



УДК 574.5:628.19

© 2007

В. Г. Цыцугина, академик НАН Украины Г. Г. Поликарпов

Критерии оценки экологического риска для “критических” популяций гидробионтов

An algorithm of the ecological risk assessment for “critical” populations of hydrobionts is proposed. The algorithm includes the identification of “critical” populations and deleterious environmental factors, consideration of action characteristics (acute or chronic ones), assessment of the influence of other environmental factors, estimation of the reproductive contribution of specimens on the basis of the cytogenetic analysis of a posterity, and assessment of the potential reduction of the effective size of a population and its adaptive potential.

Существующие подходы к оценке экологического риска основаны, главным образом, на использовании опубликованных данных о зависимостях “доза (концентрация) — эффект” [1] без учета адаптивных возможностей популяций. На наш взгляд, одним из наиболее конструктивных и адекватных подходов к оценке экологического риска, в частности, для “критических” видов (популяций) должно лежать определение адаптивного потенциала популяций, прежде всего, оценка потенциального снижения их эффективной величины. Существенное влияние на последнюю, наряду с флуктуацией численности и соотношением полов, может оказывать увеличение дисперсии репродуктивного вклада особей при антропогенном загрязнении. Проведенные нами экспериментальные и полевые цитогенетические исследования позволяют предложить критерии оценки экологического риска для природных популяций (видов) в биотопах, подвергающихся радиоактивному и химическому загрязнению.

Алгоритм оценки экологического риска для “критических” популяций (видов) гидробионтов проиллюстрирован на рис. 1. Идентификацию таких популяций мы предлагаем проводить на основе видовых и популяционных характеристик [2]. Критериями “критических” популяций могут служить высокая чувствительность к повреждению половых клеток и всех стадий онтогенеза, низкая плодовитость, протекание всего жизненного цикла в одном, наиболее “критическом” биотопе, низкая скорость размножения, генетическая изоляция, существование критических периодов в жизни популяций.

После определения в биоценозе “критических” популяций (видов) необходимо идентифицировать факторы, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие, для принятия затем адекватных мер защиты. Предложенные нами методические приемы (сравнение цитогенетических эффектов в мутагенно эквивалентных дозах, анализ поклеточного



Рис. 1. Алгоритм оценки экологического риска антропогенного загрязнения для «критических» популяций (видов) гидробионтов

распределения аберраций хромосом и тяжести повреждения аберрантных клеток) могут быть использованы для идентификации радиационных, химических и сочетанных эффектов в природных популяциях гидробионтов [3].

Важное значение для оценки экологического риска имеет также характер воздействия — острый или хронический. При хроническом воздействии может происходить кумуляция доз и концентраций загрязнителей. Залповые выбросы поллютантов в критические периоды в жизни популяций могут иметь для них фатальное значение. Так, например, период массового весеннего размножения черноморских амфипод и, возможно, танаид и кумовых ракообразных, можно рассматривать как критический, поскольку после окончания размножения происходит гибель рачков старших возрастных групп, а народившееся потомство, определяющее дальнейшую судьбу популяций, отличается наиболее высокой чувствительностью к повреждению по сравнению с потомством, появляющимся летом и осенью [4].

Большую роль в повреждении играют сопутствующие загрязнению природные факторы среды, которые могут оказывать модифицирующее воздействие. В качестве примера приведем результаты нашего цитогенетического исследования ракообразных и червей в районах выхода гидротермальных источников с повышенным содержанием естественных радионуклидов на греческом о-ве Икария (Эгейское море) [5]. В клетках гидробионтов в этих районах были обнаружены повышенный уровень хромосомного мутагенеза, мультиаберрантные клетки и пикноз ядер. Мощности доз внешнего гамма-излучения в этих районах составляют в основном 0,05–0,21 мкГр/ч, но могут достигать до 1 мкГр/ч. Сделано предположение, что генотоксические эффекты в клетках гидробионтов индуцированы комплексным влиянием pH (5,3–6,0), высокой температурой воды (26–33 °C) и естественных радионуклидов.

Плодовитость играет важнейшую роль в обеспечении адаптивного потенциала. Низкая плодовитость в сочетании с высокой чувствительностью половых клеток и эмбриональных стадий развития, а также относительно длительным периодом гаметогенеза, способствующим увеличению накопленной дозы или концентрации загрязнителя, могут значительно

влиять на дисперсию репродуктивного вклада отдельных особей. А чем больше дисперсия репродуктивного вклада, тем меньше эффективная численность популяции, т.е. меньше количество особей, определяющих генетическую структуру последующих поколений [6]. Уменьшение эффективной величины популяций ведет к снижению их наследственной изменчивости и адаптивных возможностей.

В качестве примера в табл. 1 приведены наши экспериментальные данные о репродуктивном вкладе отдельных особей бентосных ракообразных с высокой и низкой плодовитостью при разных мутагенно эквивалентных дозах ионизирующего излучения и химических мутагенов. В генетических исследованиях при сравнении эффективности мутагенов, имеющих разный механизм действия, измеряют дозу (мутагенно эквивалентную) в единицах хорошо определяемого показателя, например, по количеству сцепленных с полом летелей или по количеству концевых делеций [7]. В нашем случае, мутагенно эквивалентную дозу целесообразно измерять по среднему для выборки количеству клеток с абберациями хромосом (в %) [3]. Сравнение репродуктивного вклада отдельных самок при четырех мутагенно эквивалентных дозах 5, 8, 10 и 13–15% клеток с абберациями хромосом показано в табл. 1.

Для оценки репродуктивного вклада мы использовали число (в %) эмбрионов со спонтанным уровнем хромосомного мутагенеза (до 2% клеток с абберациями хромосом [8]) как критерий полноценного потомства, так как эмбрионы с более высоким уровнем мутагенеза, по-видимому, менее жизнеспособны. Например, согласно [9] и нашим данным [10], уродливые эмбрионы имеют больше аббераций хромосом по сравнению с нормальными. Исхо-

Таблица 1. Репродуктивный вклад отдельных особей ракообразных при разных мутагенно эквивалентных дозах

Мутаген	Мутагенно эквивалентная доза (среднее количество клеток с абберациями хромосом, %)	Вид	Средняя плодовитость самок (количество яиц)	Количество эмбрионов со спонтанным мутагенезом (%) в выборке	Количество эмбрионов со спонтанным мутагенезом на одну самку	
^{90}Sr	5	<i>Gammarus olivii</i>	40	19	7,6	
^{137}Cs		<i>Gammarus olivii</i>	5	20	1,0	
$\text{Pb}^{(2+)}$		<i>Gammarus olivii</i>	40	28	11,2	
$\text{Pb}^{(2+)}$		<i>Gammarus olivii</i>	5	18	0,9	
Хлорфен		<i>Gammarus olivii</i>	40	20	8,0	
$\text{Pb}^{(2+)} + \text{хлорфен}$		<i>Gammarus olivii</i>	40	30	12,0	
$^{137}\text{Cs} + \text{хлорфен}$		<i>Gammarus olivii</i>	5	22	1,1	
^{90}Sr		<i>Idothea baltica</i>	20	20	4	
^{90}Sr		8	<i>Gammarus olivii</i>	40	5	2
^{90}Sr			<i>Gammarus olivii</i>	5	5	0,25
$^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs} +$ $+ \text{Pb}^{(2+)} \text{хлорфен}$	<i>Gammarus olivii</i>		40	5	2,0	
^{90}Sr	<i>Idothea baltica</i>		40	8	3,2	
γ -излучение	10		<i>Gammarus olivii</i>	40	Нет	Нет
γ -излучение		<i>Gammarus olivii</i>	5	Нет	Нет	
γ -излучение +		<i>Gammarus olivii</i>	40	Нет	Нет	
$+ \text{Pb}^{(2+)} + \text{хлорфен}$						
^{90}Sr	13–15	<i>Gammarus olivii</i>	40	Нет	Нет	
^{90}Sr		<i>Gammarus olivii</i>	5	Нет	Нет	

дя из данных о числе (в %) эмбрионов со спонтанным уровнем хромосомного мутагенеза и средней плодовитости самок, мы рассчитали число эмбрионов со спонтанным количеством aberrаций хромосом на одну самку (см. табл. 1). Из таблицы видно, что увеличение дисперсии репродуктивного вклада и, следовательно, снижение эффективной численности популяций и их наследственной изменчивости можно ожидать при мутагенно эквивалентных дозах 5–8%, если размножаются мелкие самки (0,9 и 0,25 полноценных эмбрионов на одну самку). Мутагенно эквивалентная доза 10% клеток с aberrациями хромосом является “критической” для потомства как мелких, так и крупных самок (эмбрионы со спонтанным мутагенезом отсутствуют).

Таким образом, определение дисперсии репродуктивного вклада на основе анализа качества потомства дает возможность оценивать потенциальное снижение эффективной величины популяции и ее адаптивного потенциала. По-видимому, существенное снижение эффективной величины популяции и, следовательно, возрастание экологического риска возможно уже, если на одну самку будет приходиться менее одного полноценного потомка.

1. Jones D., Domotor S., Higley K. et al. Kocher D., Bilyard G. Principles and issues in radiological ecological risk assessment // J Environ. Radioactivity. – 2003. – **60**. – P. 19–39.
2. Цыцугина В. Г., Поликарпов Г. Г. Идентификация “критических” видов гидробионтов в связи с проблемой оценки экологического риска // Доп. НАН України. – 2005. – № 7. – С. 196–200.
3. Цыцугина В. Г., Поликарпов Г. Г. Методология изучения эквивалентности действия радиоактивного и химического загрязнения на природные популяции гидробионтов // Гидробиол. журн. – 2004. – **40**, № 5. – С. 78–89.
4. Tsytsugina V. G., Polikarpov G. G. Peculiarities of generative structure of hydrobionts populations and their radiosensitivity // Proc. of IUR Topical meeting. Mol. – Belgium 01–05 June, 1998. – Belgium, 1998. – P. 3–11.
5. Цыцугина В. Г., Флору Х., Поликарпов Г. Г. Мультиабберантные клетки и пикноз ядер у гидробионтов из района с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Мор. экол. журн. – 2005. – **4**, № 1. – С. 84–90.
6. Crow J. E., Kimura M. An introduction to population genetics theory. – New-York: Harper and Row, 1970. – 430 p.
7. Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза / Под ред. Н. И. Шапиро. – Москва: Мир, 1978. – 463 с.
8. Tsytsugina V. G. Chromosome mutagenesis in populations of aquatic biota in Black Sea, Aegenean Sea and Danube and Dnieper Rivers, 1986. – 1989. – // Proceedings of Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl (Luxembourg, 1–5 Oct., 1990). Luxembourg, 1991. – **2**. – P. 895–904.
9. Ромашов Д. Д., Беляева В. Н. О сохранении радиационных повреждений хромосом в эмбриогенезе рыб // Генетика. – 1966. – № 4. – С. 4–15.
10. Цыцугина В. Г., Поликарпов Г. Г. Оценка ожидаемого снижения адаптивных возможностей популяций ракообразных при разном уровне повреждающего воздействия // Мор. экол. журн. – 2006. – **5**, № 1. – С. 92–98.

*Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского НАН Украины, Севастополь*

Поступило в редакцию 11.12.2006