

детельствует, что избыточная ДНК играет огромную роль в регуляции работы кодирующих генов, В-хромосомы — частный случай variability гетерохроматических участков, только протекающей вне основного А-генома.

### Что запускает взрывную эволюцию В-хромосом

Очень трудно вычлнить единственный фактор, послуживший пусковым механизмом геномных мутаций в В-хромосомах восточноазиатской мыши Горного Алтая. *Это, должен быть, какой-то новый для региона фактор.* Видимо, его проявление каким-то образом связано с периодом взрывной эволюции В-хромосом. Может, это результат вирусной пандемии? Например, внедрения в геном мыши вируса клещевого энцефалита? Но штамм клещевого энцефалита дальневосточного субтипа имеет более сильные проявления, чем сибирский субтип. Многие факты свидетельствуют против вирусной гипотезы пусковых механизмов в преобразованиях В-хромосом.

Может, это влияние перемещающихся по геному мобильных элементов транспозонов? Но что их заставило активизировать свое перемещение по геному? Стресс? Достоверно об этом неизвестно. Откуда такой всплеск эволюции В-хромосом за время жизни небольшого числа поколений мышей? Какие внешние факторы могли способствовать росту числа и изменчивости морфотипов В-хромосом? Какие новые факторы способны приводить к подобной реорганизации генома за короткий период времени?

Есть одна особенность обследованных нами районов. Дело в том, что Горный Алтай в течение длительного времени служит местом, куда падают ступени ракет. В район падения 326, частично покрывающий Алтайский государственный заповед-

ник и прилегающий к исследуемой территории, к 2006 г. было сброшено 618 ракетных ступеней, в каждой из которых оставалось до 800 кг «знаменитого» гептила (НДМГ). Этот компонент высокотоксичного ракетного топлива относится к отравляющим веществам 1-го класса опасности. Так, Л.Е.Панин и А.Ю.Перова в лабораторных опытах обнаружили, что у новорожденных крысят гептил вызывает иммунодефицит и дистрофические изменения в печени, а также повреждает эритроцитарные мембраны [11].

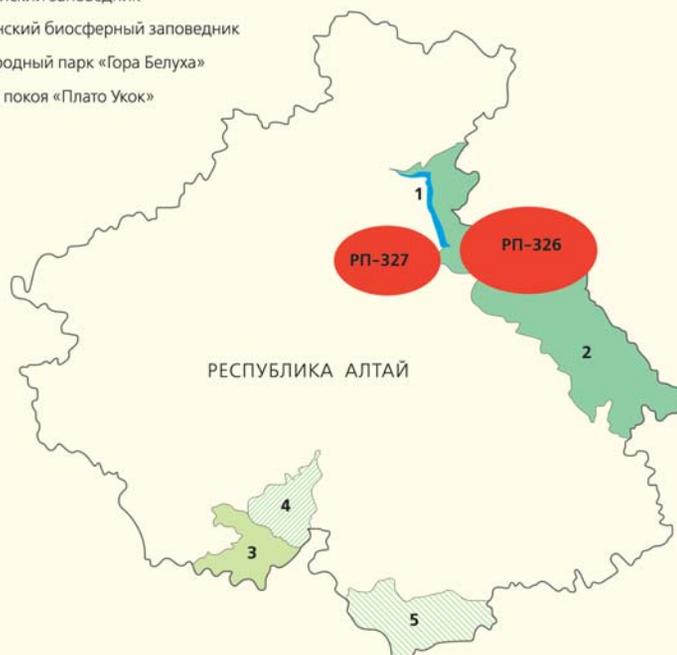
При окислении кислородом воздуха гептил превращается в сильнейший мутаген — метилдиазгидроксид, сохраняющийся в почве неопределенно долго. Его производные имеют свойство накапливаться в растительном покрове, основном питательном ресурсе полевков и мышей. По данным зоологов из



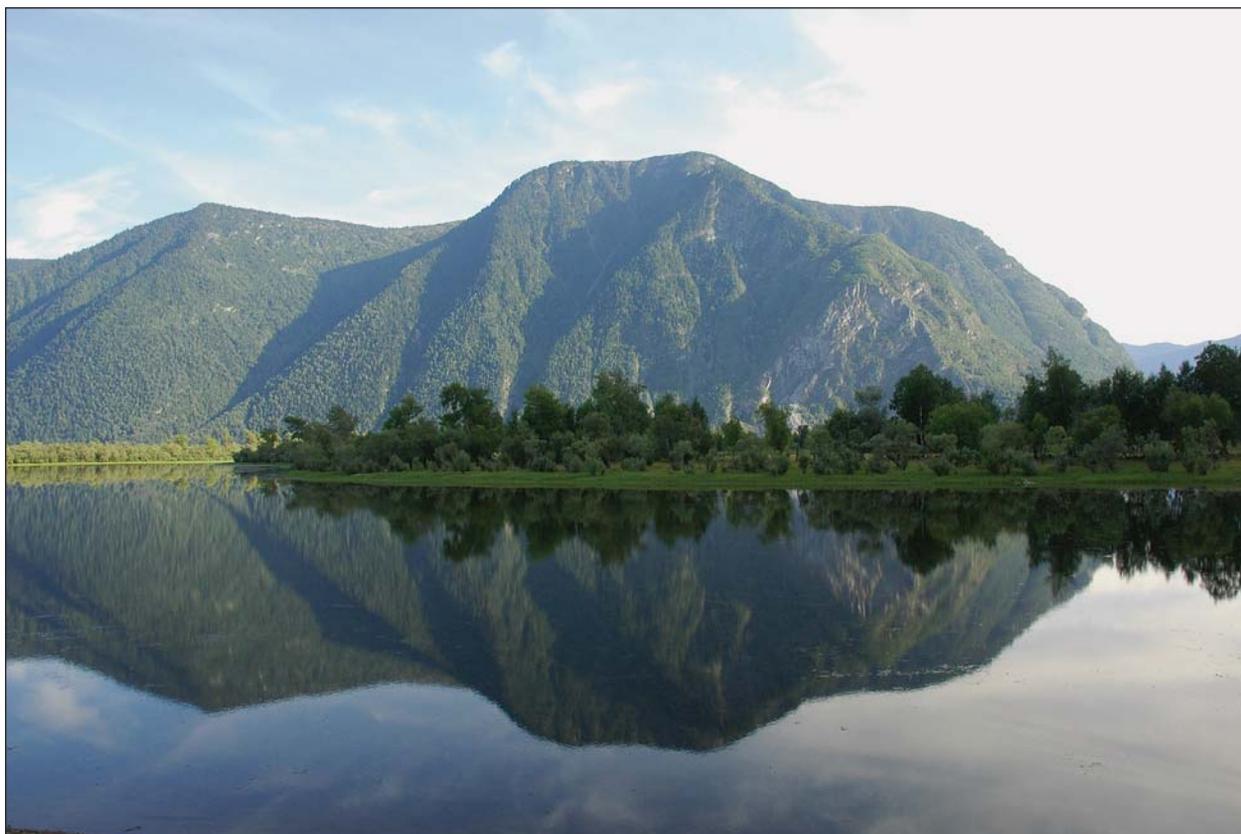
Метафазная пластинка мыши *A.peninsulae* из окрестностей пос.Артыбаш с 10 макро-В-хромосомами (2006).

Томского университета, у красных полевков (*Clethrionomus rutilus*, Pall.) из окрестностей пос.Артыбаш ярко выражены патологические процессы в дыхательной системе и печени [12].

- 1 Телецкое озеро
- 2 Алтайский заповедник
- 3 Катунский биосферный заповедник
- 4 Природный парк «Гора Белуха»
- 5 Зона покоя «Плато Укок»



Расчетные районы падения (РП) вторых ступеней ракет (РП-326 и -327) в районе Телецкого озера.



Районы падения ступеней космических ракет, запускаемых с космодрома Байконур: РП-326 (вверху) и РП-327 (внизу).

Биологи Казахского университета в эксперименте показали, что гептил при затравке крыс вызывает в клетках костного мозга в два раза больше хромосомных aberrаций по сравнению с контролем [13]. При обследовании населения Мезенского р-на (места падения ступеней ракет с космодрома Плесецк) архангельские медики установили, что у местных жителей количество онкологических заболеваний увеличено в три раза [14].

Результаты этих исследований говорят о необходимости изучения процессов, происходящих в районах падения ступеней ракет. Оценка состояния популяций мышевидных грызунов может служить хорошим критерием техногенных воздействий.

Мы предполагаем, что в целом варианты системы В-хромосом мышей исследованных популяций восточноазиатской мыши по всему ее ареалу на протяжении длительного времени, по-видимому, остаются

относительно стабильными, а их изменчивость регулируется гомеостатическими процессами. При нарушении этих процессов, в частности в результате воздействия возмущающих факторов, цикличность подъема и спада числа В-хромосом по годам может быть нарушена. Такой феномен, сопровождающийся необычным ростом числа В-хромосом у восточноазиатских мышей, мы, вероятно, и наблюдаем на побережье Телецкого озера (Республика Алтай). ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-04-01390-а и 11-04-11513-с.**

## Литература

1. *Camacho J.P.M., Sharbel T.F., Beukeboom L.W.* В chromosome evolution // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 2000. V.355. P.163—178.
2. *Борисов Ю.М.* Система В-хромосом восточноазиатской мыши как интегрирующий и дифференцирующий признак популяций // Доклады АН СССР. 1986. Т.288. Т.3. С.720—724.
3. *Борисов Ю.М., Афанасьев А.Г., Лебедев Т.Т., Бочкарев М.Н.* Множество микро-В-хромосом в сибирской популяции мышей *Apodemus peninsulae* ( $2n = 48 + 12 - 30$  В-хромосом) // Генетика. 2010. Т.46. №6. С.798—804.
4. *Рубцов Н.Б., Борисов Ю.М., Карамышева Т.В., Бочкарев М.Н.* Механизмы возникновения и эволюции В-хромосом у восточноазиатских лесных мышей (*Apodemus peninsulae*) // Генетика. 2009. Т.45. №4. С.445—455.
5. *Rubtsov N.B., Karamysheva T.V., Andreenkova O.V. et al.* Comparative analysis of micro and macro В chromosomes of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* (Rodentia, Murinae) performed by chromosome microdissection and FISH // Cytogenet Genome Res. 2004. V.106. P.289—294.
6. *Борисов Ю.М., Бочкарев М.Н.* Разнообразие и индивидуальность В-хромосом мышей *Apodemus peninsulae* // Генетика. 2008. Т.44. №12. С.1660—1667.
7. *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.
8. *Борисов Ю.М., Бочкарев М.Н., Карамышева Т.В. и др.* Феномен увеличения числа В-хромосом у восточноазиатских мышей *Apodemus peninsulae* (Mammalia, Rodentia) в популяции Горного Алтая // Доклады РАН. 2007. Т.412. №1. С.126—128.
9. *Borisov Yu.M., Muratova E.N.* Population Mobility of Animal and Plant В-Chromosomes in Regions Subject to Technogenic Impact // Journal of Siberian Federal University. Biology 2. 2010. V.3. P.146—158.
10. *Graphodatsky A.S., Kukekova A.V., Yudkin D.V. et al.* The proto-oncogene C-KIT maps to canid В-chromosomes // Chromosome Reserch. 2005.V.13. №2. P.113—122.
11. *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.
12. *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 // Популяционная экология животных. Материалы Международной конференции «Проблемы популяционной экологии животных». Томск, 2006. С.319—321.
13. *Колумбаева С.Ж., Шалахметова Т.М., Бегимбетова Д.А. и др.* Мутагенное действие компонента ракетного топлива несимметричного диметилгидразина на крыс разного возраста // Генетика. 2007. Т.43. №6. С.742—746.
14. *Сидоров П.И., Совершаева С.Л., Скребицова Н.В.* Основы системного мониторинга на территориях влияния ракетно-космической деятельности // Экология человека. 2006. №5. С.12—16.