

## ИЗМЕНЕНИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ ПАУКООБРАЗНЫХ-ГЕРПЕТОБИОНТОВ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ВЫБРОСОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА

© 2009 г. М. П. Золотарев

*Институт экологии растений и животных УрО РАН*

*620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202*

*E-mail: zmp@ipae.uran.ru*

Поступила в редакцию 20.11.2007 г.

Рассмотрено изменение динамической плотности герпетобионтных паукообразных и соотношение жизненных форм пауков в условиях трансформации южно-таежных лесов под действием выбросов медеплавильного комбината. В градиенте загрязнения наблюдается снижение динамической плотности паукообразных, замещение тенетных форм засадными, связанное с увеличением обилия семейств Lycosidae и Gnaphosidae и уменьшением — семейства Linyphiidae, увеличение пространственного варьирования обилия паукообразных. Одно семейство сенокосцев (Nemastomatidae) полностью исчезает возле завода.

*Ключевые слова:* герпетобионты, пауки, сенокосцы, жизненные формы, промышленное загрязнение, тяжелые металлы, медеплавильный завод, Средний Урал.

Воздействие цветной металлургии на сообщества наземных беспозвоночных животных изучается давно, однако реакция паукообразных остается мало исследованной, а основное внимание уделяется содержанию в них тяжелых металлов (Hopkin, Martin, 1985; Hopkin, 1989; Rabitscs, 1995; Tanasevitsch, 1999; Бутовский, 2001). Известны работы по влиянию сельскохозяйственных мероприятий на структуру сообществ паукообразных агроценозов (Siepel et al., 1989; Aukema et al., 1990; Есюнин, Баталин, 1995; Бельская, Есюнин, 2003). Воздействие промышленного загрязнения на герпетобионтных паукообразных рассматривается преимущественно на ценоотическом уровне при сравнении обилия крупных таксонов беспозвоночных (Hopkin, 1989; Koneva, Koronen, 1992; Ермаков, 2004; Гонгальский и др., 2007). Таксономическая структура, видовой состав и соотношение жизненных форм затрагиваются реже (Koronen, Niemelä, 1995). В районе нашего исследования уже проводились работы по изучению реакции комплекса наземных беспозвоночных на химическое загрязнение (Воробейчик и др., 1994, 2007; Воробейчик, 1995; Бельская, Зиновьев, 2007), однако специального внимания паукообразным не было уделено.

Цель данной работы — охарактеризовать изменение структуры сообщества герпетобионтных паукообразных, а также соотношения их функциональных групп в градиенте техногенной нагрузки.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Учеты проводили в районе Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), действующего с 1940 г. и расположенного в районе г. Ревды Свердловской области. Основу атмосферных выбросов завода составляют  $SO_2$  и тяжелые металлы (Cu, Zn, Fe, As, Pb, Cd и Hg), сорбированные на частицах пыли. Согласно ранее проведенным исследованиям (Воробейчик и др., 1994), учетные площадки заложили на различном удалении от источника выброса — в зонах, отличающихся по степени загрязнения: фоновая 1 — 27–30 км, фоновая 2 — 16–20 км (концентрация тяжелых металлов и  $SO_2$  на уровне регионального фона, далее “Ф1” и “Ф2”); буферная — 6–7 км (промежуточные значения концентрации поллютантов, далее “Б”); импактная — 2 км от завода (наибольшая эмиссия воздушных поллютантов, далее “И”). Все участки расположены к юго-западу от СУМЗа, против направления господствующих ветров.

В каждой зоне обследованы наиболее типичные биотопы для подзоны южной тайги: коренной елово-пихтовый лес и производный осиново-березовый лес. В каждом биотопе было заложено по 3 площадки, удаленные друг от друга на 50–100 м. На каждой площадке установили 5 почвенных ловушек Барбера диаметром 8.5 см, которые экспонировали 5 дней (соответствует одному туру) с 5-дневным интервалом. В качестве фиксатора использовали 3%-ный раствор уксусной кислоты.

**Таблица 1.** Средняя динамическая плотность семейств пауков и сенокосцев в двух типах леса в градиенте загрязнения, экз/10 лов.-сут

Семейство	Елово-пихтовый лес				Осиново-березовый лес			
	Ф1	Ф2	Б	И	Ф1	Ф2	Б	И
Aranei								
Agelenidae	0.17	0.29	0.15	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
Clubionidae	0.04	0.00	0.00	0.02	0.15	0.04	0.09	0.00
Gnaphosidae	0.03	0.12	0.79	0.50	0.02	0.09	1.11	1.06
Hahniidae	0.00	0.09	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.07
Linyphiidae	10.55	9.89	8.12	2.82	7.71	11.78	6.55	1.75
Liocranidae	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lycosidae	0.86	0.36	0.94	3.43	12.31	1.79	7.61	7.09
Zoridae	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.00
Opiliones								
Nemastomatidae	3.12	2.06	0.27	0.00	1.97	1.31	1.72	0.00
Phalangiidae	1.39	2.40	2.84	0.31	3.20	10.23	2.92	0.21

Всего с 13 мая по 23 августа 2004 г. проведено 5 туров (13–18 мая; 26 мая – 1 июня; 10–16 июня; 4–10 августа; 19–23 августа) и отработано 3160 ловушко-суток. Подробно степень загрязненности исследуемых площадок выбросами медеплавильного комбината (индекс токсической нагрузки, кислотность и влажность лесной подстилки), а также фитоценоотические показатели (проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса и сомкнутость крон деревьев) рассмотрены в работе Е.А. Бельской и Е.В. Зиновьева (2007).

Статистический анализ материала осуществлялся с помощью программ Statistica v.6 (двухфакторный дисперсионный анализ, критерий Манна-Уитни) и Microsoft Office Excel (расчет процента общей дисперсии методом Снедекора (Лакин, 1990), коэффициент вариации).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рассматриваемых зонах зарегистрировано 8 семейств пауков-герпетобионтов (Agelenidae, Clubionidae, Gnaphosidae, Hahniidae, Linyphiidae, Liocranidae, Lycosidae, Zoridae) и 2 семейства сенокосцев (Nemastomatidae и Phalangiidae). Во всех зонах, присутствуют три семейства пауков, которые составляют ядро населения: Linyphiidae, Lycosidae и Gnaphosidae. Из двух семейств сенокосцев наиболее обильны Phalangiidae, представители которого встречаются во всех зонах, тогда как Nemastomatidae отмечены только в двух фоновых и буферной зонах (табл. 1).

Обнаружены различия в реакции разных семейств пауков на техногенную нагрузку. В двух биотопах от Ф1 к И снижалось обилие Clubionidae

и Linyphiidae и увеличивалось – Gnaphosidae и Lycosidae. Аналогичный факт увеличения обилия пауков-ликозид отмечен в сосновых лесах, подверженных выбросам никелеплавильного комбината на юго-западе Финляндии (Koronen, Niemelä, 1995). Тенденция увеличения обилия семейства Zoridae от Ф1 к Б наблюдается только в осиново-березовом лесу, а обилие Agelenidae снижается от Ф2 к Б в елово-пихтовом лесу. Остальные семейства пауков не проявляют четких изменений обилия в градиенте загрязнения.

По способу добывания пищи Linyphiidae относят к тенетникам, остальные 7 семейств – к засадникам (Руководство по энтомологической практике, 1983). Таким образом, от Ф1 к И происходит замещение тенетных форм засадными. Причем доля последних в осиново-березовом лесу больше, чем в елово-пихтовом, на всем градиенте загрязнения. Известно, что в подзоне южной тайги березовые леса характеризуются большим обилием и видовым богатством растений, чем пихтовые (Дегтева, 2004), что, возможно, и определяет обилие пауков.

Паукам-тенетникам для плетения ловчих сетей необходимы определенная вертикальная структура травостоя и его проективное покрытие. Засадники в этом не нуждаются, так как не используют сети для охоты, в связи с чем предпочитают открытые биотопы с разреженным травостоем. С увеличением техногенной нагрузки уменьшается проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса наряду с обеднением видового состава, что и приводит к увеличению доли засадников и уменьшению – тенетных форм. Вероятно, структура педобионтного аранеокомплекса и соотношение функциональных групп в первую очередь зависят

**Таблица 2.** Средняя динамическая плотность пауков и сенокосцев в двух типах леса, экз/10 лов.-сут  $\pm m_s$  (в скобках – доля в %)

Зона	Елово-пихтовый лес		Осиново-березовый лес	
	Пауки	Сенокосцы	Пауки	Сенокосцы
Фоновая 1	11.65 $\pm$ 0.21 (72.5)	4.52 $\pm$ 0.16 (27.5)	21.02 $\pm$ 0.17 (80.3)	5.17 $\pm$ 0.16 (19.7)
Фоновая 2	10.75 $\pm$ 0.36 (70.8)	4.46 $\pm$ 0.04 (29.2)	13.79 $\pm$ 0.40 (54.5)	11.54 $\pm$ 0.55 (45.5)
Буферная	10.00 $\pm$ 0.19 (76.5)	3.11 $\pm$ 0.08 (23.5)	15.43 $\pm$ 0.16 (76.9)	4.64 $\pm$ 0.15 (23.1)
Импактная	6.77 $\pm$ 0.16 (95.4)	0.31 $\pm$ 0.01 (4.6)	9.97 $\pm$ 0.30 (98.0)	0.21 $\pm$ 0.02 (2.0)

от структуры фитоценоза и в меньшей степени – от техногенного загрязнения. Такое же предположение высказывают S. Koronen и P. Niemelä (1995). По их мнению, различия напочвенной фауны беспозвоночных объясняются изменениями характера растительности по мере приближения к источнику загрязнения.

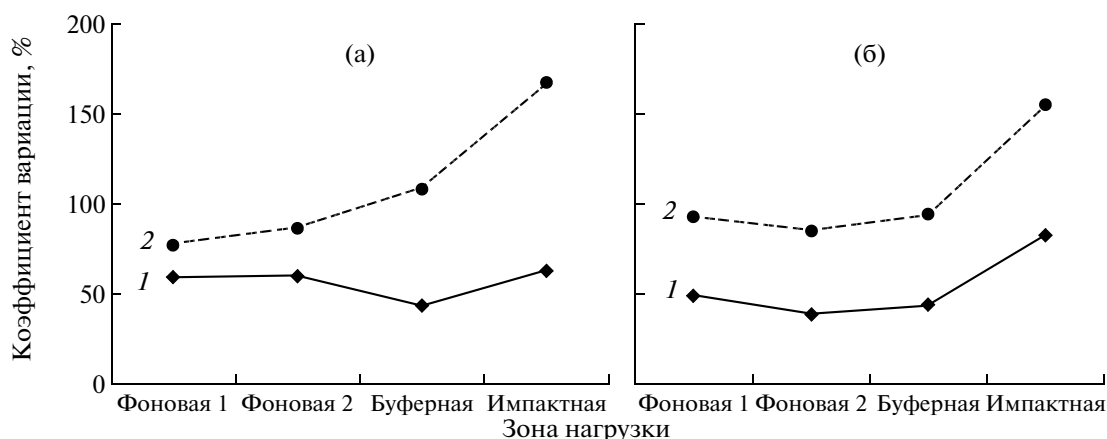
В градиенте загрязнения от фоновой зоны к импактной для ельника-пихтарника установлено снижение обилия исследуемых групп с преобладанием в населении пауков. В осиново-березовом лесу выявлено неоднозначное изменение обилия паукообразных, тем не менее в импактной зоне по сравнению с 1-й фоновой их обилие уменьшается (табл. 2). Значимая разница по критерию Манна-Уитни для обилия пауков между вариантами биотопов характерна для двух зон – Ф1 и Б, обилия сенокосцев – для Ф2 и Б (во всех случаях  $P = 0.0495$ ).

Сходные реакции на техногенные воздействия проявляют и другие группы почвенных и герпетобионтных беспозвоночных (Комплексная экологическая оценка, 1992; Воробейчик и др., 1994; Бутовский, 2001). В сосновом лесу около г. Харьявалта в Финляндии (Koronen, Niemelä, 1995)

различий в общей численности пауков вдоль градиента загрязнения не обнаружено, хотя по соотношению семейств они были выражены.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа значимо влияние на обилие пауков как техногенной нагрузки ( $F_{3;16} = 10.81$ ,  $P = 0.0004$ ), так и типа биотопа ( $F_{1;16} = 30.11$ ,  $P = 0.00005$ ). При этом зона нагрузки объясняет 32.3% общей дисперсии динамической плотности (рассчитана по Снедекору), тогда как биотоп – 47.9%. Для обилия сенокосцев, напротив, большее значение имеет различие между зонами ( $F_{3;16} = 15.92$ ,  $P = 0.00005$ , 60.4% дисперсии), чем между биотопами ( $F_{1;16} = 8.56$ ,  $P = 0.01$ , 15.3% дисперсии).

Можно предположить, что сенокосцы, имея слабую систему детоксикации, сильнее подвержены прямому воздействию загрязняющих агентов, что объясняет их низкое обилие в зоне загрязнения. В отличие от пауков они постоянно контактируют с субстратом, откладывают яйца непосредственно в почву или подстилку и не способны плести паутину. Большинство авторов отмечают низкие концентрации тяжелых металлов в сенокосцах и более высокие – в пауках, превос-



Коэффициент вариации обилия пауков (1) и сенокосцев (2) в градиенте загрязнения в елово-пихтовом (а) и осиново-березовом лесу (б). Учетной единицей является площадка.

**Таблица 3.** Изменение в течение сезона коэффициента вариации (над чертой – %) и обилия паукообразных (в знаменателе – экз/10 лов-сут) в градиенте загрязнения

Тур учета	Елово-пихтовый лес				Осиново-березовый лес			
	Ф1	Ф2	Б	И	Ф1	Ф2	Б	И
Пауки								
1	<u>86.03</u> 10.0	<u>69.59</u> 5.7	<u>49.56</u> 9.3	<u>89.02</u> 3.2	<u>50.77</u> 14.7	<u>36.83</u> 7.9	<u>44.09</u> 15.5	<u>77.12</u> 9.7
2	<u>58.88</u> 13.7	<u>66.46</u> 11.8	<u>38.50</u> 12.3	<u>32.17</u> 13.1	<u>36.54</u> 18.3	<u>50.98</u> 11.6	<u>20.55</u> 29.9	<u>48.96</u> 18.5
3	<u>70.72</u> 3.0	<u>57.79</u> 6.6	<u>38.12</u> 10.7	<u>48.62</u> 8.6	<u>64.83</u> 38.9	<u>39.28</u> 8.0	<u>48.60</u> 14.3	<u>47.67</u> 16.2
4	<u>38.22</u> 18.6	<u>54.02</u> 14.0	<u>50.71</u> 8.8	<u>58.98</u> 5.8	<u>34.10</u> 23.9	<u>31.42</u> 16.4	<u>58.34</u> 10.1	<u>109.97</u> 3.5
5	<u>44.25</u> 13.2	<u>54.10</u> 15.8	<u>41.96</u> 8.8	<u>87.47</u> 3.2	<u>60.40</u> 9.5	<u>35.96</u> 25.3	<u>46.19</u> 7.3	<u>124.96</u> 1.9
Сенокосцы								
1	–	<u>223.61</u> 0.1	<u>223.61</u> 0.4	–	<u>223.61</u> 0.4	<u>154.84</u> 3.1	<u>136.93</u> 0.8	–
2	<u>114.98</u> 2.0	<u>99.64</u> 3.1	<u>105.54</u> 6.4	–	<u>63.06</u> 3.3	<u>52.35</u> 19.6	<u>74.11</u> 6.6	<u>136.93</u> 0.2
3	<u>81.05</u> 4.0	<u>51.50</u> 7.1	<u>73.69</u> 4.4	<u>223.61</u> 0.1	<u>58.14</u> 6.7	<u>55.48</u> 22.9	<u>110.91</u> 5.8	–
4	<u>81.00</u> 2.1	<u>79.98</u> 3.2	<u>94.11</u> 2.2	<u>154.66</u> 0.8	<u>80.84</u> 4.9	<u>86.42</u> 3.7	<u>91.84</u> 4.8	<u>55.90</u> 0.4
5	<u>61.23</u> 14.5	<u>72.44</u> 8.7	<u>122.48</u> 2.0	<u>157.45</u> 0.7	<u>81.52</u> 10.5	<u>75.68</u> 8.5	<u>53.25</u> 5.3	<u>211.80</u> 0.4

Примечание. Учетной единицей является площадка, среднее значение – по трем площадкам для каждого тура.

ходящие значения у других артропод (Бутовский, 1993; Бутовский, Танасевич, 1999). Известно также, что пауки в отличие от сенокосцев способны связывать и выводить из организма тяжелые металлы (Еремина, Бутовский, 1997). На примере сообществ наземных беспозвоночных в районе действия Косогорского металлургического комбината (Гонгальский и др., 2007) показано, что таксономическая структура сообщества герпетобионтов в первую очередь зависит от структуры ценоза, в то время как на геобионтов, тесно контактирующих с почвой, непосредственно влияют токсиканты.

Одна из наиболее существенных характеристик населения паукообразных-герпетобионтов – обилие, поэтому исследование изменения коэффициента вариации данного показателя дает представление о равномерности пространственного распределения паукообразных в градиенте загрязнения в условиях различных биотопов.

Равномерность распределения в осиново-березовом лесу для пауков и сенокосцев от Ф1 к Б имеет сходство. Только на расстоянии 2 км от завода – в импактной зоне, пространственное распределение становится менее равномерным (см. рисунок). В целом осиново-березовый лес характеризуется комфортными условиями для исследованных групп беспозвоночных, что подтверждают более высокие значения обилия артропод в этом биотопе по сравнению с елово-пихтовым лесом (см. табл. 2), где условия менее благоприятны, и чувствительные к загрязнению сенокосцы демонстрируют резкое увеличение варьирования обилия от Ф1 к И. Пауки в меньшей степени зависимы от данного фактора (не только в силу физиолого-биохимических особенностей, но также благодаря видовому разнообразию и обилию) и равномернее распределены вдоль градиента (см. рисунок, табл. 2).

В течение сезона коэффициент вариации обилия двух групп паукообразных в обоих биотопах из-

меняется сходным образом. Так, в зонах Ф1 и Ф2 к концу сезона он имеет тенденцию к снижению, в буферной зоне ниже в середине сезона (за исключением сенокосцев в осиново-березовом лесу), а в импактной зоне, напротив, имеет высокие значения как в начале сезона, так и в конце (за исключением сенокосцев в елово-пихтовом лесу, табл. 3). Отличия коэффициента варьирования обилия сенокосцев по сравнению с этим показателем для пауков, вероятно, объясняются низким обилием сенокосцев. Высокое обилие пауков обуславливает их более равномерное пространственное распределение.

Таким образом, в рассматриваемом районе при приближении к источнику загрязнения отмечается снижение динамической плотности пауков и сенокосцев, изменяется их соотношение: в обоих биотопах из пауков доминирует сем. Linyphiidae, что характерно для лесных сообществ, субдоминантом выступает сем. Lycosidae, из сенокосцев доминирует сем. Phalangidae. В градиенте загрязнения уменьшается обилие линифид и увеличивается — ликозид. С усилением загрязнения изменяется соотношение жизненных форм по типу питания: доля тенетников уменьшается, доля засадных форм увеличивается, что типично для открытых местообитаний. Во всех зонах загрязнения выявлено большее варьирование обилия сенокосцев по сравнению с пауками, наибольшее варьирование между двумя группами паукообразных наблюдается в импактной зоне.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН “Биоразнообразие и динамика генофондов”. Автор выражает глубокую признательность Е.А. Бельской за помощь при сборе материала и полезные советы, Е.Л. Воробейчику — за ценные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бельская Е.А., Есюнин С.Л.* Хищные паукообразные (Arachnidae) в агроценозе яровой пшеницы на юге Свердловской области и реакции их популяций на воздействие пиретроидного инсектицида дециса // *Экология*. 2003. № 5. С. 395–398.
- Бельская Е.А., Зиновьев Е.В.* Структура комплексов жуужелиц (Carabidae, Coleoptera) в природных и техногенно-нарушенных лесных экосистемах на юго-западе Свердловской области // *Сибирский экологич. журн.* 2007. № 4. С. 533–543.
- Бутовский Р.О.* Тяжелые металлы в наземных членистоногих // *Агрехимия*. 1993. № 5. С. 104–112.
- Бутовский Р.О.* Устойчивость комплексов почвообитающих членистоногих к антропогенным воздействиям. М.: День серебра, 2001. 322 с.
- Бутовский Р.О., Танасевич А.В.* Тяжелые металлы в пауках (Arthropoda: Aranei) // *Агрехимия*. 1999. № 11. С. 89–96.
- Воробейчик Е.Л.* Реакция почвенной биоты лесных экосистем Среднего Урала на выбросы медеплавильных комбинатов. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. 202 с.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Воробейчик Е.Л., Ермаков А.И., Гребенников М.Е.* и др. Реакция почвенной мезофауны на выбросы Среднеуральского медеплавильного комбината // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель*. Екатеринбург, 2007. С. 129–149.
- Гонгальский К.Б., Филимонова Ж.В., Покаржевский А.Д., Бутовский Р.О.* Различия реакции герпетобионтов на воздействие Косогорского металлургического комбината (Тулская обл.) // *Экология*. 2007. № 1. С. 55–60.
- Дегтева С.В.* Флористические комплексы лиственных пород южной и средней тайги Республики Коми // *Развитие сравнительной флористики в России: вклады школы А.И. Толмачева: Мат-лы VI рабочего совещания по сравнительной флористике*. Сыктывкар, 2004. С. 78–84.
- Еремينا О.Ю., Бутовский Р.О.* Биохимические аспекты влияния тяжелых металлов на беспозвоночных животных // *Агрехимия*. 1997. № 6. С. 80–91.
- Ермаков А.И.* Изменение структуры населения жуужелиц лесных экосистем под действием токсической нагрузки // *Экология*. 2004. № 6. С. 450–455.
- Есюнин С.Л., Баталин А.В.* Влияние оросительной мелиорации на луговой комплекс пауков в условиях Среднего Урала // *Вестн. Пермского ун-та*. Пермь, 1995. Вып. 1. С. 92–101.
- Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. М.: ВНИИ ресурс, 1992. 246 с.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия: Учеб. пос. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
- Руководство по энтомологической практике: Учеб. пос. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 230 с.
- Aukema B., Berg J.H.J., Leopold A.* et al. A method for testing the toxicity of residues of pesticides on a standardized substrate to erigonid and linyphiid spiders // *J. Appl. Ent.* 1990. V. 109. P. 76–80.
- Hopkin S.P.* Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. London: Elsevier, 1989. 366 p.
- Hopkin S.P., Martin M.H.* Assimilation of zinc, cadmium, lead, copper, and iron by the spider *Dysdera crocata*, a predator of woodlice // *Bul. Environ. Contam. Toxicol.* 1985. V. 34. P. 183–187.
- Koneva G.G., Koponen S.* Density of ground-living spiders (Araneae) near smelter in Kola peninsula // *Aerial pollution in Kola peninsula: proceedings of the international workshop*. Petersburg–Apatity, 1992. P. 365.
- Koponen S., Niemelä P.* Ground-living arthropods along pollution gradient in boreal pine forest // *Entomologica fennica*. 1995. V. 6. № 2–3. P. 127–131.
- Rabitscs W.* Metal accumulation in arthropods near a lead / zinc smelter in Arnoldstein, Austria. III. Arachnida // *Environ. pollution*. 1995. V. 90. № 2. P. 249–257.
- Siepel H., Meijer J., Mabelis A.A., Boer M.H.* A tool to assess the influence of management practices on grassland surface macrofaunas // *J. Appl. Ent.* 1989. V. 108. P. 271–290.
- Tanasevitch A.V.* The effect of metallurgic smelter pollution on spider communities (Arachnida, Araneae): preliminary observations // *Pollution-induced changes in invertebrate food-webs*. Amsterdam — М., 1999. V. 2. P. 89–96.