



УДК 595.3:574:054 (262.5)

В. Г. Цыцугина, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. **Г. Г. Поликарпов**, акад. НАН Украины, гл. науч. сотр.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО СНИЖЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОПУЛЯЦИЙ РАКООБРАЗНЫХ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ ПОВРЕЖДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На основе разработанных критериев идентификации «критических» популяций (видов) мелкие бентосные ракообразные рассматриваются как одни из наиболее уязвимых по отношению к повреждающим факторам среды. Обобщены и проанализированы экспериментальные цитогенетические данные о влиянии на потомство *Gammarus olivii* и *Idothea baltica* ионизирующего излучения и химических мутагенов в мутагенно эквивалентных дозах (т.е. в дозах, индуцирующих одинаковое среднее количество клеток с абберациями хромосом в %). Для оценки репродуктивного вклада особей и ожидаемого снижения эффективной величины популяции (т.е. числа особей, определяющих генетическую структуру последующих поколений) использовано количество эмбрионов со спонтанным мутагенезом в качестве критерия полноценного потомства, поскольку эмбрионы с более высоким уровнем мутагенеза обладают, по-видимому, меньшей жизнеспособностью. Показано, что при размножении мелких самок с низкой плодовитостью ожидаемое уменьшение эффективной величины популяции и наследственной изменчивости может наблюдаться при мутагенно эквивалентных дозах 5 – 8 %, а доза 10 % является критической для потомства как мелких, так и крупных самок.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, химические мутагены, гидробионты, эффективная величина популяции

Оценка экологического риска антропогенного загрязнения включает в себя, в первую очередь, идентификацию «критических» видов, которые в наибольшей степени уязвимы к повреждающему воздействию и исчезновение которых может повлечь за собой обеднение или деградацию сообществ. Существует ряд подходов к выбору «эталонных», «стандартных» видов, защита которых адекватно обеспечит защиту всех остальных видов в сообществе и экосистеме в целом. Так, для защиты биоты от ионизирующего излучения предлагается выбирать виды, которые в наибольшей степени подвержены облучению, наиболее радиочувствительны, играют важную роль в функционировании сообществ и экосистем и наиболее распространены [12, 13].

Однако, поскольку виды состоят из популяций и именно популяции должны, в первую очередь, быть объектами защиты при экологическом нормировании загрязнения, нам представляется, что идентификация наиболее уязвимых, «критических» популяций (видов) должна основываться на видовых и популяционных характеристиках, которые определяют адаптивный потенциал популяций и позволяют им приспосабливаться к изменяющимся условиям среды [10].

Цель данной работы – показать, что популяции мелких бентосных ракообразных наиболее уязвимы к повреждению, и оценить ожидаемое снижение их адаптивных возможностей при разном уровне повреждающего

воздействия.

Материал и методы. Мы обобщили и проанализировали собственные экспериментальные данные по действию ионизирующей радиации и химических мутагенов на эмбрионов *Gammarus olivii* Milne-Edw. и *Idothea baltica* Pallas [4, 5, 7, 15]. В наших экспериментах самок с развивающимися в марсупиальных сумках эмбрионами облучали с помощью гамма-лучей облучателя «Исследователь» (^{137}Cs , мощность дозы 0,048 Гр/с) или инкубировали в воде с добавленными радионуклидами и химическими мутагенами в разных дозах и концентрациях. Эксперименты выполнены летом (в июне – июле), когда размножаются мелкие самки с низкой плодовитостью, зимой (в феврале) и весной (в марте – апреле), когда размножаются крупные самки с высокой плодовитостью. Материал фиксировали смесью этилового спирта и ледяной уксусной кислоты. Эмбрионов окрашивали 1 % ацетоорсеином и готовили давленные препараты в 60 % молочной кислоте для цитогенетического анализа. Аберрации хромосом анализировали в анафазе-телофазе митоза. От каждой из 5 – 6 самок исследовали 3 – 6 эмбрионов.

Результаты и обсуждение. На рис. 1. приведены видовые и популяционные характеристики, положенные нами в основу идентификации «критических» популяций (видов) гидробионтов.

Одна из важнейших характеристик – репродуктивная стратегия, в частности, система размножения. В проведенном нами сравнении скорости адаптации популяций гидробионтов с разными формами размножения в районах локального антропогенного загрязнения (коммунальный сток и водоемы Чернобыльской зоны [9]) была обнаружена меньшая скорость адаптации популяции видов с преобладающим бесполом размножением по сравнению с популяциями видов с половым размножением, которое увеличивает адаптивные возможности популяций.

Важное значение в обеспечении адаптивного потенциала играет плодовитость. Малая плодовитость в сочетании с высокой чувствительностью половых клеток и эмбрио-

нальных 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 [11]. Уменьшение эффективной величины популяций ведет к снижению их наследственной изменчивости и адаптивных возможностей.

На эффективную величину популяций влияют также различия в числе самцов и самок и флуктуации численности. Значительное уменьшение численности популяций может происходить в результате гибели гидробионтов на всех стадиях онтогенеза (при условии их высокой чувствительности к повреждению), а также в случае наличия в популяциях отдельных критических периодов, когда их чувствительность может существенно увеличиваться. Такой критический период обнаружен нами в популяциях черноморских амфипод [16]. Показано, что особенности генерационной структуры популяций этих гидробионтов и, возможно, других ракообразных создают предпосылки для усиления микроэволюционных процессов в популяциях и способствуют их адаптации к конкретным условиям среды. С другой стороны, период массового весеннего размножения рачков старших возрастных групп можно рассматривать как критический, так как после окончания размножения происходит их гибель, а народившееся потомство, определяющее дальнейшую судьбу популяции, отличается наибольшей чувствительностью к повреждению по сравнению с потомством, появляющимся летом и осенью.

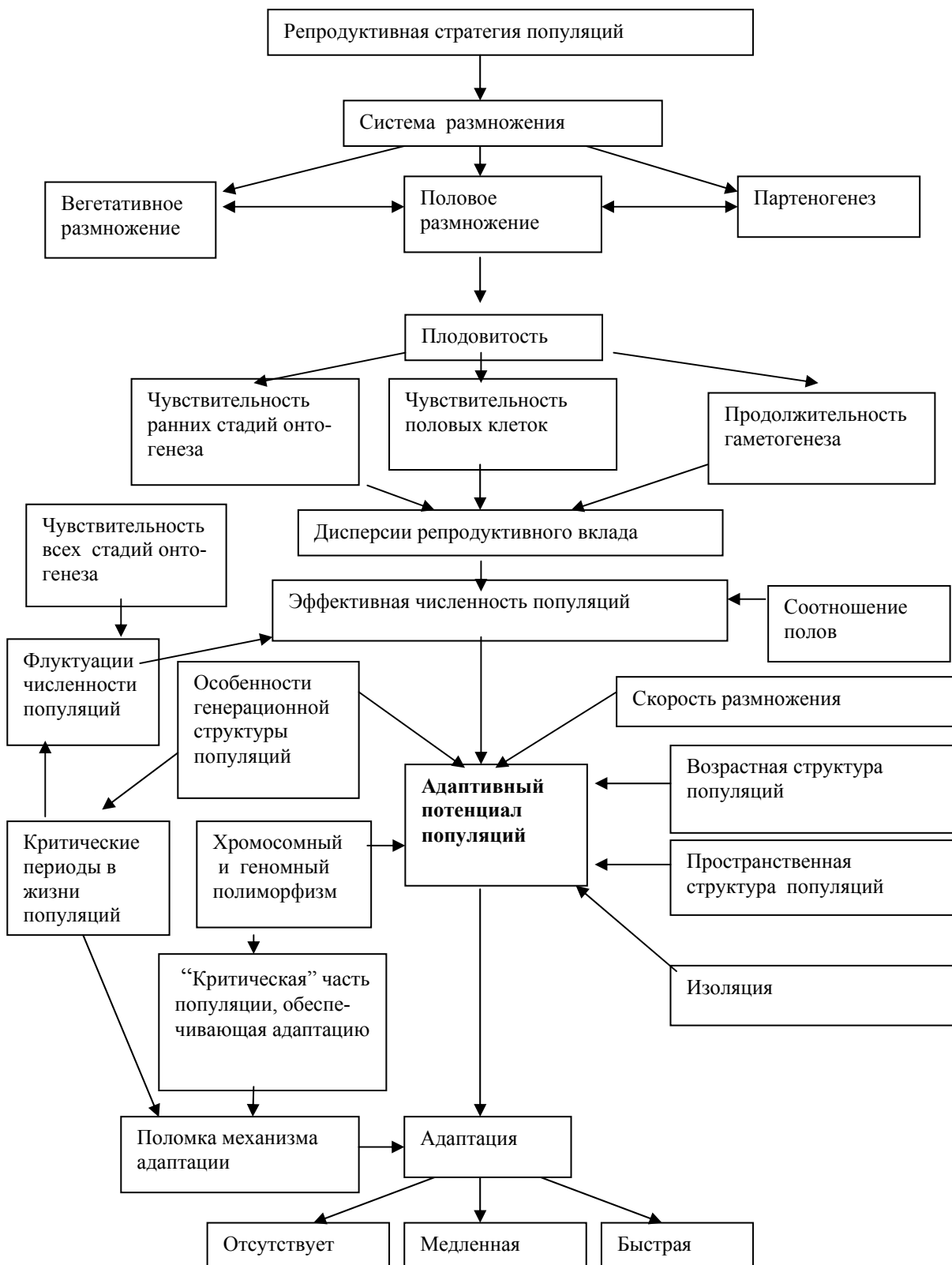


Рис. 1. Видовые и популяционные характеристики, положенные в основу идентификации «критических» видов [10]; Fig. 1. Species and population characteristics for the identification of “critical” species [10]

Большую роль в адаптации популяций играют также хромосомный и геномный полиморфизм, скорость размножения, возрастная структура популяций (перекрывающиеся и неперекрывающиеся поколения), пространственная структура (в частности, радиус репродуктивной активности, один или несколько биотопов в разные периоды жизненного цикла) и изоляция.

На базе этих характеристик мы предложили следующие критерии идентификации «критических» популяций (видов): высокая чувствительность к повреждению половых клеток и всех стадий онтогенеза; низкая плодовитость; особенности генерационной структуры; низкая скорость размножения; генетическая изоляция; бентосный биотоп [10]. Исходя из этих критериев, можно полагать, что мелкие бентосные ракообразные наиболее уяз-

вимы к повреждающему воздействию. Бентосные ракообразные высокочувствительны к антропогенному загрязнению на всех стадиях онтогенеза [3]. Весенний период массового размножения Amphipoda и, возможно, Cumacea и Tanaidacea, которые имеют подобные Amphipoda особенности генерационной структуры [2], может быть критическим из-за высокой чувствительности потомства. Мелкие ракообразные (Amphipoda, Cumacea, Tanaidacea) имеют низкую плодовитость по сравнению, например, с Decapoda.

В табл. 1 приведены наши экспериментальные данные о репродуктивном вкладе отдельных особей ракообразных с высокой и низкой плодовитостью при разных мутагенно эквивалентных дозах ионизирующего излучения и химических мутагенов.

Табл. 1. Репродуктивный вклад отдельных особей ракообразных при разных мутагенно эквивалентных дозах
Table 1. Reproductive contribution of crustaceans specimens at different mutagen equivalent doses

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		<i>Gammarus olivii</i>	40	19	7.6
¹³⁷ Cs		<i>G. olivii</i>	5	20	1.0
Pb ⁽²⁺⁾		<i>G. olivii</i>	40	28	11.2
Pb ⁽²⁺⁾		<i>G. olivii</i>	5	18	0.9
Хлорфен		<i>G. olivii</i>	40	20	8.0
Pb ⁽²⁺⁾ +хлорфен	5	<i>G. olivii</i>	40	30	12.0
¹³⁷ Cs+хлорфен		<i>G. olivii</i>	5	22	1.1
⁹⁰ Sr		<i>Idothea baltica</i>	20	20	4
⁹⁰ Sr		<i>Gammarus olivii</i>	40	5	2
⁹⁰ Sr		<i>G. olivii</i>	5	5	0.25
⁹⁰ Sr+ ¹³⁷ Cs+	8	<i>G. olivii</i>	40	5	2.0
+Pb ⁽²⁺⁾ +хлорфен					
⁹⁰ Sr		<i>Idothea baltica</i>	40	8	3.2
γ-излучение		<i>Gammarus olivii</i>	40	нет	нет
γ-излучение		<i>G. olivii</i>	5	нет	нет
γ-излучение+	10	<i>G. olivii</i>	40	нет	нет
Pb ⁽²⁺⁾ +хлорфен					
⁹⁰ Sr		<i>Gammarus olivii</i>	40	нет	нет
⁹⁰ Sr	13 – 15	<i>G. olivii</i>	5	нет	нет

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 леталей или по количеству концевых делеций [1]. В нашем случае мутагенно эквивалентную дозу целесообразно измерять по среднему для выборки количеству клеток с абберациями хромосом (в процентах) [8]. В табл. 1 приведено сравнение репродуктивного вклада отдельных самок при

четырёх мутагенно эквивалентных дозах – 5, 8, 10 и 13 – 15 % клеток с абберациями хромосом.

Для оценки репродуктивного вклада мы использовали число (%) эмбрионов со спонтанным уровнем хромосомного мутагенеза (до 2 % клеток с абберациями хромосом [14]) как критерий полноценного потомства, так как эмбрионы с более высоким уровнем мутагенеза, по-видимому, менее жизнеспособны. Например, согласно [6] и нашим неопубликованным данным, уродливые эмбрионы имеют больше аббераций хромосом по сравнению с нормальными (табл. 2).

Табл. 2. Частота аббераций хромосом в клетках нормальных и уродливых эмбрионов (*Engraulis encrasiholus*)
Table 2. Frequency of chromosome aberrations in cells of normal and anormal embryos (*Engraulis encrasiholus*)

Эмбрионы	Количество исследованных эмбрионов	Количество исследованных клеток	Количество клеток с абберациями хромосом, %	Lim
Внешне нормальные	10	523	3.0 ± 0.5	0 – 5.4
Уродливые	9	524	7.6 ± 1.3	2.8 – 15.2

Исходя из данных о числе (%) эмбрионов со спонтанным уровнем хромосомного мутагенеза и средней плодовитости самок, мы рассчитали число эмбрионов со спонтанным количеством аббераций хромосом на одну самку (табл. 1). В таблице 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 абберациями хромосом является критической для потомства как

мелких, так и крупных самок (эмбрионы со спонтанным мутагенезом отсутствуют).

Заключение. На базе видовых и популяционных характеристик мелкие бентосные ракообразные рассматриваются нами как «критические» популяции (виды). Обобщение и анализ экспериментальных данных о действии ионизирующей радиации и химических мутагенов на эмбрионов *G. olivii* и *I. baltica* позволяет заключить, что цитогенетический анализ потомства с учетом плодовитости самок может быть использован для оценки ожидаемого снижения эффективной величины популяций и их адаптивных возможностей при разном уровне повреждающего воздействия.

1. Ауэрбах Ш. Проблемы мутагенеза / Под ред. Н.И.Шапиро. - М.: Мир, 1978 – 463 с.
2. Маккавеева Е. Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Черного моря. Киев: Наук. думка, 1979. - 228 с.

3. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М: Пищ. пром., 1979. - 304 с.
4. Поликарпов Г. Г., Цыцугина В. Г. Закономерности распределения аббераций хромосом по клеткам гидробионтов при действии ионизирующего излучения и химических мутагенов

- среды // Радиобиология. - 1993. - **32**, вып. 2. - С. 205 - 212.
5. *Поликарпов Г. Г., Цыцугина В. Г.* Изучение последствий аварии на Чернобыльской АЭС для гидробионтов (1986-1996) // Радиационная биология. Радиозэкология. - 1996. - **36**, вып. 4 - С. 460 - 468.
 6. *Ромашов Д. Д., Беляева В. Н.* О сохранении радиационных повреждений хромосом в эмбриогенезе рыб // Генетика. - 1966. - № 4. - С. 4 - 15.
 7. *Цыцугина В. Г.* Генетические процессы в природных популяциях гидробионтов в районах локального антропогенного загрязнения / Молисмология Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1992. - С. 154 - 164.
 8. *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.
 9. *Цыцугина В. Г., Поликарпов Г. Г.* Скорость адаптации к антропогенному загрязнению популяций гидробионтов с разными репродуктивными стратегиями // Доп. НАН України. - 2005. - № 1. - С. 183 - 187.
 10. *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.
 11. *Crow J. F., Kimura M.* An introduction to populations genetic theory. - New-York: Harper and Row, 1970. - 430 p.
 12. *Pentreath R. I.* Radiological protection criteria for the natural environment // Radiat. Protect. Dosim. - 1998. - **75**, № 1 - 4. - P. 175 - 179.
 13. *Strand P., Brown J. E., Larson C. M.* Framework for the protection of the environment from ionizing radiation // Radiat. Protect. Dosim. - 2000. - **92**, № 1 - 3. - P. 169 - 175.
 14. *Tsytsugina V. G.* Chromosome mutagenesis in populations of aquatic biota in the Black Sea, Aegean Sea and Danube and Dnieper Rivers, 1986 - 1989 // Proc. seminar on comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. Luxembourg. 1 - 5 October 1990. - II. - P. 895 - 904.
 15. *Tsytsugina V. G.* An indicator of radiation effects in natural populations of aquatic organisms // Radiat. Protect. Dosim. - 1998. - **75**, № 1 - 4. - P. 171 - 173.
 16. *Tsytsugina V. G., Polikarpov G. G.* Peculiarities of generative structure of hydrobionts populations and their radiosensitivity // Proc. Topical Meeting.- Mol - Belgium, 01 - 05 June 1998. JUR. - P. 3 - 11.

Поступила 11 ноября 2005 г.

Оцінка очікуваного зниження адаптивних можливостей популяцій ракоподібних при різних рівнях ушкоджувальної дії. В. Г. Цицугіна, Г. Г. Полікарпов. На основі розроблених критеріїв ідентифікації „критичних” популяцій (видів) дрібні бентосні ракоподібні розглядаються як одні із найбільш вразливих по відношенню до ушкоджувальних чинників середовища. Узагальнені і проаналізовані експериментальні цитогенетичні дані про вплив на потомство *Gammarus olivii* та *Idothea baltica* іонізуючого опромінення і хімічних мутагенів в мутагенно еквівалентних дозах (тобто в дозах, що індують однакову середню кількість клітин із абераціями хромосом в %). Для оцінки репродуктивного вкладу особин, і, отже, ефективної величини популяції (тобто числа особин, що визначають генетичну структуру послідуючих поколінь) використана кількість ембріонів із спонтанним мутагенезом в якості критерію повноцінного потомства, оскільки ембріони із високим рівнем мутагенезу володіють, можливо, меншою життєздатністю. Показано, що при розмноженні дрібних самок із низькою плодючістю очікуване зменшення ефективної величини популяції та спадкової мінливості може спостерігатись при мутагенно еквівалентних дозах 5 - 8 %, а доза 10 % є критичною для потомства як дрібних, так і крупних самок.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, хімічні мутагени, гідробіонти, ефективна величина популяції

An assessment of expected reduction of crustacean populations adaptive possibilities at different levels of deleterious action V.G. Tsytsugina, G.G. Polikarpov. On the base of elaborated criteria of the “critical” populations (species) identification, small benthic crustaceans are considered as the most vulnerable biological objects in relation to deleterious environmental factors. Experimental cytogenetic data on influence of ionizing radiation and chemical mutagens in different mutagene equivalent doses (i.e. doses inducing equal mean number of cells with chromosome aberrations in %) on *Gammarus olivii* and *Idothea baltica* posterity are generalized and analyzed. For the assessment of specimens reproductive contribution and hence effective population size (i.e. the number of specimens determining genetic structure of next posterities) a number of embryos with spontaneous

chromosome mutagenesis is used as the criterion of postery of full value because embryos with higher level of chromosome mutagenesis are probably less viable. It is shown that potential reduction of effective population size and genetic variability may be abserved at mutagen equivalent doses 5 – 8 % if only small females with low fecundity breed however the dose 10 % is critical for the postery of small and big females.

Key words: ionizing radiation, chemical mutagens, hydrobionts, and effective population size