

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПАЛЕОГЕОГРАФИИ
ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА**



2020

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА

Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием
«Марковские чтения 2020 года»,
посвященной 115-летию со дня рождения академика К.К. Маркова

*Ответственные редакторы:
доктор географических наук Н.С. Болиховская,
кандидат географических наук Т.С. Ключевиткина,
доктор географических наук Т.А. Янина*

Москва – 2020

УДК 551.8; 551.7

Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Марковские чтения 2020 года» / Отв. редакторы Н. С. Болиховская, Т. С. Клювиткина, Т. А. Янина. – М.: Географический факультет МГУ, 2020. – 496 с.

В книге опубликованы материалы, представленные в докладах Всероссийской научной конференции с международным участием «Марковские чтения 2020 года: Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена» (6–8 ноября 2020 г., Москва), посвященной 115-летию со дня рождения академика К.К. Маркова. Авторами на современном уровне знаний, отражающем развитие идей К.К. Маркова (1905–1980), освещаются ключевые вопросы палеогеографии и стратиграфии квартера: строение, генетические типы, дробная климатостратиграфия и абсолютный возраст четвертичных отложений; распространение и периодизация покровных и горных оледенений; колебания уровня внутренних и внешних морей Евразии; периодизация и корреляция палеоклиматических событий. Даны результаты мультидисциплинарных исследований разрезов четвертичных отложений и широкий спектр региональных палеогеографических реконструкций изменений на протяжении плейстоцена и голоцена различных компонентов природной среды (рельефа и комплексов четвертичных пород, морских, озерных и речных бассейнов, лёссово-почвенного покрова и криогенных образований, климата, наземной и водной флоры, растительности и животного мира) в континентальных и морских областях Северной Евразии. Приведены реконструкции особенностей развития растительности и климата ряда горных и равнинных районов Сибири и Русской равнины в эпохи обитания древнего человека.

Книга адресована исследователям эволюции природной среды в плейстоцене и голоцене, а также учащимся ВУЗов.

Проведение конференции и публикация сборника научных статей с материалами докладов Всероссийской конференции с международным участием «Марковские чтения 2020 года» выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 20-05-20003)

Рецензенты:

профессор, доктор географических наук А. В. Бредихин
профессор, доктор географических наук В. В. Рогов

Actual problems of Pleistocene-Holocene palaeogeography: Proceedings of “The Markov Readings in 2020 year” All-Russian Conference / Responsible Editors N. S. Bolikhovskaya, T. S. Klyuvitkina, T. A. Yanina. – Moscow: Geographical faculty of Lomonosov Moscow State University, 2020. – 496 pp.

ISBN 978-5-906731-76-0

© Географический факультет МГУ, 2020

© Коллектив авторов, 2020

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОСМОГЕННОГО ДАТИРОВАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ И АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Курбанов Р.Н.^{1,2}, Лукьянычева М.С.², Кулакова Е.П.³

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, roger.kurbanov@igras.ru; ²Институт географии РАН, Москва, mashluk95@gmail.com;

³Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, ek.kula@yandex.ru

На данный момент в четвертичной стратиграфии, палеогеографии и археологии существует проблема недостатка данных абсолютной хронологии и надежных методов датирования для возрастов от 500 тыс. лет до нескольких миллионов лет. Широко применяемый метод радиоуглеродного датирования в настоящий момент ограничен пределами в 45–50 тыс. лет. Максимальный предел для метода люминесцентного датирования на данный момент составляет 500–600 тыс. лет и сильно привязан к генезису отложений и содержанию радиоактивных элементов в породе. Датирование методом урановых рядов определяет время, прошедшее с закрытия системы (в основном карбонатной), но максимальный определяемый возраст составляет около 500 тыс. лет. Ar-Ar и K-Ar датирование имеет больший диапазон и точность, но определяемый момент связан со временем образования кристалла, который зачастую не соотносится с датируемым событием в палеогеографии или в археологии. Активно развивающиеся в настоящее время методы и спин-датирования еще не до конца методически опробованы, хотя перспективы указывают на то, что ими можно будет в будущем определять возраст до 3 млн лет. В этой связи в последние годы особую актуальность получил метод космогенного датирования, который начал широко применяться в географических и геологических исследованиях, в первую очередь в палеогляциологических работах при датировании древних морен. На данный момент нашей группой начаты работы по получению космогенных датировок моренных комплексов Кавказа, Алтая и Полярного Урала, а также ряда палеолитических памятников Кавказа. В этой работе приводятся методическая основа датирования, а также обзор полученных к настоящему моменту результатов для определения возраста ряда уникальных палеолитических стоянок.

Физические основы. Метод космогенного датирования основан на выявлении редких космических нуклидов, которые образуются при взаимодействии между вторичным космическим излучением различных энергий и минералом (чаще кварцем) в приповерхностных частях горных пород. Различают первичное и вторичное космическое излучение. К первичному относится галактическое космическое излучение [Вагнер, 2006]. Оно является источником производства земных космогенных нуклидов и в основном состоит из нуклонов высоких энергий – протонов, которые обладают достаточной энергией для участия в процессах ядерных распадов в верхних слоях атмосферы. Неупругие взаимодействия первичных частиц с ядрами встречных атомов в атмосфере приводят к образованию каскада новых частиц и реакций, которые, в конечном итоге, достигают земной поверхности, при этом чистая энергия теряется в атмосфере. Частицы, образующиеся в результате начальных взаимодействий, образуют то, что традиционно называют «вторичным излучением». Вторичные нуклоны (например, протоны и нейтроны) и мезоны (например, каоны и мюоны) образуются в верхней части атмосферы (выше 100 г/см²) имеют по существу те же свойства, что и первичные [Gosse et al., 2001]. Производство космических нуклидов происходит под действием реакции расщепления при достижении излучения поверхности горных пород. Это процесс с высокой падающей энергией, при котором нейтрон (или другой нуклон) сталкивается с ядром-мишенью (например, атомом кремния) и отрывает от него несколько (обычно 3–10) более легких частиц, оставляя более легкий остаток ядра (например, ²¹Ne). Для наиболее применяемых космических нуклидов, например (¹⁰Be, ²⁶Al и ¹⁴C), темпы производства в кварце и скорости радиоактивного распада определены с высокой точностью. Это позволяют применять методы датирования поверхностного воздействия на горные породы практически любой литологии на любой широте и высоте [Gosse et al., 2001].

Ввиду соответствия ряду условий (физические и химические свойства), в практике датирования из всех возможных наземных космических нуклидов наиболее широко применяются следующие: ³He, ¹⁰Be, ¹⁴C, ²¹Ne, ²⁶Al и ³⁶Cl. При этом некоторые нуклиды, такие как ¹⁰Be, выра-

батываются в атмосфере со скоростью, примерно в 1000 раз превышающей среднюю скорость образования в горных породах на поверхности Земли, поэтому необходимо обеспечивать чистоту навески при подготовке образцов, чтобы гарантировать, что атмосферный компонент не загрязняет наземный компонент.

Практика датирования разделяется на нескольких этапов:

1. Этап предварительной обработки, главной задачей которого является отделение и очищение целевого минерала (кварца). Минеральная очистка является необходимой обработкой для большинства анализов и состоит из двух стадий: изоляция минеральной фазы кварца и максимальное удаление нуклидов не космогенной природы из этой фазы.

2. Этап экстракции изотопа для выделения искомым изотопов из минералов химическим путем, а также подготовки их к форме, подходящей для анализа (например, ^{10}Be и ^{26}Al осаждаются в виде оксидов, ^{36}Cl в виде AgCl , ^{14}C в виде графита). В процессе также важно отделить нуклиды от любых возможных изобар (изотопов одинаковой массы, например, ^{10}B является важной изобарой ^{10}Be).

3. Этап измерения концентрации нуклидов с помощью ускорительной масс-спектрометрии (УМС). В настоящее время эти измерения возможно выполнять только за рубежом, в основном в Европе, Америке, Китае и Японии.

Опыт применения метода космогенного датирования в археологии. Все большее распространение датирования по НКН приобретает в археологии и активно используется для определения возраста захоронения важных стратиграфических единиц, содержащих археологические находки. НКН датирование принялось в целом ряде исследований интереснейших археологических объектов: для участка Юаньмоу [Luo et al., 2020] – слой с двумя резцами гоминина *H. Erectus*, результат – 1.72 ± 0.03 млн лет; определение возраста останков двух гомининов в пещере Свартскан в Южной Африке [Gibbon et al., 2014] – 1.80 ± 0.09 и 2.19 ± 0.08 млн лет; в бассейне р. Луонань в центральном Китае [Wang et al., 2019] получены датировки культурного слоя в лессах 0.60 ± 0.12 млн лет и целый ряд других датировок.

Так, Guo с соавторами в своей работе успешно применили данный метод для Юаньской стоянки гомининов (Yiuan hominin site), представляющей собой три небольшие расщелины/пещеры в ордовикских известняках (провинция Шандонг, Северный Китай) [Guo et al., 2019]. На данной стоянке были обнаружены фрагменты черепа и несколько зубов гомининов. Результаты предшествовавших биостратиграфических корреляций определяли возраст в широком интервале. По $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ был получен возраст 0.64 ± 0.08 млн лет, что подтвердило отнесение обнаруженных останков гоминина к виду *Homo erectus*. Данный результат хорошо коррелируется с другими среднеплейстоценовыми археологическими объектами Северного Китая (со схожей морфологией останков гоминидов).

Французскими учеными было проведено исследование в двух населенных пунктах-гоминидах бассейна Чада в пустыне Джураб (Северный Чад) [Lebatard et al., 2008]. Здесь в ископаемых районах Коро Торо (КТ) и Торос-Меналла (ТМ) были обнаружены *Australopithecus bahrelghazali* (Абель) и *Sahelanthropus tchadensis* (Тумай), соответственно. В обоих населенных пунктах эволюционная степень ассоциированных сообществ ископаемых млекопитающих позволила провести биохронологическую оценку останков гоминидов: ранний плиоцен (3–3.5 млн лет) для КТ и поздний миоцен (около 7 млн лет) для ТМ.

Для квазинепрерывного датирования осадочных единиц, содержащих остатки гоминидов, был использован атмосферный космогенный нуклид ^{10}Be . В результате датирование $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ реликтового пелита внутри осадочного уровня, содержащего Абель, дал возраст 3.58 ± 0.27 млн лет, что указывает на современность *Australopithecus bahrelghazali* (Абель) с *Australopithecus afarensis* (Люси). В итоге получено 28 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ возрастов, указывающих на то, что возраст *Sahelanthropus tchadensis* (Тумай) составляет от 6.8 до 7.2 млн лет. Это хронологическое ограничение является важным краеугольным камнем для установления самых ранних стадий эволюции гоминидов.

Итоговые данные демонстрируют точность измеренных возрастов $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ посредством сравнения с биохронологическими оценками, основанными на эволюционной степени происхождения ископаемых млекопитающих. Это показало, что в благоприятных условиях атмосферный космогенный нуклид ^{10}Be , нормализованный по растворенной фракции его стабильно-

го изотопа ^9Be , может использоваться в качестве инструмента датирования континентальных осадочных отложений за период времени от 0.2 до 7 млн лет.

Заключение. Таким образом, космогенное датирование в настоящее время позволяет получать совершенно новые оценки возраста для различных типов отложений и геологических ситуаций. Космогенное датирование находит широкое применение в палеогляциологических (датирование морен, единичных эрратических валунов, склонов ледниковой экзарации), геоморфологических (определение возраста морских террас, эрозионных событий, определение скоростей эрозии и др.), палеогеографических (датирование лессово-почвенных серий, древних береговых линий, разломов и сейсмических событий) и археологических исследованиях (наскальная живопись, погребенные орудия труда и экспонированные артефакты). Этот метод предполагается развивать на базе НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант 19-77-10077).

Литература:

Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории // М.: Техносфера, 2006.

Gibbon R.J. et al. Cosmogenic nuclide burial dating of hominin-bearing Pleistocene cave deposits at Swartkrans, South Africa // *Quaternary Geochronology*. 2014. Т. 24. С. 10–15.

Gosse J.C. et al. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application // *Quaternary Science Reviews*. 2001. Т. 20. №. 14. С. 1475–1560.

Guo Y. et al. $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ Burial Dating of the Middle Pleistocene Yiyuan Hominin Fossil Site, Shandong Province, Northern China // *Scientific reports*. 2019. Т. 9. №. 1. С. 1–8.

Lebatard A.E. et al. Cosmogenic nuclide dating of *Sahelanthropus tchadensis* and *Australopithecus bahrelghazali*: Mio-Pliocene hominids from Chad // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008. Т. 105. № 9. С. 3226–3231.

Luo L. et al. The first radiometric age by isochron $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ burial dating for the Early Pleistocene Yuanmou hominin site, southern China // *Quaternary Geochronology*. 2020. Т. 55. С. 101022.

Wang K. et al. Cosmogenic nuclide burial dating of Liuwan Paleolithic site in the Luonan Basin, Central China // *Journal of Geographical Sciences*. 2019. Т. 29. №. 3. С. 406–416.