

УДК 630*4:504.33

Л.Г. Бабушкина, В.И. Пономарев, Г.И. Клобуков

Бабушкина Люция Георгиевна родилась в 1934 г., окончила в 1957 г. Уральский государственный университет, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 260 печатных работ в области лесной фитопатологии, патофизиологии растений.

Тел.: 8(343) 62-01-42



Пономарев Василий Иванович родился в 1957 г., окончил в 1984 г. Уральский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесовосстановления, защиты леса и лесопользования Ботанического сада УрО РАН. Имеет более 70 печатных работ в области лесной энтомологии.

E-mail: v_i_ponomarev@mail.ru



Клобуков Георгий Игоревич родился в 1983 г., окончил в 2006 г. Уральский государственный педагогический университет, инженер лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования Ботанического сада УрО РАН. Имеет 4 печатные работы в области лесной энтомологии.

e-mail: klobukov_g_i@mail.ru



**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ВИДОВОГО СОСТАВА НАСЕКОМЫХ
В РАЗНЫХ ЗОНАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ**

Рассмотрено изменение видового состава энтомофауны в районе действия выбросов Полевского криолитового завода, а также видового состава хвоегрызущих насекомых в зависимости от расстояния до источника эмиссии. Предложено использование фенологических групп филофагов как биоиндикаторов фтористого загрязнения.

Ключевые слова: фтористые эмиссии, фауна беспозвоночных, биоиндикация.

Насекомые являются неотъемлемой частью биоценозов. Выполняя различные функции, они принимают непосредственное участие в поддержании стабильности природных сообществ. Определение разнообразия и численности различных групп насекомых может служить признаком изменения состояния биоценоза под действием внешних факторов, в том числе техногенного загрязнения промышленными поллютантами.

Фторсодержащие эмиссии, сопутствующие алюминиевому производству, – один из наиболее токсичных типов промышленного загрязнения, повреждающий растительность на больших площадях. Их атмосферные выбросы из-за слабой вовлеченности в обменные процессы аккумулируются в растительных клетках. Накапливаясь в ассимиляционном аппарате расте-

ний, компоненты этих выбросов оказывают влияние на состояние как растений, так и других составляющих биоценоза, переходя на следующие уровни трофической цепи. В первую очередь отравляющему воздействию фторидов подвергаются фитофаги.

Одно из первых исследований влияния фторидов на фаунистический состав биоценозов было посвящено роли насекомых в древостоях, ослабленных токсичными выбросами алюминиевых заводов [3]. Не обнаружив аномалий в биологическом цикле насекомых, авторы пришли к выводу, что загазованность не оказывает на них прямого влияния, а ослабление леса вызывает возникновение очагов и вспышек массового размножения насекомых-фитофагов [2, 13]. А.В. Селиховкин [12] пришел к выводу, что у насекомых-филлофагов имеются адаптивные механизмы по выведению фтора из организма, способствующие снижению токсического эффекта от поллютанта. О.А. Катаев с соавторами [7] высказали мнение, что фтористые выбросы отличаются большой токсичностью для насекомых. Поэтому, несмотря на достаточность кормовой базы, обилие ослабленных отмирающих деревьев, они не дают вспышек массового размножения. Эти противоречия легко разрешаются, если принять во внимание, что в непосредственной близости от источника загрязнения преобладает токсичный эффект фтористых выбросов и массового размножения насекомых-ксилофагов не происходит [7]. Благоприятные условия для развития насекомых складываются на некотором удалении от источника эмиссии, где фтористые выбросы ослабляют деревья, не оказывая отрицательного влияния на фитофагов. Поэтому с ростом концентрации фтора численность насекомых вначале увеличивается, а затем снижается. Максимум их вредоносности приходится на зоны со средним содержанием фтора в растениях [18].

Комплексные исследования по изучению экологических последствий выбросов фтора показали бедность видового состава насекомых березняков, подверженных воздействию газообразных фтористых соединений [5, 11, 14]. В то же время отмечается массовое размножение отдельных видов скрытно живущих насекомых (галлообразователи, ксилофаги и др.).

Таким образом, следует признать, что информация об экологических последствиях техногенных выбросов фтора на насекомых недостаточна и требуется дальнейшее изучение.

Исследования проводились в 1986–1988 гг. в районе Полевского криолитового завода (ПКЗ) на постоянных пробных площадях (ППП) с целью изучить видовой состав насекомых, в том числе хвоегрызущих, соотношение трофических групп.

Пробные площади закладывали на разном удалении от источника эмиссии. ППП № 1 и 2, находящиеся в зоне сильной загазованности, непосредственно примыкающей к заводу (0,5...1,0 и 1,5 км соответственно). Это своеобразный «бэдленд», где пятна растительности перемежаются с голыми участками выброшенной породы, лишенной напочвенного покрова.

В зоне умеренного воздействия поллютанта заложены две пробные площадки в различных типах фитоценоза, отражающих разнообразие биотопов зоны средней загазованности. ППП № 3 и 4 удалены от источника эмис-

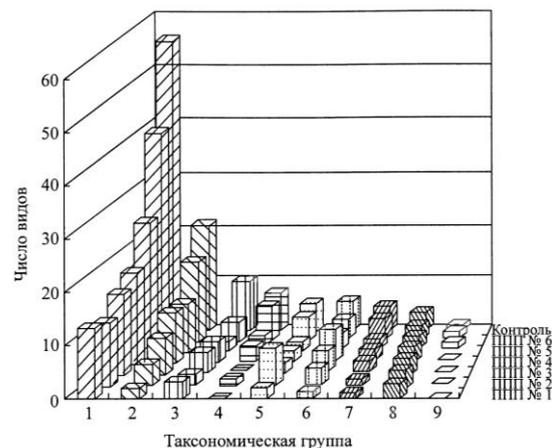
сии на 2,0...2,5 и 3,0...3,5 км соответственно. Они представлены лесными культурами сосны и лугвиной; травостой и подстилка хорошо развиты.

Две учетные площадки ППП № 5 и 6, находившиеся в культурах сосны 15–20-летнего возраста, заложены в зоне слабого воздействия поллютантов, на расстоянии от источника эмиссии соответственно 7 и 15 км; подстилка и луговая растительность хорошо развиты.

Условно контрольная ППП расположена в 26 км от ПКЗ, в направлении, противоположном от зоны господствующих ветров, за пос. Полдневая. Обследованы участки с посадками сосны и естественными насаждениями, лугвины и подлесок – аналоги пробных площадей исследуемого района.

Учет насекомых в различных зонах действия фтористых выбросов выполняли по общепринятым методикам полевого изучения наземных беспозвоночных [15, 16]. Для исследования почвенной мезофауны (личинки и куколки многих насекомых) использован метод послойных раскопок ям размером 0,5×0,5×0,3 м. На пробных площадях с хорошо развитой подстилкой учет производили с площадок 1...2 м². На поверхности почвы насекомых собирали с помощью ловушек. На учетной площадке каждого из выбранных биотопов в одну линию на расстоянии 10 м друг от друга устанавливали по 10 почвенных ловушек (пластмассовых воронок). Для учета на поверхности земли и растительном покрове проводили кошение стандартным энтомологическим сачком (50 двойных взмахов в каждом биотопе, учет выполняли еженедельно в течение вегетационного периода) и сбор беспозвоночных с цветов, кустарников и деревьев на маршрутных исследованиях.

Число видов беспозвоночных на пробных площадях по таксономическим группам: 1 – жесткокрылые (Coleoptera); 2 – чешуекрылые (Lepidoptera); 3 – перепончатокрылые (Hymenoptera); 4 – двукрылые (Diptera); 5 – стрекозы; 6 – полужесткокрылые (Heteroptera); 7 – равнокрылые (Homoptera); 8 – прямокрылые (Orthoptera); 9 – сетчатокрылые (Neuroptera)



Для оценки таксономического разнообразия насекомых собирали на ППП в районе ПКЗ методом модельных деревьев, способом околата [10]. Численность хвоегрызущих насекомых определяли методом учета зимующих и окукливающихся в подстилке и почве, способом простого случайного отбора учетных площадок (общая площадь 100 м² в каждой зоне) [6]. В дальнейшем их взвешивали и определяли таксономический состав.

В результате исследования в сосновых лесах окрестностей Полевского криолитового завода выявлено 138 видов насекомых. Доминирующими по обилию являются представители отряда жесткокрылых (42,6 % от

общего числа видов). Другие встречаются реже: чешуекрылые – 17,4, перепончатокрылые – 9,1, двукрылые – 6,6 %. Данные о систематической структуре насекомых на исследованных площадях отражены на рисунке.

Проведенные эколого-фаунистические исследования на загрязненных фтористыми соединениями лесных территориях показали резкое снижение числа видов и численности основных групп насекомых в зонах сильной и средней загазованности. Относительно богатая энтомофауна сохранилась в зоне слабой загазованности, незначительно отличающейся от условно контрольной. Резкое сокращение числа видов и их обилия касается, в первую очередь, хищных наземных насекомых (жужелицы, стафилины и др.). При этом в непосредственной близости к заводу формируется упрощенный по систематической структуре энтомофаунистический комплекс, включающий в себя лишь несколько видов насекомых (пенницы, муравьи, кобылки), численность которых значительна по сравнению с другими видами. Устойчивыми к токсическому действию фтора оказались муравьи, которые обитают на всех пробных площадях. Так, в зоне сильной и средней загазованности муравьи устраивают свои гнезда в почве и под камнями. В зоне слабой загазованности и на условном контроле отмечено 4 вида муравьев, численность которых обычна для ненарушенных биоценозов. На удалении 3...7 км в массе появляются насекомые травянистого яруса: восковики, бронзовки, хлебные пилильщики, странгалии, лептуры, различные чешуекрылые. На удалении 7...15 км от источника загрязнения энтомофауна существенно не отличалась по составу и численности от фауны на условно контрольной ППП.

В качестве биоиндикатора фтористого загрязнения можно предложить разные фенологические группы хвое- и листогрызущих насекомых. Согласно проведенным исследованиям, по мере удаления от источника загрязнения возрастает число видов хвоегрызущих насекомых. В районе ПКЗ они представлены двумя отрядами: чешуекрылых (Lepidoptera) и перепончатокрылых (Hymenoptera). Наиболее часто на всех ППП встречаются сосновая пяденица (*Bupalis piniarius* L.) и сосновый бражник (*Sphinx pinastri* L.), относящиеся к летне-осенней фенологической группе по времени питания личинок. Сосновая совка (*Panolis flammea* Den. et Schiff.) встречается на удалении 15 и 26 км, совка сосновых всходов (*Agrotis vestigialis* Rott.) обнаружена только на расстоянии 26 км, как и звездчатый ткач-пилильщик (*Lyda memoralis* Thom.), бледноногий сосновый пилильщик (*Microdiprion pallipes* Fall.) – на 7,0...7,5 и 26 км, сосновый зеленоватый пилильщик (*Gilpinia frutetorum* F.) и изменчивый сосновый пилильщик (*G. variegata* Htg.) – только в 26 км от источника загрязнения. Эти виды относятся к весенне-летней фенологической группе. При этом полученные различия не связаны с фазами динамики плотности этих групп в фоновых насаждениях. В Свердловской области в период исследований (1987–1988 гг.) отмечалось увеличение плотности весенне-летних и снижение – летне-осенних видов лесных насекомых-филлофагов [4]. На это указывает и низкая плотность их зимующей фазы (см. таблицу) даже в контрольной зоне.

Видовой состав и количественные характеристики хвоегрызущих насекомых на разной удаленности от источника эмиссии

Удаление от ПКЗ, км	Вид	Средняя масса, мг	Соотношение полов самец/самка	Число куколок на 100 м ²
3,0...3,5	Сосновая пяденица	24,1	1:3	4,0
	Сосновый бражник	2186,5	–	1,0
7,0...7,5	Сосновая пяденица	74,6	1:2	3,8
	Сосновый бражник	1055,4	–	1,3
14...15	Сосновая пяденица	82,2	2:1	14,0
	Сосновый бражник	2415,9	1:1	4,0
	Сосновая совка	233,6	1:1	2,0
26	Бледноногий сосновый пилильщик	–	–	1,0
	Сосновая пяденица	79,6	1:1	8,5
	Сосновый бражник	2174,3	1:2	1,5
	Сосновая совка	219,0	–	1,5
	Совка сосновых всходов	134,3	1:1	1,0
	Звездчатый ткач-пилильщик	–	–	1,0
	Сосновый зеленоватый пилильщик	–	–	1,0
	Бледноногий сосновый пилильщик	–	–	1,0
	Изменчивый сосновый пилильщик	–	–	1,0

Как видим, наиболее устойчивы к воздействию фтористых выбросов виды, которых можно отнести к группе летне-осеннего комплекса. По мере удаления от источника эмиссии среди филофагов появляются насекомые с весенне-летним периодом развития, что связано с изменением качества кормового субстрата. Виды весенне-летней группы предпочитают молодую хвою [8], содержащую простые питательные вещества и по механическим качествам более пригодную для потребления молодыми гусеницами. В зоне сильного загрязнения фтористыми соединениями качество хвои падает. Визуальные признаки поражения, такие как побурение кончиков, наблюдаются у трех- и четырехлетней хвои на расстоянии 15 км и более. У более молодой хвои эти признаки проявляются на расстоянии до 7...8 км для двухлетней и 4...5 км для однолетней. На удалении 1,5...2,0 км поражена практически вся хвоя 2 лет и старше.

Весенне-летние виды развиваются и набирают массу быстрее, чем летне-осенние. Высокая скорость роста – признак более интенсивных обменных процессов у весенне-летних видов. Фтор, в свою очередь, как один из активаторов свободнорадикальных процессов [9] способствует усилению перекисного окисления липидов мембран (ПОЛ). При высоком уровне фтора снижается также интенсивность синтеза каротиноидов – экзогенных антиоксидантов, уровень которых особенно низок весной, возрастает летом и резко уменьшается к осени. Но в зонах умеренной и низкой степени загрязнения уровень каротиноидов выше контрольного весной и летом, а к осени также снижается [17]. Наиболее су-

щественно от усиления ПОЛ страдают виды с повышенной скоростью метаболизма вследствие развития неуправляемых свободнорадикальных процессов и невозможности компенсировать их достаточным уровнем антиоксидантов [1]. Это влечет за собой большой процент гибели особей и замедление развития выживших гусениц. Возможно также влияние качества корма. В зоне сильного загрязнения фторидами хвоя значительно грубее и побурение наступает уже у второгодних хвоинок [17]. Этим определяется активность потребления корма гусеницами различных фенологических групп, особенно весенне-летней.

Таким образом, результаты нашего исследования подтвердили ранее показанное другими авторами значительное снижение видового состава энтомофауны по мере приближения к источнику эмиссии.

На основании полученных данных можно предположить, что некоторые виды хвое- и листогрызущих насекомых могут служить индикаторами фтористого загрязнения. В особенности это относится к соотношению фенологических групп, выделенных по срокам питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Е.М., Пономарев В.И., Шаталин А.В. Морфофизиологические и трофические характеристики гусениц непарного шелкопряда *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) в зависимости от гидротермических условий и плотности популяции // Энтомологич. обозрение. – 2008. – Т. 87, № 3. – С. 503–513.
2. Анисимова О.А. Особенности формирования экологических комплексов ксилофагов в лесах, ослабленных токсичными выбросами алюминиевых заводов // Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах: материалы конф. – Дивногорск, 1980. – С. 5–6.
3. Анисимова О.А., Соков М.К. Роль насекомых в древостоях, ослабленных токсичными выбросами алюминиевых заводов // Влияние антропогенных факторов на хвойные леса: материалы конф. – Иркутск, 1975. – С. 64–84.
4. Белоглазов В.А. Организация лесозащиты в Свердловской области // Лесопатологическая обстановка в лесном фонде Уральского региона. – Екатеринбург, 2001. – С. 34–40.
5. Волкова Л.М., Васильева Г.Т. Особенности биохимического состава листьев березы и ее энтомофауны в насаждениях, загазованных выбросами алюминиевых заводов // Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах: материалы конф. – Дивногорск, 1980. – С. 22–24.
6. Воронцов А.И., Блудов А.В. Наставления по надзору, учету и прогнозу хвое- и листогрызущих насекомых в европейской части РСФСР. – М., 1988. – 86 с.
7. Катаев О.А., Голутвин Г.И., Кондратьев В.П. Развитие стволовых насекомых в загазованных сосняках // Роль дендрофильных насекомых в таежных экосистемах: материалы конф. – Дивногорск, 1980. – С. 60–62.
8. Мешкова В.Л. Сезонное развитие хвоелистогрызущих вредителей леса. – Харьков, 2009. – 49 с.
9. Михайлова Т.А. Физиолого-биохимические изменения у хвойных растений, вызываемые действием фтористого водорода // Изв. СО АН СССР. Сер. Биол. науки. – 1984. – № 18/3. – С. 74–80.
10. Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых / А.И. Ильинский [и др.]. – М., 1965. – 87 с.

11. Некоторые экологические последствия техногенных выбросов фтора / О.Ф. Садыков [и др.] // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду: материалы конф. – Свердловск, 1985. – С. 43–53.
12. Селиховкин А.В. Динамика накопления фтора насекомыми-филлофагами в условиях эксперимента // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 51–56.
13. Соков М.К. Влияние фтористых выбросов алюминиевых заводов на состояние хвойных лесов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 1979. – 24 с.
14. Техногенный фтор в лесных экосистемах Урала / Н.М. Любашевский [и др.] // Биохимическая экология и медицина: информац. материалы. – Свердловск, 1985. – Вып. 2. – С. 234–272.
15. Тихомирова А.Л. Учет напочвенных беспозвоночных. Методы почвенно-зоологических исследований. – М., 1975. – С. 73–81.
16. Фасулати К.К. Полевые изучения наземных беспозвоночных. – М., 1971. – 424 с.
17. Экологическое состояние лесных насаждений в зоне фторсодержащих промышленных выбросов / Л.Г. Бабушкина [и др.] // Экология. – 1993. – № 1. – С. 26–35.
18. Carlson C.-E., Bousfield W.E., McGregor M.D. The relationship of insect infestation of lodgepole pine to fluorides emitted from a nearly aluminum plant in Montana // Fluoride. – 1977. – Vol. 10, N 1. – P. 14–21.

L.G. Babushkina, V.I. Ponomarev, G.I. Klobukov

Formation Principles of Insects Species Composition in Different Zones of Industrial Pollution by Fluoride-containing Pollutants

The species composition change of entomofauna in the area effected by Polevsky Cryolite Mill emissions is analyzed as well as species composition of needle-eating insects depending on the distance to the emission source. It is offered to use phenological groups of phyllofags as bioindicators of fluoride pollution.

Keywords: fluoride emissions, fauna of invertebrates, biological indication.
