

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО “Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А. Ежевского”**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

“ВЕСТНИК ИрГСХА”

Выпуск 83

Декабрь

**Материалы международной научно-практической конференции,
посвященной 90-летию Заслуженного эколога России
НАРЦИССА ИСАЕВИЧА ЛИТВИНОВА**

**“ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРИОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ АЗИАТСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ”**

(11 – 13 октября 2017 г.)

Издано при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований
грант № 17-04-20462 г.

**Иркутск
2017**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ МЕЛКИХ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ: РЕАКЦИИ НА РАДИАЦИОННОЕ
ВОЗДЕЙСТВИЕ И РОЛЬ В РАЗВИТИИ РАДИОАДАПТАЦИИ**

Е.Б. Григоркина

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Изучена радиорезистентность и реакции мелких млекопитающих разной экологической специализации (малых лесных мышей и обыкновенных слепушонок) на провокационное лучевое воздействие (адаптивный ответ) для выявления особенностей их адаптации при обитании в зоне радиоактивного загрязнения. Объекты исследования – малые лесные мыши (*Sylvaemus uralensis* Pall., 1811) – наземные грызуны с высокой миграционной активностью и обыкновенные слепушонки (*Ellobius talpinus* Pall., 1770), которые ведут подземный норный образ жизни. Источник загрязнения реки – ПО “Маяк”, который сбрасывал жидкие радиоактивные отходы без очистки и нормирования. Контрольная территория характеризуется фоновым уровнем загрязнения. Для обоих видов сформированы группы сравнения – контроль-импакт: фон; Д1 – зверьки облучены адаптирующей дозой (0.02 Гр); Д2 – повреждающей дозой (2.0 Гр); Д1+Д2 – животные подвергнуты острому γ -облучению – сначала адаптирующей, затем через 4 часа повреждающей дозами. АО изучен по микроядерному тесту (МЯ) в полихроматофильных эритроцитах (ПХЭ) костного мозга, мазки приготовлены на 7-е сутки после облучения. Межгрупповые различия оценены по критерию Уилкоксона–Манна–Уитни (слепушонки) и критерию Стьюдента (мыши). При изучении АО установлено: спонтанный уровень клеток с микроядрами в группах импакт-контроль у слепушонок не различался ($1.18 \pm 0.31\%$ и $1.06 \pm 0.2\%$), в то время как у мышей из зоны ВУРСа число микроядер в спонтанном тесте было существенно выше ($5.3 \pm 0.69\%$ и $1.8 \pm 0.30\%$, $p \leq 0,001$). У обоих видов выявлены клетки с множественными микроядрами разной формы (круглые, палочки, запятые), частота встречаемости которых в импактной выборке была в несколько раз выше, чем в контроле. Впервые методами количественной радиобиологии (адаптивный ответ) показана реальная возможность радиоадаптации грызунов в природной среде.

Ключевые слова: грызуны, экологическая специализация, Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), малые дозы, радиорезистентность, адаптивный ответ, радиоадаптация, миграция.

**ECOLOGICAL SPECIALIZATION OF SMALL MAMMALS: THE REACTION
TO RADIATION IMPACT AND ROLE IN THE DEVELOPMENT OF
RADIOADAPTION**

Grigorkina E.B.

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

Radioresistance and reactions of small mammals of different ecological specialization (small forest mice and ordinary molevoles) to provocative radiation exposure (adaptive response) were studied to identify the peculiarities of their adaptation during habitation in the zone of radioactive contamination. The objects of the study are small forest mice (*Sylvaemus uralensis* Pall., 1811) – terrestrial rodents with high migration activity and ordinary molevoles (*Ellobius talpinus* Pall., 1770), which lead an underground normal life. The source of the river's pollution is Mayak, which discharged liquid radioactive waste without cleaning and rationing.

The control area is characterized by a background pollution level. For both types, comparison groups are formed: control-impact: background; D1 - animals are irradiated with an adapting dose (0.02 Gy); D2 - the damaging dose (2.0 Gy); D1 + D2 - animals subjected to acute \square -irradiation - first adapting, then after 4 hours with damaging doses. AO was studied in the micronuclear test (MJ) in polychromatophilic erythrocytes (PCE) of the bone marrow, the smears were prepared on the 7th day after irradiation. Intergroup differences are estimated by the Wilcoxon-Mann-Whitney (blindfold) test and the Student (mice) criterion. When studying AO, it was established that the spontaneous level of cells with micronuclei in the impact control groups in the cuckold did not differ ($1.18 \pm 0.31\%$ and $1.06 \pm 0.2\%$), while in mice from the VURS zone the number of micronuclei in the spontaneous test was significantly higher ($5.3 \square 0.69\%$ and $1.8 \square 0.30\%$, $p \square 0.001$). Both species have cells with multiple micronuclei of different shapes (round, rods, commas), the frequency of which in the impact sample was several times higher than in the control. For the first time, the methods of quantitative radiobiology (adaptive response) show the real possibility of radioadaptation of rodents in the natural environment.

Key words: rodents, ecological specialization, East Urals radioactive trace (LDR), small doses, radioresistance, adaptive response, radio adaptation, migration.

Проблемы биологического действия ионизирующего излучения и адаптации живых организмов к радиоактивной среде остаются актуальными в радиозологии. Одним из проявлений действия малых доз радиации является феномен адаптивного ответа – механизм защиты клеток (тканей организма) от воздействия радиации (и других агентов химической и физической природы) в высоких дозах после их предварительного облучения в малых дозах [6]. Эта радиобиологическая методика использована нами для оценки адаптационных возможностей мелких млекопитающих из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) – результат Кыштымской радиационной аварии (Южный Урал).

Цель исследований - изучение радиорезистентности и адаптивного ответа (АО) у грызунов разной экологической специализации.

Материал и методы обработки. Объекты исследования – малые лесные мыши (*Sylvaemus uralensis* Pall., 1811) – наземные грызуны с высокой миграционной активностью и обыкновенные слепушонки (*Ellobius talpinus* Pall., 1770), которые ведут подземный норный образ жизни, отличаются стабильностью семейных поселений, обладают низкой способностью к перемещению. Мыши отловлены в головной части зоны ВУРСа (плотность загрязнения почвы $^{90}\text{Sr} - 18.5 \text{ МБк/м}^2 = 500 \text{ Ки/км}^2$) и на контрольном участке за пределами радиационного заповедника. Слепушонки – в окрестностях пос. Муслюмово на участке с более высоким, в сравнении глобальным, уровнем загрязнения – ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239-240}\text{Pu}$. Источник загрязнения реки – ПО “Маяк”, который сбрасывал жидкие радиоактивные отходы без очистки и нормирования. Контрольная территория характеризуется фоновым уровнем загрязнения.

Радиорезистентность грызунов оценена в лабораторном эксперименте: зверьки подвергнуты острому облучению разными дозами, ЛД_{50/30} рассчитана пробит-методом. АО изучен по схеме [5]. Для обоих видов сформированы группы сравнения – контроль-импакт: фон; Д1 – зверьки

облучены адаптирующей дозой (0.02 Гр); Д2 – повреждающей дозой (2.0 Гр); Д1+Д2 – животные подвергнуты острому γ -облучению – сначала адаптирующей, затем через 4 часа повреждающей дозами. АО изучен по микроядерному тесту (МЯ) в полихроматофильных эритроцитах (ПХЭ) костного мозга, мазки приготовлены на 7-е сутки после облучения. Межгрупповые различия оценены по критерию Уилкоксона–Манна–Уитни (слепушонки) и критерию Стьюдента (мыши).

Результаты и их обсуждение. Интегральные характеристики радиорезистентности ($LD_{50/30}$) (табл. 1) показывают, что обыкновенные слепушонки являются самым радиочувствительным видом из представительной серии грызунов отряда *Rodentia* [2].

Таблица 1 – Радиорезистентность грызунов, доставленных с фоновых и радиоактивно загрязненных территорий Урала

Вид	N	$LD_{50/30}$, Гр M \pm m	Место отлова
<i>Ellobius talpinus</i> * (черная морфа) (Pall., 1770)	26	5.0 \pm 0.7	(Челябинская обл.)
<i>Ellobius talpinus</i> * (бурая морфа) (Pall., 1770)	17	5.1 \pm 0.6	(Челябинская обл.)
<i>Sylvaemus uralensis</i> * (Pall., 1811)	36	7.0 \pm 0.4	(Свердловская, Челябинская обл.)
<i>Microtus arvalis</i> * (Pall., 1778)	27	9.4 \pm 0.4	(Свердловская, Челябинская обл.)
<i>Apodemus agrarius</i> * (Pall., 1771)	57	10.0 \pm 0.2	(Свердловская, Челябинская обл.)
<i>Clethrionomys rutilus</i> (Pall., 1779)	56	12.8 \pm 0.4	(Челябинская обл.)

* - обозначены виды, для которых впервые оценена $LD_{50/30}$.

Радиорезистентность грызунов, отловленных на фоновых участках и радиоактивно загрязненных территориях, не различается. Отсутствие различий в $LD_{50/30}$ установлено также у слепушонок, принадлежащих к разным цветовым морфам (табл.1), что подтверждает нашу точку зрения [2, 9] о видоспецифичности и генотипической детерминации радиорезистентности, как одной из биологических характеристик вида.

При изучении АО установлено: спонтанный уровень клеток с микроядрами в группах импакт-контроль у слепушонок не различался (1.18 \pm 0.31 % и 1.06 \pm 0.2 %), в то время как у мышей из зоны ВУРСа число микроядер в спонтанном тесте было существенно выше (5.3 \pm 0.69 % и 1.8 \pm 0.30 %, $p=0,001$). У обоих видов выявлены клетки с множественными микроядрами разной формы (круглые, палочки, запятые), частота встречаемости которых в импактной выборке была в несколько раз выше, чем в контроле.

Д2 вызвала у слепушонок с импактного участка двукратное увеличение числа клеток с МЯ. В группе Д1+Д2 их количество оказалось даже

несколько меньше, чем в спонтанном тесте, что демонстрирует наличие выраженного АО у *El. talpinus* из радиоактивно неблагоприятной среды [3]. У контрольных особей АО не обнаружен (число клеток с МЯ в группе Д1+Д2 оказалось в 2.7 раза выше).

У мышей с обоих участков, напротив, показана практически одинаковая способность к формированию АО (различия в группах сравнения незначимы). Д1 не изменила значений показателя, Д2 – достоверно (в 3 - 5) раз увеличила процент выхода ПХЭ с МЯ. В группах Д1+Д2 зарегистрирован сходный АО (частота ПХЭ с МЯ по сравнению с таковой в варианте Д2 была достоверно снижена). Аналогичную по динамике картину цитогенетического АО наблюдали у полевых мышей (*Ap. agrarius* Pall., 1771).

Близкие величины АО в группах сравнения обоих видов мышей, объясняются миграциями животных. Мечение грызунов в зоне ВУРСа тетрациклином показало высокую миграционную активность *S. uralensis* (Pall., 1811), *Ap. agrarius* (Pall., 1771) и *Cl. rutilus* (Pall., 1779) за пределы зоны загрязнения, доля мигрантов в разные годы варьировала от 5 до 30 % [4]. Сходная величина миграций зарегистрирована нами и по радиоактивной метке (^{90}Sr). На узкой территории ВУРСа мыши перемещаются на расстояния, сопоставимые с поперечными размерами зоны загрязнения, что приводит к формированию населения с меняющимся составом и доказывает отсутствие изоляции. Об этом свидетельствуют увеличение некоторых показателей генетического разнообразия, оцененных по изменчивости микросателлитной ДНК у красных полевок с сопредельного участка [7]. Миграции животных на локальной территории ВУРСа снижают возможность закрепления адаптивных изменений в поколениях грызунов вагильных видов и являются основой передачи радиационных эффектов на сопредельные территории.

Грызуны рода *Ellobius* (Fischer, 1814) – относительно малоподвижны (в плане миграций), специализированны к подземному образу жизни, напротив, являются примером вынужденной адаптации к радиоактивной среде в череде поколений. Об этом свидетельствуют отсутствие различий по частоте хромосомных аберраций между импактными и контрольными особями [1], признаки гормезиса по показателям системы гемопоза и выраженный АО у зверьков из импактной выборки при его отсутствии у животных с контрольного участка [3]. Радиоадаптация – увеличение радиоустойчивости особей, входящих в хронически облучаемые популяции, к дополнительному облучению в высоких дозах [8]. Слепушонки характеризуются наибольшей радиочувствительностью, в то же время, проявляют устойчивость хромосомного аппарата клеток к хроническому радиационному воздействию (выраженный АО). Отсутствие корреляции между этими параметрами указывает на сложность и неоднозначность процессов адаптации животных к хроническому облучению. Чем чувствительнее вид, тем при меньшей мощности дозы наблюдается возрастание радиорезистентности, связанное с

отбором радиорезистентных форм [8]. Наиболее существенным моментом является активация систем репарации пропорциональная мощности дозы. Успешная радиоадаптация слепушонок в зоне ВУРСа связана, прежде всего, с их экологической специализацией – подземным образом жизни и низкой (в пределах поселения) миграционной активностью.

Выводы. 1. Обыкновенные слепушонки являются наиболее радиочувствительным видом в отряде Rodentia, что связано с эколого-физиологическими особенностями и образом жизни животных. Обитание в биотопах, лишенных естественной инсоляции, препятствует развитию у слепушонок предадаптации к острому облучению.

2. Неоднозначность устойчивости грызунов разной экологической специализации к острому (лабораторный эксперимент) и хроническому радиационному воздействию (обитание в зоне загрязнения) обусловлены экологической специализацией вида.

3. Впервые на основе использования методов количественной радиобиологии (адаптивный ответ) показана реальная возможность радиоадаптации грызунов рода *Ellobius* в зоне радиоактивного загрязнения.

Работа частично поддержана Программой комплексных фундаментальных исследований УрО РАН (№ 15-2-4-21).

Список литературы

1. Гилева Э.А. Хромосомная нестабильность у грызунов с территории ВУРСа: межвидовые сравнения / Э.А. Гилева // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2002. – Т. 42. – № 6. – С. 665 – 668.

2. Григоркина Е.Б. Природная радиорезистентность как критерий видоспецифичности (на примере крупных таксонов отряда Rodentia) / Е.Б. Григоркина // Доклады РАН. – 2002. – Т. 385. – № 2. – С. 283 - 285.

3. Григоркина Е.Б. Эффекты малых доз: адаптивный ответ у грызунов (*Ellobius talpinus* Pall.), обитающих в среде, загрязненной радионуклидами / Е.Б. Григоркина // Докл. РАН. – 2010. – Т. 430. – № 4. – С. 565 - 567.

4. Григоркина Е.Б. Миграции грызунов в зоне влияния Восточно-Уральского радиоактивного следа (радиобиологический аспект) / Е.Б. Григоркина, Г.В. Оленев // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2013. – Т. 76. – № 1. – С. 76 - 83.

5. Заичкина С.И. Зависимость длительности сохранения адаптивного ответа в клетках костного мозга мышей от дозы гамма-облучения in vivo / С.И. Заичкина, Д.Ю. Клоков, О.М. Розанова и др. // Генетика. – 1999. – Т. 35. – № 9. – С. 1274 - 1279.

6. Пелевина И.И. Радиоиндуцированный адаптивный ответ у детей и влияние на него внешних и внутренних факторов / И.И. Пелевина, Г.Г. Афанасьев, А.В. Алещенко и др. // Радиационная биология. Радиационная экология. – 1999. – Т. 39. – № 1. – С. 106 - 112.

7. Ракитин С.Б. Анализ микросателлитной ДНК у грызунов из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа и сопредельных территорий / С.Б. Ракитин, Е.Б. Григоркина, Г.В. Оленев // Генетика. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 453 – 460.

8. Шевченко В.А. Генетические последствия действия ионизирующих излучений / В.А. Шевченко, М.Д. Померанцева – М.: Наука, 1985 – 279 с.

9. Lyubashevsky N.M. Stress and radioresistance (genetic aspects) / N.M. Lyubashevsky, E.B. Grigorkina // Radiat. Prot. Dosim. – 1995. – № 1/2. – P. 27 - 30.

References

1. Gileva E.A. *Hromosomnaja nestabil'nost' u gryzunov s territorii VURSa: mezhhvidovye sravnenija* [Chromosomal instability in rodents from the EURT territory: Interspecific comparisons]. *Radiats. Biol. Radioekol.*, 2002, vol. 42, no. 1, pp. 665 – 668.
2. Grigorkina E.B. *Prirodnaja radiorezistentnost' kak kriterij vidospecifichnosti (na primere krupnyh taksonov otrjada Rodentia)* [Low-Dose Radiation Effects: Adaptive Response in Rodents (*Ellobius talpinus* Pall.) Inhabiting Radionuclide Contaminated Environment]. *Doklady Biological Sciences*, 2010, vol. 430, pp. 42 – 44.
3. Grigorkina E.B. *Jeffekty malyh doz: adaptivnyj otvet u gryzunov (Ellobius talpinus Pall.), obitajushhih v srede, zagriznennoj radionuklidami* [Natural Radioresistance as a Criterion of Species (as Exemplified by Large Taxa of the Order Rodentia)]. *Doklady Biological Sciences*, 2002, vol. 385, pp. 371 – 373.
4. Grigorkina E.B., Olenov G.V. *Migracii gryzunov v zone vlijaniya Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda (radiobiologicheskij aspekt)* [Migration of Rodents in the Eastern Urals Radioactive Trace Zone (Radiobiological Aspect)]. *Radiats. Biol. Radioekol.* 2013, vol. 76, no. 1, pp. 76 – 83.
5. Zaichkina S.I. et al. *Zavisimost' dlitel'nosti sohraneniya adaptivnogo otveta v kletkah kostnogo mozga myshej ot dozy gamma-obluchenija in vivo* [Relationship between the Duration of Radiation Adaptive Response in Bone Marrow Cells of Mice and the Dose of γ -irradiation in Vivo]. *Russian Journal of Genetics* 1999, vol. 35, no. 9, pp. 1097 - 1102.
6. Pelevina I.I. et al. *Radioinducirovannyj adaptivnyj otvet u detej i vlijanie na nego vneshnih i vnutrennih faktorov* [Radioinduced adaptive response in children and influence external and internal factors]. *Radiats. Biol. Radioekol.*, 1999, vol. 39, no. 1, pp. 106 - 112.
7. Rakitin S.B. et al. *Analiz mikrosatellitnoj DNK u gryzunov iz zony Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda i sopredel'nyh territorij* [Analysis of Microsatellite DNA in Rodents from Eastern Urals Radioactive Trace Zone and Contiguous Territories]. *Russian Journal of Genetics*, 2016, vol. 52, no.4, pp. 398 – 404.
8. Shevchenko V.A., Pomerantseva M.D. *Geneticheskie posledstviya deystviya ionisiruyushchih izlucheniy* [Genetic consequences of ionizing radiation]. Moscow, 1885, 279 p.

Сведения об авторе:

Григоркина Елена Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. Институт экологии растений и животных УрО РАН (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, тел. (343)2103858 (244), e-mail: grigorkina@ipae.uran.ru).

Information about authors:

Grigorkina Elena B. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher. Institute of Plant and Animal Ecology, UrB RAS (202, 8 March St., Ekaterinburg, Russia, 620144, tel. (343) 2103858 (244), e-mail: grigorkina@ipae.uran.ru).

УДК 599.735.31

ЛЕСНОЙ СЕВЕРНЫЙ ОЛЕНЬ (*Rangifer tarandus* Fler, 1933) В ПРИРОДНОМ ПАРКЕ “ЕРГАКИ” (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

И.В. Грязин, В.А. Матюшко

Природный парк “Ергаки”, с. Ермаковское Красноярского края, Россия

В статье приводятся сведения о современном состоянии популяции лесного северного оленя *Rangifer tarandus valentinae* Fler., 1933 на юге Красноярского края, в