

УДК 599.32/38-156.8:57.081.15

СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ТОЧНОГО МЕСТА РОЖДЕНИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ИССЛЕДОВАНИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРУППОВОГО МЕЧЕНИЯ РОДАМИНОМ

© 2022 г. Е. Б. Григоркина^а, *, Г. В. Оленев^а, О. В. Толкачев^а

^аИнститут экологии растений и животных УрО РАН, Россия 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

*e-mail: grigorkina@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 30.04.2021 г.

После доработки 02.07.2021 г.

Принята к публикации 23.07.2021 г.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, групповое мечение, родамин В, передача маркера с молоком

DOI: 10.31857/S036705972201005X

Дисперсия (расселение, переселение) обеспечивает существование метапопуляций, связность видового населения на больших территориях и определяет устойчивость популяций в сильно фрагментированных ландшафтах [1]. Мелкие млекопитающие обычно используются в качестве тест-объектов в исследованиях, проводимых в зонах естественных геохимических аномалий или техногенного загрязнения [2–11]. Учет последствий дисперсии в данной группе видов необходим для корректной оценки аккумуляции поллютантов и биологических эффектов. К наиболее эффективным методам получения данных о передвижениях животных относится групповое мечение родамином В (RB). В организме млекопитающих маркер встраивается в кератинсодержащие структуры — шерсть, когти, вибриссы [12]. При этом формируется системная (фиксированная в ткани) метка, которая легко обнаруживается по характерной флуоресценции при осмотре животного [13, 14]. У грызунов и землероек маркер сохраняется длительное время, часто пожизненно [13].

В полевых исследованиях место рождения животных с меткой обычно остается неизвестным. Можно констатировать факт перемещения меченых животных или, напротив, их оседлость. При этом резиденты могут включать зверьков как родившихся на участке мечения, так и вселившихся извне. Мигрантами, отловленными на удалении от места мечения, могут быть не только животные, родившиеся на площадке, но и транзитенты, посетившие ее лишь один раз, например в ходе расселения. На лабораторных мышах показано [13], что RB может передаваться детенышам с материнским молоком. В полевых исследованиях на площадках мечения мы многократно отмечали флуоресценцию в сосках кормящих самок (рис. 1).

Выявление особей с молочной меткой в зонах локального техногенного загрязнения позволит сформировать пул зверьков с точно известным местом рождения. Это полезно как для калибровки методик, так и для проверки гипотез, подразумевающих длительное воздействие на особей факторов, связанных с определенной территорией. Цель настоящей работы — проверка возможности выявления мелких млекопитающих, меченых RB через материнское молоко в природных условиях.

Исследования проведены в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) (Челябинская обл., Южный Урал). Растительность района типична для лесостепной зоны, характеризуется чередованием лугово-степных пространных, березовых, березово-осиновых колков, сосновых лесов.

Мечение RB выполнено в мае 2019 г. на участке площадью 1 га в периферийной части зоны ВУРСа (55°46'282" с.ш., 60°53'673" в.д.) [15, 16]. Приманку с RB готовили на основе овсяных хлопьев согласно [13]. Приманку (5 кг) равномерно распределили на площади 1 га, помещая куски в естественные укрытия для более длительного сохранения и доступности животным. Три контрольных отлова — в июле (43 дня после мечения), августе (78 дней) и сентябре (129 дней), проведены на четырех участках, включая площадку мечения. Места отловов выбирали с учетом имеющихся в районе исследований элементов ландшафта — озер, которые канализируют передвижения животных, что повышает шансы поимки зверьков с меткой на больших расстояниях. Отловы проведены методом безвозвратного изъятия с помощью крючковых давилок с деревянным основанием.

На каждой площадке на сутки методом ловушко-линий устанавливали по 40–60 ловушек с ин-

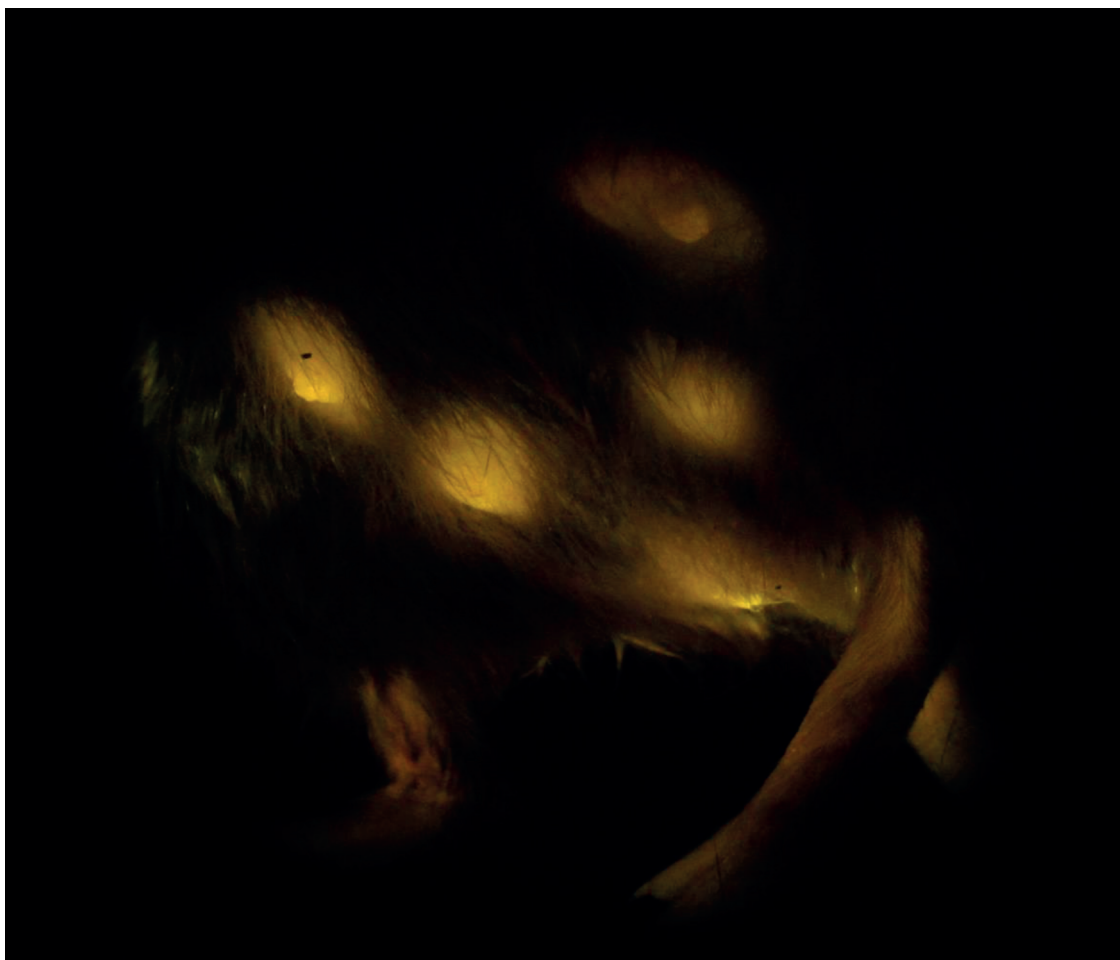


Рис. 1. Родамин В в сосках кормящей самки *Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811.

тервалом 10 м. Продолжительность отлова обусловлена унифицированной в наших исследованиях многолетней схемой работы [15, 16]. Объем промыслового усилия составил 950 ловушко-суток. У животных определяли вид, пол, вес, принадлежность к функциональной группировке (перезимовавшие, сеголетки) и репродуктивный статус по комплексу признаков. Эти данные использовали для определения возраста особей. При возрастной диагностике мышей дополнительно учитывали одонтологические признаки [17]. RB-метку выявляли по желтой флуоресценции при осмотре всей поверхности тела зверьков согласно [13, 14]. Привлечены также материалы, полученные нами в исследованиях с использованием группового мечения на территории г. Екатеринбурга и Ильменского заповедника (Челябинская обл., Южный Урал).

Для дифференциации пути поступления RB мы использовали особенности локализации метки в теле зверьков. У грызунов, получивших RB с кормом, метка на шкуре обычно проявляется в случайных местах и занимает менее 50% поверхности тела [13]. В вибриссах метка также проявля-

ется частично [14]. Эти паттерны обусловлены особенностями роста кожных дериватов у грызунов, а также тем, что RB встраивается только в кератиновые структуры, которые растут во время поступления маркера в организм [12, 18, 19]. У лабораторных мышей известны “волны роста” волос, которые перемещаются по телу [20]. У диких грызунов мы тоже обнаруживаем метку на фронте роста волос, хотя чаще расположение флуоресцирующих участков случайно (рис. 2).

В жизни грызунов есть только один период, когда все дериваты кожи растут интенсивно и одновременно — вскоре после рождения и до формирования шерстного покрова. При этом у лабораторных мышей, получивших RB с молоком, метка проявляется по всему шерстному покрову, во всех вибриссах и когтях. У диких видов метка не видна в интенсивно окрашенных частях шкуры (спина, бока) и поэтому обнаруживается только на вентральной стороне тела. В дальнейшем метка фрагментируется и постепенно пропадает по мере замены старых волос. У лабораторных мышей молочная метка сохранялась не менее 4 мес., одна-

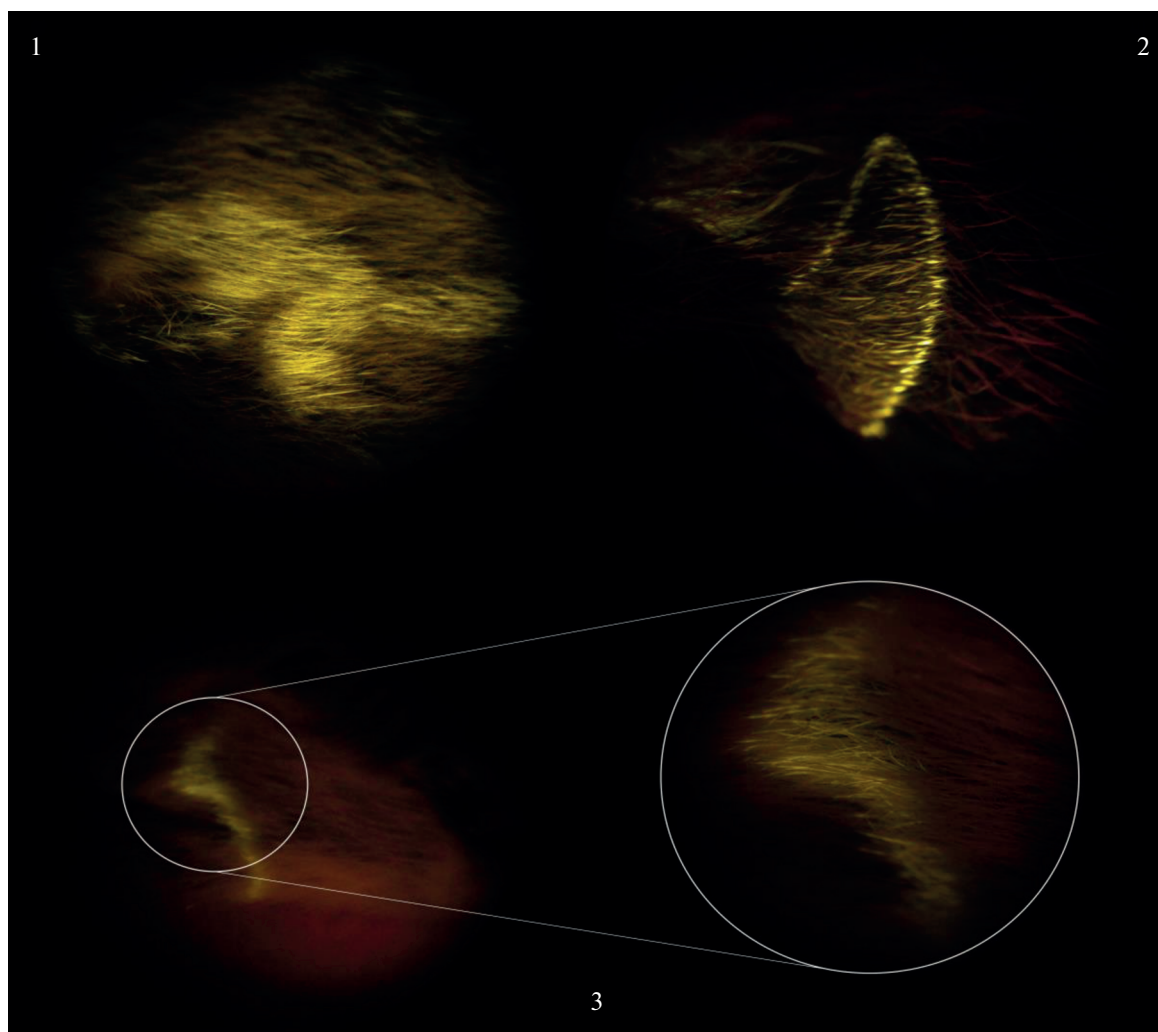


Рис. 2. Примеры проявления системной метки (желтое свечение) при поступлении маркера с приманкой. Случайное расположение: 1 — в области груди и живота половозрелой самки *Myodes glareolus* Schreber, 1780; 2 — на ушной раковине неполовозрелой самки *M. glareolus*; 3 — метка на фронте роста волос на вентральной стороне тела (грудь, живот) перезимовавшей самки *S. uralensis*.

ко к концу этого срока ее уже нельзя было отличить от метки, полученной с приманкой, так как она оставалась в виде отдельных небольших фрагментов. Первоначально молочная метка видна в одинаковой секции каждой из вибрисс (проксимальная, средняя или дистальная), которые имеют разную длину. Положение метки в волосе зависит от того, на какой фазе роста он находился в момент поступления RB в организм. Метка в вибриссах сохраняется до 2 мес. [13, 21], затем они отрастают и поочередно заменяются новыми.

Таким образом, молочная R-B-метка должна проявляться у диких грызунов до двухмесячного возраста на всей или почти всей вентральной поверхности тела. Кроме того, флуоресценция должна быть во всех или нескольких вибриссах, проявляясь в одной и той же секции каждого волоса. У более взрослых животных можно ожидать выявле-

ния молочной метки только в виде флуоресценции на большей части вентральной поверхности тела, но не в вибриссах. Очевидно, на определенном этапе уже невозможно будет понять, была ли получена метка с молоком или приманкой.

У бурозубок метка проявляется иначе, чем у грызунов. Нередко у зверьков, отловленных на площадке мечения, RB обнаруживается в вибриссах и когтях, но полностью отсутствует в шерсти. Если системная метка проявляется на шерсти, то чаще всего на всей вентральной поверхности тела (рис. 3). Метку на фронте роста волос у землероек мы никогда не наблюдали. На данном этапе целесообразно причислять к меченым через молоко только тех особей, у которых одновременно присутствует метка на всей вентральной поверхности тела и в одинаковой секции всех вибрисс.



Рис. 3. Сравнение вида вентральной стороны тела сеголеток *Sorex araneus* Linnaeus, 1758 без метки (слева) и с системной меткой по всей вентральной стороне тела (справа).

В ходе исследования было отловлено 131 животное, из них 109 — грызуны, 22 — бурозубки. В разные сроки на разных участках были обнаружены неполовозрелые сеголетки *S. uralensis*, *Apodemus agrarius* (Pallas, 1771) и *S. araneus* с молочной меткой (табл. 1), доля которых равна 12.5% (4 из 32 меченых). Возраст мышей соответствует 1.5–2 мес. В отличие от грызунов бурозубки появляются в уловах только после полного формирования особи. Невозможно отличить землеройку, только что вышедшую из гнезда, от особи в возрасте нескольких месяцев (до конца лета). Вес зверьков меняется день ото дня [22], но тенденции к его изменению с возрастом у сеголеток *S. araneus* не наблюдали [23], поэтому определить возраст по весу животного практически невозможно.

Молочная метка была расположена на всей или большей части вентральной поверхности тела у всех зверьков. Спустя 43 дня после мечения

она была более яркой, чем через 78 и 129 дней. Вероятно, это вызвано снижением количества приманки, пригодной для поедания, что должно приводить к уменьшению средних получаемых доз РВ. Обычно приманка остается съедобной до двух недель, но при раскладывании в естественные укрытия, как в нашем исследовании, может сохраняться значительно дольше. Это объясняет, почему у лесной мыши, отловленной через 78 дней после начала экспонирования приманки, обнаружена метка в вибриссах. У трех зверьков РВ-метка зарегистрирована во всех вибриссах, при этом она располагалась в одинаковых секциях всех волос у каждой особи.

Таким образом, нам удалось выявить четыре зверька трех видов, объединенных общим местом рождения и, как минимум, первых двух недель жизни — на участке мечения площадью 1 га на периферии зоны ВУРСа. Одно животное стало здесь же резидентом, а три других переселились

Таблица 1. Характеристики животных, получивших RB-метку с молоком

Вид	Дата отлова, срок с начала мечения, дни	Дистанция от площадки мечения, м	Локализация метки	Пол	Вес тела, г; тимуса, мг	Показатели генеративного состояния (описание матки, вес семенника, мг)
<i>A. agrarius</i>	03.07.19, 43	Участок мечения	Яркая системная метка на большей части живота, дистальные (концевые) части всех вибрисс	♀	12.0; 20.0	Матка нитевидная
<i>S. araneus</i>	03.07.19, 43	9300	Яркая системная метка по всей вентральной стороне тела, когти, дистальные части всех вибрисс	♂	7.0 —	2.0
<i>S. uralensis</i>	07.08.19, 78	9300	Слабая системная метка на большей части живота, в средней части большинства вибрисс	♀	13.0; 22	Матка нитевидная
<i>A. agrarius</i>	27.09.19, 129	1500	Слабая системная метка на большей части живота	♀	13.0 16	Матка нитевидная

на 1.5 и 9.3 км. Мы предполагали, что RB может проникать через плацентарный барьер (чисто гипотетически) или что самка, съев приманку с RB, могла покинуть площадку и, родив на новом месте, начала кормить детенышей молоком с маркером, пока он циркулирует в крови (1–2 сут). Но поскольку детеныши рождаются голыми, размер метки в этом случае не может превышать размер волосаного фолликула. Поэтому после отращения волос мы могли бы увидеть в каждом из них метку размером менее 1 мм. У мелких млекопитающих детеныши начинают обрастать мехом спустя примерно неделю после рождения, когда несвязанный RB уже был бы гарантированно выведен из организма. В действительности у всех зверьков с молочной меткой наблюдалось сплошное светящееся поле на вентральной стороне тела (см. рис. 3). При этом волосы часто флуоресцируют целиком, что указывает на поступление маркера в организм в период их интенсивного роста. Следовательно, молодых животных (*S. uralensis*, *A. agrarius*, *S. araneus*), получивших RB с молоком, можно рассматривать как нерезидентов, самостоятельно переместившихся на выявленные дистанции.

Полученные результаты принципиально важны, хотя ограничены небольшим количеством особей с молочной меткой и спецификой объектов. Описанный способ выявления места рождения животных полезен при изучении отдаленных последствий радиационного и других токсических воздействий. В биоиндикационных исследованиях важно знать, в течение какого времени, а также на какой стадии онтогенеза особь находилась под воздействием поллютантов, что определяет чувствительность организма к интоксикации (повреждению). Предлагаемый метод позволит выявлять

мелких млекопитающих, родившихся на определенной территории и подвергшихся изучаемому воздействию на ранних (наиболее уязвимых) стадиях онтогенеза.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, а также частично поддержана РФФИ (проект № 20-04-00164).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и подтверждают, что в работе с животными соблюдались общепринятые этические нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hansk I., Gilpin M.* Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain // Biological J. of the Linnean Society. 1991. V. 42. P. 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00548.x>
2. *Theodorakis C.W., Bickham J.W., Lamb T.* et al. Integration of genotoxicity and population genetic analyses in kangaroo rats (*Dipodomys merriami*) exposed to radionuclide contamination at the Nevada Test Site, USA // Environ. Toxicol. and Chem. 2001. V. 20. № 2. P. 317–326.
3. *Гилева Э.А., Большаков В.Н., Ялковская Л.Э.* Межвидовые различия по реакции генома грызунов из природных популяций на хроническое облучение // Докл. РАН. 2002. Т. 387. № 3. С. 418–421.
4. *Ryabokon N.I., Goncharova R.I.* Transgenerational accumulation of radiation damage in small mammals chronically exposed to Chernobyl fallout // Radiat. Environ. Biophys. 2006. V. 45. P. 167–177.
5. *Байтумирова Е.А., Мамина В.П., Жигальский О.А.* Размножение европейской рыжей полевки (*Myodes glareolus*: Rodentia) в условиях естественных геохимических аномалий // Журн. общ. биол. 2010. Т. 71. № 2. С. 176–186.

6. Воробейчик Е.Л., Нестеркова Д.В. Техногенная граница распространения крота в районе воздействия медеплавильного завода: смещение в период сокращения выбросов // Экология. 2015. № 4. С. 308–312.
7. Ракитин С.Б., Григоркина Е.Б., Оленев Г.В. Анализ микросателлитной ДНК у грызунов из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа и сопредельных территорий // Генетика. 2016. Т. 52. № 4. С. 453–460.
8. Васильев А.Г., Васильева И.А., Шкурихин А.О. Геометрическая морфометрия: от теории к практике. М.: КМК, 2018. 471 с.
9. Bashlykova L., Rascosha O., Starobor N. Induction of abnormal sperm heads in small mammals under chronic ionizing radiation // Turk. J. Zool. 2019. V. 43. P. 540–544.
<https://doi.org/10.3906/zoo-1903-6>
10. Orekhova N.A. Hepatic effects of low-dose rate radiation in natural mouse populations (*Apodemus uralensis* and *Apodemus agrarius*): comparative interspecific analysis // Int. J. of Radiation Biology. 2020. V. 96. № 8. P. 1038–1050.
<https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1770362>
11. Мухачева С.В. Многолетняя динамика сообществ мелких млекопитающих в период снижения выбросов медеплавильного завода. 1. Состав, обилие и разнообразие // Экология. 2021. № 1. С. 66–76. [Mukhacheva S.V. Long-term dynamics of small mammal communities in the period of reduction of copper smelter emissions: 1. Composition, abundance, and diversity // Russ. J. of Ecol. 2021. V. 52. № 1. P. 84–93.]
12. Fisher P. Review of using Rhodamine B as a marker for wildlife studies // Wildl. Soc. Bull. 1999. V. 27. P. 318–329.
13. Толкачев О.В., Беспмятных Е.Н. Новый метод детекции родаминовой метки и возможности его применения в зоологических исследованиях // Журнал СФУ. Биология. 2018. Т. 12. № 4. С. 352–365.
14. Tolkahev O. A new baiting scheme and simple method of rhodamine B detection could improve biomarking of small mammals // European Journal of Wildlife Research. 2019. V. 65. № 10.
<https://doi.org/10.1007/s10344-018-1243-5>
15. Григоркина Е.Б., Оленев Г.В. Миграции грызунов в зоне влияния Восточно-Уральского радиоактивного следа (радиобиологический аспект) // Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53. № 1. С. 76–83.
16. Grigorkina E.B., Olenov G.V. Migrations of rodents in the zone of local radioactive contamination at different phases of population dynamics and their consequences // Biol. Bull. 2018. V. 45. № 1. P. 110–118.
17. Колчева Н.Е. Стертость зубов как критерий возраста малой лесной мыши при анализе возрастной структуры популяций // Вестник ОГУ. Спецвыпуск. 2009. С. 77–80.
18. Spurr E.B. Rhodamine B as a systemic hair marker for assessment of bait acceptance by stoats (*Mustela erminea*) // New Zealand J. of Zoology. 2002. V. 29. P. 187–194.
<https://doi.org/10.1080/03014223.2002.9518302>
19. Weerakoon M.K., Price C.J., Banks P.B. Hair type, intake, and detection method influence Rhodamine B detectability // J. Wildl. Manag. 2013. V. 77. P. 306–312.
20. Müller-Röver S., Handjiski B., van der Veen C. et al. A comprehensive guide for the accurate classification of murine hair follicles in distinct hair cycle stages // J. of Investigative Dermatology. 2001. V. 117. № 1. P. 3–15.
21. Jacob J., Jons D.A. Retention of the bait marker Rhodamine B in wild house mice // Wildl. Res. 2002. V. 29. P. 159–164.
22. Pucek Z. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews // Acta Theriologica. 1965. V. 10. № 26. P. 369–438.
23. Shchipanov N.A., Zima J., Churchfield S. Introducing the Common Shrew // Shrews, Chromosomes and Speciation (Cambridge Studies in Morphology and Molecules: New Paradigms in Evolutionary Bio). Eds. Searle J., Polly P., Zima J. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. P. 19–67.
<https://doi.org/10.1017/9780511895531>