

central part of the nucleus to the periphery during polytenization and changes in the morphology of the nuclei nurse cells. At all stages of polytenization in all species studied subgroups: with chromocenter (*D. simulans*), without chromocenter (*D. mauritiana*) and with the attachment of chromosomes to the nuclear envelope (*D. melanogaster*) sex chromosome is localized at the periphery of the nucleus. However, for all species studied was noted a small dynamic of XL chromosomes during polytenization. So with increasing degree of polytene nuclei chromosome XL become spread on the periphery of the nucleus and occupies a more extensive area. **Conclusions.** The analysis allowed to judge that there are differences in the functioning of the nuclei during polytenization as between different families (Calliphoridae and Drosophilidae), and between members of one species subgroup (subgroup «melanogaster» species of *Drosophila*: *D. simulans*, *D. mauritiana*, *D. melanogaster*).

**Key words:** spatial organization of chromosomes, *Drosophila*, sex chromosome, 3D FISH.

УДК 599.323.4:576.3151.316

КРИЩУК И.А.<sup>2</sup>, ЧЕРЕПАНОВА Е.В.<sup>1</sup>, ГАЙДУЧЕНКО Е.С.<sup>3</sup>, ЗАДЫРА С.В.<sup>4</sup>,  
ЛЕВЕНКОВА Е.С.<sup>1</sup>, ДЕДУРА Ю.К.<sup>4</sup>, БОРИСОВ Ю.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова Российской Академии наук,

Россия, 119071, г. Москва, пр. Ленинский, 33, e-mail: boris@sevin.ru

<sup>2</sup> ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»,

Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, e-mail: ikryshchuk@yandex.by

<sup>3</sup> Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина,

Беларусь, 247760, г. Мозырь, ул. Студенческая, e-mail: a-posteriori@yandex.ru

<sup>4</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

Украина, 01601, г. Киев, ул. Владимирская, 60, e-mail: detjula@gmail.com

## ФАКТОРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОПУЛЯЦИЙ *SOREX ARANEUS* (MAMMALIA) В МЕЖДУРЕЧЬЕ ДНЕПРА И ПРИПЯТИ (БЕЛАРУСЬ)

Среди хромосомно-полиморфных видов мелких млекопитающих обыкновенная бурозубка, *Sorex araneus* L., занимает особое место. На ареале вида, от Байкала до Британских островов, известно более 70 хромосомных рас, которые различаются по хромосомным мутациям, Робертсоновским (Rb) транслокациям хромосом, и занимают определенные территории [1, 2].

Исходным для вида считается кариотип, целиком состоящий из акроцентрических хромосом, который изменялся в ходе робертсоновских соединений, приводящих к формированию метацентрических кариотипов современных рас (Wojcik, Searle, 1998). Акроцентрический кариотип был выявлен только в эндемичных популяциях горных изолятов Балкан (хромосомная раса Pelister) и Альп (раса Cordon) [2].

На территории Беларуси в области междуречья Днепра и Припяти у рас Западная Двина, Киев и Віаіовіеіа выявлено клинальное снижение частоты диагностических метацентриков. На южной границе ареала расы Западная Двина и на восточной границе расы Віаіовіеіа

встречались кариотипы с 10 парами акроцентриков [3, 4], которых не было обнаружено в полиморфных популяциях на территории Западной Европы [5, 6]. Мы предположили, что на формирование полиморфных кариотипов оказали влияние автохтонные популяции с акроцентрическими диагностическими хромосомами, распространенные на этой территории в прошлом [3, 4].

### Материалы и методы

Изучены кариотипы 133 особей обыкновенной бурозубки, отловленных в июле-августе 2013 г. в 15 пунктах междуречья Днепра и Припяти. Хромосомные препараты приготовлены по стандартной методике из клеток костного мозга и селезенки. Идентификация хромосом проведена по рисунку G-окраски (обработка препаратов трипсином и 2 x SSC) согласно общепринятой номенклатуре хромосом *S. araneus* [7].

### Результаты и обсуждение

Все изученные популяции *S. araneus* в междуречье Днепра и Припяти оказались полиморфны по числу метацентриков ( $2NA = 25-28$ ). В популяциях из двух южных пунктов

(д. Скрыгалов и окр. г. Ельска) на правом берегу реки Припять были выявлены диагностические метацентрики хромосомной расы Киев: *gm*, *hi* и *ko*. В пунктах севернее – д. Паричи, окр. г.г. Жлобин, Светлогорск и Речица – распространены два диагностических Rb соединения, *hi* и *ko*. В двух северных популяциях (окр. г. Жлобина), кроме кариотипов с метацентриками *hi* и *ko*, встречались и кариотипы с 10 парами диагностических акроцентриков.

В популяциях вдоль рек Птичь и Припять (д.д. Рожанов, Хвоенск, Борки и окр. г. Туров) распространены диагностические метацентрики *h/n* и *ik* расы *Biaiowieia*. Двух других диагностических метацентриков расы *Biaiowieia*, *gr* и *mp*, в этих популяциях не наблюдалось, а частота метацентриков *hn* и *ik* оказалась несколько ниже, чем в ранее изученной популяции этой расы на правобережье р. Птичь.

В трех выборках с востока и юго-востока изученной области (окр. г.г. Гомеля и Добруша, д. Красное) зарегистрированы метацентрики *hi*, *kr* и *mn*, диагностические для хромосомной расы Нерусса. Двух других метацентриков этой расы, *go* и *pq*, не было обнаружено.

Однонаправленные хромосомные клины метацентриков в популяциях хромосомных рас Нерусса, Киев, *Biaiowieia*, а также высокая частота акроцентриков в популяциях между речья Днепра и Припяти свидетельствуют о прошедших процессах гибридизации метацентрических рас Нерусса, Киев, *Biaiowieia* и существовавшей на этой территории в прошлом автохтонной акроцентрической расы [3]. В результате, на этой территории образовались популяции *S. araneus*, характеризующиеся определенным набором диагностических метацентриков и акроцентриков, отличающиеся от исходных рас отсутствием одного из диагностических метацентриков. Популяции, отличающиеся от соседних популяций наличием или отсутствием какой-либо Робертсоновской транслокации, рассматривают как отдельные хромосомные расы [1].

Действительно, только популяции *S. araneus* из двух пунктов на юге изученной территории, на правобережье реки Припять (окр. д. Скрыгалов и г. Ельска), могут быть отнесены к хромосомной расе Киев с диагностическими метацентриками (*g/m*, *hi*, *k/o*). Основная часть ареала этой расы находится на территории Украины [8]. Полиморфные популяции обыкновенной буроzubки, населяющие территорию

междуречья Днепра и Припяти (4 пунктов – всего 50 особей), в которых отсутствует диагностический для расы Киев метацентрик *gm*, мы предлагаем обозначать как новую расу – Светлогорск (*Sv*), кариотип которой: XX/XY1Y2, *af*, *bc*, *g*, *h/i*, *jl*, *k/o*, *m*, *n*, *p*, *q*, *r*, *tu*.

Подобная клинальная изменчивость (с запада на восток) прослеживается и в популяциях расы *Biaiowieia* от территории Польши до бассейна реки Птичь в Беларуси [4, 9]. Отсутствие в популяциях *S. araneus*, распространенных вдоль р. Птичь, нет присущих расе *Biaiowieia* метацентриков *gr* и *mp* позволяет нам выделить эти популяции (из 6 пунктов: Октябрьский, Рожанов, Затишье, Татарка, Хвоенск, Борки; всего 68 особей) в новую расу, Октябрьский с кариотипом: XX/X Y1Y2, *af*, *bc*, *jl*, *g*, *h/n*, *i/k*, *m*, *o*, *p*, *q*, *r*, *tu*.

Раса Нерусса мономорфна на протяжении почти всего своего ареала, и лишь в Брянской обл. (Россия, вблизи границы с Беларусью), обнаружен полиморфизм по соединениям *go*, *kr* и *pq* [10, 11]. Отсутствие диагностического метацентрика *go* в 3 популяциях Гомельской обл. (всего 25 особей), удаленных друг от друга на 50 км, позволяет определить эти популяции как новую хромосомную расу, Гомель. Кариотип расы Гомель (*Gomel'* - *Gm*): XX/XY1Y2, *af*, *bc*, *g*, *jl*, *h/i*, *k/r*, *m*, *n*, *o*, *p*, *q*, *tu*.

По-видимому, в междуречье Днепра и Припяти в прошлом обитала автохтонная акроцентрическая раса [3], которая оказала влияние на формирование полиморфизма рас Западной Двина, Нерусса, Киев и *Biaiowieia*, проникших в этот регион в послеледниковые с других территорий. Судя по современному распространению диагностических метацентриков, проникновение хромосомных рас, различающихся 2–4 метацентриками монобразильной гомологии, на территорию Днепра и Припяти происходило с разных сторон: раса Западной Двина (*gm*, *hk*, *ip*, *no*, *qr*) с севера [3], раса *Biaiowieia* (*g/r*, *hn*, *ik*, *m/p*) – с запада [4], раса Киев (*g/m*, *hi*, *k/o*) – с юга, а раса Нерусса (*go*, *hi*, *kr*, *mn*, *pq*) – с востока.

Изменчивость частот разных метацентриков, являющихся диагностическими для хромосомной расы, неодинакова: метацентрики *hi* и *ko* расы Киев формируют более широкие клины, по сравнению с метацентриком *gm*, клина частоты метацентрика *hk* расы Западной Двина – шире, чем клины частоты *gm*, *no* и *qr* [3], а клина метацентриков *hn* и *ik* расы *Biaiowieia* – шире, чем клина метацентриков *gr* и *mp* [4]. Одной из вероятных причин неодина-

кового распространения и фиксации Робертсоновских транслокаций могут быть селективные преимущества генных комплексов, сцепленных с акроцентрическим или метацентрическим вариантом определенных хромосом [2, 9]. Следовательно, на формирование клинальной изменчивости частот метацентриков могут влиять и экологические факторы.

#### Выводы

Формирование клинальной изменчивости частот метацентрических хромосом *S. araneus* в междуречье Днепра и Припяти обусловлено взаимодействием существующей в прошлом на

данной территории автохтонной акроцентрической расы и метацентрических рас, расселяющихся в этот регион из рефугиумов в связи с изменением климата в послеледниковье. Распространение метацентриков по ареалу популяций с акроцентрическим кариотипом привело к исчезновению акроцентрической расы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-04-00551) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограмма «Динамика и сохранение генофондов».*

#### Литература

1. Hausser J., Fedyk S., Fredga K., Searl J.B., Volobouev V., Wyjcik J.M., Zima J. Definition and nomenclature of the chromosome races of *Sorex araneus* // *Folia Zool.* – 1994. – 43, Suppl. 1. – P. 1–9.
2. Wyjcik J.M., Ratkiewicz M., Searle J.B. Evolution of the common shrew *Sorex araneus*: chromosomal and molecular aspects // *Acta Theriol.* – 2002. – 47, N 1. – P. 139–167.
3. Borisov Yu.M., Cherepanova E.V., Orlov V.N. A wide hybrid zone of chromosome races of the common shrew, *Sorex araneus* Linnaeus, 1758 (Mammalia), between the Dnieper and Berezina Rivers (Belarus) // *Compar. Cytogenet.* – 2010. – 3, N 2. – P. 195–201.
4. Borisov Yu.M., Kryshchuk I.A., Cherepanova E.V., Gajduchenko H.S., Orlov V.N. Chromosomal polymorphism of populations of the common shrew, *Sorex araneus* L., in Belarus // *Acta Theriol.* – 2014. – 59, N 2. – P. 243–249.
5. Вгъннер Н., Турн Н., Каписчке Н.Д., Струббе М., Vogel P. New *Sorex araneus* karyotypes from Germany and the postglacial recolonization of Central Europe // *Acta Theriol.* – 2002. – 47, N 3. – P. 277–293.
6. Zima J., Slivkovb L., Томбъковб L. New data on karyotypic variation in the common shrew, *Sorex araneus*, from the Czech Republic: an extension of the range of the Laska race // *Mammalia.* – 2003. – 68, N 2. – P. 209–215.
7. Searle J.B., Fedyk S., Fredga K., Hausser J., Volobouev V.T. Nomenclature for the chromosomes of the common shrew (*Sorex araneus*) // *Мѣм. Soc. Vaud. Sci. Nat.* – 1991. – 19. – P. 13–22.
8. Mishta A.V., Searle J.B., Wyjcik J.M. Karyotypic variation of the common shrew *Sorex araneus* in Belarus, Estonia, Latvia, Lithuania and Ukraine // *Acta Theriol.* – 2000. – 45, N 1. – P. 47–58.
9. Wyjcik J.M., Wyjcik A.M., Zalewska H. Chromosome and allozyme variation of the common shrew, *Sorex araneus*, in different habitats // *Proc of the ISAACC's 5<sup>th</sup> Intern Meeting. Hereditas.* – 1996. – Offprint V. 125. – P. 183–189.
10. Bulatova N.Sh., Searle J.B., Bystrakova N., Nadjafova R., Shchipanov N., Orlov V. The diversity of chromosome races in *Sorex araneus* from European Russia // *Acta Theriol.* – 2000. – 45, N 1. – P. 33–46.
11. Bystrakova N., Bulatova N., Kovalskaya Y., et al. Geographical limits of chromosome races of common shrew *Sorex araneus* L. in the Middle Volga (east European Russia) // *Mammalia.* – 2003. – 67, N 2. – P. 187–193.

**KRYSHCHUK I.A.<sup>2</sup>, CHEREPANOVA E.V.<sup>1</sup>, GAJDUCHENKO H.S.<sup>3</sup>, ZADYRA S.V.<sup>4</sup>, LEVENKOVA E.S.<sup>1</sup>, DEMURA YU.K.<sup>4</sup>, BORISOV YU.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Russia, 119071, Moscow, Leninsky Pr., 33, e-mail: boris@sevin.ru*

<sup>2</sup> *Scientific-Practical Center of Belarus National Academy of Sciences on Bioresources, Belarus, 220072, Minsk, Akademicheskaya str., 27, e-mail: ikryshchuk@yandex.by*

<sup>3</sup> *I.P. Shamyakin Mozyr State University, Belarus, 247760, Mozyr, Studentcheskaya str., e-mail: a-posteriori@yandex.ru*

<sup>4</sup> *Taras Shevtchenko Kiev National University, Ukraine, 01601, Vladimirskaya str., 60, e-mail: demjula@gmail.com*

#### **DIFFERENTIATION OF *SOREX ARANEUS* POPULATIONS IN TERRITORY BETWEEN RIVERS DNEIPEL AND PRIPYAT (BELARUS)**

**Aims.** To clarify the origin of unusual polymorphism in metacentric and acrocentric number revealed in *Sorex araneus* populations between the Dnieper and Pripyat rivers we carried out the study of the distribution of diagnostic metacentrics. **Methods.** Cytogenetic analysis. **Results.** Frequencies of diagnostic metacentrics of three races, Kiev, Białowieża and Neroosa, in studied populations revealed a clinal

variability. Karyotyped derivative of these race were observed in polymorphic populations, such populations were defined as new races. **Conclusions.** Climatic changes in postglacial period caused the migration of the metacentric races thus leading to the spread of metacentrics across the area of the acrocentric race.  
*Key words:* *Sorex araneus*, chromosomal polymorphism.

УДК 576.315

КУЛИНЧЕНКО М.В.<sup>1</sup>, КЛИМЕНКО Е.С.<sup>1</sup>, ВЕБЕР-ЛОТФИ Ф.<sup>2</sup>, ДИЕТРИШ А.<sup>2</sup>,  
КОНСТАНТИНОВ Ю.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН НАН,  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132, e-mail: yukon@sifibr.irk.ru

<sup>2</sup> Институт молекулярной биологии растений НЦНИ,  
Франция, F-67084, ул. г. Страсбург, ул. Генерала Циммера, 12, e-mail: andre.dietrich@ibmp-cnrs.unistra.fr

### ДНК КАК МОДУЛЯТОР ПРОТОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НА ВНУТРЕННЕЙ МЕМБРАНЕ МИТОХОНДРИЙ *SOLANUM TUBEROSUM*, ДЕЙСТВУЮЩИЙ НА УРОВНЕ ПЕРЕНОСЧИКА АДЕНИННУКЛЕОТИДОВ

Ранее нами установлено, что растительные митохондрии обладают природной способностью к поглощению чужеродной ДНК [1–3]. При этом в механизм трансмембранного переноса ДНК у растений и дрожжей вовлечены, по всей вероятности, такие компоненты поры митохондриальной мегапроницаемости как порин в составе наружной мембраны митохондрий и переносчик АДФ и АТФ (адениннуклеотидтранслоказа) в составе внутренней мембраны этих органелл [3, 4]. Как показано ранее с использованием митохондрий печени крыс, АДФ и пальмитиновая кислота способны изменять ионную проводимость митохондриальных мембран [5, 6]. Обнаружено также, что АДФ в достаточно низких концентрациях (10 мМ) ингибирует импорт ДНК в растительные митохондрии [3]. В настоящее время остается, однако, неизученным вопрос, оказывает ли такая макромолекула как ДНК какое-либо влияние на ионную проницаемость мембран митохондрий растений. Нельзя исключить, что при определенных обстоятельствах в организме (бактериальные и вирусные инфекции и другие ситуации, при которых значительно повышается содержание ДНК в цитоплазме) не учитываемый ранее эффект ДНК как полианиона на мембранную проницаемость мембран митохондрий может иметь важные физиологические последствия как для функционирования органелл, так и судьбы клетки в целом. Целью настоящей работы было проведение с использованием системы *in organello* сравнительного исследования влияния ДНК, адениннуклеотидов (АДФ, АТФ),

пальмитиновой кислоты и пальмитоил-КоА, а также таких высокоспецифических ингибиторов адениннуклеотидтранслоказы как атрактилозид и карбоксиатрактилозид на проницаемость внутренней мембраны митохондрий картофеля для ионов водорода.

#### Материалы и методы

В экспериментах использовали изолированные митохондрии клубней картофеля (*Solanum tuberosum*), выделенные по методу [7]. В качестве ДНК использовали полинуклеотидную последовательность длиной 200 пн, получаемую с помощью ПЦР со специфическими праймерами к митохондриальной ДНК картофеля, используемой в качестве матрицы. Проницаемость митохондриальных мембран к ионам водорода оценивали путем регистрации набухания митохондрий в среде, содержащей 100 мМ NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 20 мМ трис-НСl (рН 7,4). Регистрацию набухания митохондрий производили путем измерения поглощения на волне 540 нм с помощью спектрофотометра LKB Ultrospec II UV-Visible. Все эксперименты по изучению влияния ДНК и других агентов на набухание митохондрий проведены в 7–9-кратной повторности.

#### Результаты и обсуждение

Путем регистрации набухания органелл в среде, содержащей 100 мМ NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 20 мМ трис-НСl (рН 7,4), обнаружено, что ДНК в концентрации 1 мМ (рис. 1), подобно таким высокоспецифическим лигандам как карбоксиатрактилозид и атрактилозид (данные не приводятся), стимулирует набухание митохондрий, по-видимому, путем связывания с