012. - Т. 13, № 3. - С. 28 - 288.
2. Drozd I.P., Sova O.A. Dose-dependent changes in effective half-life period of  $^{131}\text{I}$  from laboratory rats thyroid gland // Щорічник-2013 / ІЯД НАН України. - К., 2014. - С. 118.
3. Дрозд І.П., О.А. Сова, Липська А.І. Моделювання аварійного викиду  $^{131}\text{I}$ . Процеси дозоутворення // Ядерна фізика та енергетика. - 2015. - Т. 16, № 2. - С. 157 - 163.
4. Василенко І.Я., Василенко О.І. Радиоактивный йод // Энергия: экономика, техника, экология. - 2003. - № 5. - С. 57 - 72.
5. Сова Е.А., Дрозд И.П. Дозообразование и цитогенетические эффекты в костном мозге крыс при длительном пероральном поступлении  $^{131}\text{I}$  // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. - 2015. - № 2(14). - С. 86 - 93.
6. Сова О.А., Дрозд І.П. Дозоутворення та гематологічні ефекти за тривалого внутрішнього опромінення щурів ізотопом  $^{131}\text{I}$  // Ядерна фізика та енергетика. - 2014. - Т. 15, № 4. - С. 359 - 369.
7. Дрозд І.П., Сова О.А., Липська А.І. Динаміка накопичення  $^{131}\text{I}$  та формування доз в органах і тканинах лабораторних щурів за тривалого перорального надходження // Ядерна фізика та енергетика. - 2015. - Т. 16. - № 1. - С. 60 - 67.

І. П. Дрозд, А. І. Липская, В. І. Пастушенко, М. В. Найчук

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

**ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ  
ПРИ ОДНОКРАТНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ КРЫС  $^{131}\text{I}$**

Предложены оригинальные алгоритмы расчета поглощенных доз в щитовидной железе и тимусе крыс при однократном поступлении  $^{131}\text{I}$ , которые позволяют максимально упростить расчетный процесс и одновременно обеспечить высокую достоверность расчетов в диапазоне входных активностей 1 - 115000 Бк. По данным алгоритмам создана программа в среде MATLAB, адаптированная для использования на ПК под управлением ОС Windows. Относительная погрешность расчетов составляет  $\pm 2\%$ .

*Ключевые слова:* изотоп  $^{131}\text{I}$ , щитовидная железа, тимус, дозообразование, оптимизация.

I. P. Drozd, A. I. Lypska, V. I. Pastushenko, M. V. Naychuk

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

**OPTIMIZATION ALGORITHM FOR ABSORBED DOSE CALCULATION  
DURING SINGLE INTAKE OF  $^{131}\text{I}$  TO RATS**

Original calculation algorithms absorbed doses to the thyroid gland and rat thymus disposable income  $^{131}\text{I}$  that enable to simplify the settlement process and at the same time ensure high reliability calculation range of input activities 1 - 115000 Bq. According to algorithms the program in the environment of MATLAB, adapted for use on a PC running Windows was created. Relative error of calculations is  $\pm 2\%$ .

*Keywords:*  $^{131}\text{I}$  isotope, thyroid, thymus, dose formation, optimization.

REFERENCES

1. Drozd I.P., Lyp'ska A.I., Bezdrobna L.K. et al. // Nucl. Phys. At. Energy. - 2012. - Vol.13, No. 3. - P. 283 - 288. (Ukr)
2. Drozd I.P., Sova O.A. Dose-dependent changes in effective half-life period of  $^{131}\text{I}$  from laboratory rats thyroid gland // Annual Report-2013 / Inst. Nucl. Res. NAS of Ukraine. - Kyiv, 2014. - P. 118.
3. Drozd I.P., Sova O.A. Lyp'ska A.I. // Nucl. Phys. At. Energy. - 2015. - Vol. 16, No. 2. - P. 157 - 163. (Ukr)
4. Vasilenko I.Ya. Radioiodine // Energy: Economy, Technology, Ecology. - 2003. - No. 5. - P. 57 - 72. (Rus)
5. Sova O.A., Drozd I.P. // Medical and biological problems of vital activity. - 2015. - No. 2 (14). - P. 86 - 93. (Rus)
6. Sova O.A., Drozd I.P. // Nucl. Phys. At. Energy. - 2014. - Vol. 15, No. 4. - P. 359 - 369. (Ukr)
7. Drozd I.P., Sova O.A., Lyp'ska A.I. // Nucl. Phys. At. Energy. - 2015. - Vol. 16, No. 1. - P. 60 - 67. (Ukr)

Надійшла 06.11.2015  
Received 06.11.2015