

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Maji A.K., Banerji P.* // International Journal of Herbal Medicine. 2015. № 3. P. 10–27.
2. *Samatadze T.E., Zoshchuk S.A., Haziya F.M. et al.* // Scientific Reports. 2019. № 9. P. 1–11.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-016-00167.

## АНАЛИЗ МЕЙОТИЧЕСКИХ ХРОМОСОМ У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ И ГИБРИДОВ ОСЕТРОВЫХ РЫБ В КОНТЕКСТЕ ПОЛИПЛОИДНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

**С.А. Симановский<sup>1</sup>, С.Н. Матвеевский<sup>2</sup>, Е.И. Рачек<sup>3</sup>, Д.Ю. Амвросов<sup>3</sup>, В.А. Трифонов<sup>4</sup>,  
Н.С. Мюге<sup>5</sup>, Е.Д. Васильева<sup>6</sup>, В.П. Васильев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 119071, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский пр., 33, E-mail: sergeysimanovsky@gmail.com; vasvik1943@gmail.com

<sup>2</sup>Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, 119991, Российская Федерация, г. Москва, ул. Губкина, 3, E-mail: sergey8585@mail.ru

<sup>3</sup>ФГУП ТИПРО-Центр, Владивосток, 690950, Российская Федерация, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4, E-mail: evgenyi.rachek@tinro-center.ru; d.amvrosov@yandex.ru

<sup>4</sup>Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, 630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, E-mail: vlad@mcb.nsc.ru

<sup>5</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 107140, Российская Федерация, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17, E-mail: tiguie@mail.ru

<sup>6</sup>Зоологический музей Московского государственного университета, 125009, Российская Федерация, г. Москва, ул. Большая Никитская, 2, E-mail: vas\_katerina@mail.ru

Семейство осетровых (Acipenseridae) включает три рода – *Acipenser* (вместе с *Huso*), *Scaphirhynchus* и *Pseudoscaphirhynchus*, представленных 25 видами. Начало их эволюции восходит к триасу (245–208 млн. лет назад). За этот период осетровые прошли несколько разобщённых во времени актов полиплоидизации, в результате чего возникли три группы видов с разными уровнями плоидности: диплоидные ( $2n \sim 120$  хромосом), тетраплоидные ( $2n = 250–270$ ) и один гексаплоидный вид ( $2n \sim 372$ ). Однако ряд данных даёт основание полагать, что 120-хромосомные виды имеют тетраплоидное происхождение (см. Vasil'ev, 2009). Показано, что стерлядь *Acipenser ruthenus* ( $2n=120$ ) является сегментным тетраплоидом. В связи с этим было предложено использовать две шкалы уровней плоидности осетровых: современная шкала ( $2n - 4n - 6n$ ) и эволюционная шкала ( $4n - 8n - 12n$ ).

Ряд многохромосомных видов ( $2n = 250–270$ ) имеет независимое происхождение благодаря параллельным актам полиплоидизации в двух филетических кладах: атлантической и тихоокеанской. Из многохромосомных видов фауны России атлантической кладе принадлежат сибирский *A. baerii*, русский *A. gueldenstaedtii*, персидский *A. persicus*, а тихоокеанской – калуга *A. dauricus*, амурский *A. schrenckii* и сахалинский *A. mikadoi* осетры. Большой интерес представляет выяснение процессов структурной и функциональной диплоидизации геномов полиплоидных видов, которая всегда имеет место после полиплоидизации. У осетровых скорость диплоидизации крайне низкая, что находится в соответствии со скоростью их молекулярной эволюции. Время дивергенции атлантической и тихоокеанской клад, согласно методу молекулярных часов, составляет 125 млн. лет.

Одно из важных направлений исследований в осетроводстве – межвидовая гибридизация с целью поиска гибридов с хозяйственно ценными признаками. Известно, что результаты межвидовой гибридизации осетровых зависят от кариотипов родительских видов: виды с одинаковым уровнем плоидности обычно дают нормальных фертильных гибридов (например, бестер); размножение гибридов от видов с разным уровнем плоидности невозможно в силу стерильности или обоих полов,

или стерильности самок. Однако иногда самцы таких гибридов могут быть частично фертильными, что было показано для гибридных самцов стерляди и калуги.

В данном сообщении приводятся результаты изучения синаптонемных комплексов (СК) у ряда видов осетровых и их гибридов. СК – это ядерный белковый скелет, который формируется между двумя гомологичными хромосомами в профазе I мейоза. СК были исследованы иммуноцитохимическим (с использованием поликлональных кроличьих антител к основному белку СК – SYCP3 фирмы Abcam) или электронно-микроскопическим методом после окрашивания раствором нитрата серебра.

С помощью иммуноцитохимического анализа у стерляди на стадии пахитены (полное спаривание хромосом) было обнаружено ~60 бивалентов, что соответствует  $2n = 118 \pm 2$ . Однако на более ранних стадиях профазы I (зиготена) были выявлены триваленты. Наличие мультивалентов, корректирующихся к пахитене, может служить доказательством палеотетраплоидной природы генома стерляди, который прошёл долгий путь редиплоидизации, но сохранил ортологичные регионы в различных парах хромосом, как это было показано с помощью методов цитогеномики. У сибирского осетра реки Лена в пахитенных сперматоцитах формируются ~125 бивалентов, что соответствует кариотипу  $2n = 249 \pm 5$ . Биваленты были полностью синаптированы, за исключением нескольких микрохромосом. У калуги ( $2n = 268 \pm 4$ ) в профазе I мейоза помимо доминирующих бивалентов выявлялись тетравалентные ассоциации. Наличие тетравалентов в пахитене даёт основание предполагать, что процесс редиплоидизации генома у калуги продвинут в меньшей степени, чем у также тетраплоидных сибирского осетра и *A. transmontanus* (Van Eenennaam et al., 1998), у которых тетраваленты пока не были обнаружены.

В профазе I мейоза у гибридов «стерлядь x калуга», полученных на Лучегорской НИС ТИНРО, с помощью иммунофлуоресцентного анализа, были обнаружены сложные мультивалентные ассоциации: триваленты, тетраваленты, цепочки мультивалентов. Такие гибридные самцы характеризуются сильно пониженной фертильностью, как и другие гибриды между видами осетров с различными уровнями плоидности.

Возвратный гибрид F3 «стерлядь x бестер» был получен на базе экспериментального рыбководного комплекса ФГБНУ ВНИРО. С помощью электронной микроскопии выявлено, что в сперматоцитах на стадии пахитены большинство бивалентов полностью синаптированы. Также в сперматоцитах наблюдаются униваленты, дискоориентация и асинапсис теломерных участков хромосом, интерлокинги, бреши осевых элементов, что ранее было отмечено для *A. transmontanus*. Такие сперматоциты способны сформировать полноценные сперматозоиды. И это подтверждает плодовитость исследованных гибридов, от которых впоследствии были получены F4 и F5.

Таким образом, изучение особенностей мейоза с помощью анализа СК у исследованных видов, в истории которых полиплоидия играла большую роль, а также у их межвидовых гибридов, даёт ценную информацию для познания цитогенетических отношений и особенностей эволюции осетровых.

---

## БИОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ГОМЕОБОКССОДЕРЖАЩИХ ГЕНОВ СЕМЕЙСТВА *Pitx* ХВОСТАТЫХ АМФИБИЙ: СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И СИНТЕННИЯ ЛОКУСОВ

**В.Н. Смирский, Ю.В. Маркитантова**

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, 119334, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, 26

E-mail: [yuliya.mark@gmail.com](mailto:yuliya.mark@gmail.com); [simir@mail.ru](mailto:simir@mail.ru)

Стремительное развитие технологий секвенирования и биоинформационных подходов способствует появлению массива данных по транскриптому тканей и геному хвостатых амфибий (Urodela), обладающих высокими регенерационными способностями. Накопление этой информации