

Новости науки

Физика

Исследование космических лучей в Антарктиде

В Научно-исследовательском институте ядерной физики им.Д.В.Скобелева Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (НИИЯФ МГУ) идет подготовка к серии экспериментов в рамках научного проекта «Сфера—Антарктида», направленного на изучение энергетического спектра и массового состава космических лучей в области сверхвысоких и предельно высоких (10^{17} – 10^{20} эВ) энергий, а также поиск локальных источников космических лучей в малоисследованной области южной небесной полусферы. В эксперименте также примут участие сотрудники Физического института им.П.Н.Лебедева РАН (Москва), Института ядерных исследований РАН (г.Троицк Московской обл.) и НИИ Арктики и Антарктики (Санкт-Петербург).

В полярную ночь установку «Сфера-А» поднимут с помощью специального аэростата на высоту 20–30 км над покрытой льдом и снегом Антарктидой. Устойчивые циркумполярные ветровые потоки обеспечат аэростату полет вокруг Южного полюса в течение месяца. В это время находящаяся

на его борту установка будет регистрировать отраженный от снежной поверхности поток фотонов, названный по имени первооткрывателей излучением Вавилова—Черенкова (черенковским светом), а также флуоресцентный свет от широких атмосферных ливней (ШАЛ) — каскада вторичных частиц, рожденных в результате взаимодействия высокоэнергетических частиц из космоса с ядрами атомов воздуха. Изображение пятна черенковского света на снегу и трека ШАЛ будет проецироваться на мозаику фотоумножителей с помощью системы линз. Одновременная регистрация черенковского и флуоресцентного света, увеличивающая точность определения энергии и типа первичной частицы, будет реализована впервые в мире. Идею о возможности осуществления измерений, в которых регистрируются оба типа светового излучения, предложил в 1960–1970-х годах академик А.Е.Чудаков. Эти методики дают возможность анализировать структуру энергетического спектра и ядерный состав первичного космического излучения, а также обеспечивают большую (до 1000 км²) площадь регистрации.

В 1990-х годах исследования проводили на Тянь-Шане с применением установки «Сфера-1», которая стояла на горе и «осматривала» покрытую льдом и снегом поверхность Большого Алма-Атинского озера. Тогда удалось осуществить первые измерения энергетического спектра первичных космических лучей. Установка была оснащена сферическим зеркалом диаметром 1.2 м и мозаикой из 19 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), расположенной в фокусе зеркала.

В начале 2000-х годов для регистрации космических лучей специалисты НИИЯФ МГУ создали более совершенную установку «Сфера-2», оптическая система которой состояла из сферического зеркала диаметром 1.5 м с корректирующей диафрагмой и 109 ФЭУ, расположенных на фокальной поверхности зеркала. Электронная аппаратура позволяла записывать форму импульса с каждого из 109 ФЭУ с дискретностью 12.5 нс в течение 12 мкс. Кроме того, в новой установке появились датчики GPS, температуры и давления, инклинометр, который показывает угол наклона установки, электронный компас для ориентации комплекса, светодиодная система определения относительной чувствительности каждого ФЭУ детектора. Установка, поднятая с помощью привязного аэростата на несколько сот метров над за-

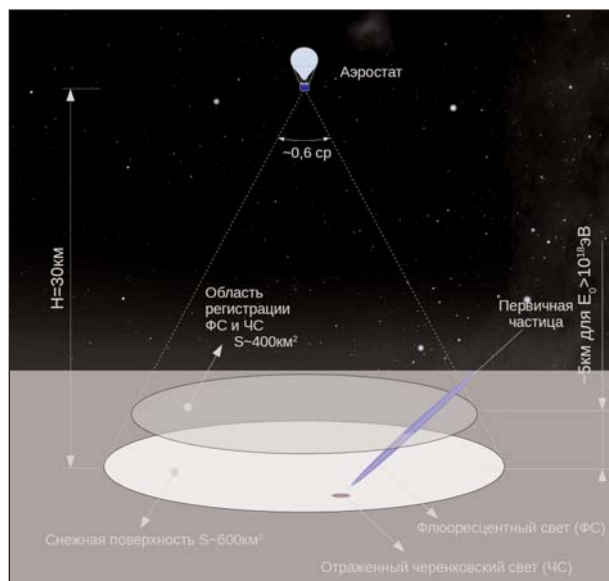


Схема эксперимента по регистрации космических лучей.

снеженной поверхностью оз. Байкал, регистрировала отраженный от снега черенковский свет ШАЛ. Измерения проходили в 2008–2013 гг.

В Антарктиде, где имеются хорошие природные условия для проведения эксперимента по сбору данных об энергиях космических лучей (долгая полярная ночь, чистая атмосфера, устойчивые воздушные потоки), ученые будут использовать более сложную в техническом плане установку «Сфера-А». Ее усовершенствования связаны прежде всего с оптическим разрешением детектора и регистрирующей электроникой. Если в первой системе стояло 19 фотоэлектронных умножителей, то в проектируемой планируют установить более 3300 кремниевых фотоумножителей. Современное оборудование установки «Сфера-А» и новое программное обеспечение позволят с высокой точностью определить направление прихода широких атмосферных ливней и положение максимума развития ШАЛ, а также вычислять интеграл черенковского света и использовать его как меру энергии первичной частицы.

Кроме основных задач, в процессе эксперимента могут быть получены данные о потоках частиц низкой энергии, обусловленных изменением солнечной активности, и сведения о возможных потоках радиоактивных частиц, связанных с авариями на атомных электростанциях и ядерными испытаниями.

© Антонов Р.А., Роганова Т.М.,

доктора физико-математических наук,

Чернов Д.В.,

кандидат технических наук

Научно-исследовательский институт

ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

Астрономия

«Радиоастрон» разглядел ядро галактики с рекордной детализацией

Российская наземно-космическая обсерватория «Радиоастрон» получила изображение активного ядра галактики в созвездии Ящерицы, объекта BL Lacertae, с рекордно высоким в истории астрономии угловым разрешением. Это позволит изучить детали происходящих там процессов.

BL Lacertae относят к блазарам — одним из самых высокоэнергетических объектов во Вселенной. Они характеризуются непрерывным спектром во всех диапазонах электромагнитного излучения (от гамма- до радио-) и способны сильно изменять свою светимость за короткие промежутки времени (от нескольких часов до нескольких суток). Обычно блазары связывают со сверхмассивными черными дырами в центре галактик.

BL Lacertae изначально считали переменной звездой, поэтому и дали объекту звездное имя. На самом деле это прототип блазаров, активное ядро далекой галактики, обладающее исключи-

тельными свойствами. BL Lacertae окружен диском плазмы, разогретой до температур в миллиарды градусов Кельвина. Мощные магнитные поля и высокие температуры формируют так называемые джеты — релятивистские струи газа, которые движутся с околосветовыми скоростями. Теоретические модели предсказывали, что из-за вращения черной дыры и аккреционного диска линии магнитного поля должны формировать спиральные структуры, ускоряющие поток вещества в джетах. Долгое время у исследователей не было инструментов, чтобы заглянуть в эту область и понять механизм рождения джета. Сегодня такие инструменты есть. Один из них — «Радиоастрон».

Его создание было инициировано в конце 1970-х годов Астрокосмическим центром Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН). Еще в 1965 г. тогда сотрудник, а сегодня руководитель центра академик Н.С. Кардашев с коллегами предложил идею принципиально нового радиointерферометра с независимой регистрацией данных на нескольких антеннах, разнесенных на большие расстояния. Но развитие этого метода сдерживалось физическим барьером: телескопы нельзя было разнести на расстояние большее, чем диаметр Земли. Однако астрофизикам удалось преодолеть это ограничение. В 2011 г. с площадки космодрома Байконур поднялся аппарат «Спектр-Р», разработанный в НПО им. С.А. Лавочкина (г. Химки Московской обл.), на котором была установлена десятиметровая антенна, раскрывающаяся в космосе, комплекс научного оборудования, приемники, усилители и преобразователи сигналов. К наземной части исследований подключились телескопы в обсерваториях России, Австралии, Европы, США и Японии.

«Спектр-Р» вращается по необычной орбите, благодаря чему находящийся на нем радиотелескоп то приближается к Земле (на 50 тыс. км), то удаляется от нее примерно на 350 тыс. км. Это нужно, чтобы увеличить степень детализации изображений радиосветящихся объектов, определить их координаты и, возможно, динамику. Работа идет по следующей схеме: сигнальный луч с «Радиоастро́на» направляют в далекую точку Вселенной, туда же идет луч с наземного радиотелескопа. Отраженные сигналы принимают антенны, затем полученные данные сводят в общую картину. Благодаря разнесенной на огромное расстояние орбите спутника можно получать предельно четкие изображения — до 8 миллионов долей угловых секунд. Совместная работа космического аппарата и нескольких наземных радиотелескопов дает изображения космических объектов с разрешающей способностью в 30 раз большей, чем подобные наземные системы. К слову, такими возможностями не обладает даже самый известный в мире телескоп «Хаббл» (проект НАСА и Европейского космического агентства), выведенный на орбиту Земли в 1990 г.

В ходе наблюдений блазара BL Lacertae, проводившихся на самой короткой длине волны, доступной «Радиоастрону» (1.35 см, что соответствует частоте 22 ГГц), ученые добились рекордного углового разрешения за всю историю астрономических наблюдений: 21 мкс дуги (напомним, одна секунда дуги примерно соответствует углу, под которым виден футбольный мяч с расстояния 45 км). Если бы подобными характеристиками обладал оптический телескоп, в него можно было бы разглядеть спичечный коробок на поверхности Луны.

Радионаблюдения со сверхвысоким разрешением позволили увидеть сложную структуру джета, в которой идентифицированы отдельные компоненты, образующиеся при продвижении разогнанного до релятивистских скоростей вещества сквозь разреженную среду*. Расположение и яркость этих компонентов совпадают с релятивистскими магнитогидродинамическими симуляциями, выполненными в Астрономическом центре ФИАН. Симуляции предсказывают возникновение в джетах так называемых реколламационных шоковых волн (таких, которые распространяются в среде, но не «расползаются», сохраняя свою структуру). Судя по всему, эти шоковые волны действительно существуют в джетах. Изучение данных, полученных «Радиоастроном», — процесс длительный, так что в ближайшем будущем можно ждать появления новых публикаций.

По материалам Агентства научной информации «ФИАН-информ»

Палеонтология

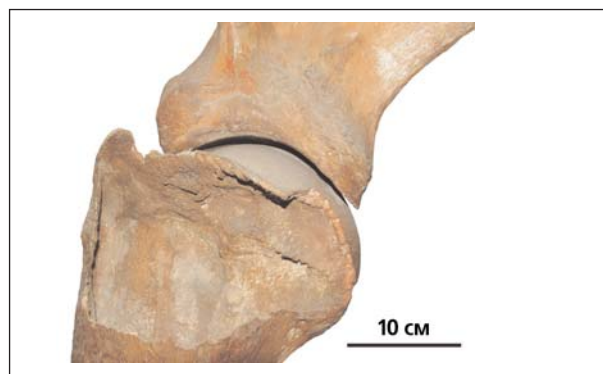
Геохимический стресс как причина вымирания мамонтов

Серьезные научные дискуссии о причинах вымирания шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799) — ключевого вида континентальных позднелейстоценовых экосистем Северной Евразии — идут уже более века. Ученые выдвигают две основные гипотезы: антропогенную и климатическую. Аргументом в пользу первой служат обнаруженные мощные костеносные горизонты, образовавшиеся, по мнению ряда палеонтологов и особенно археологов, в результате активной охоты древнего человека. В качестве свидетельств приводятся скопления остатков мамонтов на знаменитых местонахождениях позднего палеолита в Костёнках, Юдинове (Россия), Дольни-Вестонице (Чехия) и др. Часть сторонников антропогенной версии отстаивает более мягкий вариант — вытеснение мамонтов на периферию континента во время активного расселения

человека, что объясняет наличие голоценовых рефугиумов на островах Берингии.

Большинство ученых, отвергающих гипотезу истребления мамонтовой фауны, склоняется к ведущей роли климата в этом процессе. Причиной они называют потепление и подъем уровня Мирового океана, что привело к затоплению шельфа и формированию сплошного пояса лесов. Негативными последствиями потепления могли быть увеличение глубины снежного покрова и зимние оттепели, приводящие к массовой гибели травоядных от голода. Несмотря на веские доводы, в данной концепции есть уязвимые моменты. Почему мамонты не мигрировали в благоприятные ландшафты северных или южных территорий? Как они пережили предыдущие теплые фазы, а на островах Северного Ледовитого и Тихого океанов выжили даже в климатический оптимум? Ответы на эти ключевые вопросы мог бы дать сценарий вымирания мегафауны от «гиперболезни», заключающийся в распространении инфекций через полорогих и хоботных. Однако слабое место в гипотезе пандемии — неоднозначная интерпретация костных патологий. В последние годы возрождается также космическая версия (падение метеорита или кометы), существуют и другие, но менее распространенные. Недостаток большинства из них — явный биотический уклон. По сути, все сводится к чрезмерному прессу вида *Homo sapiens*, недостатку пищевых ресурсов или пандемии, тогда как абиотический фактор рассматривается лишь в контексте климата и рельефа.

Палеонтологи Томского государственного университета предлагают оценивать проблему вымирания *M. primigenius* в тесной взаимосвязи с геохимической средой обитания вида. Ученые считают, что древних гигантов во многом погубило минеральное голодание, которое привело к геохимическому стрессу. Убедительное доказательство этому — массовое проявление остеодистрофии (патологического изменения костной и хрящевой тканей). Гипотеза опирается на результаты



Крупнейшая из известных остеобластом локализована в проксимальном конце плечевой кости скелета таймырского мамонта. Из фондов Зоологического института РАН.

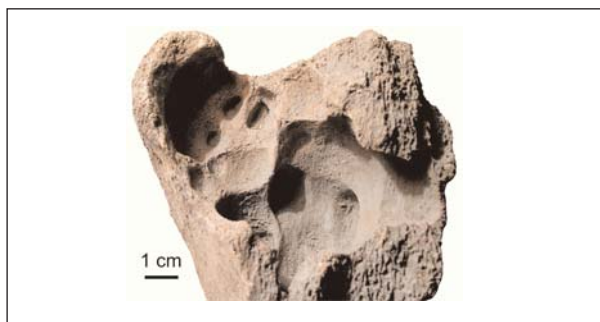
* Gomez J. L., Lobanov A. P., Bruni G. et al. Probing the innermost regions of AGN jets and their magnetic fields with Radioastron. I. Imaging BL Lacertae at 21 microarcsecond resolution // The Astrophysical Journal. 2016. V.817. №2. Doi:10.3847/0004-637X/817/2/96.

15-летних исследований болезней скелетной системы *M. primigenius* и их сородичей*.

Палеоэкологический анализ примерно 24 тыс. костей и зубов мамонтов Северной Евразии показал, что большинство поздних представителей вида *M. primigenius* имели остеопатологии. Деструктивные изменения чаще отмечаются на ребрах (иногда почти 100%), позвонках (до 90%), черепе (до 75%) и длинных костях (до 30–70%). При этом в отдельных коллекциях фиксируется очень высокая доля остеопороза (почти 100%).

Болезни скелетной системы часто развиваются в условиях дефицита в пище и воде жизненно необходимых химических макро- и микроэлементов. Минеральный голод в конце плейстоцена объясняется абиотическими факторами: резким неотектоническим подъемом обширных территорий и увлажнением макроклимата из-за начавшегося глобального потепления в позднеледниковье (примерно с 17 тыс. лет назад). В результате приморские низменности были затоплены, а центральные территории — заболочены. Возвышенные равнины и предгорья подверглись сильному почвенному выщелачиванию из-за снижения уровня грунтовых вод и увеличения объема атмосферных осадков. Изменение среды обитания, связанное с кардинальной сменой благоприятных Ca-Mg-Na-ландшафтов на кислые и кислые глеевые, сопровождалось геохимическим стрессом. В этой ситуации лишь редкие зверовые солонцы (в иностранной литературе их обычно называют минеральными или соевыми лизунцами) оставались минеральными оазисами, где крупные травоядные могли употреблять горные породы, почву, поверхностные или грунтовые воды, богатые необходимыми макро- и микроэлементами. Такое поведение животных в научной среде называют литофагией (камнеедением) или геофагией — (землеедением). Очевидно, мамонты были самыми крупными литофагами в конце плейстоцена в Северной Евразии. Это также доказывается наличием минеральных веществ в желудочно-кишечном тракте трупов мамонтов и их копролитах, иногда достигающим 90% от массы содержимого.

Геохронологический рубеж 27–24 тыс. лет назад стал критическим для шерстистого мамонта. С этого момента представители вида начали испытывать хроническое минеральное голодание, которое отразилось в формировании мамонтовых «кладбищ» на зверовых солонцах. Дальнейшее ухудшение геохимической среды в позднеледниковье привело сначала к адаптивному сокращению размеров тела,



Остеобластома в проксимальном конце большой берцовой кости мамонта с Берелёхского кладбища (Якутия). Из фондов Зоологического института РАН.

а затем к окончательному вымиранию *M. primigenius*. В голоцене зверовых солонцов уже было недостаточно для поддержания жизнеспособности разрозненных континентальных популяций.

© Лещинский С.В.,

кандидат геолого-минералогических наук
Томский государственный университет

Археология

Поселения эпохи дзёмон

Институт археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск) — пожалуй, единственный научный центр в России, специалисты которого ведут исследования археологических объектов Японского архипелага. Совместно с зарубежными коллегами, прежде всего из Университета Тохоку (г. Сендай), они изучают материалы древних поселений Страны восходящего солнца от Хоккайдо до Окинавы. Работа организована в рамках проекта Российского гуманитарного научного фонда «Поселенческие комплексы культуры дзёмон: особенности, эволюция, тихоокеанский контекст». Он посвящен актуальной и дискуссионной проблеме — возникновению и становлению оседлого образа жизни в древних культурах тихоокеанского бассейна. Объектом исследования стала культура дзёмон (13000 — 300 г. до н.э.), которая, согласно археологической периодизации истории стран Запада, соответствует мезолиту и неолиту. Следует отметить, что это первый в практике западной и японской археологии проект, охватывающий изучение поселенческих комплексов древней культуры на всем хронологическом периоде ее существования.

Термин «дзёмон» дословно означает «веревочный орнамент» — так называли распространенную в тот период технику украшения глиняной посуды и фигурок догу шнуrowым орнаментом. Японское слово было использовано для перевода словосочетания «cord marked pottery», которое в 1879 г. употребил при описании керамики со стоянки Омори вблизи Токио один из первых исследователей неолитической культуры Японии Э. Морс (США).

* Leshchinskiy S. Enzootic diseases and extinction of mammoths as a reflection of deep geochemical changes in ecosystems of Northern Eurasia // Archaeological and Anthropological Sciences. 2015. V.7. №3. P.297–317.

Лещинский С.В., Зенин В.Н., Бурканова Е.М. и др. Комплексные исследования Барабинского мамонтового рефугиума в 2015 г. // Вестник Томского государственного университета. 2015. №400. С.54–365.



«Ритуальная башня» в Саннай–Маруяма.

В эпоху дзёмон жители Японского архипелага обитали в землянках и полуземлянках, имеющих в плане прямоугольную или круглую форму. Пол, стены — земляные, крыша из шкур животных, травы и валежника держалась на каркасе из деревянных столбов. Центром жилья был очаг земляного, кувшинного или каменного типа. В таком доме площадью примерно 20–30 м² обычно проживала одна семья от пяти человек. Здания бóльших размеров концентрировались главным образом в северной и центральной части Японии. Так, на стоянке Фудодо (префектура Тояма) археологи раскопали землянку, которая имела четыре очага и в плане напоминала эллипс размером 17×8 м. Землянку такой же формы (31×8,8 м) обнаружили на стоянке Сугисавадай (префектура Акита). Назначение этих построек неизвестно. Можно предположить, что они служили местом сборов населения для коллективной работы или выполняли функцию кладовых.

Уже на ранних этапах культуры дзёмон обитатели Японского архипелага стали образовывать поселения. Сначала они состояли из двух-трех землянок, но, начиная со среднего периода дзёмон, их количество в одном месте постепенно увеличивалось, что дало исследователям основание говорить о постепенном переходе людей к оседлому образу жизни. Жилища обычно строили на невысоких холмах примерно на одинаковом расстоянии вокруг площади, которая становилась общественным и религиозным центром. В исто-

риографической литературе такой тип организации поселения называют круглым или подковообразным. Среди традиционного жилья встречались также здания на подпорках прямоугольной, шестиугольной или эллипсообразной формы, не имевшие земляных стен и очага. Археологи затрудняются определить их назначение.

Восстанавливать постройки древнего периода японской культуры крайне сложно, потому что органические материалы, из которых они состояли, сохраняются плохо, и полная реконструкция — всегда отчасти гипотеза. Поэтому ученые воссоздают облик древних жилищ, используя информацию раскопок и музеев, с одной стороны, и привлекая опыт различных культур — с другой.

В северо-восточной Японии, где находится Университет Тохоку, с которым Институт археологии и этнографии СО РАН поддерживает прочные научные связи, есть несколько уникальных музеев-реконструкций. Наиболее известный и грандиозный по масштабу — ритуально-поселенческий комплекс Саннай-Маруяма (префектура Аомори) площадью 38 га, существовавший в период раннего (4-е тысячелетие до н.э) и среднего (3-е тысячелетие до н.э) дзёмона. Он расположен на горе Маруяма в 3 км от г.Аомори. По данным археологов, здесь проживало около 500 человек. Обитатели этой части Японского архипелага жили в полуземлянках средних размеров (до 12 м²). Но здесь же обнаружено несколько сооружений существенно большей площади. Одно из них, высотой примерно 20 м и шириной 10 м, явно не предназначалось для жилья. Вероятнее всего, его использовали в ритуальных целях во время проведения общинных праздников или мероприятий.

В поселенческом комплексе существовали и строения на шести опорных столбах, служившие, видимо, для общего сбора жителей и совместных работ. Поражает своими размерами «большой дом», длина которого 32 м, ширина — 10 м и высота — почти 15 м. Некоторые исследователи считают, что его могли использовать в качестве места поклонения, сторожевой башни или даже монумента. В наше время на территории комплекса проводят сезонные праздники, посвященные, например, дню осеннего равноденствия, во время которого ученые и волонтеры реконструируют древнейшие обряды. Подобные музеи можно найти и в центральной части Японии.

В 2016 г. сотрудники сектора зарубежной археологии института продолжают «археологическое турне» по ряду региональных научных центров, чтобы создать цельную картину древней истории японских островов.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект №14-01-00017).

© Соловьева Е.А.,

кандидат исторических наук

Институт археологии и этнографии СО РАН

г.Новосибирск