

БОРИСОВ Ю.М.

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
Россия, 119071, Москва, Ленинский пр. 33. e-mail: boris@sevin.ru*

ЯВЛЯЮТСЯ ЛИ ВЫСОКИЕ ЧИСЛА МИКРО-В-ХРОМОСОМ ВОСТОЧНОАЗИАТСКОЙ МЫШИ *APODEMUS PENINSULAE* ВОЗМОЖНЫМ ИНДИКАТОРОМ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ?

Как известно, хромосомные преобразования генома мелких млекопитающих происходят в 10 раз быстрее, чем у крупных млекопитающих, поэтому исследования проводимые, в частности на грызунах, являются прогностическими в отношении эффектов техногенного загрязнения на последующие поколения людей.

Благодаря мобильности гетерохроматических районов, В-хромосом и “прыгующим” генам создается разнообразие генома, ведущее к ускорению его эволюционных преобразований.

В ряде случаев, появление В-хромосом и изменение их частоты связывается с адаптивными и техногенными процессами. Уникальным модельным видом для регистрации изменчивости В-хромосом в результате воздействия техногенных процессов на млекопитающих является восточноазиатская мышь. На ее обширном ареале от Алтая до Приморья почти все мыши имеют разнообразные варианты системы, состоящие из макро-(1-10) и микро-(1-30) В-хромосом. У этого вида число В-хромосом варьирует от 1 до 30 [1]. Первичными для этого вида являются микро-В-хромосомы.

В работе приведены новые данные по распространению и частоте микро-В-хромосом в популяциях восточноазиатской мыши из районов подверженных техногенному воздействию.

Материалы и методы

Выборки восточноазиатской (корейской) мыши *Apodemus peninsulae* были взяты из двух районов подверженных техногенному воздействию.

Четыре пункта отлова 26 мышей находились в 105–300 км ниже по течению реки Енисей от г. Красноярска — крупного промышленного центра, или в 40, 85, 115 и 235 км ниже по течению реки Енисей от г. Железногорска. В этих местах, результаты влияния эксплуатации атомного реактора и радиохимическое производство Горно-химического комбината (ГХК), особенно сильно проявляются на представителях животного и растительного мира в затопляемой пойме и в 50 м береговой полосе реки Енисей [2].

Другое место обследования 16 мышей находилось в окр. пос. Артыбаш расположенного на северном побережье Телецкого озера (Республика Горный Алтай). Этот район и прилегающие к нему территории известны как места падения вторых ступеней ракет запускаемых с космодрома Байконур [3]. Хромосомные препараты были приготовлены по стандартной методике

из клеток костного мозга и селезенки. Числа и морфотипы В-хромосом определяли по 20 метафазным клеткам.

Результаты и обсуждение

У 26 восточноазиатских мышей отловленных на территории протяженностью 160 км по левому берегу реки Енисей впервые выявлено множество микро-В-хромосом (от 4 до 30). Все изученные особи из четырех пунктов отлова, по-видимому, принадлежат к одной популяции мышей с микро-В-хромосомами. В одном из этих пунктов в окр. села Берег-Таскино все 17 мышей также имели только микро-В-хромосомы (12-30). В этой популяции обнаружено новое максимальное число В-хромосом известное у восточноазиатской мыши равное 30. Ранее среди более 1000 изученных особей восточноазиатской мыши из почти 80 пунктов отлова в различных местах ее ареала не было известно популяций имеющих исключительно точечные В-хромосомы.

Как известно, эксплуатация ГХК привела к радиоактивному загрязнению поймы р. Енисей на значительном расстоянии вниз по течению от места сброса отходов производства. Цитогенетические исследования корней водного растения элодеи в этих местах показали, что начиная с района сбросов ГХК (село Атаманово) резко возрастает встречаемость хромосомных нарушений в ана-телофазных и метафазных клетках элодеи по сравнению с контрольным районом [2].

В результате радиационного загрязнения поймы реки Енисей, у восточноазиатских мышей обитающих в этих местах, должна возрасти частота разрывов в горячих точках микро-перестроек А-хромосом. Сравнительный анализ высокоповторяющейся ДНК А- и В-хромосом мышей с помощью FISH показал, что микро-В-хромосомы являются производными фрагментами прицентромерных районов А-хромосом [4]. По-видимому, мутации А-хромосом способствует увеличению частоты формирования первичных микро-В-хромосом и образованию множества микро-В-хромосом. В обследуемой популяции восточноазиатских мышей с исключительно микро-В-хромосомами не происходит дальнейшей их реорганизации в типичные для этого вида макро-В-хромосомы. Вследствие этого, по-видимому, идет постоянный процесс накопления микро-В-хромосом, с возможной их элиминацией при достижении критического для особи их числа.

К районам подверженным техногенному воздействию (аэропром-выбросы ЦБК) относится и южное побережье озера Байкал, где расположен Байкальский ЦБК. В этих местах популяционная система В-хромосом мышей характеризуется 1-2 мелкими двуплечими и 1-12 микро-В-хромосомами. В этом районе у мышей обнаружено максимальное для этого региона число микро-В-хромосом равное 12. Подобная система с множеством микро-В-хромосом (до 14) и 1-2 макро-В-хромосомами выявлена нами также и у мышей в Красноярском крае в окр. г. Зеленогорска — города атомной промышленности расположенном на левом берегу реки Кан, а также в местах удаленных от него на 40 и 80 км ниже по течению реки Кан.

Уникальный случай ускоренной эволюции системы В-хромосом мы обнаружили в популяции Горного Алтая (окр. пос. Артыбаш на Телецком озере). Здесь в течение 26 лет наблюдается процесс увеличения числа В-хромосом, сопровождающийся сменой их морфотипов [5]. Данный регион длительное время подвергается воздействию факторов техногенной природы, в частности, в результате падения ступеней ракет с ядовитым компонентом топлива гептилом (НДМГ). Все красные полевки (*Clethrionomus rutilus* Pall.) в выборке из окрестностей поселка Артыбаш имели выраженные проявления патологических процессов в дыхательной системе и печени. В районе поселка Артыбаш не выявлено “здоровых” полевок *Clethrionomys rutilus* и показатели их крови соизмеримы с таковыми из зоны Чернобыльской аварии [6]. За период изучения данной популяции восточноазиатских мышей, после первичного обследования этой популяции в 1980 году, в ней произошло почти трехкратное увеличение среднего числа В-хромосом. От 2,3 в 1980 году до 6,5 в 2002, 2006 годах [5].

При анализе этой популяции (16 мышей) в 2008 году, было выявлено, что индекс среднего числа В-хромосом достиг 6,9. В основном за счет увеличения доли мелких В-хромосом. Появление мелких В-хромосом в 2002 году и рост их числа в 2006, 2008 годах с одной стороны может указывать на активизацию процессов образования новых микро-В-хромосом, что, по-видимому, может быть связано с увеличением числа “горячих” точек разрывов в А-хромосомах и замедлением процессов амплификации ДНК В-хромосом. Что в свою очередь может быть результатом внедрения и размножения в этих хромосомах нового типа повторенных последовательностей ДНК. В работах, выполненных с помощью FISH, в микро-В-хромосомах на поздней стадии метафазы были обнаружены слабо конденсированные участки насыщенные высокими повторами ДНК [7]. По-видимому, присутствие таких повторов ДНК оказывает огромное влияние на формирование морфотипа В-хромосом. В том числе и за счет приостановления процесса реорганизации микро-В-хромосом в макро-В-хромосомы.

Таким образом, в результате 28 летнего периода (с 1980 г. По 2008 г.) исследований в окр. пос. Артыбаш был обнаружен процесс трехкратного увеличения числа В-хромосом. Сначала, этот процесс сопровождался увеличением числа макро-В-хромосом. От 2,3 в 1980 году до 4,8 в 1990 году. Следует отметить, что микро-В-хромосом у мышей этой популяции до 2002 года не было выявлено. Далее, с 1990 года и по 2002 год мы обнаружили обратный процесс уменьшения числа макро-В-хромосом с 4,8 до 4,4 и до 2,8 в 2008 году. Но при этом абсолютное значение среднего числа В-хромосом продолжало расти и достигло 6,9 в 2008 году. Рост числа В-хромосом был обусловлен появлением в 2002 году микро-В-хромосом и значительным увеличением их числа в последующий период вплоть до 2008 года.

В десятке других обследованных повторно популяций восточноазиатских мышей на их обширном ареале, и даже для некоторых из них на протяжении более 20 лет, не отмечено подобных явлений в динамике В-хромосом.

Пока эта популяция мышей Горного Алтая и происходящие здесь эколого-эволюционные процессы остаются уникальными. Какую роль в этих процессах могут играть техногенные факторы этого региона предстоит выяснить.

Выводы

1. В районе радиационного загрязнения поймы реки Енисей ниже г. Железнодорожка обнаружена популяция восточноазиатских мышей, состоящая исключительно из мышей с 12-30 точечными микро-В-хромосомами.

2. В районе Горного Алтая, на территории приближенной к местам падения ступеней ракет с гептиловым компонентом топлива, у восточноазиатской мыши за 28 летний (1980–2008 годы) период выявлен и прослежен уникальный процесс трехкратного увеличения среднего числа В-хромосом (от 2,3 до 6,9).

Литература

1. Борисов Ю.М., Афанасьев А. Г., Лебедев Т.Т., Бочкарев М.Н. Множество микро-В-хромосом в сибирской популяции мышей *Apodemus peninsulae* (2n=48+4-30В-хромосом) // Генетика. 2010. Т.46. №6. С. (в печати).

2. Болсуновский А.Я., Муратова Е.Н., Суковатый А.Г., Пименов А. В., Санжарова Е. А., Зотина Т. А., Седельникова Т. С., Панков Е. В., Корнилова М. Г. Радиоэкологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* // Радиационная биология, радиоэкология. 2007. Т.47. №1. С. 63–73.

3. Панин Л.Е., Перова А.Ю. Медико-социальные и экологические проблемы использования ракет на жидком топливе (гептил) // Бюллетень СО РАМН. 2006. Т.119. №1. С. 124–131.

4. Rubtsov N.B., Karamysheva T.V., Andreenkova O.V., Bochkarev M.N., Kartavtseva I.V., Roslik G.V., Borisov Y.M. Micro B chromosomes of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* (Rodentia, Murinae): morphology, DNA contents, and evolution // Cytogenet Genome Res. 2004. V.106. P. 289–294.

5. Борисов Ю.М. Процесс увеличения числа и вариантов системы В-хромосом мышей *Apodemus peninsulae* в популяции Горного Алтая за 26 летний период // Генетика. 2008. Т. 44. № 9. С. 1227–1237.

6. Москвитина Н.С., Кохонов Е.В., Падеров Ю.М. Состояние популяций животных (красная полевка, *Clethrionomys rutilus*, Pall.) как показатель загрязнения среды некоторых районов Горного Алтая // Томск. Популяционная экология животных. Материалы Международной конференции “Проблемы популяционной экологии животных”. 2006. С. 319–321.

7. Рубцов Н.Б., Борисов Ю.М., Карамышева Т.В., Бочкарев М.Н. Механизмы возникновения и эволюции В-хромосом мышей *Apodemus peninsulae* (Mammalia, Rodentia) // Генетика. 2009. Т.45. №4. С. 449–457.

Резюме

В популяциях восточноазиатских (корейских) мышей *Apodemus peninsulae* подверженных техногенному воздействию выявлено множество микро-В-хромосом.

In populations of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* subject to technogenic influence the set is revealed mikro-B-chromosomes.

ВАГИН Ю. В.

*Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины,
ул. Акад. Заболотного, 150, Киев, 03143, Украина;
e.mail: maliuta@imbg.org.ua*

КРИЗИС НЕОДАРВИНИЗМА И ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЕ ПУТЕМ НОВОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО СИНТЕЗА

Во второй половине минувшего века четко обозначились три узловых момента кризиса неodarвинизма (эволюционной генетики). Выяснилось, что он не способен удовлетворительно объяснить возникновение сложных признаков в процессе эволюции организмов [1]. Не вписывались в представления неodarвинизма о равномерном течении эволюционного процесса и палеонтологические данные, указывающие на разноразностной характер филогенеза [1, 2]. Особо прискорбным обстоятельством для неodarвинизма оказалось то, что эмпирическая база, подтверждающая ведущую роль отбора в процессе формирования и реорганизации генетической структуры популяций, была крайне скудна [3, 4]. Она сводилась зачастую к набору небольшого количества хрестоматийных примеров. К ним относились: инверсионный полиморфизм у дрозофилы [5], а также полиморфизм по гену серповидноклеточной анемии у человека [6] и по гену меланизма у бабочек [7]. Все указанные случаи генетического полиморфизма обуславливались селективным превосходством гетерозигот над обеими гомозиготными формами.

Именно вокруг третьего кризисного положения и развернулась крайне острая дискуссия, поскольку здесь ставилась под сомнение ведущая роль естественного отбора в историческом формообразовательном процессе.

По мнению неodarвиниста Левонтина [3] и создателя конкурирующей с неodarвинизмом эволюционной теории нейтральности Кимуры [4], многолетние усилия исследователей, направленные на сбор доказательств, подтверждающих ведущую роль естественного отбора в процессе формирования генетического полиморфизма популяций, не увенчались успехом. При этом обе стороны единодушно указывали на шаткость эмпирической базы, являющейся опорой теоретического постулата неodarвинизма о ведущей роли отбора в упомянутом выше процессе. Однако на этом их единодушие и заканчивалось.

Левонтин [3] убежден в том, что отбор принимает непосредственное участие в формировании генетического полиморфизма популяций, но не путем селекции отдельно взятых генов, а путем воздействия непосредственно на генотип (“контекст”) как целое. Таким образом, все многочисленные попытки увязать флуктуации концентраций тех или иных аллелей в различных популяциях с действием конкретных селективных факторов он считал бесплодными. По мнению Левонтина подобный подход связан с серьезным методологическим заблуждением, заключающимся в ошибочном определении точки приложения селективных сил. В соответствии с его представлениями, таковой является не отдельно взятый ген, а генотип целиком.