

УДК 595.623+574.21

МНОГОНОЖКА-КОСТЯНКА *MONOTARSOBIUS CURTIPES* КАК НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЙ БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ВЫБРОСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

© 2010 Д. А. Петрашова

Кольский научный центр РАН, г. Апатиты

Поступила в редакцию 04.10.2010

Проведен анализ состояния популяции *M. curtipes* в зонах влияния атмосферных выбросов Канда-лакшского алюминиевого завода и комбината «Североникель» (Мурманская область) в сравнении с контрольным биотопом. Выявлены сходные изменения структуры и динамики исследуемой популяции на атмосферное загрязнение почв выбросами промышленных предприятий разного типа.

Ключевые слова: *многоножка-костянка, структура популяции, загрязнение почв, биоиндикатор*

Мурманская область – регион с развитой горно-металлургической промышленностью. В результате атмосферных выбросов крупных предприятий горно-обогатительного комплекса в органогенном горизонте почв аккумулируется значительное количество загрязняющих веществ различной природы. Кандалакшский алюминиевый завод (КАЗ) и медно-никелевый комбинат (МНК) «Североникель» функционируют более полувека и являются крупнейшими промышленными предприятиями региона. Основными компонентами атмосферных выбросов КАЗ являются F, Al, Fe, Si и полициклические ароматические углеводороды. В составе выбросов комбината «Североникель» преобладают соединения Ni, Cu и сернистый газ. Комплексное популяционное исследование многоножек-костянок вида *M. curtipes* (Mugiapoda, Chilopoda, Lithobiidae) в целинных и антропогенно-нарушенных биотопах проведено с целью оценки степени влияния экстремальных природных условий и антропогенных факторов на состояние популяции на северной периферии ареала.

M. curtipes соответствует биологическим и методическим критериям, предъявляемым к видам – биоиндикаторам антропогенных воздействий [13]. Многоножка *M. curtipes* – панпалеарктический, полизональный и эвритопный вид, он достаточно хорошо изучен на значительной части ареала и является одним из немногочисленных видов типично почвенных обитателей, который встречается в импактных зонах промышленных источников. В целинных подзолах Мурманской области вид *M. curtipes* характеризуется высокими значениями численности и биомассы и является постоянным

представителем доминантного комплекса почвенной мезофауны. Низкая степень варьирования численности и биомассы популяции в многолетней динамике свидетельствует о ее устойчивом состоянии на северной периферии ареала. Устойчивость популяции *M. curtipes* и доминирующее положение многоножек в составе мезофауны поддерживает стабильность сообщества педобионтов в целом [8, 9].

Объекты и методы исследований.

Оценку состояния популяций в промышленно загрязненных почвах проводили на участках, удаленных от КАЗа (г. Кандалакша, 2001-2005 гг.) на расстояние 2, 5, 10 и 20 км, что соответствует зонам максимального, сильного и умеренного загрязнения окружающей среды, и на участках, расположенных в 5, 15 и 30 км от МНК «Североникель» (г. Мончегорск, 1996-2000 гг.), соответственно, зонам сильной, умеренной и слабой деградации экосистем [3, 4]. В качестве контрольного (условно-фоновое) участка был выбран сосняк С1, удаленный от обоих предприятий на расстояние около 50 км. Для корректного сопоставления результатов в зонах загрязнения с контролем учитывали только совпадающие сроки полевых работ.

Для зоологических исследований и физико-химического анализа был проведен отбор образцов подстилки размером 25×25 см на глубину органогенного горизонта. Экстракция животных осуществлялась стандартными почвенно-зоологическими методами [12]. Для каждого образца были определены температура, влажность и кислотность подстилки. Всего проанализировано 585 образцов подстилки, выявлено 599 экз. многоножек. Для каждой особи определен пол, возрастная стадия, размеры и масса тела, количество метамерных органов. Для статистической обработки результатов использовались пакеты программ MS Excel 2002, STATISTICA 6.

Петрашова Дина Александровна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник. E-mail: petrashova@admksk.apatity.ru

Обилие многоножек. Оценено изменение численности и биомассы многоножек вдоль градиента загрязнения среды выбросами КАЗ в зависимости от содержания валового F и Al в лесной подстилке и уровня pH подстилки [4]. Вдоль градиента загрязнения почвы выбросами комбината «Североникель» использовали данные по величине pH [3] и показатель суммарной токсической нагрузки по тяжелым металлам в подстилке [1], рассчитанной как превышение фоновых концентраций Ni и Cu. Результаты регрессионного анализа показали достоверное снижение обилия многоножек по мере приближения к промышленным предприятиям, увеличения содержания приоритетных поллютантов в органогенном горизонте и изменения pH подстилки. Численность и биомасса многоножек достоверно снижались по сравнению с контрольным биотопом и составили в импактной зоне в 5 км от комбината «Североникель» 2 экз./м² и 0,2 мг/м², и в 2 км от КАЗ – 9 экз./м² и 42 мг/м². Уровень численности и биомассы многоножек в зоне максимального загрязнения среды выбросами КАЗ (на расстоянии 0-2 км) сопоставим со значениями этих показателей в зоне умеренного загрязнения в 15 км от комбината «Североникель». Следовательно, эмиссия медно-никелевого предприятия оказывала более негативное влияние на состоянии популяции *M. curtipes* по сравнению с алюминиевым производством. Это согласуется с выводом о том, что воздействие выбросов алюминиевого завода значительно в меньшей степени оказывает влияние на экосистемы, чем выбросы медно-никелевого производства [4].

Разногодичную и сезонную динамику численности и биомассы *M. curtipes* в зоне максимального загрязнения среды выбросами КАЗ исследовали в период 2002-2005 гг. Различия между загрязненным и контрольным биотопами в уровне численности многоножек в разные годы составили 2,5-12 раз, по уровню биомассы – 2,5-8 раз. Отличия в сезонной динамике обилия многоножек между загрязненным и контрольным участками были наиболее выражены весной (в мае-июне), когда в целинных подзолах наблюдалось массовое размножение *M. curtipes*. Осенью эти различия сводились к минимуму, в связи с естественным снижением обилия многоножек к концу вегетационного сезона.

Половая структура. В зоне максимального загрязнения в 2 км от КАЗ соотношение многоножек разных полов было смещено в сторону увеличения доли самцов и составило в среднем 1:2 при варьировании по годам от 1:1.5 до 1:3. Динамика общей численности многоножек во все сезоны определялась только

изменением численности самцов ($R^2=0,790$ при $p=0,001$), тогда как на территории контрольного участка динамика популяции не зависела от варьирования количества самцов, а определялась лишь изменением численности самок ($R^2=0,914$ при $p=0,001$). По мере приближения к комбинату «Североникель» (50 → 30 → 15 км) также наблюдалось повышение половой пропорции, что подтверждалось данными регрессионного анализа зависимости соотношения полов от расстояния до комбината ($F=9,21$, $p=0,038$). В импактной зоне в 5 км от комбината была обнаружена единственная многоножка, которая была представлена неполовозрелой стадией I. quarta. Эволюционная теория пола трактует сдвиг половой пропорции в популяциях в сторону самцов как результат действия неблагоприятных условий окружающей среды [2, 11]. Очевидно, что преобладание самцов *M. curtipes* в окрестностях алюминиевого и медно-никелевого производств свидетельствует о негативном воздействии промышленного загрязнения почв на состояние исследуемых популяций.

Возрастная структура. В связи с особенностями постэмбрионального развития для многоножек-косянок характерен сложный возрастной спектр. Из яйца выходит плод (foetus) с неполным набором туловищных сегментов и ходильных ног. Далее следуют анаморфные личиночные стадии, на каждой из которых происходит постепенное дотраивание метамерных органов. После развития полного набора сегментов тела и конечностей косянки проходят эпиморфные стадии, которые различаются по степени сформированности половых конечностей – гонопод [5, 10]. Мы ограничились разделением анаморфных стадий развития *M. curtipes* на младшие и старшие. Эпиморфных неполовозрелых и половозрелых животных рассматривали как единую группу. В зонах промышленного загрязнения в популяциях многоножек преобладали эпиморфные особи. Из-за отсутствия ряда личиночных стадий доля взрослых особей в популяциях была выше, чем на территории контрольного биотопа. В импактной и буферной зонах комбината «Североникель» немногочисленные анаморфные личинки были представлены только старшими возрастными I. quarta и I. media. В отдельные годы (2004, 2005) в 2 км от КАЗ не было обнаружено ни одной анаморфной личинки, что свидетельствовало об отсутствии процесса воспроизводства многоножек. За период исследования нескольких весенне-летних сезонов была отловлена единственная анаморфная личинка младшего возраста – I. prima, что доказывает размножение косянок в окрестностях КАЗ.

Преобладание взрослых особей в популяции можно рассматривать как факт подавления процесса размножения косянок в зоне загрязнения (не размножаются совсем или откладывают яйца не ежегодного) или как результат гибели потомства на ранних стадиях развития. Наряду с достоверно более низкими значениями численности, биомассы и встречаемости многоножек, наблюдалось возрастание доли неполовозрелых самок до 19% от общего числа самок против 12% в контрольном биотопе. Большая доля неполовозрелых особей в популяции наряду с их меньшей численностью может свидетельствовать о более низкой выживаемости многоножек в зоне загрязнения. Не исключено, что в окрестностях промышленных предприятий пополнение популяции и поддержание ее численности происходит не за счет размножения, а за счет миграции этих активно подвижных животных из менее загрязненных зон, что характерно для почвенной фауны техногенных территорий [14].

Индивидуальные показатели. Произведена оценка средних значений, степени варьирования, характера распределения длины тела самок и самцов и величины флуктуирующей асимметрии числа четок на антеннах у особей, отловленных на различном удалении от КАЗ и медно-никелевого предприятия. На всех исследованных участках расположенных на различном удалении от промышленных предприятий, так же как и в контрольном биотопе, самки были на 10-15% крупнее самцов (достоверно при $p=0,05$). В зонах воздействия обоих предприятий верхние размерные пределы многоножек (как самцов, так и самок) были ниже контрольных значений, а нижние пределы выше. В результате диапазон размеров тела у особей обоих полов был более узким, о чем свидетельствовали достоверно более низкие значения дисперсии и коэффициентов варьирования, по сравнению с контрольным участком.

В окрестностях КАЗ, как и в контрольном биотопе, сохранялся нормальный тип распределения самок по признаку длины тела, с преобладанием особей с размерами 8-12 мм (76% всех самок). Однако распределение отличалось достоверной левосторонней асимметрией с сильным положительным эксцессом (коэффициент эксцесса $Ex>3$), что можно интерпретировать как действие отбора, направленного на сохранение самок этой размерной категории, и элиминацию наиболее мелких и наиболее крупных особей. Распределение длины тела самцов в окрестностях КАЗ соответствовало нормальному, здесь преобладали мелкие и средние особи с длиной тела от 5 до 10 мм (84% от количества особей), в том числе от 5 до 8 мм (48%). В отличие от самок этой зоны

«крупные» самцы обнаружены не были. Модальные значения распределений длины тела самок и самцов в окрестностях завода (9-11 мм) были близки к модальным значениям распределений особей из почвы контрольного участка (8-11 мм для самок и 5-8 мм для самцов). Таким образом, можно сделать вывод, что популяция, обитающая в зоне загрязнения КАЗ, состоит из особей, наиболее приспособленных к природным условиям среды.

Стабильность развития организмов является чувствительным индикатором состояния природных популяций. Наиболее доступным для широкого использования методом оценки стабильности развития является определение величины флуктуирующей асимметрии (ФА) билатеральных морфологических признаков [6]. Проанализирована средняя частота асимметричного проявления на признак – количество четок на антеннах у взрослых особей (коэффициент ФА). В окрестностях КАЗ коэффициент ФА составил $0,0014\pm 0,0014$ и $0,0056\pm 0,0022$ для самок и самцов, соответственно. В контрольном биотопе этот коэффициент был выше в 6 раз для самок ($0,0086\pm 0,0030$) и в 2 раза – для самцов ($0,0114\pm 0,0033$). Для популяций, обитающих в пессимальных условиях среды, характерен более высокий коэффициент ФА относительно оптимальных условий [7]. Северная периферия ареала *M. curtipes* (Мурманская область) относится к экстремальным условиям обитания, следовательно, можно предположить, что коэффициент ФА в фоновой зоне повышен. Снижение коэффициента ФА в окрестностях КАЗ можно объяснить элиминацией особей с морфологическими отклонениями. Следовательно, в окрестностях алюминиевого предприятия, в отличие от фоновой зоны, наблюдалось направленное действие отбора на увеличение доли самок и самцов средних размеров при элиминации наиболее крупных и наиболее мелких особей обоих полов. Элиминацию мелких многоножек можно объяснить их повышенной уязвимостью к действию фактора загрязнения, недостатком энергоресурсов из-за нарушения или снижения численности потенциальных пищевых объектов. Снижение доли наиболее крупных особей может быть результатом сокращения продолжительности их жизни в загрязненной почве или замедления ростовых процессов, что характерно для животных при стрессовом воздействии среды.

Выводы: по мере приближения к промышленным предприятиям происходит снижение значений обилия многоножки *M. curtipes* и возрастает степень их пространственного варьирования. Преобладание взрослых особей в популяции, смещение половой пропорции в

сторону самцов и сокращение спектра возрастных стадий свидетельствуют о нарушении нормальных процессов размножения и развития косянки *M. curtipes* в почвах, загрязняемых выбросами промышленных предприятий разного типа. Для популяций, обитающих в почвах загрязняемых выбросами алюминиевого завода, зафиксировано проявление ужесточающего действия отбора, направленного на элиминацию особей обоих полов с наименьшими и наибольшими размерно-весовыми показателями. При этом сохраняются особи, которые наиболее приспособлены к экстремальным природным условиям северной периферии ареала, о чем свидетельствуют модальные значения распределений длины тела, близкие для фоновой и загрязненной зон. Загрязнение почв выбросами медно-никелевого комбината оказало более негативное влияние на состояние популяции *M. curtipes*, по сравнению с алюминиевым производством. Нарушения в популяционной структуре косянок, фиксируемые в буферной зоне комбината «Североникель», сопоставимы с нарушениями, отмеченными в зоне максимального загрязнения среды выбросами КАЗ. Численность, биомасса, возрастная структура и размерные характеристики тела являются неспецифическими биоиндикационными показателями, так как изменяются аналогичным образом в условиях промышленного загрязнения различного типа. Таким образом, эти показатели можно использовать в качестве биоиндикаторов техногенной трансформации почв.

Благодарность. Автор выражает благодарность к.б.н. Зенковой И.В. за предоставленные фиксированные образцы многоножек-косянок и данные по обилию *M. curtipes* за период с 1996 по 2000 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воробейчик, Е.Л. Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимости доза - эффект / Е.Л. Воробейчик, Е.В. Хантемирова // Экология. 1994. № 3. С. 31-42.
2. Геодакян, В.А. Эволюционная логика дифференциации полов в филогенезе и онтогенезе: автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1987. 90 с.
3. Евдокимова, Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. 272 с.
4. Евдокимова, Г.А. Почва и почвенная биота в условиях загрязнения фтором / Г.А. Евдокимова, И.В. Зенкова, Н.П. Мозгова, В.Н. Переверзев. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. 155 с.
5. Залеская, Н.Т. Определитель многоножек-косянок СССР. – М.: Наука, 1978. 212 с.
6. Захаров, В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
7. Захаров, В.М. Оценка стабильности развития березы в разных частях ареала / В.М. Захаров, Ф.Н. Шкиль, Н.Г. Кряжева // Вестник Нижегородского ун-та. Серия: Биологическая. 2005. №1. С. 77-84.
8. Зенкова, И.В. Характеристика параметров популяции многоножек-литобиид (Lithobiidae) в лесных подзолах Кольского полуострова / И.В. Зенкова, Д.А. Петрашова // Вест. Днепропетр. ун-та. Биол., Экол. 2003. Т.1, вып. 11. С. 92-96.
9. Зенкова, И.В. Структура и динамика популяции *Monotarsobius curtipes* (Mugiapoda, Chilopoda) на северной периферии ареала / И.В. Зенкова, Д.А. Петрашова // Экология. 2008. № 6. С. 449-455.
10. Иванов, А.В. Большой практикум по зоологии беспозвоночных / А.В. Иванов, А.С. Мончадский, Ю.И. Полянский, А.А. Стрелков. – Ч. 2. – М.: Советская наука, 1946. 629 с.
11. Искрин, В. Диалектика полов. – СПб., 2001. 207 с.
12. Количественные методы в почвенной зоологии. – М.: Наука, 1987. С. 9-26.
13. Криволицкий, Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. – М.: Наука, 1994. 270 с.
14. Криволицкий, Д.А. Динамика биоразнообразия и стратегии выживания популяций животных в условиях радиоактивного загрязнения среды // Мониторинг биоразнообразия. М., 1997. С. 50-61.

MONOTARSOBIUS CURTIPES AS NONSPECIFIC BIOINDICATOR OF SOILS CONTAMINATION BY POLLUTANT EMISSION FROM INDUSTRIAL ENTERPRISES

© 2010 D.A. Petrashova

Kola Scientific Centre RAS, Apatity

Analysis of state of population *M. curtipes* in regions of influences of atmospheric pollutions from Kandalaksha aluminium factory and combine "Severonikel" (Murmansk oblast) in comparison with control biotope is lead. Similar changes of frame and dynamics of researched population on atmospheric pollution of soils by emission from the industrial enterprises of different types are revealed.

Key words: *structure of population, contamination of soils, bioindicator*

Dina Petrashova, Candidate of Biology, Minor Research Fellow.
E-mail: petrashova@admksk.apatity.ru