

УДК [574.2+574.3+595.763.21](470.318)

ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ СРЕДЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЬНЫХ ВИДОВ (на примере жуков-мертвоедов)

И. Е. Трофимов

Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН

Россия, 119334, Москва, Вавилова, 26

E-mail: ecopolicy@ecopolicy.ru

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

Оценка здоровья среды по показателям стабильности развития модельных видов (на примере жуков-мертвоедов) – Трофимов И. Е. – Проведено исследование изменений показателей стабильности развития в природных популяциях модельных объектов (два вида жуков-мертвоедов) при разных видах антропогенного воздействия для оценки применимости такого подхода для мониторинга состояния популяций и характеристики здоровья среды.

Ключевые слова: стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, здоровье среды, жуки-мертвоеды.

Environment health assessment by the developmental stability of model species (with a particular reference to burying beetles). – Trofimov I. E. – A study was made of alterations of some developmental stability indices under the impact of various kinds of human activity in natural populations of two model burying beetle species to assess the applicability of this approach to monitoring the population status and to characterize the health of the environment.

Key words: developmental stability, fluctuating asymmetry, health of environment, burying beetles.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг состояния природных популяций различных видов на фоне происходящих изменений среды, в качестве главного фактора которых все больше выступает антропогенное воздействие, становится наиболее важной задачей. Помимо самостоятельного интереса это направление исследований представляется важным и для решения вопроса об оценке качества, здоровья среды, т.е. ее благоприятности для живых организмов, включая и человека. Перспективным в этом плане представляется подход, основанный на оценке состояния популяций по стабильности индивидуального развития (Захаров, 1987; Последствия..., 1996; Захаров и др., 2000; Захаров, Чубинишвили, 2001; Стрельцов, 2003; Developmental Homeostasis..., 1997; Developmental Instability..., 2003; Graham et al., 2010).

Задача настоящей работы – провести исследование возможных изменений показателей стабильности развития в природных популяциях модельных объектов при разных видах антропогенного воздействия для оценки применимости подхода для мониторинга состояния популяций и характеристики здоровья среды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве модельных видов были выбраны два вида жуков-мертвоедов (*Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783) и *N. vespillo* (Linnaeus, 1758)), которые являются фоновыми видами в районе исследования и удовлетворяют обычным требованиям выбора объектов для проведения оценки здоровья среды (Захаров и др., 2000; Трофимов, 2007). В силу экологических особенностей (*N. vespilloides* больше тяготеет к биотопам с древесной растительностью, а *N. vespillo* – к открытым биотопам) эти два вида дополняют друг друга и предоставляют удобную модель для исследования.

Материалом для настоящих исследований послужили собственные сборы, а также коллекционные материалы (лаборатории биоиндикации Калужского государственного университета и экологического клуба «Stenus», г. Калуга). Сбор материала проводился в Калужской области (на территории г. Калуги и его окрестностей, заповедника «Калужские засеки», в районе кордона «Новая Деревня» и деревни Ягодное, в окрестностях Ястребовского полигона захоронения промышленных отходов).

Стабильность развития оценивалась по флуктуирующей асимметрии шести морфологических меристических признаков (число хет на внутренней и внешней стороне голени трех пар конечностей) (Трофимов, 2007). Причиной выбора признаков послужило то, что все они формируются на ранних стадиях онтогенеза и полностью сформированы к моменту исследования, легко выделяемы и учитываемы, а система признаков оказалась пригодной для обоих исследуемых видов и соответствует критериям определения флуктуирующей асимметрии (Palmer et al., 1994).

В качестве показателя стабильности развития использовалась средняя частота асимметричного проявления на признак (Захаров и др., 2000), которая рассчитывается как среднее число асимметричных признаков на особь, отнесенное к числу проанализированных признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Оценка стабильности развития при разном уровне
общей антропогенной нагрузки**

Для оценки возможных изменений стабильности развития при нарастании общего антропогенного воздействия было проведено сравнение выборок из контрастных точек с существенно различными условиями (включая полигон промышленных отходов и северный участок заповедника «Калужские засеки»).

Проведенный анализ показал (рис. 1) сходную картину изменения показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) для обоих видов. В условиях загрязнения среды величина показателя существенно выше, чем в условно контрольной точке (на территории заповедника средняя частота асимметричного проявления на признак равна 0.46 ± 0.03 у *N. vespilloides* и 0.48 ± 0.04 у *N. vespillo*, в то время как на полигоне промышленных отходов величина показателя у *N. vespilloides* – 0.81 ± 0.03 , у *N. vespillo* – 0.80 ± 0.03).

Кроме того, был проведен анализ серии точек в градиенте нарастания уровня антропогенного пресса, по мере приближения к городу (рис. 2).

Сравнение показало рост исследуемого показателя по мере приближения к центру города. Максимальные значения показателя, частоты асимметричного проявления на признак, отмечены в центре города (0.83 ± 0.03 у *N. vespilloides* и 0.83 ± 0.03 у *N. vespillo*).

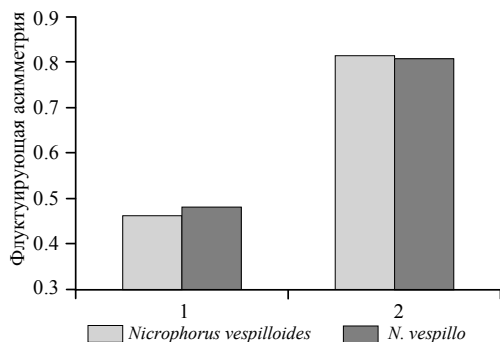


Рис. 1. Величина показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) в выборках *Nicrophorus vespilloides* и *N. vespillo* из точек с разным уровнем антропогенной нагрузки: 1 – заповедник, 2 – полигон промышленных отходов

К окраине города и по мере удаления от него значения показателя снижаются (составляя на окраине города 0.76 ± 0.03 у *N. vespilloides* и 0.75 ± 0.03 у *N. vespillo*, и на расстоянии полутора километров от города 0.66 ± 0.04 у *N. vespilloides* и 0.64 ± 0.04 у *N. vespillo*). Минимальные значения показателя были обнаружены в точке на значительном удалении от города, в трех километрах (0.56 ± 0.06 у *N. vespilloides* и 0.55 ± 0.06 у *N. vespillo*).

Полученные на этом этапе анализа данные свидетельствуют в пользу предположения о снижении стабильности развития (возрастании показателей флуктуирующей асимметрии) при нарастании уровня общей антропогенной нагрузки.

Оценка стабильности развития при радиационном загрязнении

Для выполнения этого этапа исследования было проведено сравнение выбо-

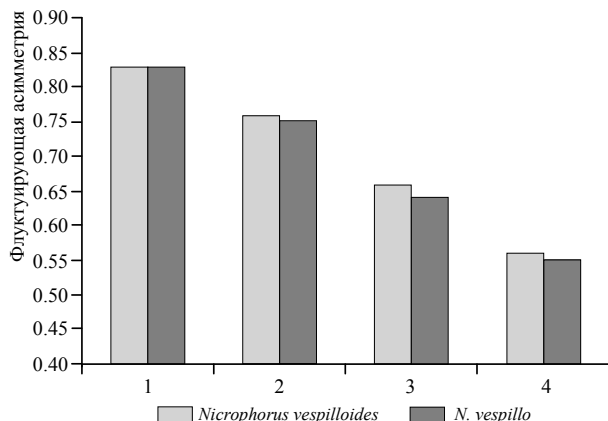


Рис. 2. Величина показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) в выборках *Nicrophorus vespilloides* и *N. vespillo* из серии точек на разном удалении от города: 1 – центр города, 2 – окраина города, 3 – в 1.5 км от города, 4 – в 3 км от города

рок из двух контрастных точек на территории заповедника «Калужские засеки». Данная территория (Ульяновский район Калужской области) подверглась воздействию радиоактивных осадков после катастрофы на Чернобыльской АЭС, и современная картина загрязнения здесь мозаична. Северный участок (в районе Новой деревни) заповедника считается условно чистым, а южный участок (в районе деревни Ягодное) – загрязненным. Оценка радиоактивного загрязнения проводилась лабораторией

биоиндикации Калужского государственного университета в 1996 г. (Константинов, 2001). Расположение данных точек на заповедной территории позволяет снизить вероятность влияния других видов антропогенного воздействия.

Анализ показал, что величина показателя асимметрии у обоих видов значимо выше в точке более высокого радиационного загрязнения (рис. 3). При уровне радиоактивного загрязнения 1030 Бк/кг значение показателя флуктуирующей асимметрии у *N. vespilloides* – 0.56 ± 0.03 , а у *N. vespillo* – 0.59 ± 0.04 , тогда как при уровне загрязнения 300 Бк/кг значения показателя у *N. vespilloides* – 0.46 ± 0.03 , а у *N. vespillo* – 0.48 ± 0.04 .

Оценка стабильности развития при загрязнении тяжелыми металлами

Для выявления воздействия химического загрязнения было проведено сравнение величины показателей стабильности развития и концентрации тяжёлых металлов в напочвенной подстилке. Данные по концентрации тяжелых металлов были предоставлены Федеральным государственным учреждением «Территориальный фонд информации по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по Центральному федеральному округу». В результате проведенного исследования (рис. 4) были выявлены более высокие значения исследуемого показателя в точках с повышенными концентрациями ртути и никеля. Увеличение концентрации ртути с 0.019 до 0.034 мг/кг и никеля с 5.42 до 9.59 мг/кг соответствует величине показателя флуктуирующей асимметрии у *N. vespilloides* 0.71 ± 0.03 и 0.80 ± 0.02 , а у *N. vespillo* – 0.71 ± 0.03 и 0.80 ± 0.02 .

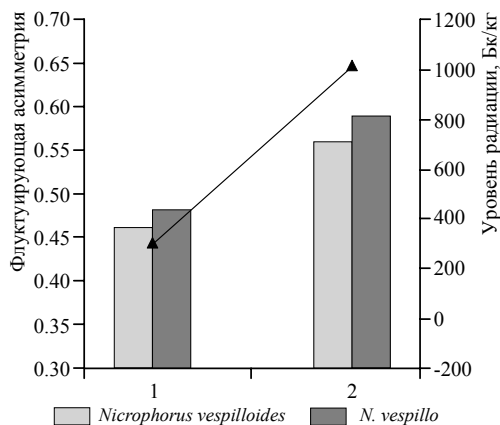


Рис. 3. Величина показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) в выборках *Nicrophorus vespilloides* и *N. vespillo* из точек с разным уровнем радиационного загрязнения: 1 – 300 Бк/кг, 2 – 1030 Бк/кг

Оценка возможных изменений стабильности развития во времени

Обычно биоиндикационные исследования позволяют провести оценку, отражающую ситуацию на данный момент времени. Специальный интерес при этом представляет проведение оценок возможных изменений величины исследуемых показателей во времени.

Для оценки динамики изучаемого показателя было проведено сравнение значений коэффициента флуктуирующей асимметрии в одних и тех же 10 точках на территории Калужского городского бора на протяжении пяти лет.

Анализ полученных данных показывает, что практически во всех исследованных точках наблюдается тенденция к возрастанию показателей флуктуирующей

асимметрии. О значимости выявленной тенденции говорит и то, что картина изменений оказывается практически идентичной для обоих исследованных видов. Исключение составляет лишь одна точка, в которой наблюдается снижение показателя для обоих видов, предположительно, вследствие локального улучшения ситуации (Трофимов, 2007).

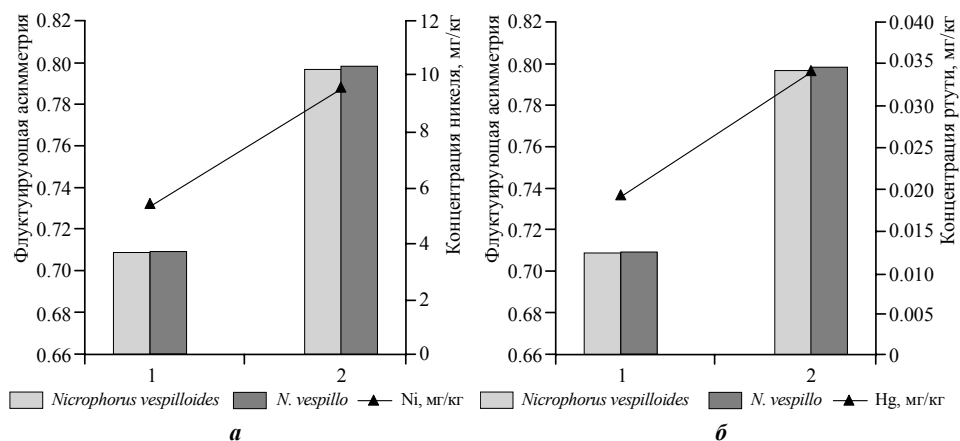


Рис. 4. Величина показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) в выборках *Nicrophorus vespilloides* и *N. vespillo* из точек с разной концентрацией никеля (а) и ртути (б)

В качестве наиболее вероятной причины такого возрастания флуктуирующей асимметрии можно полагать отклонения условий окружающей среды от оптимальных, прежде всего, вследствие практически повсеместно наблюдаемых сегодня изменений климата и нарастающих антропогенных нагрузок. Сходные результаты (Стрельцов, Илюшина, 2008) были получены и при исследованиях многолетней динамики величины показателей стабильности развития в ряде точек Калуж-

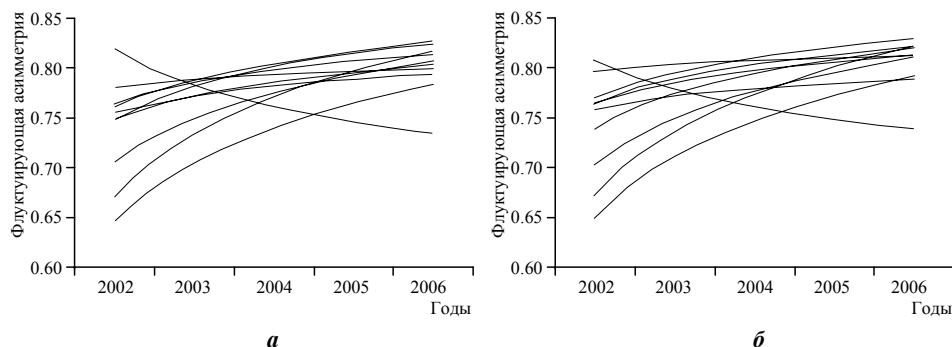


Рис. 5. Величина показателя стабильности развития (флуктуирующая асимметрия) в выборках *Nicrophorus vespilloides* (а) и *N. vespillo* (б) из 10 точек за разные годы

ской области и для другого вида – берёзы повислой (*Betula pendula* Roth). В качестве наиболее вероятной причины наблюдаемых изменений было также предположено изменение климата.

Важным аргументом при решении вопроса о том, в какой степени данные, получаемые в отношении отдельных модельных объектов, могут быть использованы для оценки здоровья среды, является сходная реакция на оцениваемые воздействия разных видов. На всех этапах анализа отмечалось, что картина изменений показателей асимметрии для обоих видов всегда была сходна. Величина коэффициента корреляции для показателей флуктуирующей асимметрии на всем исследованном материале – 80 совместных выборок – оказалась равной 0.94. Исходя из этого, мы можем сделать вывод, что оба вида, несмотря на определенные экологические особенности, практически идентично реагируют на оцениваемые негативные воздействия окружающей среды. Еще более важным аргументом в пользу предположения о возможности получения определенной информации о здоровье среды при оценке модельных объектов является сходная картина изменений показателей стабильности развития в районе проведения нашего исследования, которая была обнаружена в ходе ранее проведенного анализа для растений (берёза повислая) (Стрельцов, 2003).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа был выявлен ответ исследуемых объектов в виде возрастания величины флуктуирующей асимметрии выбранной системы признаков в качестве интегрального показателя стабильности развития, как при определенном, так и комплексном антропогенном воздействии. Это свидетельствует о возможности применения данного подхода при наблюдении за состоянием популяций и проведении биомониторинга, связанного с выявлением реакции биоты на негативные антропогенные воздействия. Сходство результатов, полученных для разных видов, как близких, так и принадлежащих к существенно различным систематическим группам, свидетельствует в пользу предположения о том, что данные, получаемые для отдельных фоновых модельных видов, могут быть использованы и для ориентировочной оценки качества, здоровья среды в исследуемых местообитаниях.

Автор выражает признательность В. М. Захарову и Т. Б. Трофимовой за помощь в выполнении настоящей работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограмма «Биоразнообразие: состояние и динамика».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Захаров В. М. Асимметрия животных : популяционно-феногенетический подход. М. : Наука, 1987. 216 с.
- Захаров В. М., Чубинишвили А. Т. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях / Центр экологической политики России. М., 2001. 148 с.

Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды : методика оценки / Центр экологической политики России. М., 2000. 68 с.

Константинов Е. Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга, 2001. 20 с.

Последствия Чернобыльской катастрофы : здоровье среды / под ред. В. М. Захарова, Е. Ю. Крысанова / Центр экологической политики России. М., 1996. 170 с.

Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга : Изд-во Калуж. ЦНТИ, 2003. 158 с.

Стрельцов А. Б., Илюшина Л. А. Динамика показателя стабильности развития березы бородавчатой на территории Калужской области // Изменение климата и биоразнообразие России / под ред. Д. С. Павлова, В. М. Захарова. М. : Акрополь, 2008. Вып. 2. С. 128 – 131.

Трофимов И. Е. Биоиндикация качества среды по стабильности развития и фенотипической изменчивости жуков-мертвоедов (Coleoptera : Silphidae): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калуга, 2007. 24 с.

Developmental homeostasis in natural populations of mammals : phonetic approach / eds. V. M. Zakharov, A. V. Yablokov // Acta Theriolog. 1997. Suppl. 4. 92 p.

Developmental Instability : causes and consequences / ed. M. Polak. N. Y. : Oxford University Press, 2003. 460 p.

Graham J. H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry : methods, theory, and application // Symmetry. 2010. № 2. P. 466 – 540.

Palmer A. R., Strobeck C., Chippindale A. K. Bilateral variation and the evolutionary origin macroscopic asymmetries // Developmental instability : its origins and evolutionary implications. Dordrecht : Kluwer Acad. Publ., 1994. P. 203 – 220.