Сравнение лучевых доз и их эффектов приводит к заключениям, которые не могут быть объяснены без привлечения концепции радиоадаптации. У малой лесной мыши с участка загрязнения по стронцию-90 500 Ки/км^2, с поглощенной дозой на костный мозг от 7 до 50 сГр в течение жизни (максимальная поглощённая доза у перезимовавших особей — 65 сГр), найдены существенные количественные и даже качественные нарушения гемопоэза, достоверные цитогенетические сдвиги, глубокие изменения системы иммунитета, метаболические нарушения, у полёвок из этого же района — повышенный уровень хромосомных аберраций и мутации (Гилева и др., 1996). При этом у обыкновенной слепушонки, обитающей на участке с загрязнением по стронцию-90 1000 Ки/км^2, с поглощённой дозой на костный мозг от 720 до 4300 сГр за жизнь и максимальной — 5000 сГр, отличающейся от контрольных животных по ряду показателей, — всё-таки ни одна из систем организма не может быть признана патологически измененной. Т.е. если грызуны из пятисоткюрийной зоны радиоадаптированы, то радиоадаптация слепушонки из тысячикюрийной зоны должна быть признана гораздо более полной и успешной. Главное различие между этими группами, имеющее решающее значение в развитии той или иной степени радиоадаптации — почти полное отсутствие миграционной активности у слепушонки при заметной (около 10% мигрантов в выборке) степени дисперсии у мышей и полевок.

В реконструкции событий радиоадаптации, которая представляется нам необходимой частью анализа, мы опирались на общую схему акклиматизации, разработанную С.С. Шварцем (1969). После радиационной аварии 1957 года, когда дозовые нагрузки в подстилке составляли десятки тысяч сГр, выжили и заселили загрязненные территории преадаптированные особи, значительно увеличился также приток мигрантов с «чистых» территорий. В течение первых десятков поколений резко возросла внутрипопуляционная гетерогенность, обеспечившая материал для естественного отбора на адаптированность к малоподвижности и предпочтению прохладных и затененных местообитаний, обеспечивающих меньшие энергозатраты и меньшую радиопоражённость, а также на успешную репродукцию в условиях повышенного радиационного фона. Без ограничения миграционной активности не могло бы быть успеха в адаптации. Снижение иммунного контроля привело к увеличению продуктивности воспроизводства потомства, наследующего ряд совместимых с жизнью повреждений, однако в свою очередь адаптированного к радиоактивной среде. Это обеспечивает селективные преимущества аборигенов перед «чистыми» мигрантами, тем более, что вселившиеся на радиоактивную территорию неадаптированные особи, даже успешно обитая на ней, медленнее растут и значительно хуже размножаются (Бигон и др., 1989). У слепушонки в условиях высокой изоляции процесс радиоадаптации происходил значительно быстрее и с большей полнотой. К настоящему времени, очевидно, этап морфо-физиологической адаптации у неё завершен или почти завершен и мы наблюдаем тканевой уровень адаптации (Шварц, 1969), который должен быть зафиксирован на уровне ДНК. У активно мигрирующих видов процессы радиоадаптации задерживаются на этапе морфо-физиологических сдвигов именно вследствие постоянного притока генов неадаптированных животных.

Таким образом, в настоящее время радиоадаптация мелких млекопитающих, обитающих на интенсивно загрязнённой радионуклидами территориях ВУРСа, не может быть подвергнута сомнению. Среди многих недостаточно еще проясненных аспектов радиоадаптации млекопитающих важнейшим представляется нам вопрос о минимальных дозовых нагрузках, которые способны инициировать этот процесс, что имеет прямое отношение к проблеме экстраполяции данных от животных из радиоактивной среды к человеку.

Авторы приносят благодарность коллегам, участвовавшим в отлове животных и обсуждении материалов работы, в частности, с.н.с., к.б.н. Е.Б. Григоркиной, н.с., к.б.н. М.В. Чибиряку и н.с., к.б.н. Е.Ю. Захаровой.

Работа поддержана РФФИ (№№ 00–05–65066, 01–05–96445).

ФЕНОГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИЙ МАЛОЙ ЛЕСНОЙ МЫШИ (*APODEMUS URALENSIS* PALL.) В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

И.А. Васильева*, А.Г. Васильев*, Н.М. Любашевский*, М.В. Чибиряк*, Е.Ю. Захарова*, О.В. Тарасов**

** Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия; **Восточно-Уральский государственный заповедник, ПО «Маяк», Озерск, Россия*

Цель данной работы состояла в проведении сравнительного фенетического исследования поселений малой лесной мыши (*Apodemus uralensis* Pall.) в различных зонах Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) с разной степенью техногенного радиоактивного загрязнения для оценки вероятных отдаленных морфогенетических эффектов хронического облучения, выражающихся в проявлении характерных аберраций и уродств в строении черепа животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сравнивали зверьков из загрязненных (импактных) и контрольных участков ВУРС. Исследования проводили в головной (южной) части следа в 2000–2001 гг., а также в его хвостовой (северной) части в 1992, 1993 и 2001 гг.

Импактные территории: ВУРС1 — участок в головной части ВУРС, расположенный в разреженном березовом лесу в 12 км к западу от пос. Метлино Каслинского района Челябинской области, с плотностью радиоактивного загрязнения по стронцию-90 400–540 Ки/км^2 (Тарасов, 2000); ВУРС2 — участок в северной части ВУРС в березово-осиновом лесу вблизи оз.Тыгиш в 4,5 км. от пос. Рыбниковское Каменского района Свердловской области с исходным уровнем загрязнения около 5 Ки/км^2 (Юшков и др., 1993).

Контрольные выборки (сборы малой лесной мыши из территорий, прилегающих к ВУРС): Контроль1 — участок за пределами ВУРС, расположенный на побережье оз. Кожакуль (Челябинская область), плотность загрязнения 0.2–1,1 Ки/км^2 (Тарасов, 2000); Контроль2 — березово-осиновый лес в окрестностях д. Б. Грязнуха (Каменский р-н Свердловской области); Контроль3 — в березово-осиновом лесном массиве вблизи шламохранилища Уральского алюминиевого завода (УАЗ), ближайший населенный пункт — д. Пирогово (Каменский р-н Свердловской области); плотность радиоактивного загрязнения этих участков находится в пределах 0.1 Ки/км^2 (Юшков и др. 1993). В качестве удаленной внешней контрольной группы, имеющей фоновый уровень загрязнения (Ааркрог и др. 1998), дополнительно использовали выборку из Ильменского государственного заповедника (ИГЗ). Всего было изучено 325 черепов животных.

Авторы благодарны О.А. Лукьянову, Н.Г. Евдокимову, К.И. Бердюгину, Л.П. Шаровой, В.П. Позмоговой, С.В. Мухачевой, Т.Н. Сурковой за помощь при сборе материала в северной части ВУРС, а также Г.В. Оленеву и Е.Б. Григоркиной за предоставленные материалы из Ильменского заповедника.

В ходе феногенетического анализа черепов выявили 55 фенов — вариаций, аберраций и уродств в строении черепа (Berry, 1963; Васильев и др. 1986, Markov, Chassovnikarova, 1999), из которых 33 не проявили значимой связи с возрастом, полом или друг с другом, что позволило использовать их в дальнейшей работе для расчета фенетических дистанций на выборках максимального объема без подразделения по полу и возрасту. В каждой выборке, поэтому, вычислили частоты встречаемости 33 морфогенетических аберраций (фенов), по которым провели факторный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе факторного анализа частот встречаемости фенов выделились три фактора, на долю которых приходится 83,6% межгрупповой дисперсии. На рисунке 2 представлена ординация центроидов выборок в факторном пространстве. Фенетические дистанции между выборочными центроидами в плоскости первой и второй факторных осей хорошо согласуются с взаимным географическим положением выборок ($r = 0,88$; $p < 0,001$).

На других видах такая корреляция географических и морфологических дистанций была ранее уже выявлена в ряде работ (Васильев, 1984; Васильев, Васильева, Большаков, 2000). Вдоль третьего фактора проявилось своеобразие выборки ВУРС1, которая была получена на участке с уровнем радиоактивного загрязнения около 500 Ки/км^2. На долю межгрупповых различий в этом направлении приходится 17,5% от общей дисперсии. Можно полагать, что смещение центроида выборки ВУРС1 вдоль оси третьего фактора связано, главным образом, с аберрациями в строении черепа и морфогенетическими нарушениями, обусловленными хроническим облучением данной импактной популяции малой лесной мыши на южном участке ВУРС с высокой плотностью

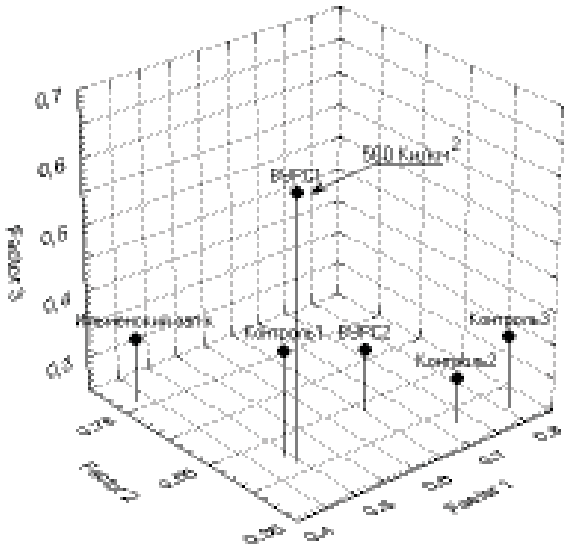

Рисунок. Расположение центроидов импактных и контрольных выборок в пространстве первых трех факторов.

радиоактивного загрязнения. Анализ фенетических дистанций между выборками малой лесной мыши на контрольных и импактных участках в южной и северной частях ВУРС выявил более высокий уровень феногенетического своеобразия импактной выборки в головной (южной) части следа, хотя в пространственном отношении южные выборки были взяты в 3 раза ближе друг к другу, чем северные.

Таким образом, мониторинг популяций малой лесной мыши, проводившийся в Каменском районе Свердловской области в течение десятилетнего периода (1992–2001 гг.) и Каслинском районе Челябинской области (2000–2001), показал, что на импактной территории (по оси Восточно-Уральского радиоактивного следа — ВУРС) устойчиво проявляется повышенное морфологическое разнообразие, обусловленное увеличением доли мелких морфогенетических аберраций и уродств в строении черепа. В южной части ВУРС выявлено направленное уклонение импактной выборки, отловленной на участке с плотностью радиоактивного загрязнения около 500 Ки/км^2, от контрольных, обитающих за пределами ВУРС, по частотам фенов неметрических признаков черепа. Предполагается, что это обусловлено хроническим влиянием радиационного загрязнения на процесс индивидуального развития малой лесной мыши и накоплением мелких генетичес-

ких аберраций, приводящих к проявлению повышенной концентрации фенотипических уродств в зоне ВУРС.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (01–05–96445 и 02–04–96434).

ЛИТЕРАТУРА

Ааркрог А., Дальгардт Х., Нильсен С.П., и др. Радионуклиды в зонах воздействия двух ядерных инцидентов: Кыштым, 1957; оз. Карачай, 1967 // Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин. Заречный, 1998. С.5–49.

Васильев А.Г. Изоляция расстоянием и дифференциация популяций // Журн. Общ. Биол. 1984. Т. 45..№ 2. С.164–176.

Васильев А.Г., Васильева И.А., Большаков В.Н. Эволюционно-экологический анализ устойчивости популяционной структуры вида (хроно-географический подход). Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2000, 132 с.

Васильев А.Г., Васильева И.А., Любашевский Н.М., Стариченко В.И. Экспериментальное изучение устойчивости проявления неметрических пороговых признаков скелета у линейных мышей// Генетика. 1986. Т.22. № 7. С.1191–1198.

Тарасов О.В. Радиоэкология наземных позвоночных головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа: Автореф. дис. ... канд. биол.наук. Озерск, 2000. 16 с.

Юшков П.И., Трапезников А.В., Молчанова И.В. и др. Радиоэкологические исследования прибрежной зоны водосбора озер на территории ВУРСа Свердловской области // Реализация Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона, Екатеринбург, 1993. С.9–10.

Berry R.J. Epigenetic polymorfism in wild populations of *Mus musculus* // Genet. Res. Camb. 1963. № 4. P. 193–220.

Markov G., Chassovnikarova T. Epigenetic characteristics and divergence between populations of *Apodemus sylvaticus* in Bulgaria // Folia zool. 1999. V. 48 (Suppl. 1) P. 3–10.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ У РЫЖИХ ПОЛЕВОК СРЕДНЕГО УРАЛА В СВЯЗИ С ИХ РЕПРОДУКТИВНЫМ СТАТУСОМ

С.Б. Ракитин, О.В. Полявина

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Известно, что физиологическое состояние организма может оказывать существенное влияние на динамику хромосомной нестабильности. Однако особенности его влияния на уровне популяций изучены слабо. Размножающиеся животные характеризуются специфическим гормональным статусом и подвергаются повышенным стрес-

сирующим нагрузкам. Влияние гормонального статуса организма на интенсивность процессов мутагенеза в соматических клетках было продемонстрировано во многих экспериментальных работах. Остается неясным какой вклад он может вносить в изменчивость цитогенетических параметров у животных в природных популяциях. Цель данной работы заключалась в изучении цитогенетической нестабильности у рыжих полевок разного репродуктивного статуса из двух локалитетов Среднего Урала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследованы природные популяции рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) из двух локалитетов Свердловской области: из окрестностей с. Шигаево Шалинского р-на (275 животных, 7750 клеток) и с биостанции УрГУ, в окрестностях п. Двуреченск Сысертского р-на (20 самок, 1500 клеток), где отмечены фоновые уровни загрязнения мутагенами антропогенной природы. Отлов животных проведен с мая по сентябрь 1997–2000 гг. Препараты метафазных хромосом приготовлены стандартным способом из клеток костного мозга. От каждой особи анализировали от 25 до 100 клеток. Возраст был установлен по степени возрастных изменений зубов. Размножающимися считали самцов с массой семенника более 150 мг, а также со спавшимися семенниками. Среди размножающихся самок рассматривали только беременных, самок с плацентарными пятнами исключали из анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из рисунка 1 видно, что размножающиеся перезимовавшие животные и размножающиеся сеголетки, как самцы, так и самки из с.Шигаево характеризуются более высоким уровнем хромосомных аберраций, по сравнению с неразмножающимися сеголетками. Структура материала не позволила провести трехфакторный дисперсионный анализ с учетом пола, возраста и репродуктивного статуса полевок, поскольку в выборках отсутствовали перезимовавшие неразмножающиеся животные. При проведении двухфакторного дисперсионного анализа (факторы «пол» и «репродуктивный статус с учетом возраста») значимым оказалось влияние на частоту хромосомных аберраций репродуктивного статуса и пола особи ($F = 10,76$ и $F = 11, 10$; $p < 0,0001$ и $p < 0,0001$; $df = 1/269$). Максимальный уровень аберраций хромосом наблюдается у перезимовавших размножающихся самок. Оценка по методу множественных сравнений Шеффе показала достоверность отличий этой группы животных от перезимовавших размножающихся самцов и от неразмножающихся самцов и самок сеголеток, при этом все остальные попарные сравнения оказались недостоверными.

У полевок с биостанции УрГУ частота хромосомных аберраций у беременных перезимовавших самок оказалась выше, чем у самок-сеголеток независимо от их репродуктивного статуса (см. рис. 2). Однако эти различия не являются статистически достоверными ($F = 1,63$; $p = 0,217$; $df = 1/18$), вероятнее всего из-за малочисленности выборок. При дальнейшем анализе были установлены достоверные межпопуляционные различия среди самок по частоте хромосомных аберраций ($F = 82,4$; $df = 1/128$; $p < 0,0001$), а также подтверждено значимое влияние на этот показатель их репродуктивного статуса ($F = 8,57$; $df = 1/128$; $p = 0,004$).