

Дальние перемещения мелких млекопитающих в осенне-зимний период

© 2023. Е. Б. Григоркина, к. б. н., с. н. с.,

Г. В. Оленев, д. б. н., зав. лабораторией,

Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН,

620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202,

e-mail: grigorkina@ipae.uran.ru, olenev@ipae.uran.ru

Впервые в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа – ВУРС (Челябинская область, Южный Урал) на мелких млекопитающих из природной популяции показана реальная возможность выявления особей с родаминовой меткой, полученной в предыдущем году. Цель работы – оценить дальние дисперсии мелких млекопитающих в осенне-зимний период, используя методику группового мечения родамином В (RB). Однократное поедание приманки обеспечивает системную (волосы, когти, вибриссы) метку. Зафиксированный срок сохранения метки для малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811) составил 338 сут, для обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) – 312 сут, для красной полёвки (*Myodes rutilus* Pallas, 1779) – 251 сут. Это позволило впервые оценить дальние дисперсии зимовавших особей в осенне-зимний период из зоны ВУРС на сопредельные территории и наоборот. Выяснилось, что *S. uralensis* способны расселяться на расстояние до 10800 м, *M. rutilus* – 9500 м, *S. araneus* – 9300 м, что является максимально зарегистрированными из известных дистанций для данных видов. Выявлено преобладание самок, как у зимовавших осёдлых животных, так и у дальних мигрантов. Возможно, расселение самок является эволюционно более выгодным для популяции, поскольку они служат потенциальным резервуаром генетического разнообразия. Наличие дальних мигрантов обеспечивает пространственную и функциональную связанность населения и указывает на возможность обмена генетической информацией между популяционными группировками импактной и прилежащих территорий. Методика группового мечения родамином показала свою эффективность при исследовании пространственных перемещений особей в осенне-зимний период. Её целесообразно включить в систему мониторинговых исследований в зонах локальных техногенных загрязнений, а также использовать для калибровки выборки животных при изучении отдалённых последствий радиационного и других токсических воздействий.

Ключевые слова: Восточно-Уральский радиоактивный след, групповое мечение, мелкие млекопитающие, дисперсия, осенне-зимний период.

Long-distance movements of small mammals during the autumn-winter period

© 2023. E. B. Grigorkina ORCID: 0000-0002-8797-6211,

G. V. Olenev ORCID: 0000-0002-8896-7915,

Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch

of the Russian Academy of Sciences,

202, 8 Marta St., Yekaterinburg, Russia, 620144,

e-mail: grigorkina@ipae.uran.ru, olenev@ipae.uran.ru

First time in the East Urals radioactive trace zone (EURT) (Chelyabinsk region, Southern Urals) small mammals from natural population with rhodamine B (RB) label, received in last year were revealed. The aim of this study was to estimate long-distance movements (LDM) of small mammals during the autumn–winter season by method of group marking with bait containing RB. One-time ingestion of bait with RB ensures systemic marking, which fixed in keratin-containing structures (hairs, claws, vibrissae). Retention time of RB-label for wood mouse (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811) was 338 days, for common shrew (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) – 312 days, for red-backed vole (*Myodes rutilus* Pallas, 1779) – 251 days. It has allowed for the first time to estimate LDM of wintering individuals during autumn–winter season from EURT zone to adjacent territories and vice versa. It was found that *S. uralensis* are able to settle within 10800 m, *M. rutilus* – 9500 m, *S. araneus* – 9300 m. These data are the maximum recorded distance for these species. There is a predominance of females both among wintering settled animals and distant migrants. Probably LDM

of females is evolutionary more favorable to population as they serve as the potential reserve of a genetic variety. LDM provides spatial and functional connectivity of mouse-sized mammal's populations and possibility of genetic information exchange between population groupings on both the impact and background territories. The technique of group marking with bait containing RB has shown the efficiency at research of spatial structure of small mammals during the autumn-winter period. It is advisable to include it in monitoring system in areas of local technogenic pollution as well as to use it to calibrate samples of animals in the study of remote effects of radiating and other toxic effects.

Keywords: East Urals radioactive trace zone, group marking, small mammals, dispersal, autumn-winter period.

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) – результат Кыштымской радиационной аварии (1957 г.) на Южном Урале. Авария произошла на ядерном предприятии ПО «Маяк» в результате взрыва ёмкости-хранилища радиоактивных отходов, что привело к загрязнению продуктами деления промышленной площадки г. Озёрска, части территории Челябинской и Свердловской областей. В головной части следа был создан Восточно-Уральский радиационный заповедник. Площадь загрязнения составила 1000 км² в границах плотности загрязнения ⁹⁰Sr 2 Ки/км² (74 кБк/м²), принятой в качестве критерия необходимости принятия мер радиационной защиты населения [1]. Зона ВУРС выделяется особенностями конфигурации (рис. 1), которую определили погодные условия в момент инцидента. Максимальные уровни загрязнения плавно снижались вдоль оси следа по мере удаления от источника аварии и достаточно резко падали в обоих поперечных направлениях. Поэтому загрязнённой оказалась вытянутая узкая территория с резко снижающимся градиентом загрязнения [2]. Территорию ВУРС населяют многие животные, в том числе мелкие млекопитающие. Специфика конфигурации зоны ВУРС не препятствует свободному перемещению и обмену животных в любых направлениях, в том числе в поперечном. Фоновым видам грызунов и насекомоядных свойственна высокая миграционная активность (дисперсии), лабильные типы пространственной структуры [3, 4]. Суточные перемещения мелких грызунов достигают 3000 м [5, 6]. Ночная дистанция модельного вида в зоне влияния ВУРС – малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811) может составлять 1500 м [7].

Для населения позвоночных животных в зонах локального техногенного загрязнения учёт миграций/дисперсий имеет принципиальное значение, поскольку напрямую касается изучения биологических эффектов. В данном случае это радиационное воздействие. Миграции влияют на время пребывания животных в зоне загрязнения, в итоге определяя размах аккумуляции в организме

техногенных поллютантов, увеличивают вариабельность биологических показателей [8–10]. Следствиями дисперсий может быть также перенос повреждённых генов и, соответственно, радиационно-индуцированных эффектов на сопредельные территории [11–13]. Поэтому актуальной проблемой при изучении биологических эффектов является учёт миграционного фактора в целом, а также с целью разделения животных на адекватные выборки, «грязных» – из зоны ВУРС и «чистых» – с контрольных участков.

Миграционные процессы – неотъемлемая составляющая функционирования популяций, имеющая место и в зонах локального техногенного загрязнения. Однако до настоящего времени значение этого важнейшего популяционного процесса в радиоэкологических исследованиях не учитывается, работ подобного рода в мире мало, что в значительной степени связано с методическими трудностями. Преодолеть их позволяет методика группового, неинвазивного мечения мелких млекопитающих красителем родамином В (RB) с последующим отслеживанием их в пространстве и во времени. В организме животных RB связывается со структурами, являющимися дериватами кожи, содержащими кератин (шерсть, вибриссы, когти) [14]. Используемая методика [15] достаточно проста, эффективна и позволяет пометить практически всё животное население на определённом пространстве и отследить любые (ближние и дальние) перемещения в течение достаточно длительного времени.

Цель работы – оценить дальние дисперсии мелких млекопитающих в осенне-зимний период, используя методику группового мечения родамином В.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – грызуны и насекомоядные, населяющие зону влияния ВУРС и сопредельные территории. Материал собран в ходе полевых работ (период 2018–2022 гг.) при проведении мечения животного населения RB и контрольных отловов на разноудалённых участках. Мечение, приготовление приманки

и детекция метки по жёлтой флуоресценции выполнены согласно [15]. Даже однократное поедание приманки с RB даёт чёткую системную (фиксированную в ткани) метку, которая длительно сохраняется, надёжно выявляется, а также передаётся детенышам с молоком. Детекция самопомеченного зверька осуществляется по свечению упоминавшихся выше производных кожи при детальном осмотре всей поверхности тела, что позволяет достаточно быстро обследовать массовый материал, в том числе в полевых условиях [16].

Мечение проводили в разные годы в августе или сентябре либо на периферии зоны ВУРС (рис. 1, участок 2), либо на контрольном участке (уч. 4), расстояние между ними составляет 9300 м. Приманку с красителем равномерно раскладывали в сухую погоду на площадке размером 1 га. На один эксперимент использовано 5 кг приманки и 800 мг/кг RB. Первое мечение выполнено в сентябре 2017 г. Характеристика исследуемых участков и уровни их загрязнения приведены в наших предыдущих работах [12, 17].

Контрольные отловы проводили в период с апреля по октябрь (5–6 раз за сезон) дилками методом безвозвратного изъятия на участках, расположенных на разном удалении от площадки мечения (рис. 1): уч. 1 – эпицентр ВУРС (1500 м); уч. 3 – через автомагистраль, за пределами радиационного заповедника (800 м); уч. 4 – контроль (9300 м). В качестве дополнительного использован участок, на-

ходящийся через дорогу в 200 м от контрольного в прибрежной зоне оз. Кожаккуль. Для оценки доли резидентов были задействованы обе площадки мечения (уч. 2, 4). При выборе мест отловов учитывали барьерную роль озёр – ландшафтных препятствий, локально увеличивающих плотность животных и шансы поимки меченых зверьков. На каждой площадке за одну отловочную сессию устанавливали по 20–40 ловушек на дистанции 10 м на 1 сутки, что обусловлено конфигурацией полигона и многолетней схемой отлова [17]. У добытых животных определяли вид, пол, функциональное состояние.

Результаты и обсуждение

Согласно протоколу [15] системная метка, указывающая на поступление биомаркера с кормом, хорошо видна в вибриссах, когтях, шерсти вентральной поверхности тела. При этом площадь светящихся участков шерсти не превышает половины поверхности тела и проявляется в случайных местах.

В период 2018–2022 гг. отловлено 86 меченых мелких млекопитающих 6 видов: малая лесная мышь (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811), полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), красная полёвка (*Myodes rutilus* Pallas, 1779), полёвка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas, 1776), обыкновенная полёвка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus,

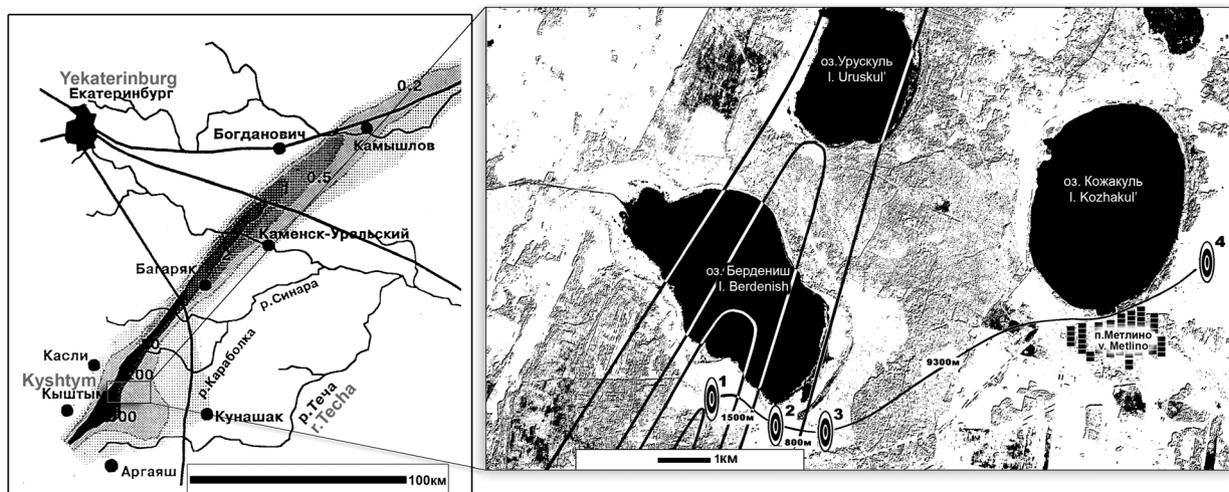


Рис. 1. Карта-схема Восточно-Уральского радиоактивного следа (Челябинская область, Южный Урал). На выделенном фрагменте карты показаны участки мечения (№ 2, 4) и отловов (№ 1–4) мелких млекопитающих на импактной (ВУРС) и фоновой территориях. Цифрами отмечены расстояния от площадки мечения (№ 2), изолиниями – градиент радиоактивного загрязнения
Fig. 1. Schematic map of Eastern Urals radioactive trace zone (Chelyabinsk Region, Southern Urals). The highlighted fragment of the map shows the marking (No. 2, 4) and capture (No. 1–4) plots of small mammals in the impact (EURT) and background territories. Digits indicate distances from the tagging area (No. 2), isolines – gradient of radioactive contamination

Таблица 1 / Table 1

Доля видов (%), составляющих биотическое сообщество на участках ВУРС-контроль (2018–2022 гг.) / Share of biotic community species (%) at EURT-control sites (2018–2022)

Год / Year		2022		2021		2020		2019		2018	
Участок / Site		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Вид Species	<i>S. uralensis</i>	70	49	90	54	52	67	44	52	72	83
	<i>M. rutilus</i>	7	32	2	20	–	–	3	5	–	6
	<i>S. araneus</i>	23	19	8	8	25	12	15	29	–	–
	<i>Microtus</i> sp.	–	–	–	18	9	4	8	2	–	5
	<i>A. agrarius</i>	–	–	–	–	14	17	30	12	28	6

Примечание: 1 – ВУРС, 2 – контроль. Прочерком обозначено отсутствие особей в отловах.
Note: 1 – EURT, 2 – control. The dash indicates no specimens in the capture.

1758). В целом группа меченых животных отражает соотношение видов в уловах, где первое место по численности в течение всего периода проведения радиоэкологического мониторинга (2002–2022 гг.) принадлежит *S. uralensis* – абсолютный доминант в биотическом сообществе [17].

Отметим, что до 2009 г. *S. uralensis* составляла 40–60% всех уловов. Великая Восточно-Европейская засуха 2010 г. [18] выявила неоднозначный отклик разных видов на экстремальное климатическое воздействие. Сообщество грызунов в зоне влияния ВУРС из поливидового (10 видов) превратилось в монодоминантное, и несколько лет было представлено исключительно *S. uralensis* [19]. Согласно геоботаническому районированию, ВУРС расположен в пределах Зауральского пене-плена в лесостепной зоне Южно-Зауральской провинции [20]. Аридизация среды обитания в лесостепной зоне Урала оказалась экологически благоприятной для *S. uralensis*, что свидетельствует об её наибольшей устойчивости и толерантности к засушливому климату. Для других видов грызунов (красные, серые, водяные полёвки и бурузубки) засуха явилась лимитирующим фактором и привела к их исчезновению из биоценоза на длительное время [19]. В годы исследований статус доминирующей *S. uralensis* не изменился, доля её в сборах варьировала в широком диапазоне на анализируемых участках, достигая в зоне ВУРС 90% (табл. 1). Долевое участие других видов нестабильно, они встречаются не ежегодно и характеризуются низкой численностью.

Из общего числа меченых животных (86), 16 особей (19%) трёх видов (*S. uralensis*, *M. rutilus*, *S. araneus*) получили RB-метку осенью предыдущего года. Все они относились к группировке зимовавших: самцы имели развитые семенники и придатки, самки – подсосные пятна, одну или несколько групп плацентарных пятен или зародышей на ранней стадии

развития. Подавляющее большинство меченых особей пришлось на долю *S. uralensis*. Общая характеристика животных, пространственное распределение и направление их перемещений представлены в таблице 2. Из данных таблицы 2 хорошо видно преобладание самок, количество которых превышает в три раза число самцов. Прежде всего, это касается *S. uralensis*, среди которых оказалось 2 самца и 11 самок. Данные литературы о влиянии пола на дальние дисперсии мелких млекопитающих противоречивы, и их крайне мало.

По результатам настоящего исследования можно сделать предположение, что расселение самок на прилежащие территории является эволюционно гораздо более прогрессивным для поддержания разнородности популяции. Прежде всего, только по материнской линии наследуется митохондриальный геном, в то время как отцовская митохондриальная ДНК не оказывает существенного влияния на генотип потомства [21]. Помимо этого, как известно, беременные самки, несущие в детёнышах генетическую информацию от нескольких самцов, обеспечивают лучшую выживаемость, более успешное размножение и приспособленность потомков, а также являются потенциальным резервуаром генетического разнообразия и экологической устойчивости популяции [22–24].

Из общего числа меченых животных одна половина (7 из 16) квалифицированы как дальние мигранты (long-distance movement – LDM), перемещающиеся в обоих направлениях за пределами участка обитания. Из зоны ВУРС на контроль переселились 5 особей (табл. 2). Самец и две самки *S. uralensis*, а также самка *S. araneus* преодолели дистанцию 9300 м. Самец *M. rutilus* был пойман в окрестностях оз. Кожаккуль в берёзовом лесу на рекордном для грызунов этого вида расстоянии 9500 м. В противоположном направлении (контроль-ВУРС) зарегистрирован

Таблица 2 / Table 2

Характеристика и пространственное распределение меченых животных, срок сохранения и локализация метки (2018–2022 гг.)
 Characteristic and spatial distribution of marking animals, retention and localization of RB-label (2018–2022)

№ No.	Дата отлова Capture data	Вид Specie	Пол Sex	Вес, г Weight, g	Статус Status	Направление перемещений особей между участками согласно рисунку 1 Direction of specimens' dispersion between plots according Figure 1	Дистанция, м Distance, m	Локализация метки (жёлтое свечение) Localization of RB-label (yellow fluorescence)	Срок, сут Retention, days
1	24.05.2018	<i>Sylvaeus uralensis</i>	♂	27,0	мигрант migrant	2–4	9300	участки свечения по всей длине волоса на шкурке особи / fluorescence along the length of the hair on the skin	240
2		<i>S. uralensis</i>	♀	27,0					240
3	7.08.2018	<i>S. uralensis</i>	♀	25,0				свечящиеся концы волосков fluorescent ends of hairs	310
4	12.06.2020	<i>S. uralensis</i>	♀	24,0	резидент resident	4	–	свечение шерсти на подмышках, в нижней части живота, вокруг уретры, на лапе / fluorescence of the fur under forepaws, in the lower abdomen, around the urethra, on the paw	312
5		<i>S. uralensis</i>	♀	25,0					312
6		<i>S. uralensis</i>	♀	23,0					312
7		<i>S. uralensis</i>	♀	28,0	транзитент transient	4–1	10800	слабое свечение одного участка шерсти в сравнении с резидентами / weak fluorescence of one area of fur compared to the residents	312
8		<i>Sorex araneus</i>	♀	12,0	резидент resident	4		свечение хвоста / fluorescence of the tail	312
9	8.07.2020	<i>S. uralensis</i>	♀	29,0			–	свечение отдельных волосков на лапе и животе / fluorescence of the separate hairs on the paw and abdomen	338
10	04.04.2021	<i>S. uralensis</i>	♀	22,0			–	свечение шерсти на всех лапах и хвосте / fluorescence of fur on all paws and tail	244
11		<i>S. uralensis</i>	♂	23,0			–	свечение пятна на передней лапе, шерсти на обеих задних лапах / fluorescence of stain on a forepaw, fur on both hinder paws	244
12		<i>S. uralensis</i>	♂	24,0			–	свечение овального пятна на груди, полоски на животе и задней лапе / fluorescence of oval stain on the breast, strips on abdomen and hinder paw	244

13	14.04.2022	<i>S. uralensis</i>	♀	19,0	резидент resident	2	–	флюоресценция всей поверхности живота fluorescence of entire abdominal surface	210
14		<i>Sorex araneus</i>	♀	–	мигрант migrant	2–4	9300	свечение шерсти на задних лапах, слабая метка на передней лапе / fluorescence of fur on hinder paws, a weak mark on the forepaw	210
15	25.05.2022	<i>S. uralensis</i>	♀	20,0		2–1	1500	свечение шерсти у рта, на всех лапах, отдельных волосков на спине / fluorescence of fur at the mouth, on all paws, separate hairs on the back	251
16		<i>Myodes rutilus</i>	♂	25,0		2–4 + 200 м	9500	свечение шерсти на голове, шее, два симметричных пятна на животе / fluorescence of hair on the head, neck, two symmetric stains on the abdomen	251

Примечание: прочерком обозначены резидентны – оседлые особи, отловленные на площадке мечения (distances are absent).
 Note: The dash indicates residents – settled individuals, caught on the marking plots (distances are absent).

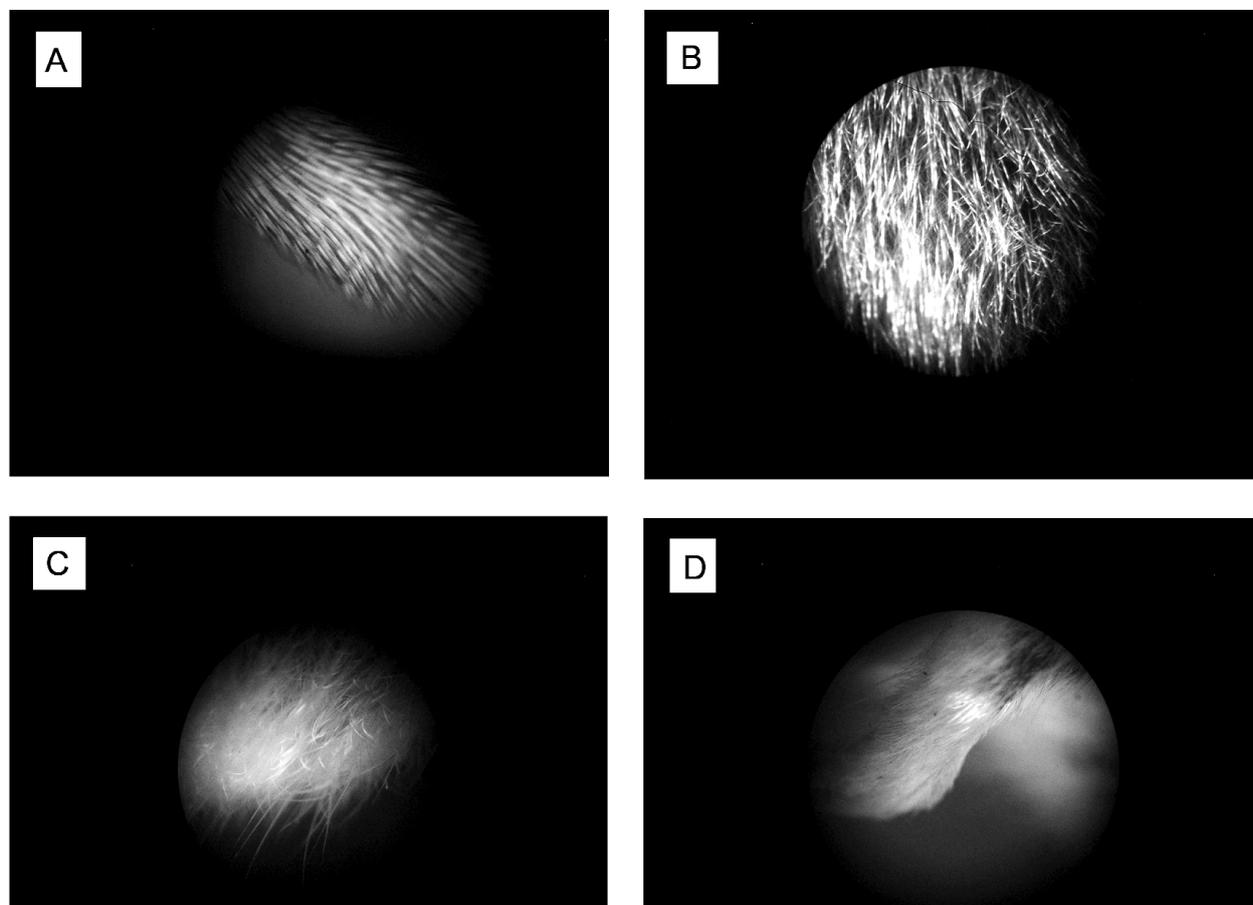


Рис. 2. Иллюстрация системных RB-меток (жёлтое свечение) у зимовавших резидентов и дальних мигрантов. Случайное расположение: А – на хвосте оседлой *S. araneus* (312 сут); В – на голове мигранта *M. rutilus* (251 сут, 9500 м); С – под мышкой транзитной *S. uralensis* (312 сут, 10800 м); D – отдельные волоски на лапе оседлой самки *S. uralensis* (338 сут)
Fig. 2. Examples of systemic RB-labels (yellow fluorescence) in wintered residents and long-distance migrants. Random localization: A – on the tail of resident female *S. araneus* (210 days), B – on the head of disperser male *M. rutilus* (251 days, 9500 m), C – under the forepaw of transient female *S. uralensis* (312 days, 10800 m); D – separate hairs on the paw of resident female *S. uralensis* (338 days)

эпизод перемещения самки *S. uralensis*. Причём она оказалась на участке в эпицентре зоны загрязнения, покрыв совокупное расстояние порядка 10800 м, что в настоящее время также является максимальным из известных. Другая самка *S. uralensis* за осенне-зимний период поменяла локацию в пределах зоны загрязнения, переместившись на дистанцию 1500 м с периферии в эпицентр зоны ВУРС. Ранее прямые наблюдения с использованием родаминового мечения позволили зарегистрировать случаи преодоления данного расстояния сеголетками *S. uralensis* разного функционального статуса за 14 ч в тёмное время суток [7].

Примеры системных меток, полученных зимовавшими животными (мигрантами и резидентами) с приманкой, содержащей краситель, представлены на рисунке 2.

Отметим несколько наиболее интересных и принципиально важных результатов. Во-

первых, это феномен перемещения *S. uralensis* (табл. 2, ос. № 7) с контроля в головную часть импактной зоны на рекордное расстояние 10800 м. Судя по выраженности RB-метки (рис. 2С), эта самка-мигрант является транзитной, прошедшей сквозь площадку мечения, но получившая краситель всё-таки с кормом. Метка была гораздо слабее, чем у резидентов, попавшихся в тот же тур отлова на площадке мечения спустя 312 сут.

Во-вторых, во время той же отловочной сессии практически через 10 мес впервые попала оседлая самка *S. araneus* (табл. 2, ос. № 8) (рис. 2А). Другая самка бурозубки (табл. 2, ос. № 14) оказалась мигрантом из зоны ВУРС и отловлена на контроле в апреле 2022 г. через 210 сут после мечения. Само появление этого зверька в апрельском улове неожиданно, поскольку в ходе многолетних исследований установлено, что зимовавшие бурозубки, как

правило, появляются в сборах не ранее июня [17, 25].

В-третьих, особый интерес представляет единственный зимовавший мигрант *M. rutilus* (табл. 2, № 16), пометившийся в зоне ВУРС и отловленный в мае на контроле в 9500 м от площадки мечения (рис. 2В). В процессе перемещения этот зверёк дважды преодолел автомагистраль с интенсивным автомобильным движением. Заметим, красные полевки регистрируются в сборах импактной зоны не ежегодно, относятся к категории редких, их долевое участие составляет менее 10% (табл. 1).

Другая половина животных с меткой (9 из 16) – резиденты, сохранившие связь с территорией и попавшие на площадках мечения через 210, 312, 338 сут. Среди оседлых также преобладали самки (7 самок, 2 самца) (табл. 2).

Ранее при использовании тетрациклина для оценки подвижной и оседлой частей населения в летний период (2002–2005 гг.) данное соотношение составляло 30% к 70% соответственно [17]. Однако этот биомаркер не пригоден для изучения дисперсий в осенне-зимний период в силу ограниченности срока обнаружения тетрациклина (2 мес.) при постоянном стачивании резцов грызунов [26]. Кроме того, тетрациклином невозможно пометить бурозубок-землероек.

Считают, что миграционная подвижность в первую очередь свойственна молодым, сексуально активным самцам, в противоположность зимовавшим самкам, отличающимся повышенной оседлостью [27]. Однако это устоявшееся мнение нарушают результаты нашего исследования, в котором зафиксированы дисперсии самок мышей и бурозубок на дальние дистанции в осенне-зимний период, совершенные ими, скорее всего, до начала периода репродукции. Возможным объяснением феномена могут быть собственные наблюдения, свидетельствующие, что по мере потепления вытаскивает и становится легко доступным большое количество семян растений, в основном древесно-кустарникового яруса, в том числе косточковые. Семена служат полноценными кормами для животных в этот период, необходимыми для их роста, созревания и участия в репродукции. Кроме того, зверьки могут легко перемещаться по поверхности тающего снега на значительные расстояния в поисках высококалорийного корма. О дальних дисперсиях беременных самок *S. araneus* на 1500 м при переселении с нательных участков сообщалось в работе [28]. Впервые перемещения

самок мышей и бурозубок (в том числе беременных) на расстояние 9300 м в зоне ВУРС летом описаны нами [17, 25].

В связи с дальними дисперсиями самок мелких млекопитающих в зоне влияния ВУРС следует упомянуть результаты исследований популяций полёвок-экономок (*Alexandromys oeconotus* Pall.), обитающих на территориях с повышенным содержанием тяжёлых естественных радионуклидов (Ухтинский район, Республика Коми). Выявлены чёткие половые различия в реакции щитовидной железы животных на хроническое облучение в малых дозах [29]. У половозрелых самок с радиоактивных участков выявлено достоверное увеличение экстрафолликулярных клеток в тиреоидной ткани, что рассматривается в качестве индикатора стресса. О возрастании двигательной активности и стрессированности животных с радиового участка свидетельствует увеличение индексов сердца и надпочечников, которые используют в качестве косвенного показателя адренкортикальных функций, поскольку надпочечник не является железой запаса гормонов и чутко реагирует на любое экстремальное воздействие [30]. У полёвок с радиового и уранорадиового участков зарегистрирован феномен «радиационной стимуляции» процессов репродукции (ускоренное созревание фолликулов в яичнике, увеличение потенциальной, фактической и общей плодовитости). По мнению авторов, ионизирующее излучение в малых дозах оказывает модифицирующее действие на структурно-функциональное состояние периферических эндокринных желез (щитовидной железы, надпочечников, яичников) грызунов, способно изменять их реактивность и усиливать влияние внутрипопуляционных процессов.

Временной диапазон сроков сохранения метки у животных из природных популяций находится в пределах 210–338 сут. Для *S. uralensis* максимально зафиксированный срок достиг 338 (рис. 2D), для *S. araneus* – 312 (рис. 2A), для *M. rutilus* – 251 сут. (рис. 2B). По литературным сведениям, наибольшая ранее известная продолжительность сохранения метки млекопитающими составляла 225 сут. [31]; лабораторными мышами – 84 [32] и 423 сут. [15]. Длительное сохранение RB-метки на данном этапе развития этого направления исследований в популяционной экологии является единственной возможностью изучения миграционных процессов, в том числе расселения мелких млекопитающих в продолжительный осенне-зимний период.

Заключение

Проведённые исследования позволили раскрыть и количественно оценить один из фундаментальных популяционных процессов – дальние дисперсии конкретных видов, которые сегодня можно считать нормой для *S. uralensis*, *M. rutilus*, *S. araneus*. Длительное сохранение метки в волосяном покрове животных дало возможность оценить пространственные перемещения зверьков в осенне-зимний период. Выяснилось, что *M. rutilus* способны расселяться на расстояние до 9500 м, а *S. uralensis* – до 10800 м. Это является максимально зарегистрированными из известных дистанций для данных видов. Важным является выявление направлений перемещений: 3 эпизода ВУРС-контроль, один – по территории ВУРС (периферия – эпицентр), один, напротив, контроль-ВУРС, что свидетельствует о высокой активности зверьков вне сезона размножения.

На имеющемся материале показано преобладание самок в группировке зимовавших как среди оседлого населения с меткой, так и среди дальних мигрантов. Возможно, расселение самок является эволюционно более выгодным, поскольку создаёт условия, благоприятствующие поддержанию генетического разнообразия популяций как залога их устойчивого существования в динамичной антропогенной среде.

Полученные результаты принципиально важны при сравнительном изучении биологических эффектов радиационного воздействия у мелких млекопитающих из зон локального загрязнения. Мы полагаем, что наличие дальних мигрантов на столь значительных дистанциях указывает на возможность обмена генетической информацией между популяционными группировками импактной и сопредельных территорий. Это означает, что географические границы радиационного заповедника не совпадают с границами на уровне биологических эффектов – суммарно эти территории значительно превышают размеры зоны загрязнения. Если наша гипотеза верна, то из неё следует, что на прилежащих территориях можно ожидать увеличения генетического разнообразия у мелких млекопитающих, оцениваемого с помощью молекулярно-генетических маркеров.

Методика группового мечения **РВ** показала свою эффективность при исследовании подвижности/оседлости населения в зоне ВУРС в осенне-зимний период. Её целесообразно включить в систему мониторинговых исследований в зонах локальных техноген-

ных загрязнений. Кроме того, она может быть использована для калибровки выборок животных при изучении отдалённых последствий радиационного и других токсических воздействий.

Сбор полевого материала, анализ и интерпретация результатов выполнены в рамках государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН (№ 122021000077-6, № 122021000085-1), при подготовке приманки и выявление метки проведены при поддержке РФФИ (№ 20-04-00164).

Авторы благодарят к. б. н. О.В. Толкачева за детекцию метки и фотографии.

Литература

1. Бакуров А.С., Мокров Ю.Г., Тарасов О.В. Альма-матер отечественной радиоэкологии // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 4. С. 18–26.
2. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, 2013. 140 с.
3. Хляп Л.А. Землеройки // Итоги мечения млекопитающих. М.: Наука, 1980. С. 66–76.
4. Флинт В.Е. Пространственная структура популяций мелких млекопитающих. М.: Наука, 1977. 183 с.
5. Большаков В.Н., Баженов А.В. Радионуклидные методы мечения в популяционной экологии млекопитающих. М.: Наука, 1988. 157 с.
6. Щипанов Н.А. Популяция как единица существования вида. Мелкие млекопитающие // Зоологический журнал. 2003. Т. 82. № 4. С. 450–469.
7. Григоркина Е.Б., Оленев Г.В. Дальние перемещения малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis*, Muridae): скорость и дистанция, выявленные при групповом мечении // Зоологический журнал. 2022. Т. 101. № 11. С. 1300–1304.
8. Theodorakis C.W., Bickham J.W., Lamb T., Medica P.A., Lyne T.B. 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. No. 2. P. 317–326.
9. 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. No. 3. P. 167–177.
10. Orekhova N.A. Hepatic effects of low-dose rate radiation in natural mouse populations (*Apodemus uralensis* and *Apodemus agrarius*): comparative interspecific analysis // International Journal of Radiation Biology. 2020. V. 96. No. 8. P. 1038–1050.
11. Гилева Э.А., Любашевский Н.М., Стариченко В.И., Романов Г.Н., Чибиряк М.В. Наследуемая хромосомная нестабильность у обыкновенной полёвки

(*Microtus arvalis*) из района Кыштымской ядерной аварии – факт или гипотеза? // Генетика. 1996. Т. 32. № 4. С. 114–119.

12. 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.

13. Bashlykova L., Rascosha O., Starobor N. Induction of abnormal sperm heads in small mammals under chronic ionizing radiation // Turk. J. Zool. 2019. V. 43. No. 5. P. 540–544.

14. Fisher P. Review of using Rhodamine B as a marker for wildlife studies // Wildl. Soc. Bull. 1999. V. 27. No. 2. P. 318–329.

15. Толкачев О.В., Беспмятных Е.Н. Новый метод детекции родаминовой метки и возможности его применения в зоологических исследованиях // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2019. Т. 12. № 4. С. 352–365.

16. Tolkachev 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. Article No. 10.

17. Григоркина Е.Б., Оленев Г.В. Миграции грызунов в зоне локального радиоактивного загрязнения на разных фазах динамики численности и их следствия // Известия РАН. Серия биологическая. 2018. № 1. С. 123–132.

18. Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., Garsia-Herrera R. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe // Science. 2011. V. 332. No. 6026. P. 220–224.

19. Оленев Г.В., Григоркина Е.Б. Эволюционно-экологический анализ стратегий адаптации популяций грызунов в экстремальных условиях // Экология. 2016. № 5. С. 375–381.

20. Чибилёв А.А., Чибилев А.А. Природное районирование Урала с учётом широтной зональности, высотной поясности и вертикальной дифференциации ландшафтов // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1 (6). С. 1660–1665.

21. Giles R.E., Blanc H., Cann N.M., Wallace D.C. Maternal inheritance of human mitochondrial DNA // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1980. V. 77. No. 11. P. 6715–6719.

22. Суходолец В.В. Приспособленность и экологическая устойчивость // Журнал общей биологии. 2004. Т. 65. № 5. С. 417–425.

23. Gowaty P.A., Anderson W.W., Bluhm C.K., Drickamer L.C., Kim Y., Moore A.J. The hypothesis of reproductive compensation and its assumptions about mate preferences and offspring viability // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104. No. 38. P. 15023–15027.

24. Роговин К.А., Мошкин М.П. Авторегуляция численности в популяциях млекопитающих и стресс (штрихи к давно написанной картине) // Журнал общей биологии. 2007. Т. 68. № 4. С. 224–267.

25. Григоркина Е.Б., Оленев Г.В. Нерезидентная активность бурозубок (*Sorex araneus*, Eulipotyphla): массовое мечение // Экология. 2021. № 4. С. 316–320.

26. Клевезаль Г.А., Мина М.В. Методика группового мечения грызунов с помощью тетрациклина и возможности её использования в экологических исследованиях // Зоологический журнал. 1980. Т. 59. № 6. С. 937–941.

27. Лукьянов О.А., Лукьянова Л.Е. Феноменология и анализ миграций в популяциях мелких млекопитающих // Зоологический журнал. 2002. Т. 81. № 9. С. 1107–1134.

28. Щипанов Н.А., Купцов А.В., Демидова Т.Б., Калинин А.А., Александров Д.Ю., Павлова С.В. Нерезидентность и расселение у обыкновенных бурозубок (*Sorex araneus*, Insectivora) // Зоологический журнал. 2008. Т. 87. № 3. С. 331–343.

29. Раскоша О.В., Ермакова О.В. Морфологическое состояние щитовидной железы полёвок-экономок, обитающих в условиях повышенного уровня естественной радиоактивности // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 55–61.

30. Ермакова О.В., Раскоша О.В. Популяционная характеристика полёвки-экономки в радиоэкологических исследованиях // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 101–107.

31. Fichet-Calvet E. Persistence of a systemic labelling in fur and guard hairs by ingestion of rhodamine B in *Myocastor coypus* (Rodentia) // Mammalia. 1999. V. 63. No. 2. P. 241–244.

32. Jacob J., Jons D.A. Retention of the bait marker Rhodamine B in wild house mice // Wildl. Res. 2002. V. 29. P. 159–164.

References

1. Bakutov A.S., Mokrov Yu.G., Tarasov O.V. Alma-mater of the Russian radioecology // Voprosy radiatsionnoy besopastnosti. 2017. No. 4. P. 18–26 (in Russian).

2. Atlas of the East Ural and Karachai radioactive traces including forecasts up to 2047. Moskva: IGKE Rosgidrometa i RAN, 2013. 140 p. (in Russian).

3. Khlyap L.A. Shrews // Results of Mammal Marking. Moskva: Nauka, 1980. P. 66–76 (in Russian).

4. Flint V.E. The spatial structure of populations of small mammals. Moskva: Nauka, 1977. 183 p. (in Russian).

5. Bol'shakov V.N., Bazhenov A.V. Radionuclide methods of marking in population ecology of mammals. Moskva: Nauka, 1988. 157 p. (in Russian).

6. Shchivanov N.A. Population as a unit of species existence. Small mammals // Zoologicheskyy zhurnal. 2003. V. 82. No. 4. P. 450–469 (in Russian).

7. Grigorkina E.B., Olenev G.V. Long-distance movements of pygmy wood mouse (*Sylvaemus uralensis*, MURIDAE): moving speed and distance revealed by group biomarking // Zoologicheskyy zhurnal. 2022.

V. 101. No. 11. P. 1300–1304 (in Russian). doi: 10.31857/S0044513422110046

8. Theodorakis C.W., Bickham J.W., Lamb T., Medica P.A., Lyne T.B. 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. No. 2. P. 317–326. doi: 10.1002/etc.5620200212

9. 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. No. 3. P. 167–177.

10. Orekhova N.A. Hepatic effects of low-dose rate radiation in natural mouse populations (*Apodemus uralensis* and *Apodemus agrarius*): comparative interspecific analysis // *International Journal of Radiation Biology.* 2020. V. 96. No. 8. P. 1038–1050. doi: 10.1080/09553002.2020.1770362

11. Gileva E.A., Lyubashevskii M.N., Starichenko V.I., Romanov G.N., Chibiryak M.V. Hereditary chromosome instability in common vole (*Microtus arvalis*) from the region of the Kyshtym nuclear meltdown: fact or hypothesis? // *Russ. J. Genet.* 1996. V. 32. No. 1. P. 99–104 (in Russian).

12. Rakitin S.B., Grigorkina E.B., Olenev G.V. Analysis of microsatellite DNA in rodents from Eastern Urals radioactive trace zone and contiguous territories // *Russ. J. Genet.* 2016. V. 52. No. 4. P. 398–404 (in Russian). doi: 10.7868/S0016675816030127

13. Bashlykova L., Rascosha O., Starobor N. Induction of abnormal sperm heads in small mammals under chronic ionizing radiation // *Turk. J. Zool.* 2019. V. 43. No. 5. P. 540–544. doi: 10.3906/zoo-1903-6

14. Fisher P. Review of using Rhodamine B as a marker for wildlife studies // *Wildl. Soc. Bull.* 1999. V. 27. No. 2. P. 318–329.

15. Tolkachev O.V., Bespamyatnykh E.N. The new method of rhodamine mark detection and its application possibilities in zoological studies // *Journal of Siberian Federal University. Biology.* 2019. V. 12. No. 4. P. 352–365 (in Russian). doi: 10.17516/1997-1389-0051

16. Tolkachev 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. Article No. 10. doi: 10.1007/s10344-018-1243-5

17. Grigorkina E.B., Olenev G.V. Migrations of rodents in the zone of local radioactive contamination at different phases of population dynamics and their consequences // *Biology Bulletin.* 2018. V. 45. No. 1. P. 110–118 (in Russian). doi: 10.1134/S1062359018010041

18. Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., Garsia-Herrera R. The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe // *Science.* 2011. V. 332. No. 6026. P. 220–224. doi: 10.1126/science.1201224

19. Olenev G.V., Grigorkina E.B. Evolutionary ecological analysis of adaptation strategies of rodent populations under extreme conditions // *Russian Journal of Ecology.*

2016. V. 47. No. 5. P. 486–492 (in Russian). doi: 10.1134/S106741361605009X

20. Chibilyov A.A., Chibilyov A.A. Urals natural zoning based on latitudinal belts, elevation zones and vertical differentiation of landscapes // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN.* 2012. V. 14. No. 1 (6). P. 1660–1665 (in Russian).

21. Giles R.E., Blanc H., Cann N.M., Wallace D.C. Maternal inheritance of human mitochondrial DNA // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 1980. V. 77. No. 11. P. 6715–6719. doi: 10.1073/pnas.77.11.6715

22. Sukhodolets V.V. Fitness and ecological resistance // *Zhurnal obshchey biologii.* 2004. V. 65. No. 5. P. 417–425 (in Russian).

23. Gowaty P.A., Anderson W.W., Bluhm C.K., Drickamer L.C., Kim Y., Moore A.J. The hypothesis of reproductive compensation and its assumptions about mate preferences and offspring viability // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2007. V. 104. No. 38. P. 15023–15027. doi: 10.1073/pnas.07066221

24. Rogovin K.A., Moshkin M.P. Autoregulation in mammalian populations and stress: an old theme revisited // *Zhurnal obshchey biologii.* 2007. V. 68. No. 4. P. 224–267 (in Russian).

25. Grigorkina E.B., Olenev G.V. Nonresident activity of shrews (*Sorex araneus*, Eulipotyphla): group marking // *Russian Journal of Ecology.* 2021. V. 52. No. 4. P. 344–348 (in Russian). doi: 10.1134/S1067413621040068

26. Klevezal G.A., Mina M.V. Methods of group labeling of rodents using tetracycline and the possibility of its use in ecological studies // *Zoologicheskyy zhurnal.* 1980. V. 59. No. 6. P. 937–941 (in Russian).

27. Luk'yanov O.A., Luk'yanova L.E. Phenomenology and analysis of dispersal in small mammals population // *Zoologicheskyy zhurnal.* 2002. V. 81. No. 9. P. 1107–1134 (in Russian).

28. Shchipanov N.A., Kuptsov A.V., Demidova T.B., Kalinin A.A., Aleksandrov D.Yu., Pavlova S.V. Nonresidence and dispersal in common shrews (*Sorex araneus*, Insectivora) // *Zoologicheskyy zhurnal.* 2008. V. 87. No. 3. P. 331–343 (in Russian).

29. Raskosha O.V., Ermakova O.V. Morphological condition of a thyroid gland of the tundra-voles inhabiting increased natural radioactivity level // *Theoretical and Applied Ecology.* 2013. No. 2. P. 55–61 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-055-061

30. Ermakova O.V., Raskosha O.V. Population characteristic of tundra vole in radioecological studies // *Theoretical and Applied Ecology.* 2019. No. 2. P. 101–107 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-101-107

31. Fichet-Calvet E. Persistence of a systemic labeling in fur and guard hairs by ingestion of rhodamine B in *Myocastor coypus* (Rodentia) // *Mammalia.* 1999. V. 63. No. 2. P. 241–244.

32. Jacob J., Jons D.A. Retention of the bait marker Rhodamine B in wild house mice // *Wildl. Res.* 2002. V. 29. No. 2. P. 159–164. doi: 10.1071/wr01073