



Наука в Сибири

Газета Сибирского отделения Российской академии наук • Издается с 1961 года • 12 января 2023 года • № 1 (3362) • 12+

Ученые исследовали механизм извержения вулкана Ла-Пальма



Читайте на стр. 4–5

Новость

Расчеты сибирских физиков помогут стабилизировать баллонную плазму

Ученые Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН рассчитали, как стабилизировать одну из самых опасных неустойчивостей – баллонную. Результаты их работы опубликованы в журнале *Nuclear Fusion*.

Одна из задач управляемого термоядерного синтеза – достижение в различных видах магнитных ловушек, которые удерживают плазму, параметра бета, равного единице. Он определяет отношение давления плазмы к давлению магнитного поля. Если удастся сохранять этот параметр на уровне единицы, получится многократно повысить выход термоядерной реакции, что сделает возможным термоядерную энергетику. Однако этому мешают различные неустойчивости, которые развиваются в плазме.

Одна из самых досадных таких неустойчивостей – баллонная. «Это один из видов магнитогидродинамических неустойчивостей, которые на данный момент являются самыми опасными, так как быстро развиваются и имеют грубые последствия», – рассказывает главный научный сотрудник ИЯФ СО РАН доктор

физико-математических наук **Игорь Александрович Котельников**.

Если баллонное колебание мелкомасштабное, то при определенных условиях в магнитном поле оно может быть подавлено само по себе. Но с крупномасштабным, азимутальное число которого равно единице, это не сработает.

«Мы вывели уравнение, которое позволяет находить условия устойчивости этой баллонной моды с азимутальным числом $m = 1$, и разработали программу на языке Wolfram Language, которая позволила просчитать различные способы стабилизации моды для разных профилей радиального давления и аксиального магнитного поля в зависимости от величины зазора между плазмой и проводящей стенкой, а также формы проводящей стенки. Перебор этого большого количества вариантов позволил найти условия, когда можно стабилизировать баллонную неустойчивость при всех бета от нуля до единицы».

Теперь эти теоретические расчеты нужно проверить экспериментально, и если всё подтвердится, то ученые смогут подобрать к параметру бета, равному единице.

Наиболее амбициозная цель научных исследований ИЯФ СО РАН в направлении управляемого термоядерного синтеза – создание инфраструктурного комплекса разработки новых технологий удержания термоядерной плазмы газодинамической магнитной ловушки. Планируется, что она продемонстрирует возможность проектирования компактного, экономически и экологически привлекательного термоядерного реактора на основе магнитных ловушек открытого типа.

«Во-первых, система должна работать в стационаре, как со стороны физики плазмы, так и с инженерной точки зрения. Во-вторых, мы стремимся к максимально эффективному использованию магнитного поля, чтобы реактор был максимально компактным и был способен функционировать на альтернативных видах топлива, не содержащих тритий. Например, на дейтерии, запасы которого практически неисчерпаемы», – рассказывает заместитель директора ИЯФ СО РАН доктор физико-математических наук **Пётр Андреевич Багрянский**.

Новость

ВЭПП-2000: установка с уникальной производительностью и самым большим объемом данных в мире

Специалисты Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН набрали рекордный объем данных на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000. Полученная информация отражает четкие события рождения пар нейтрон – антинейтрон с известной энергией.

На текущий момент основное внимание ученых ИЯФ СО РАН направлено на изучение физики квантов и сильных взаимодействий в области малых энергий. Данных получено много, и еще потребуются время для их полной обработки, но текущие результаты представляют огромный интерес для научного сообщества.

«За счет понимания принципа работы и модернизации коллайдера ВЭПП-2000 мы достигли рекордной производительности и высокой надежности нашей установки. Фактически мы стали обладателями самого большого объема данных в мире после его двукратного увеличения», – комментирует заместитель директора по научной работе ИЯФ СО РАН доктор физико-математических наук **Иван Борисович Логашенко**.

Коллайдер ВЭПП-2000 и два его детектора, СНД и КМД-3, создавались в ИЯФ СО РАН для измерения состояний, полученных от электрон-позитронных столкновений, в том числе рождения пары нейтрон – антинейтрон. Специалисты ИЯФ СО РАН первыми в мире измерили структуру данной пары на пороге реакции. «В этом году был опубликован результат, касающийся работы одного из детекторов установки ВЭПП-2000 – сферического нейтрального детектора (СНД). Научным языком это называется измерением сечения рождения пар нейтрон – антинейтрон в электронно-позитронной аннигиляции. Сам процесс представляет собой столкновение позитрона и электрона и их дальнейшую аннигиляцию – взаимодействие, которое ведет к уничтожению обеих частиц и возникновению новых, которых изначально не было, в частности пары нейтрон – антинейтрон. Нигде в мире больше не измеряется вероятность и структура этой пары на пороге рождения. Для нас это еще один шаг к пониманию того, как внутренне устроены нейтроны», – говорит Иван Логашенко.

НВС

НВС

Академику Анатолию Пантелеевичу Деревянко — 80 лет

Глубокоуважаемый
Анатолий Пантелеевич!

Президиум Сибирского отделения Российской академии наук сердечно поздравляет Вас с юбилеем — 80-летием!

Вы являетесь признанным лидером российской и мировой археологической науки. Ваша многогранная деятельность, направленная на изучение древней истории Евразии, стала существенным вкладом в современное понимание истории человечества. Выдающимися достижениями Ваших ученых трудов являются разработка хронологии древнейших стоя-

нок Северной Евразии и новая концепция формирования человека современного физического типа.

Вы выступили создателем оригинальной научной школы, которая опирается на принцип комплексного подхода к археологическим исследованиям с привлечением методов и достижений естественных и точных дисциплин. Среди Ваших учеников состоявшиеся исследователи, доктора и кандидаты исторических наук.

Ваш авторитет ученого и организаторский талант многие годы востребованы научным сообществом. Почти 40 лет Вы возглавляете Объединенный ученый совет

СО РАН по гуманитарным наукам, входите в состав Президиума Сибирского отделения РАН.

Ваши заслуги по достоинству оценены государством и научным сообществом. Вы являетесь кавалером орденов Трудового Красного Знамени, Почета, «За заслуги перед Отечеством» IV степени, Дружбы, Александра Невского. Неоднократно Вы становились лауреатом государственных и ведомственных премий: премии Ленинского комсомола, Государственной премии, Демидовской премии, премии им. академика М. А. Лаврентьева, премии «Триумф», Вы обладатель Большой золо-

той медали им. М. В. Ломоносова. Вам присвоено звание «Почетный гражданин Новосибирской области».

Дорогой Анатолий Пантелеевич, с юбилеем Вас! Желаем Вам новых научных достижений и успехов во всех сферах Вашей деятельности. Крепкого здоровья, благополучия Вам, Вашим родным и близким!

Председатель СО РАН
академик РАН В. Н. Пармон

Главный ученый секретарь СО РАН
член-корреспондент РАН А. А. Тулупов

Академику Владимиру Игоревичу Злобину — 80 лет

Глубокоуважаемый Владимир Игоревич!

Президиум Сибирского отделения Российской академии наук и Объединенный ученый совет СО РАН по медицинским наукам от всей души поздравляют Вас с 80-летним юбилеем!

Вы являетесь специалистом в области вирусологии, микробиологии и эпидемиологии. Ваши исследования посвящены изучению природной генетической вариативности вируса клещевого энцефалита, проблемам эволюционных взаимоотношений, таксономии и классификации

вирусов комплекса клещевого энцефалита. В результате многолетних экспедиционных работ в природных очагах создана уникальная коллекция штаммов вируса клещевого энцефалита, представляющих практически весь ареал. Изучение антигенных свойств и гомологии нуклеотидных последовательностей участков геномов штаммов позволило получить данные о генетической структуре природных популяций вируса клещевого энцефалита, изменившие существовавшие ранее представления по этому вопросу. Впервые описаны генетические типы вируса клещевого энцефалита.

Развернуто новое научное направление — молекулярная эпидемиология клещевого энцефалита и других трансмиссивных клещевых инфекций, основанное на изучении природной вариативности возбудителей различной природы современными молекулярно-биологическими методами. Ваша многолетняя плодотворная научная, научно-организаторская и педагогическая деятельность получила высокую оценку и признание.

Дорогой Владимир Игоревич! От всей души желаем Вам добра и мира, долгих лет жизни, отличного настроения, сча-

стья и радости. Пускай не иссякает Ваш запас энергии и оптимизма, молодости и уверенности в себе! Пусть рядом будут надежные друзья и любящие родные.

Председатель СО РАН
академик РАН В. Н. Пармон

Председатель ОУС СО РАН
по медицинским наукам
академик РАН С. В. Попов

Главный ученый секретарь СО РАН
член-корреспондент РАН А. А. Тулупов

НОВОСТЬ

Ученые создали модель магнита для Супер чарм-тау фабрики

Исследователи из Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН разработали модель финального магнита коллайдера Супер чарм-тау фабрики. По этой модели уже заказана реальная конструкция из металла, ученые надеются испытать ее в конце января.

Уникальный электрон-позитронный коллайдер Супер чарм-тау фабрика, который предполагается построить в Сарове (Нижегородская область), предназначен для экспериментов в физике высоких энергий.

«Сердцем этого коллайдера и его самой сложной частью является участок, который называется финальный фокус. Это последний магнит перед точкой встречи, формирующий те самые нейтронные пучки, которые должны сталкиваться. Именно от качества таких магнитов зависит, будет ли побочная светимость или нет, — рассказал заместитель директора ИЯФ СО РАН член-корреспондент РАН Евгений Борисович Левичев. — Для того типа коллайдеров, к которым относится Супер чарм-тау фабрика, финальный фокус особенно сложен. Основная деталь, которая его определяет, — компактная сверхпроводящая квадрупольная линза с очень большим градиентом».

В России подобные устройства еще никто не изготавливал, и в мире есть всего две лаборатории, способные это делать. Однако конструкторам ИЯФ СО РАН удалось придумать систему намотки жесткого проводника, необходимую для корректной работы магнита. «Сейчас готова модель, но по ней в цехе уже создается реальная конструкция из металла, мы надеемся испытать ее в конце января», — отметил



Е. Б. Левичев

Евгений Левичев. Всего в магните предполагается две линзы, пучок будет двигаться между ними.

Финансирование Супер чарм-тау фабрики еще не определено. Проект сейчас находится на стадии технологической проработки. «Предполагается, что она займет два-три года, и за это время, мы надеемся, будет принято решение о строительстве установки, — сказал заместитель директора ИЯФ СО РАН доктор физико-математических наук Иван Борисович Логащенко. — В этом году мы совместно с коллегами из других научных организаций, задействованных в проекте, подготовили детализированный

вариант физической программы будущих экспериментов, подробно прописали все процессы, обсудили, что можно будет измерять на Супер чарм-тау фабрике и с какими точностями. Эта работа очень важна, потому что она определяет требования к будущему детектору и приоритеты будущих установок».

Параллельно создаются прототипы детекторов и ускорительных элементов. В этой работе участвуют многие научные институты и университеты России, подключаются к ней и ученые из других стран. Разрабатываются и образовательные задачи — нужно подготовить достаточное количество специалистов, кото-

рые будут специализироваться на физике ускорителей.

«Примерно месяц назад в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова прошло двухдневное рабочее совещание, где обсуждалась возможность начать строительство первых частей инжектора Супер чарм-тау фабрики. Сейчас по результатам этого совещания проводятся переговоры с руководствами заинтересованных организаций. Если деньги будут найдены, вполне возможно, что начнется эта работа», — отметил Е. Левичев.

Традиционная Школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковых наносистем прошла в Новосибирске

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН провел четвертую Школу «АППН-2022» при поддержке Российского научного фонда. Четырнадцать лекций для молодых ученых из институтов Сибирского отделения РАН, Новосибирского и Томского госуниверситетов прочли ведущие специалисты ИФП СО РАН и Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН.

В частности, лекторы рассказали о роли кремния в современной электронике, исследовании процессов на его поверхности на атомарном уровне, квантовых компьютерах на холодных атомах, внедрении энергонезависимой памяти (FRAM) на основе оксида гафния, о возможностях высокоразрешающей электронной микроскопии для анализа атомного строения нанокристаллов силицидов железа в матрице кремния.

Председатель организационного комитета «АППН-2022» директор ИФП СО РАН академик **Александр Васильевич Латышев** отметил, что школа появилась в рамках проекта РНФ и проходила четыре года подряд при поддержке фонда. Опыт проведения мероприятия оказался успешным, и организаторы планируют продолжить сложившуюся традицию и после завершения проекта РНФ.

«Участие в школе — это один из способов для исследователя повысить свою

квалификацию. Слушая лекции ведущих специалистов, молодые ученые, с одной стороны, вспоминают то, что узнали в университете, с другой — видят, как можно использовать эти знания. У АППН есть своя изюминка: «школьники» представляют собственные результаты научных работ на постерной секции, предварительно анонсируя содержание постера в двухминутном устном сообщении. Это очень важно, потому что позволяет молодым специалистам разобраться в том, чем они занимаются, сформулировать собственные наработки и донести до слушателей: таких же «школьников» и более опытных коллег», — сказал директор ИФП СО РАН.

Секретарь «АППН-2022» старший научный сотрудник лаборатории нанодиагностики и нанолитографии ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук **Екатерина Евгеньевна Родякина** подчеркнула, что участвовать в школе стоит начиная даже со второго курса — для мотивации выбора кафедры физики полупроводников на физическом факультете НГУ или кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники факультета радиотехники и электроники НГТУ: «Студентам третьего курса НГУ и НГТУ школа будет полезна, чтобы познакомиться с областью науки, в которой они собираются работать. Старшекурсникам и аспирантам школа позволяет узнать о передовых результатах в области полупроводниковых наносистем».

«Всегда полезно обсудить результаты собственной работы не только с преподавателями на защите, но еще и с коллегами с разных кафедр, университетов в теплой, дружественной атмосфере», — добавил член организационного комитета «АППН-2022» научный сотрудник лаборатории нанодиагностики и нанолитографии ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук **Дмитрий Игоревич Роголо**.

Студенты, аспиранты и молодые ученые представили 30 постерных докладов. Аспирантка ИФП СО РАН **Ирина Андреевна Краснова** участвовала в АППН в четвертый раз, ее доклад в этом году — «Исследование параметров роста HfO_2 ».

«Самое основное, что дает школа: возможность узнать про новые методы исследований, новые материалы. Также на АППН есть очень интересная практика двухминутных выступлений перед стендовой сессией. Участнику необходимо не только кратко представить свой доклад, но и заинтересовать будущих собеседников. Из всех конференций, в которых я участвовала, эта — единственная с такой практикой. Первый раз подготовить выступление мне было сложно: непонятно, как заинтересовать людей, про что лучше сказать подробнее, про что упомянуть вскользь. Но после «АППН-2019» следующие проходили проще, потому что я посмотрела, как выступали другие участники, а по реакции членов жюри поняла, чего не хватало

в моем докладе и что лучше исправить. С каждым годом подготовить двухминутный доклад становится проще», — прокомментировала Ирина Краснова.

Она подчеркнула, что все лекции и стендовые доклады были интересными, разнообразными: «Такое обилие тем позволяет познакомиться с передовыми идеями и актуальными исследованиями, которые сейчас проводятся в научных группах, а также расширить кругозор, потому что зачастую в своем исследовании мы применяем ограниченное количество методов, материалов. Во время стендовой сессии было интересно пообщаться с людьми, которые используют такие же материалы, что и я, но с другой целью. Например, я рассказывала про нанесение пленок оксида гафния при низких температурах в качестве пассивирующего покрытия, а мои коллеги **Тимур Залялов** и **Валерия Ковзик** представили доклады, где показали, как использовали оксид гафния в качестве сегнетоэлектрической памяти».

По мнению Дмитрия Роголо, школа АППН похожа на научные конференции, где собираются люди с разными взглядами и специализациями — можно посмотреть у коллег что-то интересное. В заключение Дмитрий заметил, что молодые ученые традиционно хорошо выступают на АППН начиная с первой школы.

Пресс-служба ИФП СО РАН

Красноярские ученые создали новый синтетический 2D-материал

Красноярские исследователи разработали простой и надежный метод синтеза новых двумерных сульфидно-гидроксидных материалов, основанных на структуре минерала валлериита. Меняя состав полученных композитов, можно настраивать их физические и химические свойства для конкретных приложений. Это делает валлериит новой платформой для создания многофункциональных материалов с регулируемыми свойствами. Результаты исследования опубликованы в журнале *Journal of Materials Chemistry A*.

В настоящее время внимание ученых всего мира привлекают двумерные материалы атомарной толщины. Бум исследований начался с графена, за открытие которого физики российского происхождения **Андрей Гейм** и **Константин Новоселов** в 2010 году получили Нобелевскую премию. Считается, что уникальные свойства таких структур позволят создать принципиально новые устройства электроники и спинтроники, источники тока, катализаторы и многое другое. Число известных типов двумерных материалов пока невелико. Между тем в природе существуют минералы семейства валлериита, образованные чередующимися атомными слоями гидроксида магния и сульфидов железа и меди, а также других металлов. Однако ранние попытки синтезировать валлериит не приводили к должному результату: продукты содержали слишком много побочных примесей.

Коллектив ученых ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН» разработал простой метод автоклавного, при повышенной температуре и давлении, синтеза чистых и модифицированных слоистых материалов. Гидротермальным синтезом

исследователям удалось получить новый материал, состоящий из чередующихся сульфидных и гидроксидных слоев, аналогичный природному минералу валлерииту. Он представляет собой «нанохлопья» размером 100–200 нанометров и толщиной порядка десятка атомных слоев — 10–20 нанометров. Его можно использовать как «кирпичики» для получения нанопленок и коллоидных дисперсий. После изучения нового материала исследователи обнаружили, что его характеристики можно изменять, вводя в состав различные добавки, например атомы алюминия или хрома. Это также дает возможность синтезировать на основе нового материала и разработанного метода аналоги других минералов со слоистой структурой.

«Мы подобрали условия для гидротермального синтеза двумерного наноматериала, позволяющие получить практически чистые, без примесей, наноразмерные частицы валлериита. Этот способ синтеза оказался достаточно простым и хорошо воспроизводимым. Растворы реагентов смешиваются и загружаются в автоклав, который нагревается до 160 °С при постоянном перемешивании. Примечательно, что установка для синтеза была сконструирована в нашем институте более 30 лет назад, но по своим параметрам до сих пор не уступает аналогичному оборудованию ведущих мировых производителей. На выходе мы получили чистую фазу синтетического двумерного материала на основе структуры природного минерала валлериита. На данный момент проведено более двухсот синтезов. Помимо этого, удалось ввести в материал добавочные элементы без нарушения его структуры. Это позволяет тонко настраивать строение сульфидно-гидроксидных слоев и приводит к появлению уникаль-



Готовый синтезированный материал двумерных сульфидно-гидроксидных наночастиц в растворе

ных физических свойств», — рассказывает научный сотрудник Института химии и химической технологии ФИЦ КНЦ СО РАН кандидат химических наук **Роман Владимирович Борисов**.

Исследователи из ИХХТ занимаются получением синтетических двумерных сульфидно-гидроксидных материалов — аналогов природных минералов — с 2020 года. Сейчас специалисты изучают механизмы формирования слоистой структуры, которая, по всей видимости, обусловлена электростатической самоорганизацией противоположно заряженных сульфидных и гидроксидных квазиатомных сло-

ев. Также в задачи входит исследование термической стабильности слоистых материалов, температурных зависимостей электро- и теплопроводности, магнитных свойств, диэлектрической проницаемости, свойств водных растворов композитов без и с использованием стабилизирующих агентов и пленок на различных подложках.

«Работа является междисциплинарной, она проведена на стыке химии и физики совместно с коллегами из Института физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН. Полученные результаты показывают, что валлериит может быть платформой для разработки новых многофункциональных материалов с регулируемыми свойствами. Изменяя состав, в частности распределение железа между гидроксидными и сульфидными слоями и их заряды, можно управлять электронными, магнитными, оптическими, химическими свойствами наноразмерных композитов. Найденные необычные характеристики валлериитов делают их новым перспективным семейством 2D-материалов, которые могут найти применение в нанофотонике, фото- и электрокатализе, в производстве электродных материалов», — комментирует руководитель работ по созданию и исследованию свойств новых двумерных материалов, главный научный сотрудник Института химии и химической технологии СО РАН доктор химических наук **Юрий Леонидович Михлин**.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Красноярского краевого фонда науки (проект № 20-43-242903).

Группа научных коммуникаций
ФИЦ КНЦ СО РАН
Фото Анастасии Тамаровской

Ученые исследовали механизм извержения вулкана Ла-Пальма



И. Ю. Кулаков

19 сентября 2021 года началось мощное извержение вулкана Кумбре-Вьеха на канарском острове Ла-Пальма, которое продолжалось целых 85 дней. Оно привело к значительным разрушениям инфраструктуры, но, к счастью, обошлось без человеческих жертв, поскольку это стихийное бедствие было ожидаемым: на протяжении четырех лет до этого сейсмологи и вулканологи регистрировали возрастающую сейсмическую активность вулкана. Статья об этом опубликована международным коллективом ученых в *Scientific Reports*.

«На Канарских островах извержения вулканов происходят не очень часто, но они достаточно мощные, — рассказывает один из авторов статьи, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, заведующий лабораторией сейсмической томографии член-корреспондент РАН **Иван Юрьевич Кулаков**. — Так, извержение на одном из западных островов Канарского архипелага, Эль-Йерро, в 2011–2012 годах очень встревожило население: известно, что несколько десятков тысяч лет назад произошло подобное событие, которое вызвало колоссальный оползень. Тот, в свою очередь, привел к возникновению цунами высотой в несколько сотен метров. Если в Атлантическом океане такое произойдет, под ударом окажется всё западное побережье Северной Америки».

Но, к счастью, это извержение было слабым — в отличие от того, которое произошло десять лет спустя на соседнем острове Ла-Пальма.

Кумбре-Вьеха на Ла-Пальме извергался с 19 сентября по 25 декабря 2021

года. Это вулканическое событие стало не только самым длительным в истории острова, но и побило рекорды по объему изверженных лавы и газов.

Хотя катастрофа не привела к жертвам, но разрушила сотни домов, транспортные и коммуникационные сети и затронула обширные сельскохозяйственные угодья, которые имеют ключевое значение для местной экономики. Менее чем за три месяца это трещинное извержение образовало лавовое поле площадью более 12 км² (для сравнения, самое продуктивное из семи предыдущих извержений на Ла-Пальме за последние 500 лет образовало лавовое поле площадью всего 4,4 км²).

По своему стилю последнее извержение было эффузивным — жидкая базальтовая лава изливалась потоками и покровами, но сопровождалось многочисленными стромболианскими взрывами, когда более вязкая лава с силой выбрасывалась из жерла вулкана. Риск приближения лавовых потоков к воде привел к остановке судоходства в этом районе, а вулканический пепел, заполнив-

ший атмосферу, остановил авиасообщение и отрезал от мира три острова: Ла-Пальму, Гомеру и Эль-Йерро.

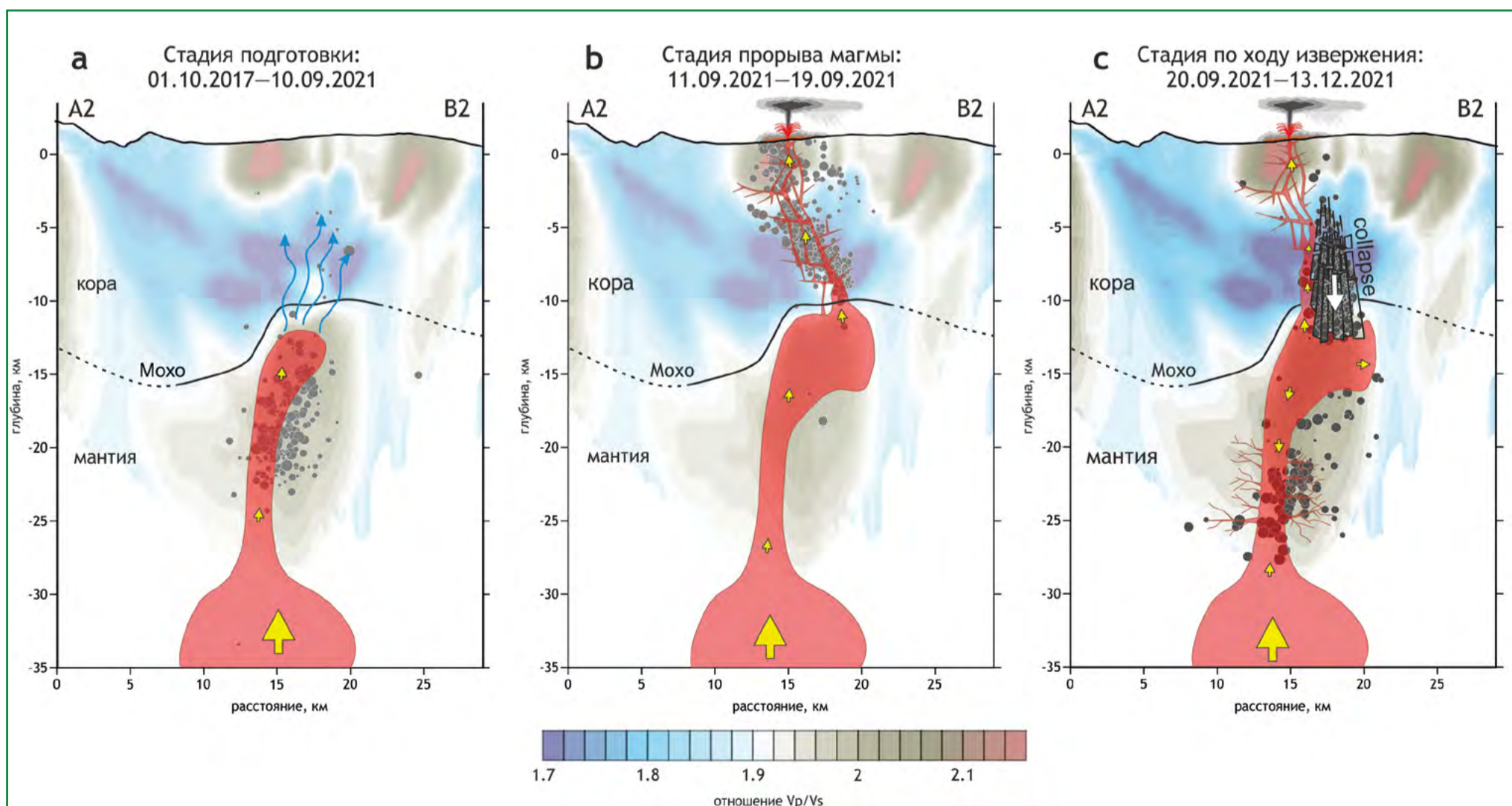
«Извержения на Ла-Пальме ожидали достаточно давно, еще с 2017 года, поскольку были явные его предвестники, — объясняет Иван Кулаков. — Периодически на глубине порядка 10 километров возникал рой землетрясений, и было ощущение, что магма в этом месте концентрируется и пытается пробиться наверх, у нее не получается, она успокаивается, а потом, спустя несколько месяцев, делает еще одну попытку. Когда ученые поняли, что на острове явно происходит какая-то активность, они поставили высококачественную сейсмическую сеть. Примечательно, что параллельно работали две организации, конкурирующие друг с другом: Национальный географический институт (IGN; 11 станций) и Канарский вулканологический институт (INVOLCAN; 12 станций). Действуют они абсолютно автономно, у каждой — своя сеть станций, и они независимо друг от друга определяют координаты землетря-

сений, используя отличающиеся алгоритмы и модели, и в результате получают разные данные».

Наконец, в сентябре 2021 года специалисты увидели, что землетрясения после формирования устойчивого кластера на глубине около 10 км цепочкой пошли наверх. Десять дней они поднимались, затем подъем ускорился, и когда землетрясения вышли к поверхности, произошел мощный прорыв магмы на поверхности.

«Это были колоссальные потоки лавы общим объемом около кубического километра, — рассказывает Иван Кулаков. — Процесс также сопровождался большим выбросом газов. По оценке местной геофизической службы, объем газов доходил до миллиона тонн в сутки, я с таким никогда не сталкивался. Это уникальное извержение по своей продуктивности, и продолжалось оно в течение 85 дней».

Вулканическая сейсмология — один из важнейших инструментов мониторинга вулканов: она открывает окно в подповерхностные структуры и обнаруживает их связи с магматическими процессами.



Схематическое изображение различных стадий эруптивного процесса на Ла-Пальма в 2021 году. Фон — распределение отношения V_p/V_s на вертикальном сечении A2-B2 в направлении ЮЮВ-ССЗ. Точки — проекции гипоцентров событий в соответствующие интервалы времени на расстояниях менее 0,6 км; размер точек отражает магнитуды событий

Обычно создать томографические изображения наиболее активной фазы извержения трудно — для построения модели достаточного разрешения необходимо большое количество сейсмических станций и данных о землетрясениях. И особенно редко случается, чтобы густая сеть действовала до кульминации извержения, как это было с вулканом Кумбре-Вьеха.

Наборы данных, переданных Национальным географическим и Канарским вулканологическим институтами, ученые ИНГГ СО РАН объединили и на их основе построили первую сейсмическую скоростную модель Ла-Пальмы — ранее подобные геофизические расчеты для этого региона не проводились.

После того как магма пробилась себе путь, сейсмическая активность прекратилась и возобновилась спустя десять дней. Интересно, что она происходила на двух уровнях: в районе 10 и 25 километров, и было непонятно, откуда сейсмичность могла взяться на такой глубине.

«По ходу этого извержения мне приходила информация о нем практически в реальном времени, — поясняет Иван Кулаков. — Испанские коллеги предложили нам построить сейсмическую томографическую модель. Поскольку у нас были данные об очень большом количестве землетрясений — 11 349 событий зафиксировали две сейсмические сети, работавшие в месте извержения, — нам удалось получить очень качественное изображение геологических процессов, протекавших в каждом из трех эпизодов: когда магма пробивала себе дорогу, когда ей это удалось и когда извержение установилось. Разрешение модели настолько высокое, что хорошо видно зону проникновения через земную кору магматического вещества: трещину, канал внутри прочного корового вещества, по которому пробивалась магма, и сопровождавшую этот процесс сейсмичность».

С одной стороны, сейсмическая томография выявила большой магматический очаг, расположенный под корой, который стучался в течение нескольких

лет и пытался вырваться на поверхность. С другой стороны, анализ сейсмических изображений позволил предположить, откуда взялись глубокие землетрясения, сопровождавшие извержение. С глубины 10 километров очаг выталкивает большое количество вещества наружу, при этом там уменьшается давление, образуются пустоты, и происходит внутренний коллапс: часть хрупкого вещества земной коры падает внутрь этих резервуаров.

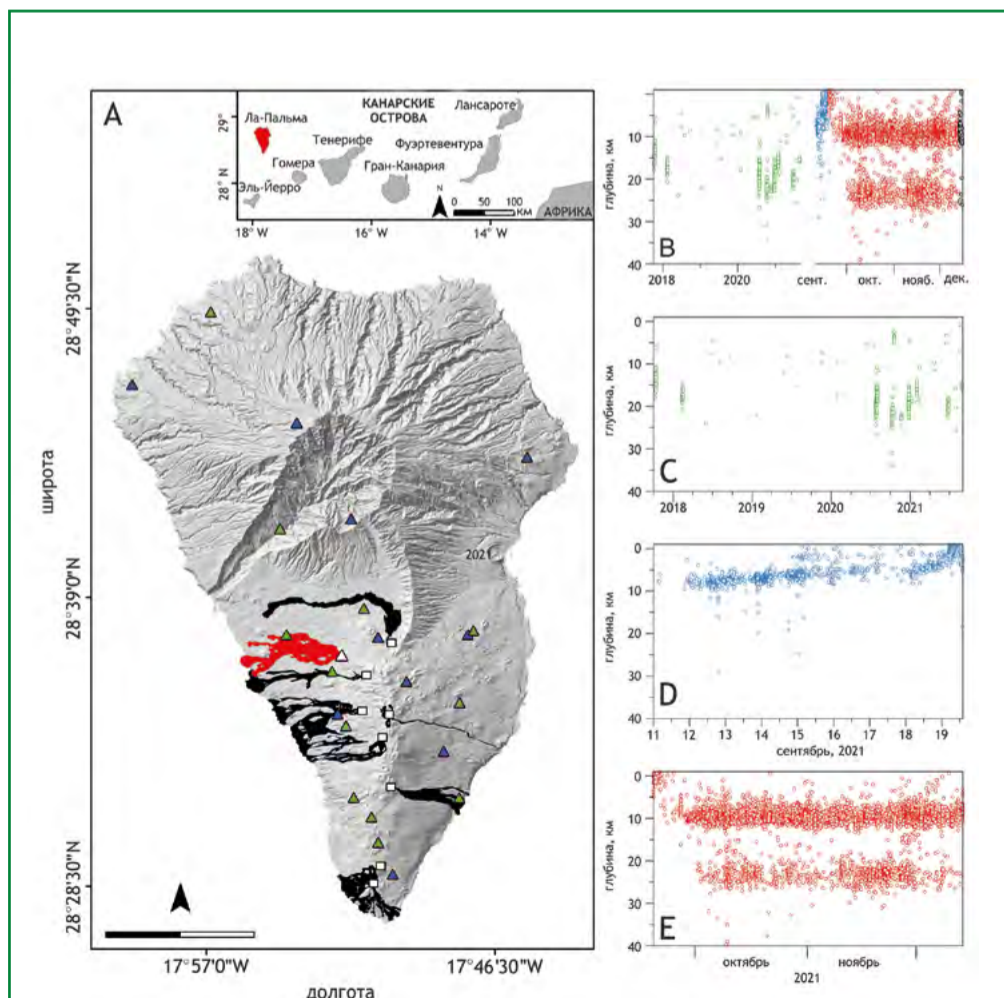
«Система работы этого вулкана напоминает поршень, — поясняет Иван Кулаков. — В момент активизации глубоких землетрясений магма начинает выталкиваться вверх, что увеличивает излияния лавы на поверхность. Но в это же время часть вещества уходит, наоборот, вниз: из-за этого происходит гидроразрыв, и раскрываются новые трещины уже на глубине 25 километров». По словам ученого, подобного рода механизм был описан впервые.

Результаты исследования позволили специалистам лучше понять природу активности Кумбре-Вьеха и возможные будущие вулканические сценарии на острове Ла-Пальма.

«С помощью томографических изображений мы выяснили, что прерывная, перед извержением вулкана, стадия может протекать быстрее, чем ожидалось, — заключает Иван Кулаков. — В 2021 году она длилась около семи дней. Кроме того, мы наблюдали быструю миграцию гипоцентров землетрясений, центральных точек очага землетрясения, в которых начинается подвижка пород, за несколько часов до извержения. Таким образом, можно сделать вывод: процесс принятия решений во время вулканической катастрофы не должен опираться на более или менее постоянные тенденции — внезапные изменения могут произойти в любое время».

Елена Трухина

Фото Александры Федосеевой
Иллюстрации предоставлены
Иваном Кулаковым



(А) Цифровая карта рельефа острова Ла-Пальма с расположением сейсмических сетей INVOLCAN (зеленые треугольники) и IGN (синие треугольники). Черным выделены потоки лавы от исторических извержений, красным — потоки лавы от извержения 2021 года. Белый треугольник — место излияния лавы в 2021 году; (В–Е) Сейсмичность за всё время наблюдения; на стадии подготовки (октябрь 2017 — август 2021); за неделю до начала извержения; сейсмичность по ходу извержения обозначена красными точками и после окончания извержения — черными точками

Сибирские ученые совершенствуют системы геномного редактирования

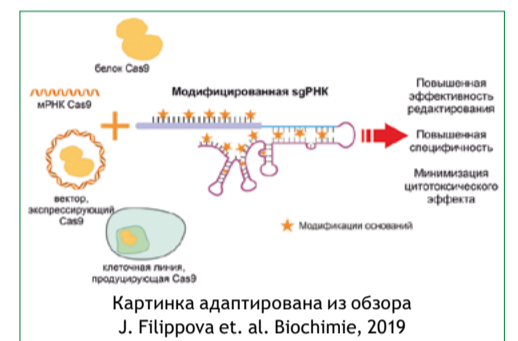
Сотрудники Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН создают модифицированные направляющие РНК, используемые в работе инструментов геномного редактирования, в частности CRISPR/Cas9. По словам ученых, это позволит улучшить свойства «генетических ножниц»: сделать их более точными и менее токсичными для клеток организма. Статья об исследовании опубликована в журнале *The CRISPR Journal*.

Системы редактирования генома в условиях многоклеточного организма в последние десять лет активно используются биологами и химиками всего мира. Процессы изучения и варианты применения подобных технологий в науке и медицине постоянно развиваются. Некоторые ученые называют систему CRISPR/Cas9 святым Граалем геномной инженерии. В дальнейшем этот инструмент позволит устранять наследственные проблемы в геноме человека или животных.

«Чтобы понять масштаб работы систем геномного редактирования, можно представить, что в клетке человеческого организма находится приблизительно 23 000 генов. «Генетические ножницы» проникают в нее, находят из этого огромного количества нужный ген, который необходимо исправить, затем создают в нем двухцепочный разрыв и в идеале не оставляют никаких следов вмешательства. Помимо работы в лабораториях, эти инструменты также могут применяться и в диагностике — для них уже существуют функционирующие диагностические системы, такие как SHERLOCK (Specific High Sensitivity Enzymatic Reporter UnLOCKing). Во время пандемии SARS-CoV-2 они вошли в практический обиход», — рассказывает заведующий лабораторией геномного редактирования ИХБФМ СО РАН кандидат химических наук Григорий Александрович Степанов.

Для медицинского использования системы геномного редактирования имеют ряд недостатков, которые препятствуют их внедрению в практику. Одной из слабых сторон этой технологии является недостаточная специфичность. Когда система ищет нужную мишень в клетке, то она ошибочно может воздействовать на другой похожий ген. Другим негативным влиянием считается цитотоксичность — токсическое воздействие на клетку. Исследование новосибирских ученых посвящено усовершенствованию уже существующих систем геномного редактирования для улучшения их свойств.

«Проведя обзор литературы и изучив модификации, которые используются в разных системах, мы обнаружили, что ранее никто не применял именно природные модификации. Они классифицируются как химические по азотистому основанию. Мы синтезируем РНК с помощью фермента T7 РНК-полимеразы, а в качестве строительного материала для нее используются нуклеозидтрифосфаты, такие как псевдоуридин, N6-метиладенозин и 5-метилцитидин. Их основное преимущество в том, что таким образом модифицированные РНК оказывают меньший токсический эффект на клетку, также они более стабильны, чем немодифицированные аналоги, и не связываются с рядом РНК-рецепторов. Это позволяет сделать системы геномного редактирования безопаснее для организма. В комплексе с белком Cas9 модифициро-



Картинка адаптирована из обзора J. Filippova et. al. Biochimie, 2019

Преимущества модифицированных направляющих РНК

ванные направляющие РНК имеют повышенную точность, узнают нужную мишень и связываются с ней, а белок отвечает за внесение изменений именно в тот ген, который мы изначально и выбрали для редактирования. Они лучше определяют мутированные участки ДНК и работают с большей специфичностью», — пояснил Григорий Степанов.

«В случае немодифицированного аналога расщепление ДНК-субстратов происходит практически на уровне 100 %, то есть система воздействует и на мутации, и на гены, в которых эти мутации отсутствуют. Соответственно, когда мы ввели модификации в данные направляющей РНК, то влияние оказывалось преимущественно на нужные мишени. Таким образом мы и обнаружили улучшенную эффективность и точность системы геномного редактирования», — отмечает младший научный сотрудник лаборатории геномного редактирования ИХБФМ СО РАН Дарья Вадимовна Прохорова.

Системы геномного редактирования, в частности CRISPR/Cas9, уже сейчас могут применяться для диагностики заболеваний, а в будущем — и для их лечения. С помощью модифицированной направляющей РНК удастся вырабатывать невосприимчивость к каким-либо вирусам, но на сегодняшний день генные модификации на целом организме невозможны по многим причинам, включая и этическую сторону науки, и сложность проведения подобных манипуляций.

«Сейчас ученые не готовы применять в лечении болезней инструменты геномного редактирования, так как всё же присутствует опасность того, что в организме человека они могут сработать не так, как было задумано изначально. Но вполне реально использовать такие технологии в будущем для лечения генетических заболеваний на стадии эмбрионального развития. «Генетические ножницы» должны работать с ювелирной точностью, чтобы войти в обиход медицинской практики», — говорит Григорий Степанов.

Исследования выполняются при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-64-00017).

Кирилл Сергеевич
Изображение представлено
исследователями

Зимние праздники русских сибиряков: необычайные гулянки с сакральным значением

Новогодние и рождественские праздники в нашей культуре всегда были временем сакральным и магическим. О том, что русские сибиряки делали в святые и страшные вечера Святок, какие были самые популярные гадания и чем колядки отличались от ряженья, рассказала старший научный сотрудник отдела этнографии Института археологии и этнографии СО РАН кандидат исторических наук Галина Владиславовна Любимова.

Не просто праздник

Большие праздники, которые, в отличие от гулянок обычных, отмечались несколько дней, назывались в народе необычайными гулянками. Они сопровождалась постоянным столованием, хождением в гости, приемом гостей, распитием хмельных напитков, пением песен.

«Приехав из любопытства в деревню, увидишь, как старый и малый, не исключая даже и женский пол, ходят во время необычайных гулянок из одного дома в другой. Начав с утра и до полуночи, поют при этом по улицам песни, бренча на балалайке, угощают сосед соседа и приятель приятеля пивом, чаем, хлебным вином, а стол устанавливают разными яствами, которых насчитывается до 12 и более блюд. Гуляют, кто посостоятельнее, около 7 дней, менее же 3 дней гулянье ни у кого не прекращается», — так описывает атмосферу праздничных гуляний в Енисейской губернии корреспондент Русского географического общества в 1857 году. Скорее всего, речь идет о святочном периоде.

Между тем, святочные праздники (весь период с Рождества до Крещения) в традиционной культуре были исключительно ответственными мероприятиями — ведь они имели самое непосредственное отношение к сфере сакрального. Слово «святки» буквально означает «святые дни».

Во многих индоевропейских языках понятие «святые дни» заложено в самом слове «праздник».

«В традициях русских сибиряков было принято делить святочный период на два приблизительно равных по продолжительности отрезка. В народе их называли «святые» и «страшные» вечера. Сибиряки-старожилы полагали, что с Рождества (25 декабря по старому стилю) и до Нового года идут святые вечера. А сразу после Нового года, начиная с Васильева вечера — 1 января по старому стилю — начинаются страшные вечера, которые продолжаются вплоть до самого Крещения (6 января)», — рассказывает Галина Любимова.

Страшные вечера

«Нечистая сила, как верят сибиряки, стремится вволю натешиться над крещеным людом. С нею заодно еретики и еретицы творят свои пагубные волхитства над людьми и домашним скотом... Новогодние ужасы длятся до Крещения», — описывает страшные вечера фольклорист Алексей Алексеевич Макаренко, который стоял у истоков русской сибирской этнографии.

Пограничное состояние мира, на которое приходились Святки, традиционно воспринималось как некое безвременье. Считалось, что прежний мир состарился, износился и обветшал. Поэтому он нуждается в возрождении, обновлении и очищении. Всё это происходит не само по себе, а достигается с помощью специальных коллективных усилий, особых ритуальных мер, направленных на творение и созидание нового мира.

«В безвременье происходит размывание границ между сферами своего

и чужого, миром людей и иным миром. По народным представлениям в это время особенно активизируется нечисть. Кроме того, период безвременья считался наиболее подходящим для контактов с представителями иного мира, которые давали возможность заглянуть в будущее, узнать свою судьбу. Официальная церковь такие контакты рассматривала как явление однозначно греховное», — отмечает исследовательница.

Святочные гадания

В святочных гаданиях участвовали в основном молодые незамужние девушки, а сама ворожба приходилась на самое темное время года и самое темное время суток. Распространенными местами гаданий у русских сибиряков были нежилые помещения: баня, хлев, подпол, границы дома, двора, а также дороги, перекрестки, кладбища и места набора воды (колодцы или проруби). Эти локусы считались традиционными местами обитания нечистой силы: баня — банника, вода — водяного, у амбара и хлева тоже были свои хозяева из иного мира.

Приступая к гаданию, девушки снимали крест и пояс — знаки принадлежности к христианскому миру. Это состояние считалось очень опасным, ведь можно было ненароком навлечь на себя какие-нибудь негативные действия со стороны нечистой силы, но уж очень сильно хотелось узнать про будущее замужество.

Судя по полевым материалам, одно из самых популярных гаданий в Сибири называлось «полоть снег». Оно было широко распространено и у русских старожилов, и у российских переселенцев в Сибири. Девушки поздно вечером выходили на перекресток и там, стоя на расстеленном поясе (его снимали с себя, клали на землю и становились сверху), набирали полные подолы снега, тряся которым, произносили приговорные формулы. Вот некоторые из них: «Полю, полю белый снег, надоед мне батькин хлеб, залай, залай собачка на свекровом дворе», «Быть в чужой стороне — колокольцы загреми, али конь заржи, аль собачка залай, а быть мне умереть — заруби, затеши (от слова тесать)». Затем падали спиной на снег и внимательно вслушивались в окружающие звуки.

«И звук колокольцев, и собачий лай, и ржание коня — всё это вызывало ассоциации с дорогой, с тем, что девушку, совершающую гадание, ожидает в предстоящем году отъезд из родного дома, перемена места жительства, то есть она выйдет замуж. Звук топора расценивался, как неблагоприятный сигнал, сулящий смерть», — говорит Галина Любимова.

Другие гадания были основаны на элементах жребия с использованием символики чета и нечета. Девушки выходили во двор и вслепую хватали охапку дров или подходили к забору и во всю ширину рук пытались захватить, сколько могут, кольев, а потом пересчитывали. Если выходило четное число — девушка выйдет замуж, нечетное — останется одна. Иногда вместо счета использовали другие словесные формы, например: «мешок — сусек — мешок — сусек». «Мешок» означало, что

гадающая уйдет замуж в бедную семью, а «сусек» — что семья будет богатой. Определяли подобным образом и возраст суженого. Так, байкальские старообрядцы, гадая, приговаривали: «вдовец — молодец — вдовец — молодец».

Также повсеместно в Сибири были распространены святочные гадания на гумне или в бане. Девушка, находясь в бане, высывала на улицу голую часть тела. Гуменный или банной должен был ее погладить. Если погладит мохнатой рукой, замужество обещает быть богатым, гладкой — бедным. Роль гуменного или банного нередко брали на себя решившие подшутить парни. «В экспедициях мне неоднократно приходилось слышать о том, как ребята стремились подкараулить девок, когда те шли ворожить. Описывали много комических и трагикомических случаев», — рассказывает исследовательница.

Ряженые

Другая неотъемлемая часть страшных вечеров у русских в Сибири — хождение ряжеными. Это делали в основном молодые парни. Будучи олицетворением нечистой силы, ряженые назывались специфичными терминами: «шуликуны» (святочная нечисть, сезонные духи, которые, как считалось, накануне Рождества выходят из воды на землю, а после Крещения уходят обратно в реки и проруби), «нарядчики», «маскированные», «страшные». Они посещали молодежные вечерки, разыгрывая перед участниками сценки фривольного содержания. Хождение ряжеными с надеванием на лицо «чертовой рожи» считалось одним из самых страшных святочных грехов. Впрочем, у него было довольно простое искупление — чтобы смыть такой грех, достаточно было искупаться в крещенской проруби.

«Ряженые облачались в вывороченные наружу шубы, маски из бересты, приделывали бороды, бычьи рога, конские и коровьи хвосты. Иногда, как мне рассказывали в экспедициях, из разных овощей (редька, репа, картошка) вырезали кривые зубы, которые вставляли себе в рот. Они старались сделать себя неузнаваемыми и как можно более страшными», — рассказывает Галина Любимова.

Посещая разные вечерки, ряженые на разные лады обыгрывали идею старения мира прежнего и сотворения нового мира. Отдельную группу среди них составляли ряженые животными — сюжетом их сценок была внезапная смерть и последующее почти мгновенное воскресение. Чаще всего в этом контексте использовали козу, коня, быка и медведя. Эти сценки тоже на свой лад дублировали идею окончания старого и начало нового календарного цикла.

Важным атрибутом обычаев и обрядов, приуроченных к Святкам, у русских сибиряков был снег. Он использовался и в гаданиях, и в других формах обрядово-игрового поведения, часто фигурировал в колядках, быличках, подблюдных песнях. Действия со снегом назывались: «пахать снег», «сеять снег», «полоть снег», «блины печь», «масло мешать», «мукой торговать».



Н. К. Пимоненко. Святочное гадание. 1888 г.



Ф. В. Сычков. С гор. 1910 г.

«По сути, это имитация разных этапов творения хлеба: от пахоты и сева до изготовления мучных изделий. Подобного рода представления о глубокой связи между наличием снега и наличием хлеба можно видеть в многочисленных приметах, наблюдениях о погоде и природе. Например, «много снега — много хлеба». Такие представления были характерны для русского населения не только Сибири, но и России в целом», — отмечает исследовательница.

Святые вечера

Святые вечера приходились на первую половину Святок — от Рождества до Нового года. Их содержание составляли разные



Ф. В. Сычков. Христославы. 1910 г.



формы колядования. В традициях русских сибиряков существовали два основных вида колядования, которые приходились на Рождество и на Новый год. К Рождеству были приурочены рождественские прославления Христа. Группы ребятшек бегали по домам односельчан, не пропуская ни одного дома, ни одну семью, пели поздравления и христославили — поздравляли хозяев с рождением Христа.

В Новый год действия были очень похожие, но называлось это новогодними посещениями. Поздравляли уже песенками не на религиозную тему, а более архаичного, дохристианского содержания. Именно они называются колядками. Пение дети сопровождали разбрасыванием в избе зерен

овса, ржи, проса, гречихи или пшеницы. В отличие от ворожбы и ряженья, которые совершались в темное время суток, рождественские и новогодние обходы начинались с самого раннего утра. И если участие в ритуальных действиях, приуроченных к страшным вечерам, считалось греховным, то колядование, наоборот, расценивалось как исключительно угодное богу дело.

Типичный текст колядок:

Сею, вею, посеваю,
С новым годом поздравляю,
Со скотом, с животом,
Со пшеничкой, с овсецом,
С малыми детушками...

«Несмотря на то, что в более поздней традиции колядовали дети, в научных исследованиях показано, что изначально состав обходчиков был иным: он включал в себя прежде всего взрослых мужчин и холостых парней. Связано это было с тем, что символика сева традиционно относилась исключительно к мужским обрядовым функциям — пахотой и севом занимались исключительно мужчины», — рассказывает исследовательница.

Еще одной важной чертой взрослого колядования было то, что его участники не просили хозяев одарить их за то, что они приходят к ним с благими пожеланиями, а выдвигали требования награждения. И даже угрожали навлечь бедствия на хо-

зяев, которые оказывают негостеприимный прием. Реликты этих представлений и практик можно увидеть в рефренах, которыми сопровождаются колядки, например: «Кто не даст пирога, берем корову за рога».

«Какое-то время в науке считали, что эти угрозы — всего лишь шуточная концовка, однако позже было доказано, что некогда колядовщики осознавали себя вершителями судеб, которые вольны наслать урожай, обилие, довольство или, напротив, скудость, разорение и даже смерть. Одни исследователи наделяют их полномочиями предков-опекунов и умерших родственников. Другие считают, что в этих обычаях мы можем увидеть реликты обрядов посвящения или возрастных инициаций, во время которых колядовщики приобщаются к тайным сакральным знаниям. Но все сходится на том, что колядовщики — это не скромные просители и нищие, а коллектив людей, наделенных магическими знаниями и полномочиями», — говорит Галина Любимова.

Нередко в колядных текстах крестьянский труд освящается участием в нем высших божественных сил. Например, есть сюжет о том, как Бог со своим «семейством» — загадочными «боженятами» или «ангеляточками» — оказывается под Новый год в гостях у хозяина. Этот сюжет включает в себя образ Мирового дерева, которое превращает двор рядового крестьянина в центр мироздания (записано от потомков черниговских переселенцев в Маслянинском районе Новосибирской области).

Во второй день Рождества (26 декабря по старому стилю) отмечался праздник рожениц и повивальных бабок. В народе он назывался «бабы каши». В этот день чествовали женщин, которые родили детей в течение ушедшего календарного года, а также тех, кто им помогал. «Благодаря этому празднику рядовое событие в жизни каждой отдельной семьи (детей тогда рожали много, и это считалось рядовым событием) соотносилось с другими родами в селе, и в силу этого их общая значимость повышалась. При этом сами роженицы соотносились с Богородицей», — отмечает Галина Любимова.

Все обрядовые действия, проводившиеся во время Святков, были призваны обеспечить счастье и благополучие на будущий год. Со временем они утрачивали свое магическое содержание и превращались в обычные народные забавы, которые продолжали исполнять в силу традиции.

Например, у жителей Сургутского края зафиксирован такой интересный обычай (его записал местный краевед Иван Якимович Неклепаев). Крестьяне полагали, что в день Спиридона-Солнцеворота (день зимнего солнцестояния, 12 декабря по старому стилю) «солнце наряжается в праздничный сарафан, медведь в берлоге поворачивается на другой бок, а световой день начинает прибывать «на куриный шаг» или «на воробьиный скок»... Крестьяне в этот день секли кур, чтобы они убежали на больших ногах». Так как солнце прибывает на куриный шаг, нужно было, чтобы он стал пошире — и тогда день начнет прибывать побыстрее.

Статья написана по лекции «Зимние праздники русских сибиряков (от Рождества до Крещения)» старшего научного сотрудника отдела этнографии Института археологии и этнографии СО РАН кандидата исторических наук Галины Владиславовны Любимовой. Лекция прошла 10 декабря 2022 года в ИАЭТ СО РАН.

Подготовила
Диана Хомякова
Иллюстрации
из открытых источников

Официальное издание
Сибирского отделения РАН

Учредитель —
Сибирское отделение РАН

Главный редактор —
Елена Владимировна Трухина

Вниманию читателей «НвС»
в Новосибирске!

Свежие номера газеты можно приобрести или получить по подписке в холле здания Президиума СО РАН с 9:00 до 18:00 в рабочие дни (Академгородок, проспект Академика Лаврентьева, 17), а также газету можно найти в НГУ, НГТУ и в VIP-зале аэропорта Толмачёво.

Адрес редакции, издательства:
Россия, 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, 17.
Тел.: 238-34-37.

Мнение редакции может
не совпадать с мнением авторов.
При перепечатке материалов
ссылка на «НвС» обязательна.

Отпечатано в типографии
ООО «ДЕАЛ»: 630033, г. Новосибирск,
ул. Брюллова, 6а.

Подписано к печати: 10.01.2023 г.
Объем: 2 п. л. Тираж: 1400 экз.
Стоимость рекламы: 80 руб. за кв. см.
Периодичность выхода газеты —
раз в неделю.

Reg. № 484 в Мининформпечати
РСФСР от 19.12.1990 г., ISSN 2542-050X.
Подписной индекс 53012

в каталоге агентства «Урал-Пресс».

E-mail: presse@sb-ras.ru,
media@sb-ras.ru

Цена 13 руб. за экз.

© «Наука в Сибири», 2023 г.

ПОДПИСКА

Не знаете, что подарить интеллигентному человеку? Подпишите его на газету «Наука в Сибири» — старейший научно-популярный еженедельник в стране, издающийся с 1961 года!

И не забывайте подписаться сами, ведь «Наука в Сибири» — это: — 8–12 страниц эксклюзивной информации еженедельно;

— 50 номеров в год плюс уникальные спецвыпуски;

— статьи о науке — просто о сложном, понятно о таинственном; самые свежие новости о работе руководства СО РАН; — полемичные интервью и острые комментарии; яркие фоторепортажи; подробные материалы с конференций и симпозиумов;

— объявления о научных вакансиях и поздравления ученых.

Если вы хотите забирать газету в здании Президиума СО РАН, можете подписаться в редакции «Науки в Сибири» (проспект Академика Лаврентьева, 17, к. 217, пн–пт, с 9:30 до 17:30). Стоимость полугодовой подписки — 200 руб.



По этой ссылке вы можете присоединиться к нашей группе в «Телеграм»

Сайт «Науки в Сибири»
www.sbras.info

Облученные лазером зебраданио помогут в лечении травм головного мозга

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) является серьезной проблемой общественного здравоохранения. Сегодня ученые Академгородка активно исследуют механизмы болезней нервной системы, в частности нарушений, происходящих при ЧМТ, и ищут способы их лечения. С этой целью ими был разработан метод моделирования травмы головного мозга на основе лазерного излучения, который они протестировали на рыбах зебраданио.

Исследователи смогли не только успешно реализовать модель и подтвердить ее соответствие патологии человека, но и определить вовлеченные в восстановление мозговой ткани после повреждения белки, которые могут рассматриваться как мишени при разработке лекарственных средств, применяемых для терапии нейротравм. Работы по изучению последствий ЧМТ, сопровождающихся нейродегенерацией (гибелью и нарушением функции нервной ткани головного мозга), ведутся в Научно-исследовательском институте нейронаук и медицины совместно с кафедрой нейронаук Института медицины и психологии В. Зельмана Новосибирского государственного университета, которой заведует доктор медицинских наук **Любомир Иванович Афтанас**. Руководителем проекта выступила заместитель директора и заведующая отделом экспериментальной нейронауки НИИИМ доктор биологических наук **Тамара Геннадьевна Амстиславская**.

Зебраданио (также *Danio rerio* — лат. или *zebrafish* — англ.) — это небольшая полосатая рыба семейства карповых, которая является популярным объектом для исследования во многих областях биологии и медицины, включая генетику, фармакологию, нейро- и молекулярную биологию. Геномы человека и *Danio rerio* содержат около 70 % общих генов, что делает ее многообещающей моделью для тестирования лекарственных препаратов и изучения различных процессов и симптомов, в том числе связанных с ЧМТ.

«У зебраданио достаточно развиты нервная система и головной мозг для моделирования процессов, соответствующих таковым у млекопитающих. При этом их несложно разводить и содержать в лабораторных условиях, а скрининг фармакологических, в том числе нейро- и психотропных, препаратов и иных терапевтических воздействий проходит гораздо быстрее, чем на грызунах. Аналогом гормона стресса у мышей и крыс служит кортикостерон, тогда как у людей и зебраданио — это кортизол, поэтому анализ стрессовых реакций у этих рыб дает более точные и корректные результаты. Объект интересен и тем, что зачастую ему не нужно ничего вводить внутривенно или внутривенно, а достаточно поместить в раствор препарата или в нашем случае анестетика (средство для наркоза)», — объясняет основной исполнитель проекта заведующая лабораторией экспериментальных моделей нейродегенеративных процессов НИИИМ доктор биологических наук **Мария Александровна Тихонова**.

На данный момент искусственно выведены сотни мутантных и трансгенных линий *Danio rerio*, так что для каждого отклонения можно определить подходящую модификацию. В работе ученые задействовали линию взрослых особей зебраданио casreg с минимальным количеством пигмента (окрашенных веществ) в покровах. Благодаря прозрачности и проницаемости внешних тканей для лазерного излучения стало возможным не только смоделировать травму мозга закрытого

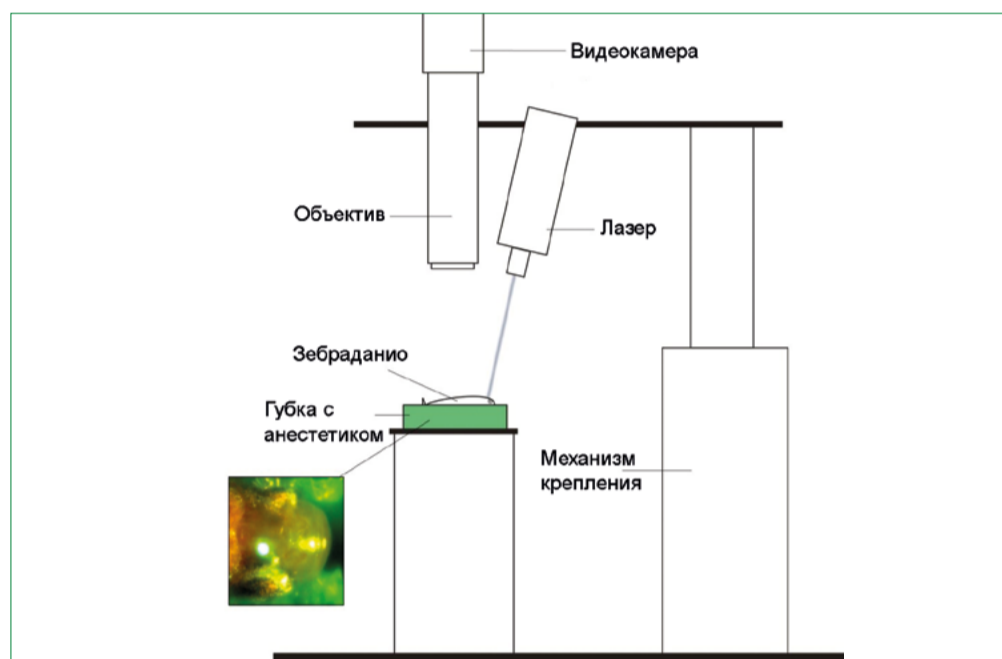


Схема лазерной установки

типа без дополнительного хирургического вмешательства, но и наблюдать за ее развитием в режиме реального времени.

Главной задачей ученых было создание закрытой локализованной ЧМТ, для чего была использована оригинальная лазерная установка, разработанная сотрудниками Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН во главе с ведущим научным сотрудником лаборатории лазерных технологий ИТПМ СО РАН доктором физико-математических наук **Николаем Анатольевичем Масло-вым**. Рыб из экспериментальной группы поочередно помещали на влажную губку, пропитанную анестетиком из гвоздичного масла, фиксировали на подложке и направляли на правую и левую области теленцефалона (передний отдел головного мозга) лазерный луч. При этом лазер не затрагивал твердые оболочки, покрывающие мозг, а проникал сквозь них и воздействовал непосредственно на нервную ткань. Контрольная группа *Danio rerio* проходила аналогичные испытания, но была подвержена излучению на более короткое время и при безопасной мощности в 5 %. При разных условиях воздействия на рыб ученые смогли исключить любое стороннее влияние, помимо лазера, и сравнить полученные данные между группами.

После воздействия у рыб наблюдались различные морфологические, функциональные и макроскопические нарушения мозговой ткани, в частности побледнение всего конечного мозга и кровоизлияния в обонятельных луковицах. «На микроскопическом уровне мы обнаружили расширение кровеносных сосудов, гибель и дегенерацию нейронов в зоне поражения. Что касается поведенческих особенностей, двигательная активность рыб после нанесения ЧМТ существенно снижалась. Большую часть времени зебраданио с ЧМТ проводили в нижней придонной зоне аквариума, что свидетельствует об их повышенной тревожности. В целом при ЧМТ у *Danio rerio* наблюдались типичные нарушения двигательной активности и координации, что соответствует клинической картине человека и является прямым доказательством достоверности

нашей модели», — комментирует Мария Тихонова. Поведенческие показатели рыб регистрировались автоматически при помощи программного обеспечения EthoVision XT11.5, через которое ученые вели видеонаблюдение за передвижением рыб, фиксировали их скорость, пройденный путь, частоту и продолжительность замираний.

О последствиях ЧМТ можно судить, с одной стороны, по поведенческим проявлениям, а с другой стороны, по молекулярным маркерам — белкам, которые вовлечены в процессы повреждения мозга, и чьи уровни, в зависимости от сроков нейротравмы, могут значительно меняться. «Для ЧМТ характерны возникновение воспалительного процесса нервной ткани, гибель и дегенерация клеток мозга, — говорит ученая. — Поэтому наше внимание было сосредоточено на биомаркерах нейровоспаления, повреждения и восстановления нейронов: IBA1, NeuN и BDNF соответственно. Эти белки мы выбирали согласно тем процессам, которые по наблюдениям и представлениям о ЧМТ происходят в организме человека. Нейротрофический фактор мозга BDNF, к примеру, играет крайне важную роль во многих процессах, связанных с памятью, обучением и, как следует из его названия, в нейротрофической функции (участие в структурной организации отдельных клеток мозга и нейронной сети в целом). Сегодня специалисты активно ищут пути использования этого белка для эффективной терапии различных видов нервных и психических расстройств, включая нейротравму».

Работа проводилась при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-65-46006). До настоящего времени подобных исследований на моделях рыб зебраданио проведено не было. В дальнейшем ученые планируют продолжать более детальное изучение коррекции нарушений лазериндуцированной ЧМТ с помощью воздействия на нейрогенез и нейровоспаление.

Полина Кустова
Иллюстрация предоставлена
исследователями