

УДК 591.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.28>

ЕКСПРЕС-ОЦІНКА ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НОРИЦІ РУДОЇ (*MYODES GLAREOLUS*), ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДОЗИМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дрозд І.П., Павловський В.В.

Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

пр. Науки, 47, 03028, м. Київ

idrozdnbu@ukr.net, vladvpav@gmail.com

Необхідність оцінки віку диких тварин за проведення різноманітних досліджень є дуже важливою і потребує окремого обґрунтування. Так, не знаючи цього фізіологічного параметру, неможливо адекватно охарактеризувати не тільки різноманітні поведінкові особливості піддослідних тварин, але й особливості дозоутворення у них. Це, зокрема, стосується дрібних ссавців, які заселяють великі території, що зазнали суттєвого забруднення радіонуклідами внаслідок радіаційної аварії на Чорнобильській атомній електростанції.

Для проведення цільових радіоекологічних і радіобіологічних досліджень на природних полігонах зазвичай використовують їх мешканців, якими досить часто є мишоподібні гризуни як найбільш розповсюджені біоіндикаторні види.

Для експресної оцінки віку виловлених на натурних дослідних полігонах мишоподібних гризунів (нориці рудої) запропоновано методи, що дозволяють математично формалізувати залежність віку від маси тіла, віку від ширини черепа, а також маси внутрішніх органів від маси тіла. Як вихідні дані використовували відомості, опубліковані у доступній науковій літературі, а також власні дані, отримані за полігонних радіоекологічних досліджень у зоні відчуження Чорнобильської атомної електростанції. Дослідження проводили для одного виду мишоподібних гризунів, широко розповсюдженого у межах українського Полісся – нориці рудої. За відомими реперними значеннями маси тіла гризунів у різні характерні вікові терміни встановлювали і математично формалізували вікові залежності зміни маси тіла тварин, а також оцінювали вік за віковими змінами ширини черепа. Подібним чином, використовуючи наведені в науковій літературі дані щодо воксельного моделювання мишоподібних гризунів, формалізували залежності мас внутрішніх органів від маси тіла тварин.

Використовуючи правомірність застосування принципів аллометрії для оцінки періоду біологічного напіввиведення радіоізотопів із організму для ссавців у широкому діапазоні маси тіла, формалізували його для ізотопу ^{137}Cs . *Ключові слова:* мишоподібні гризуни, нориця руда, вік, аллометрія, маса тіла, маса внутрішніх органів, ширина черепа, період біологічного напіввиведення.

Express assessment of physiological parameters of bank vole (*myodes glareolus*) used in dosimetric research. Drozd I., Pavlovskiy V.

The need to estimate the age of wild animals while conducting various research is very important and requires a separate substantiation. Therefore, without knowing this physiological parameter, it is impossible to adequately characterize not only the various behavioral features of experimental animals, but also the features of dose accumulation in them. This applies, in particular, to small mammals that inhabit large areas that have been significantly contaminated with radionuclides because of the radiation accident at the Chernobyl nuclear power plant.

To carry out targeted radioecological and radiobiological research on natural sites, their inhabitants are usually used, which are quite often mouse-like rodents, as the most widespread bioindicator species.

For the express assessment of the age of mouse-like rodents (bank vole) captured on natural experimental sites, methods are proposed that allow to mathematically formalize the dependency between age and body weight, age and width of the skull, as well as between weight of internal organs and body weight. Information published in the available scientific literature, as well as our own data obtained during polygon radioecological studies in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant, was used as the initial data. The study was conducted for one species of mouse-like rodents, widely distributed within the Ukrainian Polissia - the bank vole. According to the known reference values of the body weight of rodents in different characteristic age periods, age dependencies of changes in the body weight of animals were established and mathematically formalized, and age was also estimated by age-related changes in the width of the skull. Similarly, using the data on voxel modeling of mouse-like rodents found in the scientific literature, the dependency between the mass of internal organs and the body mass of animals was formalized.

Using the legitimacy of applying the principles of allometry to the estimation of the biological half-life of radioisotopes in the body for mammals in a wide range of body weight, it was formalized for the ^{137}Cs isotope. *Key words:* mouse-like rodents, bank vole, age, allometry, body weight, weight of internal organs, skull width, biological half-life.

Постановка проблеми. Про необхідність оцінки віку диких тварин за проведення різноманітних досліджень ми зазначили вище, а на думку автора [1] вона є настільки очевидною, що не потребує особливого обґрунтування. Тому, починаючи із середини минулого століття, пошукам методів оцінки віку було присвячено чимало наукових робіт, однак після виявлення у морських, а потім у наземних ссавців річних нашарувань у кістках і тканинах зубів напрямки пошуків стрімко звужились [1]. Сутність методу: використання факту наявності у ссавців так званих реєструючих структур – дентину та цементу зубів, а також кісткової тканини, які в процесі свого росту реагують на зміну фізіологічного стану організму зміною своєї морфології. При цьому зміни, що виникли, зберігаються тривалий час. Цей метод придатний для оцінки віку ссавців з терміном життя понад один рік із яскраво вираженою сезонністю росту. Його переважно використовують для посмертного визначення віку.

Аналіз вищезгаданих морфологічних маркерів зубів і кісткової тканини став для багатьох видів диких ссавців (переважно для великих) основним методом визначення віку, і багато робіт було присвячено оцінці точності цього методу та аналізу відтворюваності оцінок віку за даним методом. Хоча у багатьох випадках аналіз річних і внутрішньорічних морфологічних маркерів надає досить широкі можливості, було виявлено чимало випадків, коли цей метод був ненадійним або взагалі непридатним для визначення віку. У таких випадках доцільно повертатися до старих методів, описаних у роботах з біології конкретних видів ссавців (огляд таких робіт, наприклад, можна знайти в статті [2]). Це стосується, зокрема, і мишоподібних гризунів.

Мишоподібні гризуни займають суттєву екологічну нішу та є об'єктом численних наукових досліджень, зокрема радіобіологічних і радіоекологічних. Для проведення цільових досліджень вибирають спеціальні полігони, де піддослідні тварини мешкають у природних умовах. Для проведення наукових дослідів тварин періодично відловлюють за усталеними методиками. Але визначення чи, принаймні, оцінка віку цих вилонених тварин є проблематичними, що нерідко суттєво ускладнює або навіть унеможливує вирішення поставлених наукових завдань. Для цього можна використовувати низку методів, про які піде мова нижче, але область застосування практично усіх їх, на жаль, має ті чи інші обмеження, що не дозволяє отримати надійні та однозначні результати. Крім цього, традиційні методи часто є досить трудомісткими і не можуть претендувати на експресність.

Актуальність дослідження. Отже, розроблення методів експресної і водночас досить надійної оцінки віку вилонених мишоподібних гризунів є наразі актуальним. В основу таких методів може бути покладено, на наш погляд, встановлення і матичну формалізацію залежності віку від маси тварин, віку від ширини чи довжини черепа, а також маси органів цих тварин від їхнього віку.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Для радіобіологів практичний інтерес також представляє встановлення і математична формалізація залежності періоду біологічного напіввиведення радіоізотопів, які є аналогами життєво важливих хімічних елементів, із організму тварин від маси тіла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні методи оцінки віку нориці рудої систематизовані та описані у роботі [1]. До таких методів належать: 1) оцінка за зовнішнім виглядом; 2) за ростом коренів зубів; 3) за масою кристалика ока.

Оцінка віку за зовнішнім виглядом. У віці близько 1 міс. тьмяний ювенільний наряд нориці рудої змінюється на яскравіший дорослий [3]. У молодих тварин забарвлення спини та черева більш темне, ніж у дорослих, рудини на спині практично немає.

Оцінка віку за ростом коренів зубів. Найпоширеніший метод визначення віку [3]. Базується на тому, що корені корінних зубів з'являються приблизно з 3-місячного віку, і надалі їх ріст іде паралельно зі сточуванням коронки (рис. 1, 2). Корені починають формуватися в групі III, тоді як у групі IV вони добре розвинені, висота їх збільшується з віком.

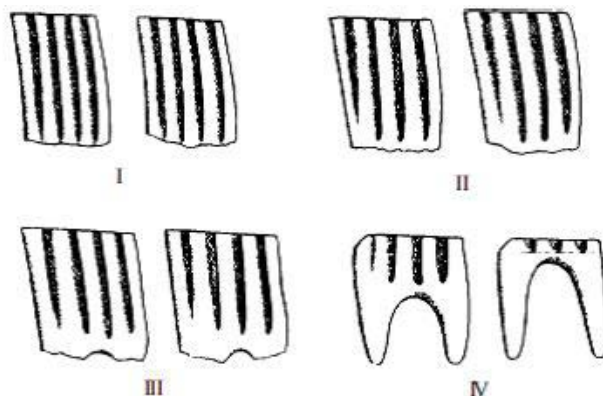


Рис. 1. Умовні вікові групи нориці рудої [3]: I – самостійний молодяк; II – молодь віком 1,5–3 міс.; III – сьогорічки віком 3–4 міс.; IV – дорослі особини, що перезимували

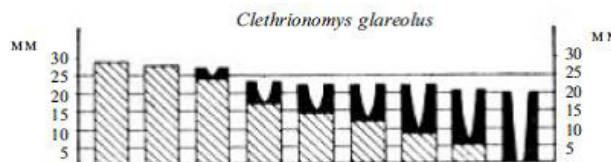


Рис. 2. Схема вікових змін висоти кореня (чорний колір) і коронки (штриховка) нориці рудої [3]

Однак ріст коренів суттєво відрізняється в особин із різних сезонних генерацій. Корені починають рости у віці 2 міс. у особин весняної генерації, 3 міс. – у літньої та 3,5 міс. – у особин осінньої гене-

рації. Інтенсивний ріст коренів у особин весняної генерації відбувається у віці 2–3 міс, у особин літньої та осінньої генерацій – після зимівлі [4].

Оскільки різниця у розвитку коренів у особин різних сезонних генерацій велика, немає сенсу робити спроби отримати рівняння залежності висоти кореня від віку.

Оцінка віку за масою кришталика ока. Автор [5] вважає за доцільне за масою кришталика визначати вік рудої норичі до 3 міс., поки корені зубів ще не розвинені. Але автор [1] відмічає, що хоча кореляція маси кришталика з віком в інтервалі від 26 днів до 3 міс. досить висока, індивідуальна мінливість навіть у такому ранньому віці є настільки великою, що застосування такого трудомісткого методу є невірним. Вік простіше оцінювати за розмірами черепа або масою тіла, з чим погоджуємося і ми.

Оцінка віку за розмірами черепа. Автори [6] зазначають, що для всіх ссавців властивим є поступове збільшення загальних розмірів з віком (філогенетичний ріст). Загальною спрямованістю цього процесу є збільшення всіх метричних ознак, у тому числі розмірів черепа (причому череп зростає як у довжину, так і в ширину), хоча їх приріст із віком сповільнюється. Основний приріст припадає на межу підліткової і дорослої стадій.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На підставі вищезазначеного можна запропонувати методику оцінки віку мишоподібних гризунів за шириною черепа. Для цього доцільно, на наш погляд, використати опубліковані результати вимірювання ширини черепа норичі рудої на території Фінляндії. У публікаціях наведено наступні дані вимірювань: ширина черепа дорівнює 8,1–8,4 мм після народження; 11,6–12,0 мм після відлучення (3 тижні); 12,7 і 13,4 мм у віці 2 і 5 місяців відповідно; 13,8–14,0 мм у віці 10 місяців [7, 8, 9].

Новизна. На підставі наведених вище даних ми запропонували методику оцінки віку тварин за шириною черепа.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розробка цієї методики має суттєве методологічне значення, оскільки доповнює існуючу методологію оцінки віку мишоподібних гризунів, що мешкають у дикій природі.

Викладення основного матеріалу. Ми звели літературні дані щодо залежності ширини черепа від віку у табл. 1, яка після незначної обробки має відповідний вигляд.

Таблиця 1

Залежність ширини черепа норичі рудої від віку

Вік, доба	Ширина голови, мм	Примітки
1	8,25	народження
21	11,40	відлучення
60	12,40	
150	13,30	
300	13,90	

Використовуючи наведені в табл. 1 дані, будували графік залежності віку тварин від ширини черепа і формалізували цю залежність (рис. 3).

Для оцінки віку тварин, вилонених на полігонах зони відчуження ЧАЕС, у них вимірювали ширину черепа. При цьому з метою мінімізації системної похибки вимірювань (зважаючи на їх прецензійність) ці вимірювання проводив один і той же дослідник.

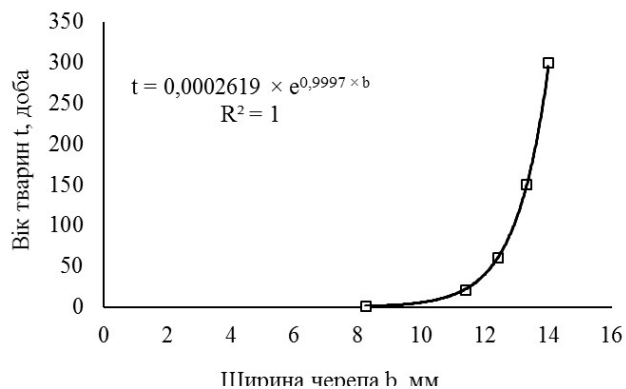


Рис. 3. Залежність віку норичі рудої від ширини черепа.

Оцінка віку за масою тварин. Що стосується методу оцінки віку тварин за масою тіла, ми виходили з наступного.

Математичний опис даних щодо росту організму або частини організму з плином часу забезпечують функції росту [10]. Отже, є підстави вважати, що знаючи масу тварини та її вид можна (з певним припущенням) оцінити її вік.

Для встановлення і математичної формалізації віку норичі рудої (*Myodes glareolus*) від маси тіла ми використовували літературні джерела [11] та результати власних полігонних досліджень у 2021–2022 роках. Ці дані складали три реперних точки: маса новонародженого мишеняти (перша доба); термін і маса тіла мишеняти при відлученні від самиці; термін життя і маса тіла наприкінці життя.

За допомогою пакету прикладних програм Microsoft Excel будували залежності віку тварини від маси тіла і апроксимували їх математичними виразами (рис. 4).

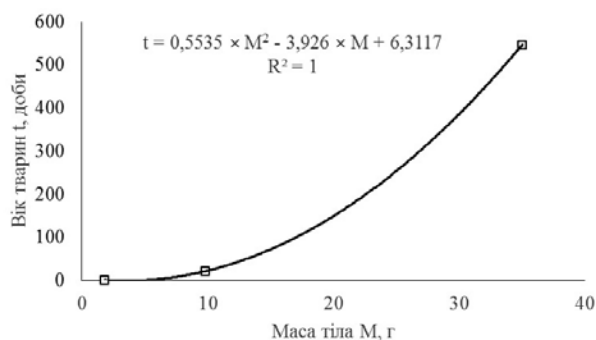


Рис. 4. Залежність віку особин норичі рудої від маси тіла

Наступним завданням було визначити і описати залежності маси органів мишоподібних гризунів від маси тіла. Для цього ми використали дані, опубліковані в роботі [12]. У цій публікації для воксельного моделювання наведені маси основних органів мишей з масами тіла 25, 30 і 35 г. Використавши пакет прикладних програм Microsoft Excel, ми формалізували динамічні залежності зміни з віком маси кожного органу (табл. 3). Останні 4 рядки в табл. 3 ми сформуваємо, використавши дані роботи співробітників нашого інституту. Зробивши розрахунки за встановленими залежностями і порівнявши отримані результати з даними безпосередніх вимірювань мас органів, вилучених співробітниками колективу дослідників нашого інституту у обмеженої кількості мишоподібних гризунів, відловлених на полігонах зони відчуження ЧАЕС, ми отримали цілком задовільне співпадіння.

Нарешті, при проведенні радіобіологічних і радіоекологічних досліджень на полігонах за природних умов дослідники часто зіштовхуються зі ще одною проблемою. У мишоподібних гризунів ступінь накопичення радіонуклідів, які надходять до організму тварин, безпосередньо залежить від ефективного періоду напіввиведення радіоізотопів із організму, який описується як $T_{\text{еф}} = T_{1/2} \times T_6 \div (T_{1/2} + T_6)$, де $T_{1/2}$ – період фізичного напіврозпаду радіонукліду; T_6 – період біологічного напіввиведення радіонукліду із організму. Основними дозоутворюючими радіонуклідами в зоні відчуження ЧАЕС наразі є ізотопи ^{137}Cs + $^{137\text{m}}\text{Ba}$ і ^{90}Sr + ^{90}Y . Періоди їх напіврозпаду становлять відповідно 30,17 і 28,5 років. Оскільки періоди біологічного напіввиведення T_6 вимірюються днями, то вони і будуть визначальними для величини $T_{\text{еф}}$. Значення $T_{\text{еф}}$ для кожного ізотопу залежить, у першу чергу, від маси тіла. Нашою задачею є визначити і описати цю залежність. У роботі ми вирішимо зазначену задачу для ізотопу ^{137}Cs + $^{137\text{m}}\text{Ba}$, який наразі домінує у зоні відчуження ЧАЕС, скориставшись законами алометрії.

Алометрія. Незважаючи на надзвичайну мінливість, живі організми виявляють схожість деяких основних характеристик. Так звані «алометричні закони» можуть використовуватися для вираження такої подібності всередині груп живих організмів (наприклад, ссавців). Алометричні моделі пов'язують кількісні параметри, такі як швидкість метаболізму, з масою їх тіл [13]. Заснована на відкриттях, зроблених наприкінці 19 століття [14], і так званому «законі Клайбера» [15] алометрія стала предметом пізніших досліджень (наприклад, [16]).

Алометричні співвідношення зазвичай виражаються як функція маси біооб'єкту M :

$$Y = a \times M^b,$$

що у логарифмічному масштабі виглядає як просте рівняння лінійної регресії:

$$y = \alpha + b \times x,$$

де $y = \ln(Y)$, $x = \ln(M)$ та $\alpha = \ln(a)$.

Справедливість описаних алометричних співвідношень підтверджується численними експериментальними спостереженнями. Однак експериментальні дані також припускають відхилення від цієї простої лінійної моделі. Грунтуючись на нелінійності алометричних даних, що експериментально спостерігається, можна використовувати прямі узагальнення лінійної регресії для перевірки статистичної значущості нелінійних ефектів в алометричних співвідношеннях, використовуючи звичайні позначення, такі як

$$Y = a \times M^b,$$

де узагальнені алометричні коефіцієнти визначаються як:

$$a = \exp(\beta_0), \\ b = \sum_{n=1}^k \beta_n \times (\ln M)^{n-1}.$$

Узагальнені алометричні залежності описують нелінійні ефекти, що спостерігаються серед біологічних даних, які можна показати за допомогою апроксимації швидкості основного обміну (ШОО) для наземних ссавців. За припущенням Клайбера [17], питома ШОО (тобто енергія метаболізму на одиницю маси тіла) може бути показником швидкості біологічних процесів, які призводять до виведення речовин із організму [18]. Таким чином, ШОО можна використовувати для масштабування біологічного періоду напіввиведення добре вивчених ссавців (миші, щури, кролі) на інших тварин, для яких немає достатньої інформації.

Узгодження виконують з використанням вимірної ШОО, яка є в базі даних PanTHERIA [19], що включає дані для ссавців з масою тіла від грамів до сотень кілограмів. Для цих тварин ШОО сильно корелює з масою і варіюється у межах чотирьох порядків величини.

Зауважимо, що алометричні залежності достатньо відповідають реальності за умов стабільності середовища мешкання, кліматичних умов та відсутності різноманітних аномалій, а значить отримані шукані залежності і величини слід сприймати лише як оціночні.

Використовуючи розроблені власні методики ми оцінили вік усіх відловлених у 2021–22 рр. на дослідних полігонах зони відчуження ЧАЕС особин нориці рудої за масою тіла та за шириною черепа (табл. 2; примітки: ж – самиці; ч – самці; н/д – немає даних). Простежується кореляція результатів, отриманих за обома методиками, однак маса тіла, на відміну від ширини черепа, відрізняється дуже великою варіабельністю. Тому ми вважаємо, що оцінювати вік особин доцільно за шириною черепа.

Що стосується залежності маси внутрішніх органів від маси тіла тварин: хоча для встановлення такої залежності ми використали дані модельних тварин, це виявилось цілком допустимим, оскільки за порівняння маси органів реальних відловлених тварин (з масами, близькими до модельних) та маси модельних органів спостерігали розбіжності, що не перевищували $\pm 20\%$.

Результати оцінки віку особин нориці рудої за двома методами

№ з/п	Стать	Ширина голови, мм	Маса тіла, г	Вік за шириною голови, доба	Вік за масою тіла, доба	№ з/п	Стать	Ширина голови, мм	Маса тіла, г	Вік за шириною голови, доба	Вік за масою тіла, доба
1	ж	12,53	13,62	72	56	51	ж	12,68	14,85	84	70
2	ж	12,26	12,08	55	40	52	ж	12,32	16,62	58	94
3	ж	12,85	17,17	99	102	53	ж	13,33	16,36	161	90
4	ж	14,30	36,20	423	590	54	ж	12,74	17,40	89	106
5	ж	14,60	22,90	571	207	55	ч	13,39	20,95	170	167
6	ч	12,70	14,69	86	68	56	ж	12,36	14,87	61	70
7	ж	13,84	22,93	267	207	57	ж	12,48	14,85	69	70
8	ж	12,05	12,60	45	45	58	ж	11,84	11,87	36	38
9	ч	12,37	13,92	61	59	59	ж	11,67	10,40	31	25
10	ж	11,72	10,01	32	22	60	ч	12,35	12,24	60	41
11	ж	12,67	18,10	83	117	61	ж	12,67	16,11	83	87
12	ж	13,20	15,73	141	82	62	ж	11,56	13,40	27	53
13	ч	11,62	10,78	29	28	63	ч	11,50	10,64	26	27
14	ч	11,49	10,86	26	29	64	ч	11,28	8,78	21	15
15	ч	11,91	15,75	39	82	65	ж	11,33	8,84	22	15
16	ж	14,21	28,90	387	355	66	ж	11,78	13,28	34	52
17	ч	14,10	23,22	347	214	67	ж	11,78	11,42	34	34
18	ж	13,52	29,00	194	358	68	ч	11,75	12,45	33	43
19	ж	14,08	24,92	340	252	69	ч	12,22	11,26	53	32
20	ч	14,25	26,10	403	281	70	ч	12,07	14,01	46	60
21	ж	14,06	21,90	333	186	71	ж	12,33	14,93	59	71
22	ч	13,32	н/д	159	6	72	ж	12,72	17,37	87	105
23	ж	13,01	17,77	117	111	73	ч	12,28	15,94	56	84
24	ч	12,91	15,74	105	82	74	ж	12,31	16,90	58	98
25	ж	12,59	н/д	77	6	75	ч	13,27	18,54	151	124
26	ж	13,63	27,34	217	313	76	ж	11,10	8,12	17	11
27	ч	12,96	17,63	111	109	77	ж	12,27	14,80	56	69
28	ж	12,80	17,36	95	105	78	ч	12,02	11,59	43	35
29	ч	13,38	22,01	169	188	79	ж	13,29	18,38	154	121
30	ж	13,31	18,82	157	128	80	ж	12,91	12,55	105	44
31	ж	12,50	16,79	70	96	81	ч	12,87	15,31	101	76
32	ж	12,14	14,67	49	68	82	ч	13,42	22,01	176	188
33	ж	12,77	16,38	92	91	83	ч	12,78	13,16	93	51
34	ч	12,82	15,73	96	82	84	ж	13,59	25,81	208	274
35	ж	12,98	16,13	113	87	85	ч	11,94	12,18	40	41
36	ж	13,57	23,33	204	216	86	ж	11,75	10,64	33	27
37	ж	12,98	17,89	113	113	87	ж	11,65	9,39	30	18
38	ж	13,22	17,67	144	110	88	ч	11,48	11,45	25	34
39	ч	13,96	27,13	301	307	89	ж	11,59	9,87	28	21
40	ч	13,12	22,81	130	205	90	ж	11,73	11,17	32	32
41	ж	13,28	19,88	153	147	91	ж	11,49	10,26	26	24
42	ж	13,02	23,29	118	215	92	ж	11,81	12,93	35	48
43	ч	11,84	14,44	36	65	93	ж	13,98	26,47	307	290
44	ж	13,63	35,43	217	562	94	ч	12,59	18,30	77	120
45	ж	12,26	15,47	55	78	95	ж	11,54	11,19	27	32
46	ж	12,57	16,69	75	95	96	ч	12,19	17,49	51	107
47	ж	12,41	15,41	64	77	97	ч	12,45	14,69	67	68
48	ч	13,39	20,05	170	150	98	ж	11,52	10,80	26	28
49	ж	12,55	12,93	74	48	99	ж	10,92	6,99	14	6
50	ж	12,58	14,12	76	61	100	ж	11,33	10,07	22	23

Таблиця 3

Залежність маси органів від маси тіла мишей

Орган	Маса тіла, г			Залежність	Критерій R ²
	25	30	35		
Мозок	0,466	0,568	0,666	$m=0,0153M^{1,0625}$	0,9998
Серце	0,235	0,291	0,342	$m=0,000653M^{1,1169}$	0,999
Шлунок	0,055	0,069	0,082	$m=0,0012M^{1,1887}$	0,9991
Тонка кишка	1,74	2,12	2,49	$m=0,00564M^{1,0657}$	0,9999
Товста кишка	0,583	0,709	0,83	$m=0,0198M^{1,0505}$	0,9998
Нирки	0,302	0,374	0,432	$m=0,0098M^{1,0673}$	0,996
Печінка	1,74	2,15	2,57	$m=0,0417M^{1,1592}$	1,000
Легені	0,087	0,107	0,131	$m=0,0017M^{1,214}$	0,9982
Підшлункова залоза	0,305	0,378	0,45	$m=0,0074M^{1,1566}$	0,9999
Скелет	2,18	2,61	3,01	$m=0,0994M^{0,9597}$	0,9997
Селезінка	0,111	0,136	0,157	$m=0,004M^{1,033}$	0,9975
Сім'яники	0,16	0,197	0,228	$m=0,0054M^{1,0553}$	0,9973
Щитоподібна залоза	0,014	0,016	0,02	$m=0,0005M^{1,0502}$	0,9635
Сечовий міхур	0,06	0,075	0,088	$m=0,0015M^{1,1408}$	0,9978
Шкіра	2,45	3,02	3,56	$m=0,065M^{1,1278}$	0,9999
М'язи	8,21	10,14	12,01	$m=0,2153M^{1,1316}$	0,9997
Матка	2,75	3,40	4,03	$m=0,071M^{1,1366}$	0,9998
Шлунково-кишковий тракт із вмістом	5,09	6,28	7,43	$m=0,1335M^{1,131}$	0,9997

Залишається побудувати і математично апроксимувати залежність T_6 від маси тіла.

Для цього використовували закони алометрії, а також відомі з довідників і наукових публікацій дані щодо періоду біологічного напіввиведення ^{137}Cs із організму ссавців (включаючи людину) з різною масою тіла, а саме: миші (маса 21 г) – 3 доби; шури (400 г) – 8,4 діб; кролі (1800 г) – 19 діб ($T_{\text{эф}}$) [18, 20]; люди (70000 г) – 90-105 діб [21, 22].

Внаслідок графічної інтерпретації (рис. 5) ми виявили, що період біологічного напіввиведення ^{137}Cs із організму ссавців задовільно описується степеневою залежністю:

$$T_6 = 0,7266 \times M^{0,4345}$$

де M – маса тіла.

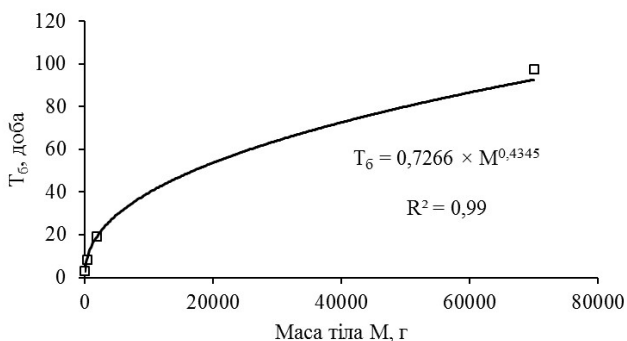


Рис. 5. Залежність біологічного періоду напіввиведення ^{137}Cs + ^{137m}Ba від маси тіла ссавців.

Отже, враховуючи, що дитинчата переходять на природний раціон після відлучення від матері у віці 21 доба (маса тіла 10,8 г), можемо розрахувати значення T_6 і $T_{\text{эф}}$ для реперних значень маси тіла нориці рудої (табл. 4).

Таблиця 4

Результати розрахунку значень T_6 і $T_{\text{эф}}$ ізотопу ^{137}Cs для реперних значень маси тіла нориці рудої

	Маса тіла, г												
	10,8	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	35
T_6	2,04	2,14	2,21	2,29	2,36	2,42	2,49	2,55	2,61	2,67	2,94	3,18	3,41
$T_{\text{эф}}$	2,04	2,14	2,21	2,29	2,36	2,42	2,49	2,55	2,61	2,67	2,94	3,18	3,40

Головні висновки. Використовуючи джерела наукової літератури та дані полігонних досліджень, отримані співробітниками відділу радіобіології та радіоекології Інституту ядерних досліджень НАН України, ми встановили для нориці рудої наступні співвідношення:

- 1) залежність віку від маси тіла та ширини черепа;
- 2) залежність маси внутрішніх органів від маси тіла;
- 3) залежність біологічного періоду напіввиведення ізотопу ^{137}Cs від маси тіла.

Виконавши необхідні розрахунки та оцінивши за двома розробленими методами вік тварин, відловлених на дослідних полігонах зони відчуження ЧАЕС, ми дійшли висновку, що для оцінки віку краще використовувати відповідний метод за шириною черепа, хоча інколи (за необхідності прижиттєвої оцінки) вік з певним припущенням можна оцінювати за масою тварини. При цьому для більшої вірогідності доцільно разом із даними методами використовувати й інші (непрямі) методи.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки доз опромінення мишоподібних гризунів, що мешкають на радіаційно забруднених територіях.

Література

1. Klevezal G.A. Recording structures of mammals. Determination of age and reconstruction of life history. Rotterdam, 1996. 274 p.
2. Morris P.A. A review of mammalian age determination methods. *MammalRev.* 1972. Vol. 2. № 3. P. 69–104.
3. Tupikova N.V., Sidorova G.A., Konovalova E.A. A method of age determination in *Clethrionomys*. *Acta Theriol.* 1968. Vol. 13. № 8. P. 99–115.
4. Zejda J. A device serving to determine the birth of *Clethrionomys glareolus* by the length of M1 roots. *Folia Zool.* 1977. Vol. 26. № 3. P. 207–211.
5. Kozakiewicz M. The weight of eye lens as the proposed age indicator of the bank vole. *Acta Theriol.* 1976. Vol. 21. № 23. P. 314–316.
6. Загороднюк І.В., Кавун К.Ю. Вікова мінливість як основа формування міжвидових відмінностей у гризунів (*Vuriformes*). *ДАН України.* 2000. № 3. С. 174–180.
7. Kallio E.R. et al. First Report of *Anaplasma phagocytophilum* and *Babesia microti* in Rodents in Finland. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases.* 2014. Vol. 14. № 6. P. 389–393.
8. Mappes T., Koskela E., Ylonen H. Breeding Suppression in Voles under Predation Risk of Small Mustelids: Laboratory or Methodological Artifact? *Oikos.* 1998. Vol. 82. № 2. P. 365–369.
9. Oksanen T.A., Jonsson P., Koskela E., Mappes T. Optimal allocation of reproductive effort: manipulation of offspring number and size in the bank vole. *Proc. Biol. Sci.* 2001. Vol. 268. № 1467. P. 661–666.
10. France J., Dijkstra J., Dhanoa M.S. Growth functions and their application in animal science. *Ann. Zootech.* 1996. Vol. 45. P. 165–174.
11. AnAge entry for *Myodes glareolus* // AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. URL: http://www.genomics.senescence.info/species/entry.php?species=Myodes_glareolus (дата звернення 16.12.2023).
12. Keenan M.A., Stabin M.G., Seagars W.P., Fernald M.J. RADAR realistic animal model series for dose assessment. *J. Nucl. Med.* 2010. Vol. 51 № 3. P. 471–476.
13. Rubner M. Ueber den Einfluss der Körpergrösse auf Stoff- und Kraftwechsel. *Z. Biol.* 1883. Vol. 19. P. 535–562.
14. ICRP. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation. ICRP Publication 136. *Ann. ICRP.* 2017. Vol. 46. № 2. P. 1–136.
15. Kleiber M. Body size and metabolic rate. *Physiol. Rev.* 1947. Vol. 27. № 4. P. 511–541.
16. White C.R., Seymour R.S. Allometric scaling of mammalian metabolism. *J. Exp. Biol.* 2005. Vol. 208. P. 1611–1619.
17. Kleiber M. Metabolic turnover rate: a physiological meaning of the metabolic rate per unit body weight. *J. Theor. Biol.* 1975. Vol. 53. P. 199–204.
18. Fagerström T. Body weight, metabolic rate, and trace substance turnover in animals. *Oecologia.* 1977. Vol. 29. P. 99–104.
19. Jones K.E. et al. PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. *Ecology.* 2009. Vol. 90. Iss. 9. P. 2648.
20. Константинов М.П., Журбенко О.А. Радіаційна безпека: навч. посіб. для вищ. навч. закл. Суми: Університетська книга, 2003. 151 с.
21. ICRP. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89. *Ann. ICRP.* 2002. Vol. 32. № 3–4. P. 1–265.
22. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP.* 2007. Vol. 37. № 2–4. P. 1–332.