

УДК 599.362:574.34+502.3:504.5:546.3

ТЕХНОГЕННАЯ ГРАНИЦА РАСПРОСТРАНЕНИЯ КРОТА В РАЙОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА: СМЕЩЕНИЕ В ПЕРИОД СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ

© 2015 г. Е. Л. Воробейчик, Д. В. Нестеркова

Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

e-mail: ev@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 26.12.2014 г.

Ключевые слова: европейский крот, *Talpa europaea*, дождевые черви, почва, лесная подстилка, лесные экосистемы, промышленное загрязнение, тяжелые металлы, медеплавильный завод, снижение выбросов, восстановление, Средний Урал.

DOI: 10.7868/S0367059715040162

Многолетние атмосферные выбросы металлургических предприятий формируют техногенные геохимические аномалии, в эпицентре которых содержание тяжелых металлов может превышать фоновый уровень на несколько порядков величины, что губительно действует на биоту наземных экосистем. Специфика импактных регионов, т.е. комплексов экосистем, расположенных возле точечных источников выбросов, заключается в градиентной природе формирующего их фактора: с удалением от предприятия уменьшаются дозы токсической нагрузки, в результате чего формируется характерная пространственная структура, состоящая из последовательно расположенных участков с разным уровнем загрязнения и соответственно разной степенью трансформации экосистем (Воробейчик, Козлов, 2012). В ряде случаев загрязнение является причиной полного исчезновения объектов биоты на значительных территориях возле источника выбросов (например, эпифитных лишайников (Михайлова, Воробейчик, 1995) и дождевых червей (Воробейчик, 1998)), что позволяет относительно легко провести техногенную границу их распространения в импактном регионе. К числу таких объектов можно отнести европейского крота (*Talpa europaea* L.).

Хорошо известно, что крот обитает только в тех местах, где высока численность крупных почвенных беспозвоночных, в первую очередь дождевых червей, составляющих основу его рациона (Funmilayo, 1979). Это дает основание рассматривать присутствие или отсутствие крота в качестве “альтернативного” индикатора состояния почвенной мезофауны и выполняемых ею экосистемных функций (прежде всего участия сапро-

фагов в циклах биогенов). Об альтернативном характере данного индикатора свидетельствует также то, что под действием загрязнения численность крота снижается ступенчато (Нестеркова, 2014). Исчезновение крота вблизи источника выбросов связано не с прямым токсическим действием тяжелых металлов, а с истощением кормовой базы (Нестеркова и др., 2014). Соответственно динамика положения техногенной границы распространения крота в импактном регионе, маркирующей размеры “крятовой пустыни”, может отражать качественные сдвиги в состоянии населения почвенной мезофауны.

В последние десятилетия атмосферные выбросы многих промышленных предприятий снижаются, что предоставляет возможность анализировать процессы естественного восстановления экосистем. Оценки скоростей таких демутиационных процессов противоречивы: есть примеры как отсутствия положительных трендов в изменении состояния биоты в течение длительного времени после снижения выбросов (Зверев, 2009; Танасевич и др., 2009; Воробейчик и др., 2014), так и относительно быстрого восстановления (Eeva, Lehtikoinen, 2000; Черненкова и др., 2011; Черненкова, Бочкарев, 2013).

Цель нашей работы заключалась в анализе смещения техногенной границы распространения крота в районе воздействия крупного медеплавильного завода после сильного сокращения его выбросов. Исходным материалом послужили две регистрации присутствия крота в одних и тех же точках пространства с интервалом в 15–18 лет.

Работа выполнена на территории, подверженной длительному атмосферному загрязнению вы-

бросами Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), расположенного возле г. Ревды, в 50 км к западу от г. Екатеринбург (Свердловская обл.). В конце 1980-х годов его выбросы (сернистый ангидрид и тяжелые металлы) составляли 140 тыс. т/год, в 1995–1998 гг. – 71–96 тыс. т/год, в 2003–2008 гг. – 24–34 тыс. т/год, в 2010–2013 гг. – 3–5 тыс. т/год. В 1995–1998 гг. среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов в лесной подстилке в зоне наиболее сильного загрязнения составляло, мкг/г: Cu – 5535, Pb – 1311, Cd – 31, Zn – 1736, что превышало региональные фоновые значения в 132, 38, 14 и 6 раз соответственно (Воробейчик, 2003).

Первое картирование распространения крота в районе СУМЗа было выполнено нами в 1995–1998 гг. (Воробейчик, 2004): на участке размером 40 × 50 км, в центре которого расположен завод, в лесных биотопах было заложено 188 пробных площадей размером 25 × 25 м, которые различались не только по уровню загрязнения, но и по положению в рельефе (элювиальные, транзитные и аккумулятивные ландшафты), характеру почвенного (литоземы, ржавоземы, буроземы, серые и дерново-подзолистые почвы) и растительного (березовые, сосновые, березово-сосновые, березово-елово-пихтовые леса разных растительных ассоциаций) покрова. Пробные площади подбирали с учетом следующих критериев: отсутствие, помимо связанных с загрязнением, сильных локальных антропогенных нарушений и свежих (менее 5 лет) пожаров; расстояние до ближайших автомобильных дорог не менее 100 м; возраст доминирующей древесной породы – не менее 60 лет. На каждой пробной площади регистрировали присутствие крота, которое определяли по видимым следам его роющей деятельности (кротовины, ходы).

В результате первого картирования была выявлена обширная территория, вытянутая в восточном направлении от завода, на которой крот полностью отсутствовал (Воробейчик, 2004). Внутри этой “кротовой пустыни” располагалась меньшая по размерам “люмбрицидная пустыня”, где полностью исчезли дождевые черви (Воробейчик, 1998, 2004). Асимметричность участков с отсутствием кротов и дождевых червей связана с формой ореола рассеивания тяжелых металлов, которая обусловлена направлением преобладающих ветров в районе исследований (с запада на восток).

Повторное картирование было проведено в 2013 г. строго в тех же самых точках: получены данные по 34 площадям (включая 3 дополнительные), которые располагали вблизи определенной ранее техногенной границы распространения крота. Оказалось, что к 2013 г. площадь “кротовой пустыни” уменьшилась по сравнению с 1995–1998 гг. на 37% – с 563 до 352 км² (рис. 1). Обраша-

ет на себя внимание тот факт, что основное смещение границы произошло только в восточном и юго-восточном направлениях от завода (на 5–10 км, 91% от площади всех изменений). Небольшие (на 1–2 км) сдвиги в западном и южном направлениях зарегистрированы фактически только из-за включения дополнительных пробных площадей, уточняющих положение границы; если дополнительные площади не рассматривать, смещения границы в этих направлениях не наблюдается.

Подчеркнем, что границу распространения крота в импактном регионе, как и любую другую границу, проводимую в природе, не следует абсолютизировать: во-первых, ее положение зависит от пространственного разрешения использованной схемы расположения пробных площадей; во-вторых, в достаточно широкой полосе (порядка нескольких километров) по обе стороны от границы территория неоднородна по присутствию крота в силу биотопической вариабельности. В данном случае граница проведена по точкам, отстоящим друг от друга на 1–2 км и расположенным только в лесу. При расширении спектра биотопов за счет включения луговых и пойменных участков положение границы смещается ближе к заводу, и соответственно уменьшаются абсолютные размеры “кротовой пустыни”, как это было отмечено нами в другой серии учетов численности крота (Нестеркова, 2014). Впрочем, в обсуждаемом контексте важны не абсолютные значения площади “пустыни”, а их относительное изменение. Кроме того, не следует рассматривать сдвиг границы как ее однонаправленное продвижение “сплошным фронтом”. В силу отмеченной биотопической вариабельности территория заселяется в том числе из “рефугиумов” с сохранившимся населением, которые присутствовали в “кротовой пустыне”.

Наиболее интересный результат работы касается кардинальных различий между восточным и западным секторами, которые, на наш взгляд, обусловлены следующим. Примерно в 10 км восточнее линии Первоуральск–Ревда в рамках современного физико-географического районирования Свердловской обл. В.Г. Капустин (2009) проводит границу между двумя природными районами – низкогорий Среднего Урала (к западу от этой границы преобладают темнохвойные леса) и восточных предгорий Урала (к востоку от нее преобладают светлохвойные леса). Еще несколько восточнее этой линии в рамках почвенно-географического районирования Ф.Г. Гафуров (2008) проводит границу между двумя почвенными провинциями – Среднеуральской южнотаежной (к западу) и Зауральской южнотаежной (к востоку). Для первой характерны почвы более тяжелого механического состава (доля физической глины в горизонтах А и В составляет 40–77%), для второй – более легкого (10–30%). Картирование террито-

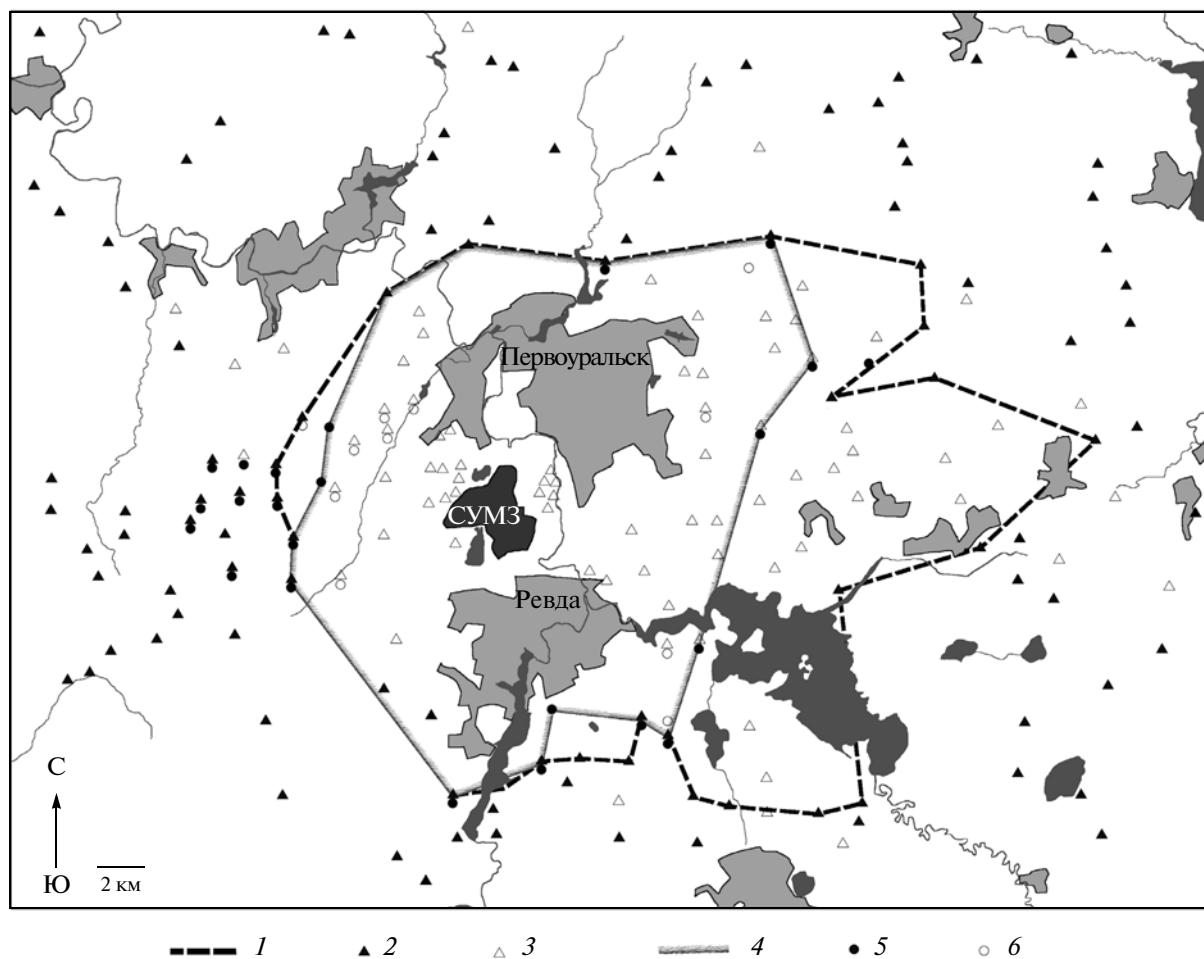


Рис. 1. Изменение техногенной границы распространения крота в импактном регионе СУМЗа за последние 15–18 лет. 1 – граница “кротовой пустыни” в 1995–1998 гг.; 2 – пробные площади с кротовыми ходами в 1995–1998 гг.; 3 – пробные площади без кротовых ходов в 1995–1998 гг.; 4 – граница “кротовой пустыни” в 2013 г.; 5 – пробные площади с кротовыми ходами в 2013 г.; 6 – пробные площади без кротовых ходов в 2013 г.

рии на основе нашей полевой диагностики механического состава минеральных горизонтов на глубине 20–30 см также продемонстрировало четкую дифференциацию западного и восточного секторов (рис. 2).

Хорошо известно, что механический состав почвы, наряду с содержанием органического вещества, кислотностью и рядом других параметров, определяет ее способность удерживать тяжелые металлы (Dube et al., 2001; Kabala, Singh, 2001). В почвах легкого состава, при прочих равных условиях, выше миграционная подвижность тяжелых металлов, что способствует более быстрому очищению от них верхних почвенных горизонтов. Это важно для дождевых червей, так как доминирующие в нашем регионе виды (прежде всего уральский эндемик *Perelia diplotetratheca*) наиболее обильны именно в подстилке и гумусово-аккумулятивном горизонте (Воробейчик, 1998). Поскольку основной причиной подавления червей вплоть до

полного исчезновения вблизи СУМЗа была высокая токсичность почвы, связанная как с содержанием металлов, так и с кислотностью (Воробейчик, 1998), логично предположить, что ее снижение должно было привести к восстановлению их численности, а после того, как обилие червей превысило некоторый пороговый уровень, стало возможным обитание крота, что и нашло отражение в смещении границы его распространения.

Таким образом, на территории с почвами легкого механического состава (супеси и легкие суглинки) техногенная граница “кротовой пустыни” сильно и достаточно быстро после начала снижения объема выбросов сместилась ближе к заводу; там же, где представлены почвы тяжелого механического состава (средние и тяжелые суглинки), положение техногенной границы распространения крота, несмотря на многократное снижение объема выбросов, оставалось неизменным в течение почти 20 лет. Мы предполагаем,

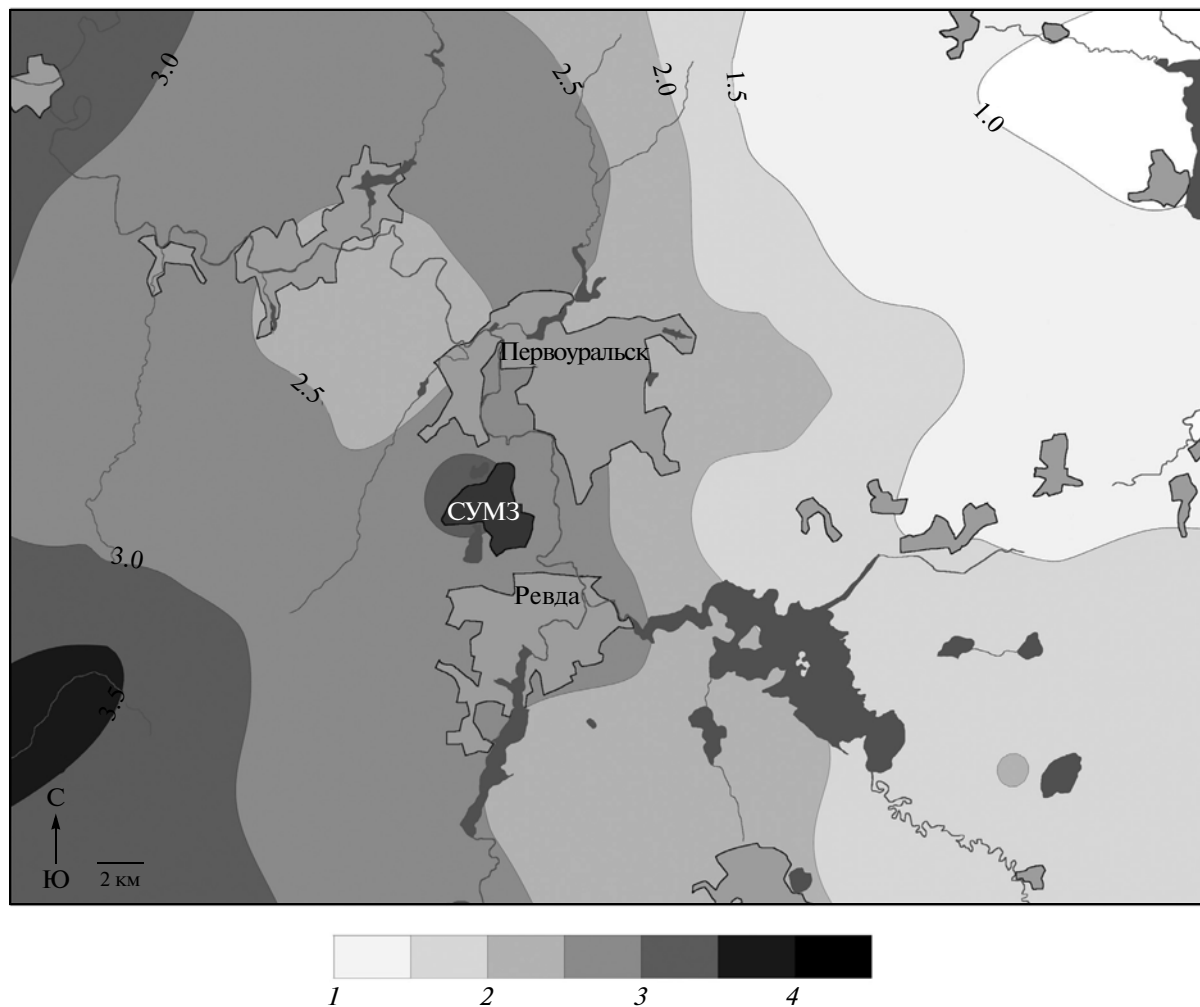


Рис. 2. Механический состав минеральных горизонтов на глубине 20–30 см в регионе СУМЗ. Пространственная интерполяция выполнена в программе Surfer 10 методом кригинга по данным 1995–1998 гг.

1 – супесь, 2 – легкий суглинок, 3 – средний суглинок, 4 – тяжелый суглинок.

что выявленные различия связаны с неодинаковой скоростью очищения почвы от тяжелых металлов: в первом случае – более высокой, во втором – более низкой. Если наша гипотеза верна, то из нее следует, что скорость восстановления почвенной биоты зависит от тех свойств почвы, которые определяют прочность закрепления в ней тяжелых металлов. Хотя такое заключение в определенной степени тривиально, оно может примирить две противоположные точки зрения относительно скорости демутиационных процессов – продолжение угнетения биоты в течение длительного времени после прекращения выбросов и ее быстрое восстановление.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-05-00686), Программы развития ведущих научных школ (НШ-2840.2014.4) и Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проекты № 12-М-23457-2041 и 15-12-4-26).

Мы признательны А.В. Нестеркову за помощь при проведении полевых работ, Е.А. Бельскому, Н.В. Золотаревой, С.Ю. Кайгородовой, М.Р. Трубиной – за обсуждение и комментарии к тексту рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробейчик Е.Л. Население дождевых червей (Lumbricidae) лесов Среднего Урала в условиях загрязнения выбросами медеплавильных комбинатов // *Экология*. 1998. № 2. С. 102–108. [*Vorobeichik E.L.* Populations of earthworms (Lumbricidae) in forests of the Middle Urals in conditions of pollution by discharge from copper works // *Rus. J. Ecol.* 1998. V. 29. № 2. P. 85–91.]

Воробейчик Е.Л. Реакция лесной подстилки и ее связь с почвенной биотой при токсическом загрязнении // *Лесоведение*. 2003. № 2. С. 32–42.

- Воробейчик Е.Л.* Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2004. 48 с.
- Воробейчик Е.Л., Козлов М.В.* Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2. С. 83–91. [*Vorobeichik E.L., Kozlov M.V.* Impact of point polluters on terrestrial ecosystems: Methodology of research, experimental design, and typical errors // *Rus. J. Ecol.* 2012. V. 43. № 2. P. 89–96.]
- Воробейчик Е.Л., Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е.* 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., Bergman I.E.* Long-term dynamic of forest vegetation after reduction of copper smelter emissions // *Rus. J. Ecol.* 2014. V. 45. № 6. P. 498–507.]
- Гафуров Ф.Г.* Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 396 с.
- Зверев В.Е.* Смертность и возобновление березы извилистой в зоне воздействия медно-никелевого комбината в период значительного сокращения выбросов: результаты 15-летнего мониторинга // Экология. 2009. № 4. С. 271–277. [*Zverev V.E.* Mortality and recruitment of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) in the impact zone of a copper-nickel smelter in the period of significant reduction of emissions: The results of 15-year monitoring // *Rus. J. Ecol.* 2009. V. 40. № 4. P. 254–260.]
- Капустин В.Г.* Физико-географическое районирование Свердловской области // География и современные проблемы естественно-научного познания: Мат-лы конф. Екатеринбург, 2009. С. 11–24.
- Михайлова И.Н., Воробейчик Е.Л.* Эпифитные лишенины в условиях химического загрязнения: зависимости доза–эффект // Экология. 1995. № 6. С. 455–460. [*Mikhailova I.N., Vorobeichik E.L.* Epiphytic lichensynusia under conditions of chemical pollution: Dose – effect dependencies // *Rus. J. Ecol.* 1995. V. 26. № 6. P. 425–431.]
- 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.]
- 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 эколог. журн. 2014. № 5. С. 777–788. [*Nesterkova D.V., Vorobeichik E.L., Reznichenko I.S.* The effect of heavy metals on the soil–earthworm–european mole food chain under the conditions of environmental pollution caused by the emissions of a copper smelting plant // *Contemporary Problems of Ecology.* 2014. V. 7. № 5. P. 587–596.]
- Танасевич А.В., Рыбалов Л.Б., Камаев И.О.* Динамика почвенной мезофауны в зоне техногенного воздействия // Лесоведение. 2009. № 6. С. 63–72.
- Черненко Т.В., Кабилов Р.Р., Басова Е.В.* Восстановительные сукцессии северотаежных ельников при снижении аэротехногенной нагрузки // Лесоведение. 2011. № 6. С. 49–66.
- Черненко Т.В., Бочкарев Ю.Н.* Динамика еловых насаждений Кольского Севера в условиях воздействия природно-антропогенных факторов среды // Журн. общ. биол. 2013. Т. 74. № 4. С. 283–303.
- Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T. et al.* Adsorption and migration of heavy metals in soil // *Pol. J. Environ. Stud.* 2001. V. 10. № 1. P. 1–10.
- Eeva T., Lehikoinen E.* Pollution: Recovery of breeding success in wild birds // *Nature.* 2000. V. 403. № 6772. P. 851–852.
- Funmilayo O.* Food consumption, preference and storage in the mole // *Acta Theriol.* 1979. V. 24. № 27. P. 379–389.
- Kabala C., Singh B.R.* Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter // *J. Environ. Quality.* 2001. V. 30. № 2. P. 485–492.