

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ОРБИТЕ

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, РКК «Энергия», Томский политехнический и Томский государственный университеты проведут на космической орбите несколько уникальных экспериментов, о которых рассказал заведующий лабораторией контроля качества материалов и конструкций ИФПМ доктор технических наук Евгений Александрович Колубаев.*



*Зав. лабораторией ИФПМ СО РАН Евгений Колубаев, директор ИФПМ СО РАН чл.-корр. РАН Сергей Псахье и директор по пилотируемым космическим программам ГК «Роскосмос» Герой Советского Союза, первый Герой России Сергей Крикалев*

— Сегодня МКС является уникальной лабораторией — единственным местом, где в состоянии невесомости и при воздействии факторов космического пространства могут проводиться исследования по разным направлениям (медицина, биология, техника). Поэтому попасть в программу космических исследований очень сложно, нужно доказать, что та или иная научная тема важна для отечественной космической отрасли.

Год назад совместный проект ИФПМ СО РАН и ТПУ впервые в истории томской науки успешно прошел рассмотрение и был включен в долгосрочную программу «Роскосмоса». Теперь на очереди — еще два.

В ходе первого эксперимента будет отработано применение на орбите технологий 3D-печати, что в перспективе позволит космонавтам прямо на борту МКС изготавливать необходимые для работы детали, не дожидаясь прибытия транспорта с Земли.

— Эта тематика является очень востребованной, подобные эксперименты проводятся американскими астронавтами и готовятся европейцами и китайцами, — поясняет Евгений Александрович. — Тема приобретает еще большее значение в связи с планами дальних космических полетов на Луну и Марс.

Второй космический эксперимент позволит исследовать воздействие динамических нагрузок на корпусные элементы модуля российского сегмента МКС. Использование многоуровневого подхода при динамическом моделировании позволит учитывать эти данные при проектировании новых космических аппаратов из перспективных материалов. Такие аппараты должны обладать малым весом, но при этом не утратить прочности и надежности. Этот проект будет выполняться совместно с ТГУ, ТПУ и Новосибирским государственным техническим университетом.

Проведение третьего космического эксперимента позволит решить задачу ремонта в условиях космоса стекол иллюминаторов, на поверхности которых есть кратеры, возникшие от ударов высокоскоростных твердых микрочастиц. Этот эксперимент также ведется совместно со стратегическим партнером ИФПМ СО РАН — ТПУ.

Ольга Булгакова, ТНЦ СО РАН  
Фото автора

*Змеи с точки зрения эволюции половых хромосом — создания скучные. Сформировали себе систему ZW и ползают с ней веками. Их не сильно отдаленные родственники — ящерицы — подошли к вопросу определения пола более творчески. Исследователи из Института молекулярной и клеточной биологии СО РАН изучают, каким образом работает механизм «мальчик или девочка» у пресмыкающихся рода Anolis.*

Кстати, некоторые ящерицы и вовсе обходятся без мужского пола — они переходят на партеногенетическое размножение. Самцов в популяции либо нет, либо отсутствует их вклад в половой процесс. При этом большие группы «амазонок» способны захватывать и осваивать весьма обширные территории. «Это ставит перед нами интересные биологические вопросы, связанные с тем, зачем нужна так называемая «двойная цена» за мужской пол, если, например, успешные пещерные чешуепалые гекконы, как и некоторые другие виды, обходятся без него», — говорит заведующий лабораторией сравнительной геномики ИМКБ СО РАН кандидат биологических наук Владимир Александрович Трифонов.

У каролинского анолиса, который стал объектом исследования сибирских генетиков, в отношении пола всё традиционно. Однажды эта ящерица — небольшая, меняющая свою окраску под настроение и обладающая острыми коготками, — проснулась знаменитой: ее геном был секвенирован и сопоставлен с геномами птиц и млекопитающих.

«Мы тоже работали с этим видом и когда-то давно отсортировали хромосомы, получили библиотеки ДНК отдельных хромосом и всё пытались понять: где же половые, — комментирует Владимир Трифонов. — Дело в том, что последние у ящериц меняются достаточно быстро. Например, у гекконов система половых хромосом похожа на ту, что у птиц (ZZ, ZW — гетерогаметны самцы). У игуаноподобных ящериц система XX, XY сходна с теми, что есть у плацентарных млекопитающих и человека. Очевидно, что у разных групп ящериц совершенно разные хромосомы берут на себя функцию половых и начинают определять пол и решать, самцом или самкой будет потомство».

После основополагающей статьи в Nature по секвенированию генома каролинского анолиса стало известно: у него система определения пола — XY, но не было ясности, какие именно хромосомы ответственны за механизм. «Единственное, что мы понимали, — это микрохромосомы, потому что крупные были одинаковые и у самцов, и у самок», — говорит Владимир Трифонов.

Надо отметить, у млекопитающих такого понятия, как микрохромосомы, вообще нет — все носители генетической информации у нас и наших собратьев по классу достаточно крупные и хорошо различимые в микроскоп. Однако, скорее всего, у предков позвоночных был геном, состоящий из макро- и микрохромосом, очень маленьких элементов. Такой тип сохранился у большинства птиц, черепах, многих видов ящериц, а также у разных таксонов рыб, включая акул.

«Микрохромосомы очень сложно

## М/Ж

изучать: описать, посчитать, упорядочить, — объясняет Владимир Трифонов. — Раньше можно было увидеть в микроскоп лишь некую точку среди пятидесяти таких же. Сейчас же к нам на помощь пришли биоинформатика и секвенирование нового поколения, и мы способны понять генный состав: набор всех генов, у которых прописаны свои функции. Как и большая часть хромосом в целом, микрохромосомы отвечают за многое — в них присутствуют и гены домашнего хозяйства, и гены роскоши, и так далее».

*Гены «домашнего хозяйства» работают во всех клетках и всех тканях. Гены «роскоши» — те, которые ответственны за специализацию клеток. Другими словами, есть набор, позволяющий клетке выжить, а есть — обуславливающий то, что она делает для организма.*

Чтобы разгадать загадку половых микрохромосом каролинского анолиса, исследователи из ИМКБ СО РАН взяли другой вид анолисов, у которого половые хромосомы по какой-то причине стали крупными и хорошо различимыми, — серого анолиса. «Мы изучили строение как X-, так и Y-хромосом этих двух объектов и сравнили их, — говорит Владимир Трифонов. — Обнаружилось, что и та, и другая хромосомы гомологичны у обоих видов, и как было потом показано, у остальных видов *Anolis* они очень похожи. Однако еще один результат оказался неожиданным. Выяснилось: в ходе эволюции серого анолиса происходило что-то невероятное, у него некоторые микрохромосомы вдруг непонятно почему начали сливаться с половыми!».

Дело в том, что как раз с половыми хромосомами в принципе редко что происходит — меняются стратегии размножения, идут мимо века и эпохи, гремят сексуальные революции, но наши носители генетической информации о том, мальчик должен родиться или девочка, консервативны и незыблемы. «Если мы сравним человека и шимпанзе, то X-хромосома у них внешне совершенно не отличается, все перестройки происходят с аутосомами (одинаковыми у обоих полов). И это с большинством млекопитающих, на кого мы ни посмотрим! — говорит Владимир Трифонов. — В случае же с серым анолисом мы видим совершенно другую стратегию — по какой-то причине X- и Y-хромосомы становятся участницами хромосомных перестроек, и объяснить данное явление мы

пока еще никак не можем. Это очень необычная эволюционная судьба».

*Аутосомами у живых организмов с хромосомным определением пола называют парные хромосомы, одинаковые у мужских и женских организмов. Иными словами, кроме половых хромосом, все остальные хромосомы у раздельнополых организмов будут являться аутосомами. Наличие, число копий и структура аутосом не зависят от пола данного эукариотического организма. Аутосомы обозначают порядковыми номерами. Так, у человека в диплоидном наборе имеется 46 хромосом, из них — 44 аутосомы (22 пары, обозначаемые номерами с 1-го по 22-й) и одна пара половых хромосом (XX у женщин и XY у мужчин).*

Итак, серый анолис демонстрирует: его микрохромосомы присоединяются к таким же маленьким половым и образуют одну большую группу сцепления. Кусочки новых перенесенных фрагментов сохраняются на X-хромосоме, а на Y- начинают дегенерировать, и теперь у мужского пола будет не два варианта генов, чтобы выбрать, какой из них лучше, а только один — как, собственно, это происходит у млекопитающих.

«Мы опубликовали статью по этому исследованию в журнале *Chromosoma*, а дальше планируем расширять спектр ящериц, сейчас у нас в работе новые виды анолисов, ведется анализ отсеквенированного материала, — рассказывает Владимир Трифонов. — Особенно интересна дегенерация генов на Y-хромосоме — теперь по эволюционной траектории они должны со временем вырождаться и превращаться в мелкую хромосому, богатую повторенными элементами. То есть останутся те гены, которые будут отвечать за определение пола, а всё остальное можно спокойно выбрасывать, это не повлияет на жизнеспособность».

Впрочем, как сказано в еще одной статье исследователей ИМКБ СО РАН, нечто странное происходит с половыми хромосомами и у некоторых других видов — это, в первую очередь, грызуны. Их стабильная, сложившаяся за много миллионов лет система начинает разрушаться: SRY-ген (он определяет мужской пол; даже если у особи есть Y-хромосома, но этот ген инактивирован, то организм начнет развиваться по женскому типу) не работает. Однако в популяции присутствуют и самки, и самцы, что означает: возникли какие-то другие гены, пришедшие на помощь и взявшие на себя необходимые функции.

Екатерина Пустолякова  
Фото из открытых источников



Каролинский анолис