



<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2021-13-2-228-238>
<http://zoobank.org/References/E3347941-534A-4FFA-8CBA-314CC7999505>

УДК 599.32/.38:57.08

Верификация нового гуманного метода оценки обилия мелких млекопитающих с помощью биомаркеров

О. В. Толкачев¹✉, К. В. Маклаков¹, Е. А. Малкова¹, А. С. Будимиров^{1,2}

¹ Институт экологии растений и животных УрО РАН, ул. 8 Марта, д. 202, 620144, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, ул. Мира, д. 19, 620002, г. Екатеринбург, Россия

Сведения об авторах

Толкачев Олег Владимирович

E-mail: olt@mail.ru

SPIN-код: 3910-2461

Scopus Author ID: 16311246400

ORCID: 0000-0002-5673-7816

Маклаков Кирилл Владимирович

E-mail: kvmkvm6@outlook.com

SPIN-код: 4098-6023

ORCID: 0000-0003-1089-9104

Малкова Екатерина Александровна

E-mail: bay_81@mail.ru

SPIN-код: 7074-5830

Scopus Author ID: 14063103100

ResearcherID: K-2059-2018

ORCID: 0000-0003-4908-9571

Будимиров Александр Сергеевич

E-mail: bas-2000eka@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8899-9909

Аннотация. Изучали потенциальные проблемы разработанного ранее рекогносцировочного гуманного метода оценки обилия мелких млекопитающих с помощью пластиковых бутылок. Первой задачей работы было определить, какой из двух вариантов интервала между бутылками на трансекте (пять или десять метров) подвержен большей погрешности из-за особей, посещающих более одной бутылки за сутки. Вторая задача — сравнить избирательность бутылок и давилок по отношению к видовой и половозрастной структуре сообществ. Использовалось точечное чередующееся мечение с помощью приманки на основе овса с родамином В или тетрациклином. Приманку в пластиковых бутылках раскладывали на трансектах с интервалом пять метров или десять метров. Спустя сутки животных отлавливали давилками на стандартную хлебную приманку и проводили поиск маркеров. Особи, имевшие одновременно родаминовую и тетрациклиновую метку, считались посетившими более одной бутылки за сутки. Статистически значимой разницы между двумя способами расположения бутылок по доле особей с двойной меткой не выявлено (5,3% при интервале десять метров и 6,2% при интервале пять метров). Полнота мечения сообщества при пятиметровом интервале была выше ($\max = 77\%$), чем при десятиметровом ($\max = 46\%$), что может повышать точность оценки обилия. Избирательность бутылок и давилок по отношению к виду, полу и возрасту грызунов не отличалась. Полученные результаты подтверждают правомерность пересчета индексов обилия, полученных бутылочным методом, в относительную численность. Показано, что родамин В является более эффективным биомаркером, чем тетрациклин.

Права: © Авторы (2021). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, грызуны, землеройки, оценка обилия, относительная численность, бутылочный метод, биомаркеры, родамин В, тетрациклин.

Verification of the bottle-based method for estimating abundance of small mammals using biomarkers

O. V. Tolkachev¹✉, K. V. Maklakov¹, E. A. Malkova¹, A. S. Budimirov^{1,2}

¹Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 202 8th March Str., 620144, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal University named after the first President of Russia B. Yeltsin, 19 Mira Str., 620002, Ekaterinburg, Russia

Authors

Oleg V. Tolkachev

E-mail: olt@mail.ru

SPIN: 3910-2461

Scopus Author ID: 16311246400

ORCID: 0000-0002-5673-7816

Kirill V. Maklakov

E-mail: kvmkvm6@outlook.com

SPIN: 4098-6023

ORCID: 0000-0003-1089-9104

Ekaterina A. Malkova

E-mail: bay_81@mail.ru

SPIN: 7074-5830

Scopus Author ID: 14063103100

ResearcherID: K-2059-2018

ORCID: 0000-0003-4908-9571

Aleksandr S. Budimirov

E-mail: bas-2000eka@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8899-9909

Abstract. Potential problems of the previously developed reconnaissance bottle-based method for estimating abundance of small mammals were studied. Our first aim was to determine which of the two intervals between bottles on a transect (five or ten meters) is prone to higher measurement errors because of individuals who visit more than one bottle per day. The second aim was to compare selectivity of bottles and snap traps depending on the species and sex-age structure of a community. Spot alternate marking with oat-grain bait containing rhodamine B or tetracycline was used. Plastic bottles with baits were placed on transects with an interval of five or ten meters. A day later animals were caught by snap traps baited by a standard bread bait and the biomarkers were searched. Individuals with both rhodamine and tetracycline marks were considered to have visited more than one bottle per day. There was no statistically significant difference between the two ways of placing bottles based on the proportion of individuals with a double mark (5.3% on the ten meters line and 6.2% on the five meters line). Completeness of marking was higher when the interval was five meters (max = 77%) than when it was ten meters (max = 46%), which might raise the accuracy of the abundance estimation. Selectivity of both bottles and snap traps depending on the species, sex or age of a rodent did not differ. The received results confirm that recalculation of the abundance index acquired using the bottle-based method into relative population numbers is legitimate. Rhodamine B was proven to be a more efficient biomarker than tetracycline.

Keywords: small mammals, rodents, shrews, abundance estimating, relative population size, bottle-based method, biomarkers, rhodamine B, tetracycline.

Copyright: © The Authors (2021). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Введение

Мелкие млекопитающие как один из важнейших компонентов наземных экосистем часто являются объектом изучения в теоретических и прикладных исследованиях. Например, структура населения мелких грызунов и насекомоядных может рассматриваться в качестве индикатора антропогенной трансформации экосистем (Морозкина, Стариков 2015; Шадрина, Вольперт, Однокурцев и др. 2018; Шадрина 2019). Во многих случаях возникает необходимость в оценке обилия этих животных на исследуемой территории. Для ее осуществления разработано большое количество разнообразных методик, эффективность которых во многом зависит

от целей работы, видового состава и условий среды (Бобрецов и др. 2005; Карасёва и др. 2008; Шефтель 2018). Важной характеристикой метода является степень его инвазивности, которая имеет значение не только по этическим соображениям, но и как фактор, влияющий на получаемый результат. Например, методы безвозвратного изъятия животных из среды могут искажать такие результаты работы, как соотношение видов в сообществе и показатели дисперсии (Калинин 2019; Калинин и др. 2020). Кроме того, такие техники изучения животных неприменимы при работе с вымирающими и редкими видами. Поэтому особенно важной задачей является разработка новых способов неинвазивной оцен-

ки обилия мелких млекопитающих. Один из таких новых методов подразумевает использование пластиковых бутылок — доступного, недорогого и нетребовательного в обслуживании оборудования (Толкачёв и др. 2019).

Бутылки, содержащие стандартную хлебную приманку, раскладываются транsekтами. Спустя сутки в них проверяется наличие приманки. Погрызы или отсутствие приманки трактуется как признак захода одного зверька. Таким образом, бутылки функционируют в качестве прикормочных станций однократного действия. Авторами были предложены уравнения для пересчета индексов обилия, получаемых бутылками, в относительную численность по результатам отлова стандартным зоологическим методом ловушко-линий (Tolkachev et al. 2021). Однако животное потенциально способно посетить более одной бутылки за сутки, нарушая основное допущение метода, что может исказить результаты оценки обилия. Кроме того, бутылки и давилки потенциально могут с различной эффективностью учитывать животных разного вида, пола или возраста. Например, более активные зверьки могут чаще заходить в одну или несколько бутылок, тогда как посещение давилки в норме является однократным. При этом успешность отлова в давилки тоже не одинакова для всех зверьков. К примеру, мелкие особи обычно отлавливаются хуже. Таким образом, оба метода учета обилия (давилки и бутылки) могут иметь погрешности, оценка которых осложняется тем фактом, что бутылки не отлавливают животных. Для решения проблемы мы использовали вещества-биомаркеры, позволяющие пометить зверька через поедаемую им приманку.

Целью исследования было изучение двух потенциальных проблем бутылочно-го метода оценки обилия мелких млекопитающих. Во-первых, с помощью мечения животных биомаркерами предполагалось оценить погрешность, создаваемую особями, посещающими более одной бутылки,

на транsekтах с разным интервалом между орудиями учета (пять или десять метров). Во-вторых, планировалось сравнить полноту охвата сообщества мелких млекопитающих при учете бутылками. Решение этих задач поможет выяснить, какой способ расположения прикормочных станций является предпочтительным.

Методика Дизайн эксперимента

Эксперимент проводился в два этапа. Первый длительностью пять дней (с 27 июня по 1 июля включительно) был проведен летом 2019 года. Этот этап исследования был предварительным и предназначался в том числе для отработки методики, которая в таком виде применялась впервые. Исследование проводилось в Юго-Западном лесопарке Екатеринбурга. В первый день эксперимента бутылки были разложены в две линии (транsekты), включавшие по 50 бутылок с приманкой. Расстояние между транsekтами равнялось 100 м, включая четырехполосную автомобильную дорогу с интенсивным движением. Интервалы между соседними бутылками для первой линии составили пять метров, для второй — десять метров. Длина первой линии составила 245 м. Длина второй была равна 490 м. В каждой бутылке находилась твердая приманка на основе овсяных хлопьев (Толкачёв, Беспамятных 2019). Для установления факта посещения бутылок приманка включала биомаркеры: тетрациклин в нечетных бутылках и родамин В — в четных. Масса кусков приманки составляла $5 \pm 0,2$ г. Концентрация каждого из маркеров — 800 мг/кг сухого веса. На следующий день бутылки были собраны и заменены давилками с крючком (Толкачёв 2019). С 29 июня по 1 июля включительно проводился отлов животных на стандартную приманку из хлеба, обжаренного в нерафинированном подсолнечном масле. Далее зверьки осматривались в лаборатории на предмет наличия родаминовой метки по методике, предложенной ранее (Толкачёв, Беспамятных 2019). После этого проводилась очистка черепов для точного определения вида и поиска те-

трациклиновой метки в зубах и на челюстях в ультрафиолете. Методика применялась в модификации О. В. Толкачёва с коллегами (Толкачёв и др. 2017). Наличие обеих меток у одной особи понималось как доказательство посещения животным не менее двух бутылок с разными маркерами. Также в лаборатории проводились определение пола и оценка половой зрелости животных по состоянию генеративной системы (половозрелый/неполовозрелый).

Повторный эксперимент был проведен осенью того же года и занял 12 дней (с 11 по 22 сентября включительно). На этом этапе в качестве площадки использовались лесные насаждения вдоль Кольцовского тракта, г. Екатеринбург. Прикормочные станции на двух трансектах были размещены, как и в первой части исследования, по 50 штук с интервалами в пять или десять метров. Расстояние между линиями составляло 100 м, включая крупнейшую автодорогу в регионе, которая, как было показано ранее, является абсолютно непреодолимой для мышевидных грызунов (Толкачёв 2016). В первый день производилось размещение бутылок с приманкой, содержащей тетрациклин или родамин. Масса кусков приманки была снижена до $1 \pm 0,2$ г. На второй день бутылки были собраны и заменены давилками. Отлов зверьков производился десять дней. Дальнейшие операции были такими же, как и в первой части исследования.

Статистическая обработка

Оценку статистической достоверности различий долей животных, меченых одним или двумя маркерами, проводили двусторонним критерием Фишера. Для сравнения эффективности мечения при разных интервалах между прикормочными станциями использовали вероятность отлова меченых особей, которая рассчитывалась как среднее значение наличия (1) или отсутствия (0) метки в определенной группе животных. Значимость влияния факторов «интервал», «вид животного», «пол», «половозрелость» на вероятность обнаружения метки анализировали методом логи-

стической регрессии. При этом наличие или отсутствие метки формировало зависимую переменную, а вывод о значимости фактора делали на основе теста Вальда (W^2). Расчеты проводили в программном пакете STATISTICA 6.0, StatSoft Inc.

Результаты

В ходе первой части эксперимента было отловлено 110 животных двух видов: малая лесная мышь (*Sylvemus uralensis* Pallas, 1811) и рыжая полевка (*Myodes glareolus* Schreber, 1780). У 20 из них имелась тетрациклиновая метка, у 67 — родаминовая. Хотя бы одну метку имели 16 особей на линии с интервалом десять метров и 58 — на линии с интервалом пять метров (совокупная полнота мечения двумя маркерами — 67,3%). При проведении второго этапа эксперимента было поймано 185 зверьков семи видов: малая лесная мышь, полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), обыкновенная полевка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778), красная полевка (*Myodes rutilus* Pallas, 1779), полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas, 1776), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758), малая бурозубка (*Sorex minutus* Linnaeus, 1766). У восьми животных найдена тетрациклиновая метка, у 35 — родаминовая, что дает совокупную полноту мечения двумя маркерами — 26%. А при учете только первых трех дней отлова из десяти во втором эксперименте — соответственно две особи, 24 особи, 39,4%. Различие по совокупной доле меченых было значимым при сравнении первого эксперимента со вторым при учете только первых трех дней отлова или всех десяти (A vs. B или C на рис. 1; $p < 0,05$). При сопоставлении двух вариантов второго эксперимента различия были не значимыми (B vs. C на рис. 1; $p > 0,05$).

В первом эксперименте вероятность отлова животных с меткой была выше при пятиметровом интервале, чем при десятиметровом, и при этом доли меченых зверьков (77,3% и 45,7% соответственно) различались значимо (рис. 1А). Во втором эксперименте вероятность обнаружения меченых особей также была выше при ин-

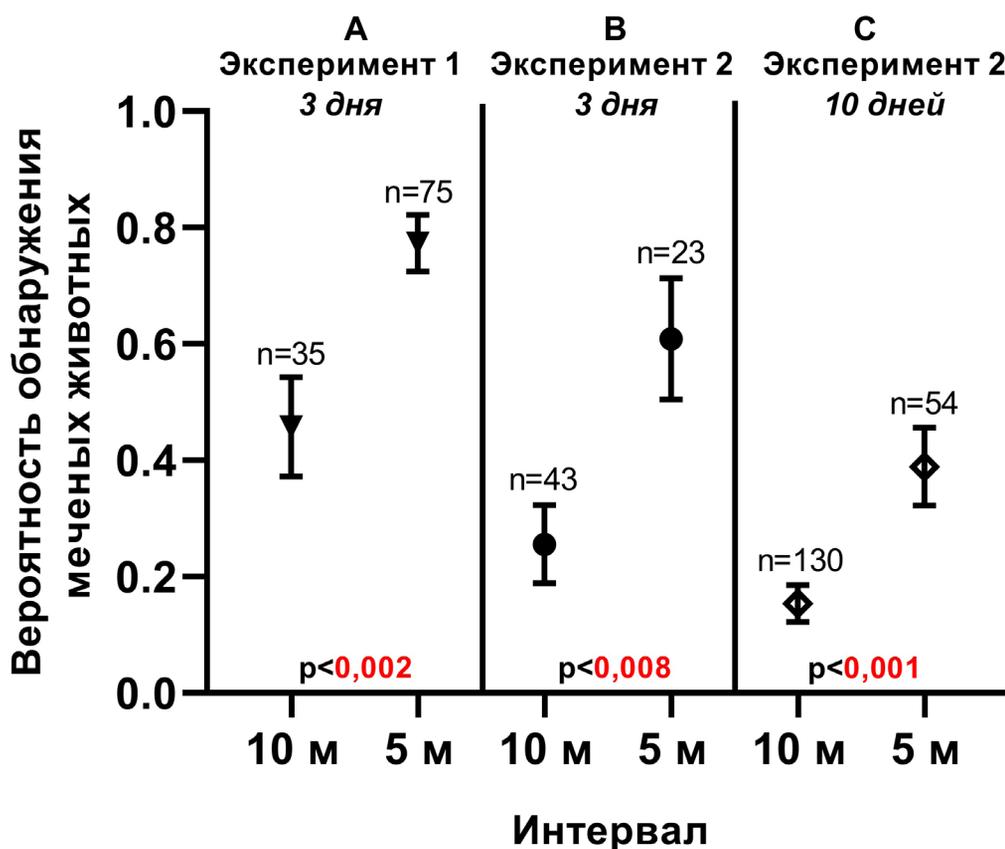


Рис. 1. Вероятность обнаружения меченых животных (среднее \pm ошибка) при пяти- и десятиметровых интервалах между прикормочными станциями в двух экспериментах. По второму эксперименту расчеты сделаны для результатов отлова в течение первых трех и полных десяти дней. Значение «р» отражает уровень статистической значимости различий между долями животных с меткой при двух интервалах

Fig. 1. Probability of finding marked animals (average \pm standard error) between feeding stations placed at intervals of five and ten meters in the two experiments. In the second experiment, calculations were made for the results of trapping during the first three days and during the whole period of ten days. The p value reflects the statistical significance of differences between the fractions of animals with a mark for two types of intervals

тервале пять метров. Полнота мечения грызунов на этой линии составляла 38,9%, а при десятиметровом интервале — 15,4%. Различие было статистически значимым (рис. 1С). При учете только трех первых дней отлова, как в первом эксперименте, соотношение вероятностей обнаружения меченых особей на линиях с разным интервалом между прикормочными станциями остается примерно таким же, как за десятидневный период, и различия по доле меченых зверьков (60,9% при пяти метрах и 26% при десяти метрах) также являются значимыми (рис. 1В).

В первом эксперименте отловлено девять особей, имевших одновременно две

метки, из них на линии с пятиметровым интервалом: пять малых лесных мышей и четыре рыжие полевки (15,5% от меченых на линии); на второй линии (10 м)— четыре рыжие полевки (25% от меченых на линии). Данные о животных, посетивших не менее двух прикормочных станций за сутки, представлены ниже (табл. 1). Различия по доле зверьков с двойной меткой для двух способов размещения бутылок были не значимыми ($p > 0,05$). Во втором эксперименте общее число животных, посетивших бутылки с двумя типами маркеров, оказалось невелико — по одной неполовозрелой особи полевой мыши на линиях с интервалами пять метров и десять

метров (4,7% и 5% от всех меченых на соответствующей линии или 6,2% и 5,3% без учета землероек).

из бутылок. Поэтому многие особи могли поесть приманку в течение неизвестного времени. Это противоречило плану,

Животные, помеченные обоими маркерами в первом эксперименте

Animals marked by both biomarkers in the first experiment

Вид	Интервал 5 метров				Интервал 10 метров	
	<i>S. uralensis</i>		<i>M. glareolus</i>		<i>M. glareolus</i>	
Пол	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Неполовозрелых	1	—	—	—	—	—
Половозрелых	—	1	3	1	3	1
Поврежденных	3		—		—	

Проанализировав возможное влияние на вероятность получения метки факторов «вид», «пол», «половозрелость», «интервал» с помощью логистической регрессии, установили, что только последний из них дает статистически значимый эффект в обоих экспериментах (табл. 2).

Обсуждение

В результате исследования мы не обнаружили статистически значимых различий между схемами с разным интервалом расстановки по доле зверьков с двойной меткой. Но абсолютные значения были больше в первой, чем во второй части эксперимента. Это вызвано тем, что первоначально мы решили использовать крупные куски приманки, чтобы максимально усложнить их вытаскивание из бутылок животными. Как выяснилось, в большинстве случаев грызуны все равно вытаскивали приманку

согласно которому в сумме не более 50 животных с двух трансект должны были получить метку родамином В, при условии, что одна бутылка посещается только одной особью. Фактическое значение (67 меченых родамином) превышает максимально возможное по изначальной логике эксперимента, что свидетельствует о нарушении хода исследования. Однако данное искажение в равной степени должно было воздействовать на результаты мечения на первой и второй линиях. Так что, повысив абсолютное число помеченных грызунов, оно должно было оставить без изменений соотношение их долей на трансектах с разным интервалом между прикормочными станциями. Во второй части эксперимента мы уменьшили размер кусков приманки с таким расчетом, чтобы только одна особь могла съесть каждый из них. Поэтому совокупная полнота мечения двумя маркера-

Результаты проверки влияния факторов на вероятность обнаружения метки у животного

Influence of various factors on the probability of finding a mark on an animal

Фактор	Эксперимент 1			Эксперимент 2		
	df	W ²	p	df	W ²	p
Интервал	1	8,2	0,004	1	3,9	0,050
Вид	1	2,3	0,129	3	7,4	0,059
Пол	1	0,5	0,468	1	0,0	0,964
Половозрелость	1	0,2	0,623	1	2,2	0,140

Примечание: df — степень свободы; W² — значение теста Вальда; p — уровень значимости

ми на двух линиях в первом эксперименте составляет 67,3%, а во втором — только 39,4% (при учете первых трех дней отлова). При увеличении длительности вылова во втором эксперименте до десяти дней показатель полноты мечения сократился до 26% из-за постепенного вылова оседлых зверьков и естественного увеличения доли нерезидентного населения (в понимании Н. А. Щипанова и А. В. Купцова (2004)).

Вероятность обнаружения меченых животных во всех случаях была статистически значимо выше при пятиметровом, чем при десятиметровом интервале, что обусловлено более плотным расположением приманки в первом случае. Поэтому пятиметровый интервал позволяет охватить достоверно большую долю сообщества грызунов, а значит, потенциально может давать более точную оценку обилия при прочих равных условиях. Мы предполагали, что при более частом расположении прикормочных станций может возрасти доля особей, посещающих более одной бутылки, вызывая тем самым снижение точности оценки обилия этим методом. Показатели по животным с двойной меткой, полученные в ходе первого эксперимента, завышены из-за бесконтрольного поедания приманки. Во втором эксперименте этой проблемы не было. Кроме того, увеличение длительности отлова зверьков позволило нам выловить абсолютное большинство меченых особей. Последние единичные поимки индивидуумов с меткой произошли в предпоследний день на линии с десятиметровым интервалом и в последний день на трансекте с интервалом пять метров. Поэтому оценки доли зверьков с двойной меткой, полученные во второй части эксперимента, наиболее точные и составляют 4,7–5% от всех меченых вне зависимости от интервала между прикормочными станциями. Определить реальное количество животных, посещавших бутылки с приманкой, содержащей тетрациклин, возможным не представляется. На данной площадке кроме грызунов обитают буро-

зубки двух видов, у которых тетрациклиновая метка не формируется, поскольку их зубы не растут всю жизнь, в отличие от резцов грызунов. Но и без учета землероек в числе меченых доля животных с двойной меткой составляет 6,2% и 5,3% от всех меченых при интервале пять метров и десять метров соответственно.

Таким образом, хотя некоторые животные, как и ожидалось, посещают более одной бутылки, их доля в первые сутки незначительна и вряд ли может оказывать существенное влияние на грубые оценки обилия, получаемые с помощью бутылочного метода. Однако описанная ранее методика предполагает экспонирование бутылки в течение двух суток (Толкачев и др. 2019). При этом наиболее точные оценки были получены авторами на второй день при десятиметровом интервале. С одной стороны, увеличение срока экспонирования должно повысить долю учтенных животных в сообществе, а с другой — может способствовать повышению доли особей, дающих ложноположительный результат при посещении более одной бутылки в связи с ослаблением эффекта неophobia. При этом на пятиметровом интервале увеличение может оказаться более существенным. Проверка данной гипотезы требует дальнейших экспериментов.

Обнаружено, что вид, пол и половозрелость животного не являются факторами, влияющими на вероятность мечения зверька. Таким образом, бутылочный метод продемонстрировал такую же избирательность, как и метод ловушко-линий, что служит дополнительным обоснованием возможности пересчета индекса обилия, получаемого бутылками, в более традиционный. Мы ожидали, что из-за разной основы приманки (хлеб или овсяные хлопья) могут проявиться какие-то различия в спектре видов, учитываемых бутылками и давилками. Но, по-видимому, нерафинированное масло, покрывавшее поверхность обоих видов приманки, служило сильным аттрактантом, нивелируя различия в прочих компонентах.

В данном исследовании хорошим биомаркером оказался родамин В, в обоих экспериментах проявивший себя лучше, чем тетрациклин (67 выявленных меток против 20 в первом эксперименте и 35 родаминовых меток против восьми тетрациклиновых во втором, с учетом бурозубок). В целом родамин В оказался в 3,4 раза эффективнее на первой стадии исследования и в 4,4 раза — на второй. Вывод об эффективности родамина В подтверждается статистически ($p < 0,001$). Поэтому реальное число особей, посетивших более одной бутылки, может быть несколько выше. Теоретический максимум меченых на каждой линии составляет 50 штук (по числу бутылок с приманкой и маркерами). Доля меченых родамином во втором эксперименте составляла 0,34 от 50 при интервале пять метров и 0,36 при десяти метрах. Если бы эффективность тетрациклина была такой же, как у родамина, то путем умножения вероятностей получаем, что доля особей с двойной меткой могла бы достигать 12–13%. С другой стороны, в некоторых случаях приманка с маркерами могла становиться доступной для других особей уже после вытаскивания ее из бутылки. При использовании бутылочного метода для учета обилия мелких млекопитающих судьба приманки после вытаскивания из бутылки не имеет никакого значения. Таким образом, основное допущение метода

(одна особь — одна посещенная бутылка) может нарушаться, но доля животных, посещающих более одной бутылки за сутки, оказалась невелика. Поэтому коэффициент корреляции между оценками обилия, полученными бутылками и давилками, может достигать 0,85 (Толкачёв и др. 2019).

Примененная в данном исследовании методика чередующегося точечного мечения биомаркерами может быть использована для проверки некоторых теоретических положений. В частности, о скорости вылова мелких млекопитающих при оценке доли мигрантов методом безвозвратного изъятия (Лукьянов 1989; Смирнов 1998а; 1998б). Проведенные нами эксперименты будут способствовать совершенствованию бутылочного метода оценки обилия мелких млекопитающих.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 20-04-00164.

Acknowledgements

The study was carried out as part of the state-commissioned assignment of the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. The study was partially supported by RFBR grant No. 20-04-00164.

Литература

- Бобрецов, А. В., Куприянова, И. Ф., Калинин, А. А. и др. (2005) Методы учета мелких млекопитающих в заповедниках. В кн.: Иванчев В. П. (ред.). *Роль заповедников лесной зоны в сохранении и изучении биологического разнообразия Европейской части России: материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию Окского государственного природного биосферного заповедника. Труды Окского государственного природного биосферного заповедника. Вып. 24.* Рязань: Русское слово, с. 586–593.
- Калинин, А. А. (2019) Последствия учетов мелких млекопитающих методом безвозвратного изъятия. *Экология*, № 3, с. 211–216. <https://www.doi.org/10.1134/S0367059719030053>
- Калинин, А. А., Куприянова, И. Ф., Александров, Д. Ю. (2020) Вклад плотности оседлого населения и нерезидентной активности мелких млекопитающих в результате учетов методом безвозвратного изъятия. *Сибирский экологический журнал*, т. 27, № 2, с. 233–242. <https://www.doi.org/10.15372/SEJ20200209>
- Карасева, Е. В., Телицына, А. Ю., Жигальский, О. А. (2008) *Методы изучения грызунов в полевых условиях.* М.: Изд-во ЛКИ, 416 с.
- Лукьянов, О. А. (1989) Оценивание численности оседлых и потока транзитных особей в популяциях мелких млекопитающих методом многосуточного безвозвратного изъятия в одноместные ловушки. *Экология*, № 2, с. 32–41.

- Морозкина, А. В., Стариков, В. П. (2015) Особенности распределения мелких млекопитающих на урбанизированной и ненарушенной территориях. *Вестник Сургутского государственного университета*, № 3 (9), с. 42–48.
- Смирнов, В. С. (1998а) Задача Бюффона и парадокс Бертрана. Их реализация в краевом эффекте при учетах численности мелких млекопитающих линиями ловушек. *Экология*, № 3, с. 206–210.
- Смирнов, В. С. (1998b) Ошибка в определении числа мигрантов при отлове мелких млекопитающих линиями давилок. *Журнал общей биологии*, т. 59, № 4, с. 438–448.
- Толкачёв, О. В. (2016) Могут ли крупные дороги быть абсолютным барьером для передвижения мелких млекопитающих? *Поволжский экологический журнал*, № 3, с. 320–329. <https://www.doi.org/10.18500/1684-7318-2016-3-320-329>
- Толкачёв, О. В. (2019) Этимология некоторых названий ловушек, применяемых в исследованиях мелких млекопитающих. *Вестник Томского государственного университета. Биология*, № 48, с. 73–96. <https://www.doi.org/10.17223/19988591/48/4>
- Толкачёв, О. В., Байtimiрова, Е. А., Маклаков, К. В. (2019) Простой метод оценки обилия мелких млекопитающих. В кн.: Д. В. Весёлкин, А. Г. Васильев (ред.). *Экология и эволюция: новые горизонты. Материалы Международного симпозиума, посвящённого 100-летию академика С. С. Шварца (1–5 апреля, 2019, г. Екатеринбург)*. Екатеринбург: Гуманитарный университет, с. 110–113.
- Толкачев, О. В., Беспмятных, Е. Н. (2019) Новый метод детекции родаминовой метки и возможности его применения в зоологических исследованиях. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*, т. 12, № 4, с. 352–365. <https://www.doi.org/10.17516/1997-1389-0051>
- Толкачёв, О. В., Гизулина, О. Р., Оленев, Г. В. (2017) Улучшенная процедура визуального обнаружения тетрациклиновой метки при массовом мечении грызунов. *Вестник Томского государственного университета. Биология*, № 39, с. 127–139. <https://www.doi.org/10.17223/19988591/39/8>
- Шадрина, Е. Г. (2019) Влияние нефтегазодобывающей промышленности на население мелких млекопитающих таежной зоны западной Якутии. В кн.: Е. А. Боровичёв, О. И. Вандыш (ред.). *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В. В. Никонова (Апатиты, 16–22 июня 2019 г.)*. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, с. 281–282.
- Шадрина, Е. Г., Вольперт, Я. А., Однокурцев, В. А. и др. (2018) Сообщества мелких млекопитающих пригородной зоны и незастроенных территорий г. Якутска. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*, т. 26, № 4, с. 97–108. <https://www.doi.org/10.31242/2618-9712-2018-26-4-97-108>
- Шефтель, Б. И. (2018) Методы учета численности мелких млекопитающих. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, т. 3, № 3, с. 1–21. <https://www.doi.org/10.21685/2500-0578-2018-3-4>
- Щипанов, Н. А., Купцов, А. В. (2004) Нерезидентность у мелких млекопитающих и ее роль в функционировании популяции. *Успехи современной биологии*, т. 124, № 1, с. 28–43.
- Tolkachev, O. V., Malkova, E. A., Maklakov, K. V. (2021) A reconnaissance method for small mammal abundance assessment in urban environments. *Russian Journal of Ecology*. (In press).

References

- Bobretsov, A. V., Kupriyanova, I. F., Kalinin, A. A. et al. (2005) Metody ucheta melkikh mlekopitayushchikh v zapovednikakh [Methods for registration of small mammals in nature reserves.] In: V. P. Ivanchev, Yu. V. Kotyukov, Yu. M. Markin (eds.). *Rol' zapovednikov lesnoj zony v sokhranении i izuchenii biologicheskogo raznoobraziya evropejskoj chasti Rossii: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 70-letiyu Okskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Trudy Okskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika [Role of the wood reserves in preservation and analysis of a biological diversification of an European part of Russia: Proceedings of scientific-practical conference dedicated to 70th anniversary of the Oka state natural biosphere reserve. Proceedings of the Oka State Natural Biosphere Reserve]. Iss. 24. Ryazan: Russkoe slovo Publ., pp. 586–593. (In Russian)*
- Kalinin, A. A. (2019) Posledstviya uchetov melkikh mlekopitayushchikh metodom bezvozvratnogo iz'yatiya [The consequences of small mammal censuses by method of irreversible removal]. *Ekologiya*, no. 3, pp. 211–216. <https://www.doi.org/10.1134/S0367059719030053> (In English)

- Kalinin, A. A., Kupriyanova, I. F., Aleksandrov, D. Yu. (2020) Vklad plotnosti osedlogo naseleniya i nerezidentnoj aktivnosti melkikh mlekopitayushchikh v rezul'tate uchotov metodom bezvozvratnogo iz'yatiya [Contributions of resident populations and nonresident activities of small mammals to the results of censuses performed using the permanent removal method]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, vol. 27, no. 2, pp. 233–242. <https://www.doi.org/10.15372/SEJ20200209> (In English)
- Karaseva, E. V., Telitsyna, A. Yu., Zhigalsky, O. A. (2008) *Metody izucheniya gryzunov v polevykh usloviyakh* [The the methods of studying rodents in the wlld nature]. Moscow: LKI Publ., 416 p. (In Russian)
- Luk'yanov, O. A. (1989) Otsenivanie chislennosti osedlykh i potoka tranzitnykh osobej v populyatsiyakh melkikh mlekopitayushchikh metodom mnogosutochnogo bezvozvratnogo iz'yatiya v odnomestnye lovushki [Estimating of abundance of resident and stream of non-resident transit individuals in small mammals populations by the method of multi-day permanent removal using single-place traps]. *Ekologiya*, no. 2, pp. 32–41. (In Russian)
- Morozkina, A. V., Starikov, V. P. (2015) Osobennosti raspredeleniya melkikh mlekopitayushchikh na urbanizirovannoj i nenarushennoj territoriyakh [Features of the small mammals distribution in urbanized and undisturbed territories]. *Vestnik Surgut'skogo gosudarstvennogo universiteta — Surgut State University Journal*, no. 3 (9), pp. 42–48. (In Russian)
- Shadrina, E. G. (2019) Vliyanie neftegazodobyvayushchej promyshlennosti na naselenie melkikh mlekopitayushchikh taezhnoj zony zapadnoj Yakutii [The impact of the oil and gas industry on the population of small mammals in the taiga zone of Western Yakutia]. In: E. A. Borovichev, O. I. Vandysh (eds.). *Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya: Tezisy dokladov VII Vserossijskoj nauchnoj konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 30-letiyu Instituta problem promyshlennoj ekologii Severa FITs KNTs RAN i 75-letiyu so dnya rozhdeniya doktora biologicheskikh nauk, professora V. V. Nikonova (Apatity, 16–22 iyunya 2019 g.)* [Ecological problems of the Northern Regions and ways to their solution: Abstracts of VII Russian Scientific Conference with international participation “Ecological problems of the Northern Regions and ways to their solution”, dedicated to the 30th anniversary of the Institute of North Industrial Ecology Problems and to the 75th anniversary celebration of Professor V. V. Nikonov (Apatity, June, 16–22, 2019)]. Apatity: Kola Science Centre of the RAS Publ., pp. 281–282. (In Russian)
- Shadrina, E. G., Vol'pert, Ya. L., Odnokurtcev, V. A. et al. (2018) Soobshchestva melkikh mlekopitayushchikh prigorodnoj zony i nezastroennykh territorij g. Yakutsk [Communities of small mammals in suburban area and undeveloped lands of Yakutsk]. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki — Arctic and Subarctic Natural Resources*, vol. 26, no. 4, pp. 97–108. <https://www.doi.org/10.31242/2618-9712-2018-26-4-97-108> (In Russian)
- Shchipanov, N. A., Kuptsov, A. V. (2004) Nerezidentnost' u melkikh mlekopitayushchikh i ee rol' v funkcionirovanii populyatsii [Non-residence and its role in functioning of small mammal populations]. *Uspekhi sovremennoj biologii — Advances in Current Biology*, vol. 124, no. 1, pp. 28–43. (In Russian)
- Sheffel, B. I. (2018) Metody ucheta chislennosti melkikh mlekopitayushchikh [Methods for estimating the abundance of small mammals]. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, vol. 3, no. 3, pp. 1–21. <https://www.doi.org/10.21685/2500-0578-2018-3-4> (In Russian)
- Smirnov, V. S. (1998a) Zadacha Byuffona i paradoks Bertrana. Ikh realizatsiya v kraevom effekte pri ucheta chislennosti melkikh mlekopitayushchikh liniyami lovushek [The Buffon problem and the Bertrand paradox: Realization in the marginal effect during censuses of small mammals by trap lines]. *Ekologiya*, no. 3, pp. 206–210. (In English)
- Smirnov, V. S. (1998b) Oshibka v opredelenii chisla migrantov pri otlove melkikh mlekopitayushchikh liniyami davilok [An error in determining the number of migrants during the trapping of small mammals with weighted lines]. *Zhurnal obshchej biologii — Journal of General Biology*, vol. 59, no. 4, pp. 438–448. (In English)
- Tolkachev, O. V. (2016) Mogut li krupnye dorogi byt' absolyutnym bar'erom dlya peredvizheniya melkikh mlekopitayushchikh? [Can major roads be absolute barriers to small mammals' movement?]. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal — Povolzhskiy Journal of Ecology*, no. 3, pp. 320–329. <https://www.doi.org/10.18500/1684-7318-2016-3-320-329> (In Russian)
- Tolkachev, O. V. (2019) Etimologiya nekotorykh nazvanij lovushek, primenyaemykh v issledovaniyakh melkikh mlekopitayushchikh [Etymology of some names of traps applied in the studies of small mammals]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya — Tomsk State University Journal of Biology*, no. 48, pp. 73–96. <https://www.doi.org/10.17223/19988591/48/4> (In Russian)
- Tolkachev, O. V., Malkova, E. A., Maklakov, K. V. (2021) A reconnaissance method for small mammal abundance assessment in urban environments. *Russian Journal of Ecology*. (In press). (In English)

- Tolkachev, O. V., Baitimirova, E. A., Maklakov, K. V. (2019) Prostoj metod otsenki obiliya melkikh mlekopitayushchikh [The simple method for estimating abundance of small mammals]. In: D. V. Veselkin, A. G. Vasilev (ed.). *Ekologiya i evolyutsiya: novye gorizonty. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma, posvyashchennogo 100-letiyu akademika S. S. Shvartsa (1–5 aprelya, 2019, g. Ekaterinburg)* [Ecology and evolution: New challenges: Proceedings of the International Symposium dedicated to the celebration of 100th anniversary of RAS Academician S. S. Shvartz (April 1–5, 2019, Ekaterinburg, Russia)]. Ekaterinburg: Liberal Arts University — University for Humanities Publ., pp. 110–113. (In Russian)
- Tolkachev, O. V., Bespamyatnykh, E. N. (2019) Novyj metod detektsii rodaminovoj metki i vozmozhnosti ego primeneniya v zoologicheskikh issledovaniyakh [The new method of rhodamine mark detection and its application possibilities in zoological studies]. *Zhurnal Sibirskogo Federalnogo Universiteta. Seriya: Biologiya — Journal of Siberian Federal University. Biology*, vol. 12, no. 4, pp. 352–365. <https://www.doi.org/10.17516/1997-1389-0051> (In Russian)
- Tolkachev, O. V., Gizullina, O. R., Olenov, G. V. (2017) Uluchshennaya protsedura vizual'nogo obnaruzheniya tetratsiklinovoj metki pri massovom mechenii gryzunov [Improved visual detection of tetracycline label for group rodent marking]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya — Tomsk State University Journal of Biology*, no. 39, pp. 127–139. <https://www.doi.org/10.17223/19988591/39/8> (In Russian)

Для цитирования: Толкачёв, О. В., Маклаков, К. В., Малкова, Е. А., Будимиров, А. С. (2021) Верификация нового гуманного метода оценки обилия мелких млекопитающих с помощью биомаркеров. *Амурский зоологический журнал*, т. XIII, № 2, с. 228–238. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2021-13-2-228-238>

Получена 18 февраля 2021; прошла рецензирование 29 марта 2021; принята 25 апреля 2021.

For citation: Tolkachev, O. V., Maklakov, K. V., Malkova, E. A., Budimirov, A. S. (2021) Verification of the bottle-based method for estimating abundance of small mammals using biomarkers. *Amurian Zoological Journal*, vol. XIII, no. 2, pp. 228–238. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2021-13-2-228-238>

Received 18 February 2021; reviewed 29 March 2021; accepted 25 April 2021.