



УДК 595.617:591.134

Влияние соли железа на массу тела *Megaphyllum kievense* (Diplopoda, Julidae) и гранулометрический состав подстилки в лабораторном эксперименте

В.В. Бригадиренко, В.М. Иванышин

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина

Оценено воздействие $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} и 10^{-8} мг Fe / г сухой подстилки) на массу тела и трофическую активность *Megaphyllum kievense* (Lohmander, 1928). Тридцатисуточный лабораторный эксперимент по изучению влияния *M. kievense* на разложение растительных остатков в градиенте концентрации Fe показал отсутствие достоверных изменений массы тела животных. Под влиянием *M. kievense* зарегистрировано достоверное ускорение разложения подстилки при возрастании концентрации в ней Fe. Слабее масса подстилки уменьшалась в контроле (на $45,7 \pm 0,44\%$) и при концентрации 10^{-8} мг/г (на $44,9 \pm 1,00\%$), сильнее – при 10^{-1} мг/г (на $46,1 \pm 1,76\%$) и 10^{-2} мг/г Fe (на $47,0 \pm 0,72\%$). По отношению к исходным значениям до начала эксперимента масса крупной фракции подстилки ($>2,0$ мм) под влиянием питания *M. kievense* уменьшилась на 9,8%, а масса фракции 0,7–1,0 мм – возросла на 7,06%. Увеличение доли средней фракции (0,7–1,0 мм) связано с накоплением экскрементов Julidae и фрагментов измельченных листьев при мацерации растительных остатков перед их употреблением в пищу. Влияние на массу тела животных и их кормового субстрата в различных вариантах опыта было недостоверным из-за возможной активации латентных инфекций в условиях лабораторного эксперимента.

Ключевые слова: подстилочные беспозвоночные; сапрофаги; тяжелые металлы; загрязненные экосистемы

Impact of ferric salt on body weight of *Megaphyllum kievense* (Diplopoda, Julidae) and litter granulometric composition in the laboratory experiment

V.V. Brygadyrenko, V.M. Ivanyshin

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

The paper evaluates the impact of $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} and 10^{-8} mg of Fe / g of dry litter) on the body weight and trophic activity of *Megaphyllum kievense* (Lohmander, 1928). 30-day laboratory experiment on studying the impact of *M. kievense* on decomposition of plant residues in Fe concentration gradient showed no significant changes in the animal body weight. Under the impact of *M. kievense* the significant acceleration of litter decomposition was recorded with the increase in Fe concentration therein. The less decrease in the litter weight was observed in the control (by $45.7 \pm 0.44\%$) and at concentration of 10^{-8} mg/g (by $44.9 \pm 1.00\%$), and more pronounced one at 10^{-1} mg/g (by $46.1 \pm 1.76\%$) and 10^{-2} mg/g of Fe (by $47.0 \pm 0.72\%$). With regard to baseline values before the experiment, the weight of the large fraction of litter (> 2.05 mm) under the impact of *M. kievense* nutrition decreased by 9.8%, while the weight of fraction 0.70–1.05 mm increased by 7.06%. Increasing the share of the middle fraction (0.70–1.05 mm) is connected with accumulation of Julidae feces and fragments of crushed leaves at maceration of plant residues before eating. Effect on animals body weight and their feed substrate in different versions of the experiment was not reliably determined, because of possible activation of latent infections under conditions of the laboratory experiment.

Keywords: litter invertebrates; saprophages; Fe; heavy metals; contaminated ecosystems

Введение

Добыча железной руды в мире с каждым годом возрастает (с 1,93 млрд тонн в 2007 до 2,40 млрд тонн в 2010 году). По данным геологической службы США, Украина в 2010 году находилась на шестом месте по объемам добычи, при этом по запасам железной руды страна занимает первое место в мире (в недрах Украины находится 30 из 180 млрд тонн мировых запасов). По прогнозам геологов, в будущем объемы добычи железной руды на территории Украины будут увеличиваться (Bobyliov et al., 2014). Одни из наиболее высоких уровней добычи железной руды в мире и Европе наблюдаются в центральной части Украины на территории Днепропетровской области (Криворожский железорудный бассейн).

На участках, прилегающих к железорудным месторождениям, широко распространено аэрогенное загрязнение листы зеленых растений (Pashkevich, 2000). Вокруг железорудных карьеров на поверхности листового опада лесных насаждений происходит осаждение пыли, содержащей высокие концентрации железа (Mosines, 1981). Содержание железа в листовом опаде и подстилке лесных насаждений Днепропетровской области, по данным Н.Н. Цветковой (Cvetkova, 1992; Cvetkova and Kulik, 1996), может колебаться в десятки и сотни раз (средний уровень – 10–25 мг/г почвы). Железо подвергается активным превращениям в верхних горизонтах почвы, при этом чем интенсивнее круговорот металла в экосистеме, тем выше его концентрация в тканях животных (Cvetkova et al., 2003; Karavanova et al., 2006).

Диплоподы способствуют ускорению минерализации листового опада на поверхности почвы (Gere, 1956; Hopkin and Read, 1992; Voccardo and Pentead, 1995). Лабораторные исследования интенсивности питания этой группы беспозвоночных проведены лишь для наиболее распространенных видов (Striganova and Prishutova, 1990; Hopkin and Read, 1992; Dangerfield and Milner, 1993; Brygadyrenko, 2004; Kulbachko, Didur, 2012), при этом практически не исследованными остаются более мелкие виды диплопод. В большинстве обследованных нами лесных экосистем центральной и южной Украины (Brygadyrenko, 2006; Brygadyrenko and Komarov, 2008) доминирует 1–3 вида диплопод. Плохо изученными остаются относительно малочисленные виды, такие как *Megaphyllum kievense* (Lohmander, 1928). Этот вид имеет относительно широкое распространение по территории Украины и России, однако его экологические предпочтения, воздействие на него различных антропогенных факторов остаются не проанализированными в научной литературе.

Воздействие железа на организм диплопод может иметь как анаболический, так и катаболический эффект в зависимости от концентрации. Минимальные концентрации данного техногенного поллютанта могут способствовать ускорению обмена веществ у кивсяков за счет активации отдельных ферментных систем, по примеру эффектов, наблюдаемых у других видов живых организмов (Morgan et al., 1986). Здесь могут проявляться закономерности (Souza et al., 2014), которые проявляются в человеческом организме под воздействием гомеопатических

препаратов: лечение ядами органического и неорганического происхождения в малых дозах, неспецифически стимулирующее обменные и иммунные процессы. При увеличении дозировки металла на несколько порядков должно наблюдаться ингибирование отдельных метаболических процессов, переход многоножек в индуцированную трофическими факторами диапаузу, и, возможно, при длительном воздействии высоких концентраций металла в пище – смерть отдельных особей.

До настоящего времени количественной оценки воздействия возрастающих концентраций железа в пище в лабораторном эксперименте на представителей семейства Julidae проведено не было. Отдельные исследования (Hopkin and Read, 1992; Köhler and Alberti, 1992; Köhler et al., 1995, 1996; Heikens et al., 2001) свидетельствуют о комплексном негативном воздействии промышленных загрязнений на организм диплопод. Однако способность многих видов данной группы впадать в диапаузу под воздействием высоких концентраций тяжелых металлов в пище позволяет им приспособиться к периодическому аэрогенному поступлению загрязняющих веществ в подстилочный горизонт лесных экосистем.

Цель данного исследования – оценить в условиях лабораторного эксперимента изменение массы тела и интенсивность потребления корма *M. kievense* в градиенте концентраций железа в подстилке. Перед началом исследования мы предполагали, что (1) при возрастании концентрации железа в подстилке будет наблюдаться вначале стимуляция потребления корма, а при более высоких концентрациях – уменьшение его потребления *M. kievense*, (2) максимальное увеличение массы тела животных будет наблюдаться в тех вариантах опыта, в которых концентрация железа в листовом опаде будет минимальной, (3) смертность кивсяков в течение месячного эксперимента будет находиться на стабильном уровне, не завися от концентрации поллютанта, и (4) при повышении концентрации железа в подстилке будет наблюдаться достоверное ослабление трофического воздействия *M. kievense* на отдельные фракции подстилки.

Материал и методы исследований

Экземпляры *M. kievense* собирали вручную 20.09.2013 г. в лесополосе (10 км к югу от г. Днепропетровск). В искусственной лесополосе доминировали *Robinia pseudoacacia* L. (80%) и *Fraxinus lanceolata* Borkh. (10%). Кустарниковый ярус разреженный, представлен *Sambucus nigra* L. (10%). В травостое распространены *Chelidonium majus* L. (40%) и *Galium aparine* L. (2%). Подстилка представлена преимущественно листьями *R. pseudoacacia* L.

Для стабилизации и унификации микробного населения кишечника собранные экземпляры *M. kievense* содержали в общем пластиковом садке (20 л, 12 кг подстилки) в течение 21 суток для акклиматизации к условиям лаборатории при температуре +22 °С. Подстилку, высушенную до воздушно-сухого состояния, калибровали на фракции с помощью системы сит. Для проведения эксперимента использовали фракцию подстилки 2–3 мм. При взвешивании подстилки стремились получить максимально однородные по гранулометрическому составу

образцы растительных остатков в садках. Эксперимент проводили в пластиковых стаканчиках (0,25 л), в которых размещали по 1,980–2,020 г сухой подстилки (точность взвешивания – 1 мг), увлажняли из пипетки раствором $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ в восьми концентрациях (в пересчете на концентрацию металла 10^{-8} – 10^{-1} мг/г сухой подстилки) или, в контроле, дистиллированной водой. В каждом варианте опыта экспонировали по 6 садков с 4 экз. *M. kievense* (2 самца и 2 самки) и по 8 контрольных (без представителей Julidae). Во всех вариантах опыта использовали 216 экземпляров *M. kievense*. Перед началом эксперимента и после его окончания (после извлечения Julidae и доведения в течение 7 суток растительных остатков до воздушно-сухого состояния) взвесили 126 стаканчиков с подстилкой. В лаборатории добывались постоянной температуры, освещенности и увлажнения садков с различными вариантами опыта. Для устранения чрезмерных потерь влаги садки сверху накрывали листками канцелярской бумаги и периодически равномерно опрыскивали дистиллированной водой.

Средняя начальная масса тела *M. kievense* – 56,7 ± 4,81 мг ($n = 216$), спустя 30 суток после начала эксперимента масса животных увеличилась до 59,4 ± 5,34 мг ($n = 214$). Один экземпляр многоножки погиб в варианте опыта с 10^{-1} и один – в варианте с 10^{-7} мг/г железа. Для двух садков с погибшими экземплярами исходную массу животных умножали на коэффициент 0,75.

Гранулометрический анализ подстилки определяли с помощью системы лабораторных сит с ячейками 0,20, 0,35, 0,70, 1,05, 1,55 и 2,05 мм. Массу фракций подстил-

ки определяли с точностью до 1 мг. Образцы подстилки анализировали с помощью микроскопа, соединенного с цифровым фотоаппаратом.

Статистическую обработку результатов проводили в пакете программ Statistica 7.0. Различия между выборками считали достоверными при $P < 0,05$, оценивали их при помощи ANOVA. В тексте и таблицах приведены среднее и среднеквадратическое отклонение ($x \pm SD$).

Результаты и их обсуждение

При возрастании концентрации *Fe* в пище *M. kievense* достоверно не изменял массы тела (табл. 1). В четырех из девяти вариантов опыта отмечалось как увеличение, так и уменьшение массы тела (*Min* – *Max*). Это свидетельствует о том, что большее влияние на массу тела *M. kievense* оказало не содержание металла, а нерегулируемые в данном эксперименте факторы, в первую очередь микробоценоз подстилки и кишечника многоножек.

В присутствии *M. kievense* лишь в трех вариантах опыта (10^{-5} , 10^{-8} мг/г *Fe* и в контроле) наблюдалось достоверное уменьшение массы кормового субстрата (табл. 2). В вариантах опыта с *M. kievense* отмечено достоверное ($P < 0,05$) ускорение потребления подстилки при возрастании концентрации в ней *Fe*: слабее масса подстилки уменьшалась в контроле (на 45,7 ± 0,44%) и при концентрации 10^{-8} мг/г (на 44,9 ± 1,00%), сильнее – при 10^{-1} мг/г (на 46,1 ± 1,76%) и 10^{-2} мг/г *Fe* (на 47,0 ± 0,72%).

Таблица 1

Изменение массы тела *M. kievense* (мг/экз.) на протяжении месяца в лабораторном эксперименте при питании подстилкой с различной концентрацией *Fe* ($n = 6$)

Концентрация <i>Fe</i> , мг/г подстилки	Median	$x \pm SD$	<i>Min</i> – <i>Max</i>	$F, F_{0,05} = 2,15, df_1 = 8, df_2 = 45$	<i>P</i>
10^{-1}	2,13	2,43 ± 1,27	1,25–4,75	0,66	0,722
10^{-2}	3,00	3,04 ± 0,83	1,75–4,25		
10^{-3}	1,63	2,13 ± 2,25	–1,00–5,50		
10^{-4}	3,00	2,46 ± 1,17	0,75–3,50		
10^{-5}	1,13	0,92 ± 1,40	–1,50–2,75		
10^{-6}	3,63	3,67 ± 1,55	2,25–6,50		
10^{-7}	2,75	3,08 ± 2,27	0,00–6,75		
10^{-8}	4,13	2,79 ± 4,32	–5,50–6,25		
Контроль	2,50	3,58 ± 4,52	–2,00–9,75		

Таблица 2

Изменение массы подстилки на протяжении месяца в лабораторном эксперименте по изучению влияния *Fe* на скорость потребления корма *M. kievense*

Концентрация <i>Fe</i> , мг/г подстилки	Изменение массы подстилки на протяжении эксперимента в присутствии <i>M. kievense</i> , %, $x \pm SD$ ($n = 6$)	Изменение массы подстилки на протяжении эксперимента без <i>M. kievense</i> , %, $x \pm SD$ ($n = 8$)	$F, F_{0,05} = 4,74, df_1 = 1, df_2 = 12$	<i>P</i>
10^{-1}	46,1 ± 1,76	47,4 ± 0,72	3,49	0,086
10^{-2}	47,0 ± 0,72	48,0 ± 1,36	2,41	0,147
10^{-3}	45,3 ± 1,37	47,4 ± 2,24	4,30	0,060
10^{-4}	45,4 ± 0,91	46,4 ± 1,33	2,77	0,122
10^{-5}	44,9 ± 2,23	47,7 ± 0,98	10,68	0,007
10^{-6}	46,2 ± 0,55	46,7 ± 0,81	1,60	0,230
10^{-7}	46,4 ± 0,88	46,0 ± 2,22	0,21	0,654
10^{-8}	45,7 ± 0,44	47,5 ± 0,66	33,35	0,0001
Контроль	44,9 ± 1,00	47,4 ± 0,62	33,64	0,0001
<i>F</i>	2,16 ($F_{0,05} = 2,15, df_1 = 8, df_2 = 45$)	1,82 ($F_{0,05} = 2,09, df_1 = 8, df_2 = 63$)	–	
<i>P</i>	0,049	0,091		

Поскольку достоверных отличий в потреблении корма *M. kievense* при различной концентрации *Fe* не обнаружено, нас заинтересовало влияние особей исследуемого вида на гранулометрический состав подстилки (табл. 3). Масса крупной фракции (>2,05 мм) под влиянием питания *M. kievense* уменьшилась на 9,78%, масса фракции 1,55–2,05 мм – возросла на 0,66%, 1,05–1,55 мм – возросла на 1,19%, 0,70–1,05 мм – возросла на 7,06%, 0,35–0,70 мм – возросла

на 1,04%, фракции 0,20–0,35 мм – недостоверно уменьшилась на 0,17%. Произошло перераспределение фракций подстилки по гранулометрическому составу: основная часть самых крупных растительных частиц превратилась в садках с *M. kievense* во фракцию 0,70–1,05 мм, преимущественно представленную слабо измельченными растительными остатками и экскрементами диплопод (Kheirallah, 1990; Köhler et al., 1991).

Таблица 3

Изменение гранулометрического состава подстилки в лабораторном эксперименте при потреблении корма *M. kievense*

Фракция подстилки	Масса фракции подстилки в присутствии <i>M. kievense</i> , %, $x \pm SD$ ($n = 53$)	Масса фракции подстилки без <i>M. kievense</i> , %, $x \pm SD$ ($n = 73$)	$F, F_{0,05} = 3,92, df_1 = 1, df_2 = 124$	P
>2,05	58,92 ± 5,33	68,69 ± 3,00	170,58	4,7 · 10 ⁻²⁵
1,55–2,05	8,44 ± 1,01	7,79 ± 1,29	9,58	0,002
1,05–1,55	8,91 ± 0,98	7,72 ± 1,09	40,11	4,0 · 10 ⁻⁹
0,70–1,05	12,59 ± 2,92	5,52 ± 0,72	392,12	3,3 · 10 ⁻⁴⁰
0,35–0,70	7,67 ± 1,74	6,63 ± 0,83	19,89	1,8 · 10 ⁻⁵
0,20–0,35	3,47 ± 0,76	3,64 ± 0,42	2,65	0,106

Результаты лабораторного эксперимента показали, что на трофическую активность *M. kievense* способны оказывать влияние многие факторы. Даже в условиях лаборатории при тщательном контроле за температурой, влажностью и однородностью пищевого субстрата отмечаются сильные колебания массы тела многоножек. Особи исследованного вида способны периодически ускорять или замедлять темпы обмена веществ. Известно (Hopkin and Read, 1992), что Julidae способны по трещинам почвы перемещаться на глубину 10–40 см, сворачиваться в клубок и переставать питаться. Индуцированная пищевыми ресурсами диапауза (низкое количество корма, не подходящее для многоножки соотношение видов растений, соотношение бактериальной или грибковой флоры подстилки, загрязнение техногенными поллютантами и др.) может длиться более 6 месяцев. Это позволяет кивсякам дожидаться новой порции листового опада, в которой концентрация загрязняющих веществ будет значительно более низкой.

Не меньшее воздействие на обмен веществ животных и их роль в экосистеме могут оказывать латентные вирусные, бактериальные, грибковые инфекции или паразитарные инвазии (Tarasevich, 1975; Vyzov, 2006). Добавление в пищу отдельных видов насекомых-фитофагов органических и неорганических соединений (Tarasevich, 1975) индуцировало переход латентной формы полиэдроза в активную фазу (аминоптерин, 2,6-диаминопурин, стрептоцид), либо, напротив, снижало смертность насекомых в лабораторном эксперименте (фолиевая, *p*-аминобензойная кислота, цианокобаламин, соли *Co*). Выделить животных с латентной формой вирусной, бактериальной или грибковой инфекции, микроспориديозом или, например, нематодной инвазией перед началом эксперимента не представляется возможным. В связи с этим колебания массы тела животных подвергаются воздействию не только содержания тяжелого металла, но и многих других характеристик внутренней среды организма кивсяка.

Интересно, что достоверного воздействия соли железа на темпы разложения подстилки в отсутствие кивсяков (см. табл. 2) получено не было: вероятно, произошло

замещение чувствительной к данному металлу микрофлоры относительно толерантными к *Fe* группами микроорганизмов (Couteaux et al., 2002). В градиенте концентрации железа *M. kievense* оказался фактором, опосредующим негативное воздействие тяжелого металла на биологическое разложение подстилки.

Выводы

Тридцатисуточный лабораторный эксперимент по изучению влияния *M. kievense* на разложение растительных остатков в градиенте концентрации *Fe* показал отсутствие достоверных изменений массы тела животных.

Под влиянием *M. kievense* зарегистрировано достоверное ускорение потребления подстилки при возрастании концентрации в ней *Fe*, слабее масса подстилки уменьшалась в контроле (на 45,7 ± 0,44%) и при концентрации 10⁻⁸ мг/г (на 44,9 ± 1,00%), сильнее – при 10⁻¹ мг/г (на 46,1 ± 1,76%) и 10⁻² мг/г *Fe* (на 47,0 ± 0,72%).

Масса крупной фракции (>2,05 мм) под влиянием питания *M. kievense* уменьшилась на 9,78%, масса фракции 1,55–2,05 мм – возросла на 0,66%, 1,05–1,55 мм – возросла на 1,19%, 0,70–1,05 мм – возросла на 7,06%, 0,35–0,70 мм – возросла на 1,04%, фракции 0,20–0,35 мм – недостоверно уменьшилась на 0,17%. Произошло перераспределение фракций подстилки по гранулометрическому составу. Увеличение доли фракций средней величины (0,70–1,05 мм) в садках связано с накоплением экскрементов Julidae и фрагментов измельченных листьев, при мацерации растительных остатков перед их употреблением животными в пищу.

Влияние на массу тела животных и их кормового субстрата в различных вариантах опыта было чаще всего недостоверным из-за возможной активации латентных инфекций в условиях лабораторного эксперимента. Для выявления тонких механизмов воздействия загрязняющих веществ техногенного происхождения необходимы дальнейшие исследования влияния различных концентраций наиболее распространенных тяжелых металлов на массу тела и потребление корма особями исследуемого вида.

Бібліографічні посилання

- Bobyliov, Y.P., Brygadyrenko, V.V., Bulakhov, V.L., Gaichenko, V.A., Gasso, V.Y., Didukh, Y.P., Ivashov, A.V., Kucheriavyyi, V.P., Maliovanyi, M.S., Mytsyk, L.P., Pakhomov, O.Y., Tsaryk, I.V., Shabanov, D.A., 2014. Ecology. Folio, Kharkiv (in Ukrainian).
- Boccardo, L., Penteado, C.H.S., 1995. Locomotor and metabolic activities of *Gymnostreptus olivaceus* (Diplopoda, Spirostreptida) at different photoperiod conditions. *Comp. Biochem. Physiol.* 112A, 611–617.
- Brygadyrenko, V.V., 2004. The use of simulation in the study populations *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae). *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 12(4), 15–22 (in Russian).
- Brygadyrenko, V.V., 2006. The possibility of using litter invertebrates to indicate gradations edaphotop moisture in forest ecosystems. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 14(1), 21–26 (in Russian).
- Brygadyrenko, V.V., Komarov, O.S., 2008. Trophic structure of litter mesofauna: Biomass differentiation between trophic levels. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 16(2), 12–23 (in Ukrainian).
- Byzov, B.A., 2006. Intestinal microbiota of millipedes. In: König, H., Varma, A. (Eds) *Intestinal microorganisms of termites and other invertebrates*. Springer, Berlin, pp. 89–114.
- Couteaux, M.-M., Aloui, A., Kurz-Besson, C., 2002. *Pinus halepensis* litter decomposition in laboratory microcosms as influenced by temperature and a millipede, *Glomeris marginata*. *Appl. Soil Ecol.* 20, 85–96.
- Cvetkova, N.N., 1992. Osobennosti migracii organo-mineral'nyh veshchestv v lesnyh BGC stepnoj Ukrainy [Migration features of organic and mineral matter in forests of steppe zone of Ukraine]. Dnipropetrovsk University Press, Dnipropetrovsk (in Russian).
- Cvetkova, N.N., Kulik, A.F., 1996. Soderzhanie i zakonomenosti raspredelenija marganca i zheleza v pochvogruntah estestvennyh biogeocenzov srednego stepnogo Pridneprov'ja [Content and patterns of distribution of iron and manganese in soils of natural steppe biogeocenosis in Naddniprianshchyna]. *Voprosy Stepnogo Lesovedenija i Lesnoj Rekul'tivacii Zemel'*. Dnipropetrovsk University Press, Dnipropetrovsk, pp. 24–35 (in Russian).
- Cvetkova, N.N., Reva, A.A., Misjura, A.N., 2003. Vlijanie lesnogo biogeocenoza Prisamar'ja na raspredelenie medi i zheleza v organah i tkanjah mikromammalij [Influence of forest biogeocenosis in Prisamaryia on distribution of copper and iron in tissues and organs of mammalia]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 11(2), 185–190 (in Russian).
- Dangerfield, J.M., Milner, A.E., 1993. Ingestion and assimilation of leaf litter in some tropical millipedes. *J. Zool.* 229, 683–693.
- Gere, G., 1956. Examination of the feeding biology and humification function of Diplopoda and Isopoda. *Acta Biol. Hung.* 6, 257–271.
- Heikens, A., Peijnenburg, W.J.G.M., Hendriks, A.J., 2001. Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates. *Environ. Pollut.* 113, 385–393.
- Hopkin, S.P., Read, H.J., 1992. *The biology of millipedes*. Oxford University Press, New York.
- Karavanova, E.I., Belyanina, L.A., Shapiro, A.D., Stepanov, A.A., 2006. Effect of litters on the mobility of zinc, copper, manganese, and iron in the upper horizons of podzolic soils. *Eurasian Soil Sci.* 39(1), 35–43.
- Kheirallah, A., 1990. Fragmentation of leaf litter by a natural population of the millipede *Julus scandinavicus* (Latzel, 1884). *Biol. Fert. Soils* 10, 202–206.
- Köhler, H.-R., Alberti, G., 1992. The effect of heavy metal stress on the intestine of diplopods. *Ber. Nat.-med. Verein. Innsbruck Suppl.* 10, 257–267.
- Köhler, H.-R., Alberti, G., Storch, V., 1991. The influence of the mandibles of Diplopoda on the food – a dependence of fine structure and assimilation efficiency. *Pedobiologia* 35, 108–116.
- Köhler, H.-R., Huttenrauch, K., Berkus, M., Graff, S., Alberti, G., 1996. Cellular hepatopancreatic reactions in *Porcellio scaber* (Isopoda) as biomarkers for the evaluation of heavy metal toxicity in soils. *Appl. Soil Ecol.* 3, 1–15.
- Köhler, H.-R., Körtje, K.-H., Alberti, G., 1995. Content, absorption quantities and intracellular storage sites of heavy metals in Diplopoda (Arthropoda). *Biometals* 8, 37–46.
- Kulbachko, Y.L., Didur, O.O., 2012. Trophic priorities of millipedes (Diplopoda) in process of rehabilitation of the territories disturbed by mining industry. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 20(2), 30–37.
- Morgan, A.J., Morris, B., James, N., Morgan, J.E., Leyshon, K., 1986. Heavy metals in terrestrial macroinvertebrates: Species differences within and between trophic levels. *Chemistry in Ecology* 2, 319–334.
- Mosinec, V.N., 1981. Ohrana okruzhajushhej sredy pri proektirovanii i jekspluatácii rudnikov [Environmental protection in the design and operation of mines]. Nedra, Moscow (in Russian).
- Pashkevich, M.A., 2000. Tehnogennye massivy i ih vozdejstvie na okruzhajushhuju sredu [Man-made arrays and their impact on the environment]. St. Petersburg Mining Institute, St. Petersburg (in Russian).
- Souza, T.S., Christofolletti, C.A., Bozzatto, V., Fontanetti, C.S., 2014. The use of diplopods in soil ecotoxicology – A review. *Ecotox. Environ. Safe.* 103, 68–73.
- Striganova, B.R., Prishutova, Z.G., 1990. Food requirements of diplopods in the dry steppe subzone of the USSR. *Pedobiologia* 34, 37–41.
- Tarasevich, L.M., 1975. *Virusy nasekomyh* [Insect viruses]. Nauka, Moscow (in Russian).

Надійшла до редколегії 04.05.2014