

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ И АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ – НЕПАРНЫЙ ШЕЛКОПРЯД» В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

Е.В. КОЛТУНОВ,

доктор биологических наук, профессор,

М.И. ХАМИДУЛЛИНА,

аспирант, Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: *тяжелые металлы, аккумуляция, коэффициент биологического поглощения, непарный шелкопряд.*

Как известно, уровень антропогенного воздействия на лесные фитоценозы постоянно возрастает. В условиях значительной концентрации промышленных предприятий металлургического профиля, интенсивно загрязняющих природную среду, лесные биогеоценозы в пригородных зонах также отличаются заметным уровнем техногенного загрязнения [1]. Поэтому популяции насекомых-филлофагов в пригородной зоне обитают в условиях техногенного загрязнения [2]. Ранее нами было установлено, что в березовых лесах Каменск-Уральского района Свердловской области, где в течение последних 50 лет наблюдались периодические вспышки массового размножения зауральской популяции непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.), выявлен заметный уровень техногенного загрязнения почв и листьев березы повислой тяжелыми металлами [3]. По отдельным элементам он превышает ПДК. Поэтому основной целью исследований было изучение особенностей миграции и аккумуляции тяжелых металлов в системе «почва – растение – непарный шелкопряд» и определение интенсивности биологического поглощения различных тяжелых металлов непарным шелкопрядом (имаго). Исходя из этого, основными задачами были изучение содержания тяжелых металлов в почвах березовых лесов в очагах массового размножения непарного шелкопряда, в листьях березы и имаго непарного шелкопряда и определение коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов в системе «береза (листья) – непарный шелкопряд (имаго)». Актуальность исследования обусловлена тем, что коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов (КБП) у многих лесных насекомых до настоящего времени не изучены. В искусственных условиях проводилось лишь изучение аккумуляции свинца у непарного шелкопряда крымской популяции [4]. Имеются лишь публикации по изучению содержания ряда тяжелых металлов в тканях непарного шелкопряда и других насекомых [5-9].

В то же время эта тема представляет значительный теоретический интерес, особенно с точки зрения эффективности функционирования клеточных механизмов защиты от интенсивного поступления ряда опасных тяжелых металлов в организм насекомых (непарного шелкопряда), постоянно обитающих в условиях значительного техногенного загрязнения среды обитания.

Методика

Исследования проводились в березовых лесах северной предлесостепи Каменск-Уральского района Свердловской области. Объектом исследований была зауральская географическая популяция непарного шелкопряда, постоянно обитающая в этих лесах. В период исследований (2008 год) средняя заселенность березовых лесов кладками непарного шелкопряда в местах взятия проб составляла: вблизи пос. Покровское - 5,27 кладки/дер., вблизи пос. Кисловское - 0,62 кладки/дер., вблизи ст. Перебор - 0,46 кладки/дер. Наблюдается заметный рост заселенности древостоев кладками. Средний уровень дефолиации крон березы составлял 15-20%. Почвенные пробы отбирали вблизи деревьев, с которых проводился отбор листьев и сбор имаго, на значительном расстоянии от автомобильных дорог. Отбор почвенных проб проводился из горизонта A_1 . Для сравнения результатов исследований отбор проб проводился одновременно из нескольких локальных микропопуляций непарного шелкопряда: вблизи ст. Перебор, пос. Покровское, пос. Кисловское, пос. Клевакинское. Имаго собирали в сентябре 2008 года. В каждой пробе было 30 экземпляров имаго. Изучение содержания тяжелых металлов в пробах проводилось с помощью метода атомно-адсорбционного анализа. Валовое содержание тяжелых металлов в почве определяли методом предварительной сушки образцов почв, сжигания и мокрого озоления в HCl [10]. Определение содержания валовых форм тяжелых металлов в листьях березы проводилось методом сжигания и мокрого озоления в HCl [10].



Интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов мы оценивали при помощи подсчета коэффициента биологического поглощения (КБП).

$$КБП = \frac{N_i}{N_l}$$

где N_i - содержание металла в тканях насекомых;

N_l - содержание металла в листьях [11].

Результаты

Как показали результаты, в целом содержание тяжелых металлов в почвах (валовые формы) значительно варьировалось. Так, в почвах березовых лесов вблизи пос. Кисловское было выявлено от 12 до 36 мг/кг Pb (в среднем - 22,0 мг/кг). Максимальное значение достигает 1,2 ПДК (табл. 1). Вблизи пос. Покровское содержание свинца было ниже (от 0 до 9 мг/кг; в среднем - 3,25 мг/кг). При этом в более увлажненных экотопах содержание Pb было заметно меньше. В почвах березовых лесов вблизи пос. Кисловское выявляется и наиболее высокий уровень содержания валовых форм Mn (от 1300 до 1450 мг/кг; в среднем - 1350 мг/кг) и Ni (до 84,4 мг/кг; в среднем - 54,7 мг/кг), который в некоторых пробах почти достигает 1 ПДК. В березовых лесах около пос. Покровское содержание этих металлов было ниже - 42,05 мг/кг (табл. 1). В почвах березняков вблизи пос. Кисловское обнаружено также и более высокое содержание валовых форм меди (30-36 мг/кг; в среднем - 33,25 мг/кг) по сравнению с другими точками взятия проб (от 15 до 29 мг/кг; в среднем - 23,48 мг/кг). Содержание Zn в образцах почв из березняков вблизи пос. Кисловское также было выше (43,7-66,1 мг/кг; в среднем - 54,9 мг/кг), чем в образцах из других мест. Содержание Cd в почве из березняков вблизи пос. Кисловское (25,5 мг/кг) также выше, чем в других точках (16 мг/кг), причем в отдельных пробах оно приближается к 1 ПДК. Такая же зако-

Heavy metals, accumulation, factor of biological absorption, unpaired silkworm.

Таблица 1
Содержание тяжелых металлов в почве, листьях березы и имаго непарного шелкопряда

Наименование элемента	Почва		Листья	Имаго		
	Покровское	Кисловское		Покровское	Кисловское	Клевакинское
Pb	3,25	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zn	45,6	54,9	13,2	175,5	152,0	185,0
Cd	0,375	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	16,0	25,5	0,2	0,0	0,0	0,0
Ni	42,05	54,7	1,24	16,0	18,0	6,0
Cu	23,48	33,25	0,926	21,5	15,0	23,3
Mn	862,75	1345,0	44,32	132,5	80,0	116,66
Fe	1325,0	1350,0	32,04	1172,5	370,0	693,3

Таблица 2
Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов в системе «береза (листья) – непарный шелкопряд (имаго)» в Зауралье

Наименование химического элемента	Коэффициент биологического поглощения (КБП)
Cu	20,305
Fe	15,52
Zn	12,36
Ni	9,93
Mn	2,71

номерность была обнаружена и по содержанию Cd в почвах (валовые формы) в березняках вблизи пос. Кисловское (от 0,3 до 0,8 мг/кг; в среднем - 0,55 мг/кг), тогда как в остальных точках взятия проб - 0,1-0,5 мг/кг; в среднем - 0,375 мг/кг (табл. 1). Максимальное значение содержания Cd в отдельных пробах из березняков вблизи пос. Кисловское близко к 1 ПДК. Содержание Fe в пробах всех почв было одинаковым и варьировалось в пределах 1300-1400 мг/кг.

Как показали результаты, в листьях березы из очагов массового размножения непарного шелкопряда Pb и Cd (валовых форм) вообще не было обнаружено, что свидетельствует о слабом накоплении этих тяжелых металлов листьями березы (табл. 1).

Содержание Cd в листьях варьировалось от 0,1 до 0,3 мг/кг (в среднем - 0,2 мг/кг); Zn - от 7,3 до 19 мг/кг (в среднем - 13 мг/кг); Ni - от 0,53 до 1,94 мг/кг (в среднем - 1,24 мг/кг); Cu - от 0,49 до 1,2 мг/кг (в среднем - 0,926 мг/кг) (табл. 1). Содержание Mn - от 25 до 68 мг/кг (в среднем - 44,32 мг/кг); Fe - от 13,3 до 49 мг/кг (в среднем - 32,04 мг/кг). Обращает внимание значительный уровень колебаний содержания тяжелых металлов в разных образцах. Как показали результаты сравнительного анализа, в более влажных лесорастительных условиях содержание Zn и Co в листьях было ниже, Ni - выше, Cu и Mn - одинаковым.

В тканях имаго непарного шелкопряда содержание тяжелых металлов было заметно выше, чем в листьях березы. Так, содержание Mn в тканях имаго варьировалось от 80 до 200 мг/кг (в среднем - 132,5 мг/кг) вблизи пос. Покровское, 80,0 мг/кг - вблизи пос. Кисловское, 116,6 мг/кг - вблизи пос. Клевакинское; Cu: от 12 до 28 мг/кг (в среднем - 21,5 мг/кг) - пос. Покровское, 15,0 мг/кг - пос. Кисловское, 23,3 мг/кг - пос. Клевакинское; Ni - от 6 до 22 мг/кг (в среднем - 16,0; 8,0; 6,0 мг/кг в трех разных микропопуляциях); Co, Cd и Pb - 0 (табл. 1). Содержание валовых форм Zn в тканях имаго непарного шелкопряда варьировалось в пределах от 141 до 219 мг/кг (в среднем - соответственно 175,5; 152,0; 185,0 мг/кг), Fe - от 370 до 1910 мг/кг.

Подсчет коэффициентов биологического поглощения металлов (КБП) непарным шелкопрядом (имаго) показал, что разные металлы значительно отличаются между собой по этому параметру. Так, наиболее интенсивно в тканях имаго происходит накопление Cu (КБП=20,305), Fe (КБП=15,52) и Zn (КБП=12,36). По классификации, разработанной ранее [12, 13], эта группа металлов также характеризуется коэффициентом с наиболее активным накоплением. Почти достиг этой категории и Ni (КБП=9,93) (табл. 2). Mn, наоборот, характеризовался очень низким показателем биологического поглощения (КБП=2,71). Что касается Pb, Co

и Cd, то вследствие отсутствия этих тяжелых металлов в тканях имаго непарного шелкопряда (а ряда из них - и в листьях березы) коэффициент биологического поглощения подсчитать не удалось. Известно, что подсчитанный ранее другими авторами [4] КБП для Pb у гусениц непарного шелкопряда был очень низким (2,6). Содержание отдельных элементов (Cu, Ni) в имаго непарного шелкопряда, полученное нами, хорошо соответствовало их содержанию у имаго этого фитофага в Канаде на территории, загрязненной добычей этих металлов [9]. Хотя авторы непосредственно не определяли КБП, они предположили, что уровень ассимиляции этих металлов непарным шелкопрядом очень незначителен, что не совпадает с полученными нами результатами.

Было интересно также сравнить КБП в системе "почва - листья березы" с полученными нами результатами в системе "листья березы - имаго непарного шелкопряда", чтобы проанализировать, сохраняются ли сходные закономерности интенсивности биологического поглощения разных тяжелых металлов на разных трофических уровнях. В целом было показано, что высокие значения КБП были характерны на этом трофическом уровне ("почва-береза") только для биогенных металлов (Zn, Cu, Mn, Mo) [14]. Все остальные металлы характеризовались низкими КБП. Наибольшее сходство нами было выявлено для Zn и Cu, которые и в системе "почва-береза" характеризовались очень сильным накоплением [14]. Для марганца, наоборот, полученные нами данные существенно различались. В тканях имаго непарного шелкопряда он накапливался очень слабо в отличие от системы "почва-береза".

Таким образом, результаты исследований показали, что различные тяжелые металлы значительно отличаются по коэффициенту биологического поглощения имаго непарного шелкопряда. Отдельные тяжелые металлы в системе "береза (листья) - непарный шелкопряд (имаго)" характеризуются очень высокими коэффициентами биологического поглощения (Cu, Fe, Zn). Менее интенсивно накапливается Ni. Mn, наоборот, характеризуется исключительно низким коэффициентом биологического поглощения тканями непарного шелкопряда. Следовательно, механизмы клеточной защиты от тяжелых металлов у непарного шелкопряда функционируют избирательно.

Литература

1. Менщиков С. Л., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2006. 295 с.
2. Селиховкин А. В. Факторы ослабления древостоя и формирование благоприятной среды для размножения насекомых-дендрофагов // Влияние атмосфер. загрязнения и др. антропоген. и природ. факторов на дестабилизацию состояния лесов Центр. и Вост. Европы. М., 1996. Т. 1. С. 83-85.
3. Колтунов Е. В., Хамидуллина М. И. Техногенное загрязнение лесов в очагах массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в Свердловской области // Лесной и хим. комплексы: проблемы и решения. Красноярск : СибГТУ, 2007. Т. 1. С. 227-231.

Ветеринария

4. Савушкина И. Г. Миграция и аккумуляция свинца в листьях, личинках и экскрементах зеленой дубовой листовёртки и непарного шелкопряда // Экология. 2006. № 6. С. 478-480.
5. Томшин А. Т. Содержание микроэлементов у насекомых отряда чешуекрылых (Lepidoptera), обитающих в различных экологических условиях : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1973. 153 с.
6. Бутовский Р. О. Тяжелые металлы и энтомофауна // Агрехимия. 1975. № 5. С. 142-150.
7. Riemer J. & Whittaker J. B. (1989). Air pollution and insect herbivores: observed interactions and possible mechanisms. In *Insect-plant Interaction*. Vol. 1. ed. E. A. Bernays. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, P. 73-106.
8. Gintenreiter S., Ortel J. & Nopp H. J. (1993). Bioaccumulation of cadmium, lead, copper, and zinc in successive developmental stages of *Lymantria dispar* L. (Lyman-triidae, Lepid) – a life cycle study. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 25, P. 55-61.
9. Bagatto G., Shorthouse D. Accumulation of Cu and Ni in successive stages of *LYMANTRIA DISPAR* L. (LYMANTRIIDAE, LEPIDOPTERA) near ore smelters at sudbury, Ontario, Canada // *Environmental Pollution*. 1996. Vol. 92. No. 1. P. 7-12.
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1989. 64 с.
11. Ловкова М. Я., Рабинович А. М., Пономарева С. М. Почему растения лечат. М. : Наука, 1989. 256 с.
12. Братчук Н. И. Изменения некоторых биологических параметров лекарственных растений Удмуртии в условиях загрязнения среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2001. 18 с.
13. Винокурова Р. И. Закономерности накопления и распределения химических элементов в фитомассе елово-пихтовых насаждений зоны смешанных лесов Среднего Поволжья : дис. ... докт. наук. Йошкар-Ола, 2003. 273 с.
14. Ведерников К. Е. Динамика содержания тяжелых металлов в листьях древесных растений // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Йошкар-Ола ; Пушино, 2008. С. 402-403.