

УДК 574.3:599.362:[504.5:669.2]/.8]

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ВОЗРАСТНУЮ СТРУКТУРУ НАСЕЛЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО КРОТА (*TALPA EUROPAEA* L.)

© 2019 г. Д. В. Нестеркова*

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

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

Поступила в редакцию 11.04.2019 г.

После доработки 15.04.2019 г.

Принята к публикации 18.04.2019 г.

Ключевые слова: продолжительность жизни, структура популяций, средний возраст, медеплавильный завод, качество местообитаний, тяжелые металлы, кадмий, Средний Урал

DOI: 10.1134/S0367059719060118

Анализ возрастной структуры — классическое направление популяционной экологии. Для млекопитающих такой анализ чаще всего связан с охотничьими видами. Много внимания уделено смещениям возрастных распределений под действием неблагоприятных факторов — чрезмерного изъятия [1, 2], выборочной охоты [3, 4], климатических изменений [5, 6].

Для условий локального промышленного загрязнения исследования возрастной структуры популяций немногочисленны: они касаются лишайников [7], растений [8, 9], рыб [10], птиц [11–14] и короткоживущих видов мелких млекопитающих [15, 16]. Для долгоживущих видов млекопитающих демографию популяций исследовали только в условиях регионального загрязнения [17, 18]. Отсутствие информации о крупных млекопитающих вблизи заводов связано с высокой мобильностью и большими размерами индивидуальных участков этих видов, что сильно затрудняет изучение воздействия на них локальных источников загрязнения. Европейский крот, несмотря на небольшие размеры, — долгоживущий вид [19, 20], что делает его удобным модельным объектом для анализа возрастной структуры. С другой стороны, как и другие насекомоядные, крот способен сильно аккумулировать тяжелые металлы, что позволяет ожидать наличие токсических эффектов. Ранее нами было показано [21], что рацион европейского крота на умеренно загрязненной территории содержит даже больше кадмия, чем пища грызунов на сильно загрязненных участках. Поскольку в желудочно-кишечном тракте крота кадмий не элиминируется, он накапливается в печени до очень высоких концентраций. Учитывая его аккумуляцию в течение всей жизни крота [21], можно предположить увеличение токсической нагрузки на особей старших возрастов, что может

быть причиной изменения возрастной структуры населения на загрязненной территории.

Цель данной работы — оценить влияние промышленного загрязнения территории тяжелыми металлами на возрастную структуру населения европейского крота (*Talpa europaea* L.). Мы проверяли предположение о том, что на загрязненной территории увеличена доля сеголеток и снижена доля особей старших возрастов, соответственно меньше средний возраст.

Исследования проведены в районе воздействия атмосферных выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), расположенного на окраине г. Ревды Свердловской обл. Основные ингредиенты выбросов — SO₂ и полиметаллическая пыль, в которой преобладают Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, As. Закономерности трансформации различных компонентов лесных экосистем и уровни загрязнения территории в данном районе подробно описаны ранее [16, 22–24].

Работы проведены на участках, расположенных к западу (ЗН) и югу (ЮН) от источника эмиссии. В радиусе 5 км вокруг СУМЗа крот отсутствует, что обусловлено исчезновением его кормовых объектов — дождевых червей [24]; устойчивые поселения в лесных биотопах зарегистрированы лишь на расстоянии 6–7 км от завода [21]. В зависимости от степени загрязнения участки были сгруппированы в две зоны: фоновую (ЗН: 30 и 20 км; ЮН: 34 и 26 км) и загрязненную (ЗН: 10 и 7 км; ЮН: 13 и 9 км) [25]. В западном направлении преобладали пихто-еловые и смешанные леса, в южном — сосновые. Отловы осуществляли в 2007–2011 гг. капканами-кротовловками и живоловушками, которые устанавливали в жилые магистральные ходы крота, пересекающие тропинки (по 2–4 ловушки в ход, всего 1820 лов.-сут). Для анализа возрастной структуры были исполь-

зованы объединенные данные летних (июль) и осенних (октябрь) отловов (всего 399 особей).

У отловленных животных определяли пол и репродуктивный статус. Поскольку у европейского крота половая зрелость наступает только на следующий год после рождения, т.е. в 10–11 мес., 1–2-месячные особи хорошо отличаются от взрослых по многим признакам (развитию репродуктивной системы, массе тела и цвету меха). Однако в отличие от европейских популяций этого вида [26, 27] молодые особи на Среднем Урале не имеют темного пигмента на передних лапах: даже в самом начале расселения из гнезда ладони сеголеток светлые, как у взрослых.

У всех взрослых особей, а также самцов старше 5 мес. точный возраст определяли по годовым ростовым слоям на поперечных срезах нижней челюсти и третьего коренного зуба M_3 [28]. Всего изготовлено 177 гистологических препаратов, окрашенных гематоксилином Майера и заключенных в глицерин. Для интегральной характеристики возрастного состава выборок использовали средний возраст, который информативен для анализа возрастных распределений [19, 29]. Чтобы нивелировать влияние сроков отлова и разных вклад летних и осенних животных, использовали не точный возраст в месяцах, а возрастные группы. Сеголетки, возраст которых летом составлял 1.5–2 мес. и осенью — 4.5–5 мес., были отнесены к возрастной группе “0+”, особи в возрасте около года (13.5–17 мес.) — к “1+”, около двух лет (25.5–29 мес.) — к “2+” и т.д.

Статистический анализ выполнен в ПО Statistica v.8.0 (StatSoftInc.) Значимость различий между выборками оценивали двухфакторным дисперсионным анализом, зависимость между относительным обилием и средним возрастом — коэффициентом корреляции Спирмена. Кумулятивные кривые для возрастных групп (individual rarefaction) построены в ПО PAST v.1.92.

Максимальный зарегистрированный нами возраст крота на исследованной территории — 6 лет, что соответствует наибольшей продолжительности жизни этого вида для других регионов [19, 20, 30, 31]. Вопреки ожиданиям, максимальная продолжительность жизни крота не зависела от уровня загрязнения и широко варьировала (от 1 до 6 лет) как на фоновых, так и на загрязненных территориях (табл. 1). Средний возраст всех животных значимо не различался ни между зонами ($F(1, 4) = 0.4, p = 0.57$) (рис. 1а), ни направлениями от завода ($F(1, 4) = 3.1, p = 0.15$). Взаимодействие “зона × направление” также было незначимо ($F(1, 4) = 0.6, p = 0.48$). Для среднего возраста взрослых половозрелых особей получены аналогичные результаты (для влияния зоны — $F(1, 4) = 1.2, p = 0.34$; для направления — $F(1, 4) = 6.3, p = 0.07$). Доли сеголеток также значимо не разли-

чались между зонами ($F(1, 4) = 0.2, p = 0.65$) и направлениями ($F(1, 4) = 0.2, p = 0.68$). Необходимо подчеркнуть, что участок в 10 км к западу от завода, где отмечена высокая продолжительность жизни крота, обоснованно отнесен к загрязненной зоне: здесь у взрослых особей концентрация Cd в печени была столь же высока, как и на наиболее близком к заводу участке в 7 км (см. табл. 1).

В отличие от описанной ситуации возрастная структура различалась между участками с высоким (34, 30, 20 и 10 км) и низким (26, 13, 9 и 7 км) обилием (рис. 1б). Коэффициент корреляции между средним возрастом взрослых особей и относительным обилием населения равен 0.79 ($p < 0.05, n = 8$). Отчасти это может быть связано с вероятностными причинами, поскольку вероятность отлова старых особей мала в силу их немногочисленности. По мнению Н.К. Депармы [32], минимальная выборка, приближающаяся к верному отражению истинного возрастного состава населения крота, составляет 40–45 особей. Тем не менее наблюдаемые различия не могут быть следствием только малого размера выборки. Кумулятивные кривые четко различаются между территориями высокого и низкого обилия (см. рис. 1б). Выход кривых на плато соответствует разным возрастным группам; при фиксированной численности, например 50 особей, максимальный возраст, обнаруживаемый в выборке, различается (4+ и 2+ соответственно).

Это может означать, что в биотопах с подходящей для крота почвой и высоким обилием пищевых ресурсов условия благоприятны не только для его высокой численности, но и для большой продолжительности жизни, и наоборот, в бедных кормовыми ресурсами местообитаниях отмечаются не только низкая численность, но и небольшая продолжительность жизни. Подобная закономерность известна для естественных биотопов [19]. Другими словами, если концентрации тяжелых металлов в почве не чрезмерно высоки и позволяют существовать в большом количестве дождевым червям, то аккумуляция металлов в организме крота не оказывает влияния на продолжительность его жизни.

Отчетливо выраженное смещение возрастного спектра локальных популяций в сторону младших возрастов при увеличении токсической нагрузки показано для разных групп: лишайников [7], растений [8, 9], пресноводных рыб [10] и птиц [11, 12]. Например, в озерной популяции сига *Coregonus lavaretus* до начала загрязнения преобладали 7–9-летние особи, а через 80 лет интенсивных сбросов — 3–5-летние [10]. В регионе, загрязненном кадмием вследствие добычи полезных ископаемых, отмечена повышенная смертность старых самок белохвостой куропатки и необычно высокая доля молодняка [12]. В популяции мухо-

Таблица 1. Возрастная структура (%), средний возраст, относительное обилие и концентрации Cd в печени европейского крота в градиенте загрязнения

Показатели		Западное направление				Южное направление			
		фоновая зона		загрязненная зона		фоновая зона		загрязненная зона	
		30 км	20 км	10 км	7 км	34 км	26 км	13 км	9 км
Возрастная группа	0+	70.0	69.7	72.4	80.5	74.3	85.7	66.7	72.7
	1+	10.0	5.6	8.6	7.3	14.3	10.7	23.3	27.3
	2+	15.0	13.5	7.6	12.2	5.7	3.6	10.0	0
	3+	3.3	6.7	6.7	0*	0	0	0	0
	4+	1.7	2.2	3.8	0	5.7	0	0	0
	5+	0	1.1	1.0	0	0	0	0	0
	6+	0	1.1	0	0	0	0	0	0
Число отловленных особей		60	89	105	41	35	28	30	11
Средний возраст всех особей, лет		0.57 ± 0.13	0.74 ± 0.14	0.64 ± 0.12	0.32 ± 0.11	0.49 ± 0.18	0.18 ± 0.09	0.43 ± 0.12	0.27 ± 0.14
Средний возраст взрослых особей, лет		1.89 ± 0.20	2.44 ± 0.23	2.31 ± 0.22	1.63 ± 0.18	1.89 ± 0.42	1.25 ± 0.25	1.30 ± 0.15	1.00
Обилие ¹ , ходов/км		9.7 ± 1.5	7.8 ± 0.4	5.9 ± 1.0	2.1 ± 0.5	7.0 ± 1.4	3.6 ± 1.19	4.8 ± 1.0	2.7 ± 1.0
Концентрация Cd в печени взрослых особей ² , мкг/г		103.0 ± 8.4	89.3 ± 8.0	309.3 ± 33.9	325.0 ± 40.5	—	—	—	—

Примечание. * — трехлетние особи отмечены весной, приведены средние арифметические и ошибки средней; 1 — данные из работы [25]; 2 — данные из работы [21].

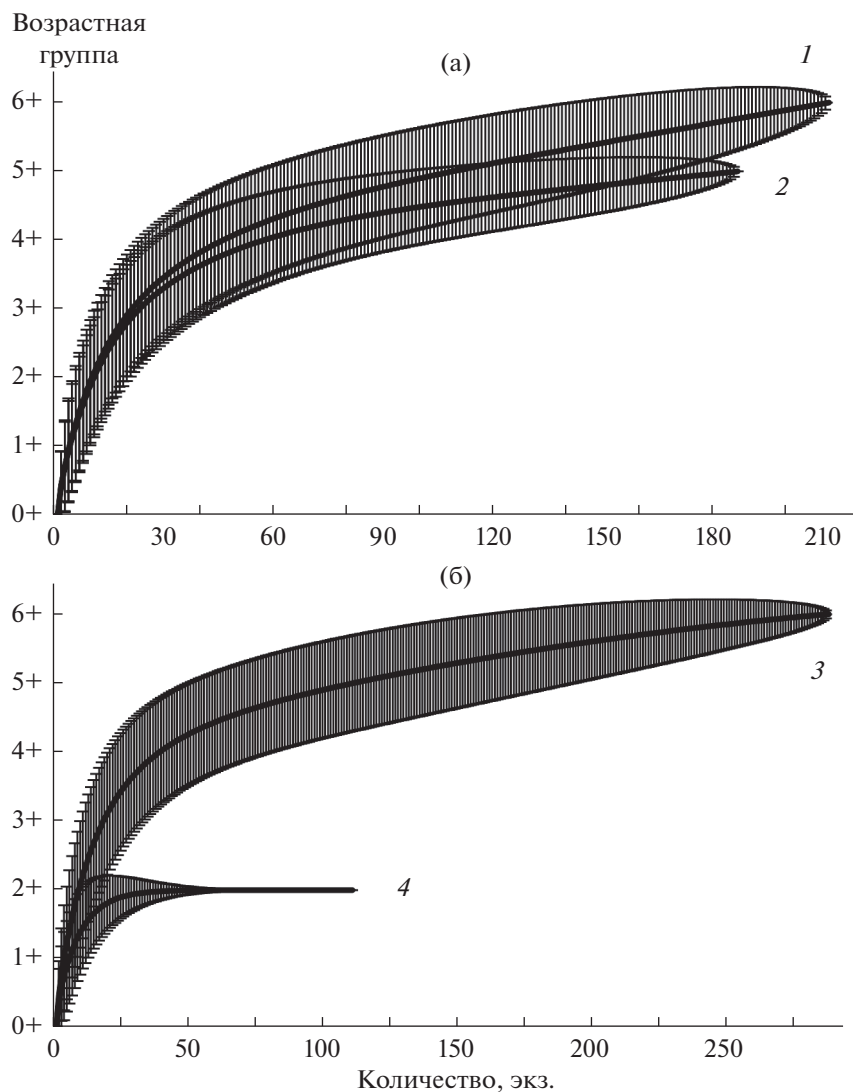


Рис. 1. Кумулятивные кривые для возрастных групп европейского крота на территориях с разным уровнем загрязнения (а: 1 – незагрязненная, 2 – загрязненная) и разным относительным обилием (б: 3 – высокое, 4 – низкое). Планки погрешностей – стандартное отклонение.

ловки-пеструшки вблизи медеплавильного завода была увеличена доля молодых размножающихся самок [11]. Впрочем, авторы связали это лишь с опосредованным действием загрязнения: молодые самки вынуждены гнездиться в неблагоприятных условиях из-за высокой конкуренции на чистой территории. В более поздних работах эти же авторы уже не регистрировали изменений возрастной структуры ни для мухоловки [14], ни для большой синицы [13].

Влияние загрязнения на возрастную структуру популяций млекопитающих исследовано только для короткоживущих мышевидных грызунов. Показано, что молодые особи рыжей полевки сильнее подвержены влиянию загрязнения выбросами металлургических предприятий по сравнению с перезимовавшими [15, 16]. Однако спе-

цифические особенности жизненного цикла короткоживущих видов не позволяют напрямую проецировать полученные результаты на виды, срок жизни которых превышает два года.

Таким образом, загрязнение среды тяжелыми металлами в районе воздействия медеплавильного завода влияет на продолжительность жизни крота лишь косвенно, через снижение качества местообитаний. Возрастная структура населения крота различается между территориями с его высоким и низким обилием, а сами по себе высокие концентрации кадмия в организме крота не оказывают влияния на продолжительность его жизни.

В целом влияние промышленного загрязнения на возрастную структуру популяций животных изучено недостаточно: полученные результаты

противоречивы, а универсальность выводов ограничена специфичностью объектов и пока вряд ли может быть использована для широких обобщений, что определяет необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

Автор признательна Е.Л. Воробейчику, Ю.А. Давыдовой, А.В. Нестеркову за обсуждение рукописи. Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cowan P.E. Effects of intensive trapping on breeding and age structure of brushtail possums, *Trichosurus vulpecula*, on Kapiti Island, New Zealand // New Zealand J. of Zoology. 1993. V. 20. № 1. P. 1–11.
2. Servanty S., Gaillard J.M., Ronchi F. et al. Influence of harvesting pressure on demographic tactics: implications for wildlife management // J. of Applied Ecology. 2011. V. 48. № 4. P. 835–843.
3. Milner J.M., Nilsen E.B., Andreassen H.P. Demographic side effects of selective hunting in ungulates and carnivores // Conservation Biology. 2007. V. 21. № 1. P. 36–47.
4. Монахов В.Г. Избирательность добычи и ее влияние на структуру популяций соболя в Приуралье // Экология. 2018. № 5. С. 382–390. [Monakhov V.G. Hunting selectivity and its influence on the structure of sable populations in the Cis-Ural region // Rus. J. Ecol. 2018. V. 49. № 5. P. 434–441.]
5. Gaillard J.M., Delorme D., Boutin J.M. et al. Roe deer survival patterns: a comparative analysis of contrasting populations // J. of Animal Ecology. 1993. V. 62. № 4. P. 778–791.
6. Chan K.S., Myrsetrud A., Oritsland N.A. et al. Continuous and discrete extreme climatic events affecting the dynamics of a high-arctic reindeer population // Oecologia. 2005. V. 145. № 4. P. 556–563.
7. Михайлова И.Н., Воробейчик Е.Л. Размерная и возрастная структура популяций эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в условиях атмосферного загрязнения // Экология. 1999. № 2. С. 130–137. [Mikhailova I.N., Vorobeichik E.L. Dimensional and age structure of populations of epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. under conditions of atmospheric pollution // Rus. J. Ecol. 1999. V. 30. № 2. P. 111–118.]
8. Хантемирова Е.В. Структура ценопопуляций горца змеиноного в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1996. № 4. С. 307–309. [Khantemirova E.V. Structure of cenopopulations of snakeweed under conditions of technogenic pollution // Rus. J. Ecol. 1996. V. 27. № 4. P. 297–299.]
9. Лянгузова И.В., Мазная Е.А. Динамические тренды популяций *Vaccinium myrtillus* L. в зоне воздействия медно-никелевого комбината: результаты 20-летнего мониторинга // Экология. 2012. № 4. С. 261–269. [Lyanguzova I.V., Maznaya E.A. Dynamic trends in *Vaccinium myrtillus* L. cenopopulations in the zone affected by a copper-nickel smelter complex: results of 20-year monitoring // Rus. J. Ecol. 2012. V. 43. № 4. P. 281–288.]
10. Мусеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
11. Eeva T., Lehikoinen E., Sunell C. The quality of pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) and great tit (*Parus major*) females in an air pollution gradient // Ann. Zool. Fennici. 1997. V. 34. P. 61–71.
12. Larison J.R., Likens G.E., Fitzpatrick J.W. et al. Cadmium toxicity among wildlife in the Colorado Rocky Mountains // Nature. 2000. V. 406. № 6792. P. 181–183.
13. Eeva T., Lehikoinen E. Density effect on great tit (*Parus major*) clutch size intensifies in a polluted environment // Oecologia. 2013. V. 173. № 4. P. 1661–1668.
14. Eeva T., Lehikoinen E. Long-term recovery of clutch size and egg shell quality of the pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) in a metal polluted area // Environmental Pollution. 2015. V. 201. P. 26–33.
15. Dmowski K., Kozakiewicz A., Kozakiewicz M. Small mammal populations and community under conditions of extremely high thallium contamination in the environment // Ecotoxicology and Environmental Safety. 1998. V. 41. № 1. P. 2–7.
16. Мухачева С.В. Воспроизводство населения рыжей полевки *Clethrionomys glareolus* (Rodentia, Cricetidae) в градиенте техногенного загрязнения среды // Зоол. журн. 2001. Т. 80. № 12. С. 1509–1517.
17. Бондарев А.Я. Волки Западной Сибири: численность, распределение и загрязненность. М.: ФГБУ “Центрохотконтроль”, 2013. 248 с.
18. Elliott J.E., Kirk D.A., Martin P.A. et al. Effects of halogenated contaminants on reproductive development in wild mink (*Neovison vison*) from locations in Canada // Ecotoxicology. 2018. V. 27. № 5. P. 539–555.
19. Катанова Л.Н. Некоторые особенности половой и возрастной структуры популяции обыкновенного крота (*Talpa europaea*) // Зоол. журн. 1972. Т. 51. № 8. С. 1214–1218.
20. Lodal J., Grue H. Age determination and age distribution in population of moles (*Talpa europaea*) in Denmark // Acta Zoologica Fennica. 1985. № 173. P. 279–281.
21. Нестеркова Д.В., Воробейчик Е.Л., Резниченко И.С. Тяжелые металлы в пищевой цепи “почва–дождевые черви–европейский крот” в условиях загрязнения среды выбросами медеплавильного завода // Сибирский экологич. журн. 2014. № 5. С. 777–788.
22. Воробейчик Е.Л., Трубина М.Р., Хантемирова Е.В. и др. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2014. № 6. С. 448–458. [Vorobeichik E.L., Trubina M.R., Khantemirova E.V. et al. Long-term dynamic of forest vegetation after reduction of copper smelter emissions // Rus. J. Ecol. 2014. V. 45. № 6. P. 498–507.]
23. Воробейчик Е.Л., Кайгородова С.Ю. Многолетняя динамика содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в районе воздействия медеплавильного завода в период снижения его выбросов // Почвоведение. 2017. № 8. С. 1009–1024.
24. Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И., Гребенников М.Е. Начальные этапы восстановления сообществ почвенной мезофауны после сокращения выбросов

- медеплавильного завода // Экология. 2019. № 2. С. 133–148. [Vorobeichik E.L., Ermakov A.I., Grebennikov M.E. Initial stages of recovery of soil macrofauna communities after reduction of emissions from a copper smelter // Rus. J. Ecol. 2019. V. 50. № 2. P. 146–160.]
25. Нестеркова Д.В. Распространение и численность европейского крота (*Talpa europaea* L.) в районах воздействия двух медеплавильных заводов на Урале // Экология. 2014. № 5. С. 385–392. [Nesterkova D.V. Distribution and abundance of European mole (*Talpa europaea* L.) in areas affected by two Ural copper smelters // Rus. J. Ecol. 2014. V. 45. №. 5. P. 429–436.]
 26. Денарма Н.К. Крот. М.: Гос. изд-во техн. и экон. лит., 1951. 48 с.
 27. Ивантер Э.В. Материалы к изучению крота (*Talpa europaea europaea* L.) в Карелии // Уч. зап. Петрозаводского ун-та. Биол. и сельскохозяй. науки. 1968. Т. 16. № 3. С. 186–202.
 28. Клевезаль Г.А. Регистрирующие структуры млекопитающих в зоологических исследованиях. М.: Наука, 1988. 288 с.
 29. Monakhov V. Age distribution in sable *Martes zibellina* populations // Abh. Ber. Naturkundemuseum. Gorlitz, 2005. P. 135–150.
 30. Русаков О.С. О возрастном и половом составе популяции кротов // Экология млекопитающих и птиц. М., 1967. С. 5–9.
 31. Киселев В.Е., Войлочников А.А. Европейский крот в условиях антропогенно-трансформированного ландшафта // Влияние хозяйственного освоения лесных территорий Европейского Севера на население животных. М., 1987. С. 43–49.
 32. Денарма Н.К. К методике определения возраста кротов // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1954. Т. 59. № 6. С. 11–25.