

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт экологии растений и животных УрО
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ В ГОЛОЦЕНЕ

**МАТЕРИАЛЫ ВТОРОЙ РОССИЙСКОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

12–14 октября 2010 года

ЕКАТЕРИНБУРГ
2010

УДК 574.4 (061.3) + 551.794

Динамика экосистем в голоцене: материалы Второй Росс. науч. конф. / [отв.ред. Н.Г. Смирнов]. Екатеринбург; Челябинск: Рифей, 2010. 260 с.

В сборнике представлены материалы Второй Российской конференции «Динамика современных экосистем в голоцене», проходившей в 2010 году в г. Екатеринбурге в Институте экологии растений и животных УрО РАН. Тематика работ охватывает широкий круг вопросов состояния отдельных элементов экосистем, их состава и структуры, а так же динамики в связи с природными и антропогенными факторами. Часть работ посвящена палеоклиматическим реконструкциям голоцена и методическим вопросам. Сборник предназначен для специалистов и всех интересующихся историей природы и человека за последние 10 тыс. лет. Материалы сборника публикуются в авторской редакции.

Ответственный редактор:
чл.-корр. РАН Н.Г. Смирнов

Редакционная коллегия:
П.А. Косинцев, Н.О. Садыкова, Е.П. Изварин, Г.В. Быкова

Проведение конференции и публикация сборника выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 10-04-06129-г.

ISBN 978-5-88521-170-3

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2010
© Оформление. Издательство
«Рифей», 2010

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОСТНЫХ ОСТАТКОВ МЛЕКОПИТАЮЩИХ КАК ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ ФОССИЛИЗАЦИИ

Н.О. Садыкова*, Н.Г. Смирнов*, С.Л. Вотяков**, Д.В. Киселева**

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

** Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

E-mail: ninos@ipae.uran.ru, nsmirnov@ipae.uran.ru

Ключевые слова: фоссилизация, относительное датирование, термический анализ, зоогенные отложения, карстовые полости, мелкие млекопитающие.

Одной из ключевых проблем при работе с ископаемым материалом является определение возраста находок. Радиоуглеродный метод — основной метод абсолютного датирования костных остатков позднечетвертичного возраста — имеет ряд недостатков, особенно существенных при работе с остатками мелких животных. Основной из них — ограничения по массе используемых образцов. Даже для AMS- датирования нужны костные образцы с минимальной массой примерно 2 г, а для радиоуглеродных установок на датчиках бета-излучений требуются навески костей не менее нескольких десятков граммов. В то же время, при раскопках наиболее массовыми остатками мелких млекопитающих, для которых доступна видовая диагностика, являются щечные зубы. Масса каждого из зубов составляет лишь несколько миллиграмм. Когда образец для радиоуглеродной датировки формируется из нескольких (или многих) костных фрагментов, то любое подозрение на хронологическую смешанность материала лишает результаты смысла.

Спектр методов относительного датирования образцов, в разное время применявшихся в четвертичной палеозоологии, довольно широк. В основе всех этих методов лежит то, что в процессе фоссилизации в костных остатках происходит деградация органического вещества и замещение биоминеральной части веществом из внешней среды. Костные скопления в карстовых полостях Урала, благодаря массовости, широкому распространению, относительной тафономической однородности, являются удобным объектом для изучения процессов фоссилизации, как основы для дальнейшей оценки их относительного возраста.

Центральная идея работы состоит в том, чтобы найти доступные и надежные показатели фоссилизации костей, которые можно было бы определять по минимальным навескам, составляющим несколько миллиграммов. Теоретические основы определения возраста остатков по остаточному содержанию коллагена были разработаны И. Дюрстом. В нашей стране довольно широкое распространение получил вариант этого метода, предложенный И.Г. Пидопличко (1952). Показано, что скорость разрушения органической компоненты в ходе диагенеза не постоянна и сильно зависит от условий захоронения. Метод оказывается наиболее эффективным при анализе и сопоставлении массового материала из местонахождений одного региона и сходной тафономической природы. В 70-е гг. G. Szöör (1982) довольно успешно применял дифференциальный термический анализ (дериватографию) для определения возраста костных остатков, относящихся к плиоцену, плейстоцену и голоцену. Метод основан на одновременной регистрации тепловых свойств изучаемого образца и его массы при постепенном нагревании по заданной программе. Результатом дериватографии являются кривые зависимости различных характе-

ристик образца от температуры — дериватограммы. Современные дериватографы позволяют определять термические свойства образцов, масса которых составляет лишь несколько мг, что позволяет применить этот метод для анализа мелких фрагментов скелета, в том числе отдельных зубов мелких животных.

На основе принципов, обоснованных в работах Пидопличко и Szöör, нами был разработан и опробован метод оценки относительного возраста ископаемых костных образцов весом 3–20 мг по содержанию органического вещества и его термическим свойствам (Смирнов и др., 2009). Измерения проводили на дериватографе Diamond TG/DTA фирмы Perkin Elmer. Образцы нагревали до 800°C или 900°C со скоростью 20°C/мин. Был исследован материал из позднечетвертичных местонахождений Уральского региона (всего около 190 проб): серия костных остатков разных видов грызунов с разных глубин залегания и захоронений разного возраста (от современных до ископаемых с возрастом в десятки тысяч лет) из зоогенных отложений в карстовых полостях.

Полученные дериватограммы состояли из 3 кривых: ДТА (зависимость разности температур между исследуемым веществом и термическим эталоном от температуры в печи); ТГ (изменения массы образца с изменением температуры) и ДТГ (производная ТГ — зависимость скорости изменения массы образца от температуры).

На типичной дериватограмме костной ткани в диапазоне от 0° до 900°C можно выделить несколько этапов термического разложения: А (до 200°C) — соответствует потере адсорбированной воды, В₁ (200–400°C) и В₂ (400–600°C) — соответствуют выгоранию органической компоненты кости, С (600–900°C) — соответствует термическому разложению экзогенных неорганических карбонатов, в первую очередь кальцита. Для всех образцов по кривой ТГ определены потери массы в этих диапазонах и по ним установлено процентное содержание воды (А) и органики (В).

Показано, что органическое вещество костной ткани выгорает не равномерно, а в 2 этапа. На первом этапе (В₁), горение идет наиболее интенсивно и потеря массы происходит быстро. На втором этапе, при более высокой температуре (В₂), этот процесс замедляется и с меньшей интенсивностью продолжается до температуры 550–600°C. Потери массы при температурах до и после 400°C заметно различаются у образцов разного возраста. Мы условно подразделили органическое вещество на «низкотемпературное», которому соответствуют потери массы при температуре до 400°C и «высокотемпературное», которому соответствуют потери массы при температуре 400–600°C. Известно, что при более высокой температуре горит более высокомолекулярная часть органического вещества, т.е. доля «высокотемпературной» органики тем выше, чем больше содержится в образце высокомолекулярного органического вещества. Этот показатель (В₂/В) также был рассчитан для всех изученных образцов. Содержание органической компоненты (как и адсорбированной воды) значимо различается в костных фрагментах из разных частей скелета. Поэтому для сопоставления выбирали однотипные образцы; при анализе костных остатков использовали фрагменты нижних челюстей, полученные из области диастемы. Кроме того, для термического анализа были использованы щёчные зубы разных видов полевок.

Параллельно с определением содержания органики проведен анализ элементного состава костных остатков из тех же местонахождений. Исследование элементного состава ископаемых остатков занимает важное место в проблематике, связанной не столько с датировкой образцов, сколько с изучением условий и механизмов протекания процессов фоссилизации. Флюоридный и урановый тесты иногда используются в практике датирования костных образцов, но при их применении возникает много трудностей. В отличие от поведения органических веществ, которые

при фоссилизации, как правило, только теряются костными тканями, разные элементы могут сначала накапливаться, а затем теряться, в зависимости от условий.

Закономерности содержания микроэлементов в ископаемых костных остатках интенсивно изучаются в мире (Price, 1989; Price et al., 1992). Получены многообещающие результаты в применении этих закономерностей для понимания степени и источников переотложения костей, реконструкции геохимических условий фоссилизации, палеодиет и других вопросов. Однако до настоящего времени эти исследования в основном касались остатков человека или захоронений в водной среде.

Исследования микроэлементного состава костных остатков проведены на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000. Получены данные о содержании более 50 элементов для 40 образцов из тех же местонахождений, для которых проводился и термический анализ. Наибольшие различия между разновозрастными образцами наблюдаются по содержанию редкоземельных и ряда других высокозарядных элементов (ВЗЭ). Их содержание в костях увеличивается на четыре порядка от современных и позднеголоценовых образцов к самым древним.

Исследования показателей для разновозрастных местонахождений костных остатков позволили выявить несколько типов фоссилизации по соотношению показателей количества органической фракции кости и содержания высокозарядных микроэлементов. Эти типы, кроме возраста, могут существенно отличаться по геохимическому составу вмещающих пород, что не позволяет однозначно определять их как хронологические стадии фоссилизации. Поэтому мы остановились на констатации вариантов фоссилизации, сгруппировав их в три типа (таблица).

Изучение параметров фоссилизации костных остатков в данной работе стало средством оценки их синхронности или асинхронности в однородных по геологическим условиям слоях. Для нескольких местонахождений проведено сопоставление данных об элементном составе костных остатков и вмещавшей их породы. Изученные примеры свидетельствуют о том, что содержание ВЗЭ не может служить маркером абсолютного геологического возраста костных остатков, но очень тонко отражает пути фоссилизации костного вещества.

При соблюдении определенных условий подбора образцов в большинстве случаев разброс термических характеристик будет отражать хронологическую однородность (неоднородность) костных остатков в изучаемом слое отложений. Во всех изученных синхронных местонахождениях разброс значений содержания органической компоненты не превышал 3% для зубов и 5–6% — для костных фрагментов, т.е. все изученные остатки принадлежали к одному из перечисленных выше вариантов. В тех случаях, когда для однотипных остатков из одного местонахождения фиксируется больший разброс значений содержания органики, можно говорить о хронологической смешанности остатков в данном местонахождении.

Опробованные методические приемы оценки степени синхронности остатков из одних и тех же слоев позволили решить некоторые конкретные палеонтологические задачи, связанные с историей фауны грызунов Северного и Среднего Урала в позднем плейстоцене и голоцене. Существующие представления о преобразовании сообществ при переходе от плейстоцена к голоцену и о последующей голоценовой истории сообществ опираются, в частности, на данные о находках остатков видов, характерных для сообществ «тундростепных» фаун позднего плейстоцена, в голоценовых слоях ряда местонахождений. Чаще всего эти находки представляют собой единичные зубы грызунов. Вопрос о синхронности этих остатков содержащим их голоценовым слоям — ключевой для формирования представлений о времени исчезновения из голоценовых сообществ последних копытных и настоящих леммингов, пеструшек, узкочерепных полевков, серых хомячков и степных пищух.

ТАБЛИЦА. Изменения содержания органической компоненты и накопления ВЗЭ для остатков, относимых к разным типам фоссилизации.

Вариант	Суммарное содержание органики (В костях/в щечных зубах)	Доля «высокотемпературной» органики, V_2/V (В костях/в щечных зубах)	Суммарное содержание ВЗЭ, мкг/г	Тип и приблизительный возраст захоронения
Первый тип фоссилизации				
1	19–23%/13,5–16%	0,36–0,49/ 0,38–0,42	Менее 1 мкг/г	Незахороненные, нефоссилизированные остатки добычи хищников, свежие погадки
2	17–20%/нет	0,27–0,38/ нет	Несколько единиц	Остатки на начальных этапах фоссилизации при захоронении в серых супесях; возраст не превышает первых тысяч лет
3	23–25%/нет	0,32–0,38/ нет	Несколько единиц	Остатки, захороненные в активном почвенном слое, возраст не превышает нескольких сотен – первых тысяч лет
Второй тип фоссилизации				
4	16–18%/нет	0,2–0,34/ нет	Около 10	Описан по нескольким костным остаткам, длительное время (несколько тысяч лет) захороненным в серых супесях
5	15,5–19,5%/10–12,5 %	0,22–0,3/ 0,24–0,29	До нескольких десятков	Остатки, датированные позднеледниковьем (12–13 тыс. лет) и захороненные в пещерном суглинке.
6	11,5–16%/нет	Этапы V_1 и V_2 не выделяются	Несколько десятков	Описан по нескольким костным остаткам, возраст которых составляет 20–40 тыс. лет.
Третий тип фоссилизации				
7	Около 9%/7–11%	Этапы V_1 и V_2 не выделяются	До нескольких сотен	Описан для костных остатков из одного местонахождения, датированного первой половиной позднего плейстоцена (около 40 тыс. лет или более)

В ходе работы были получены данные о содержании органики в костных остатках разных видов грызунов из нескольких местонахождений, для которых описано присутствие остатков «реликтов» плейстоцена в голоценовых слоях. Во всех рассмотренных случаях разброс в значениях содержания органики не позволяет считать остатки из этих слоев синхронными. Часть изученных остатков, включающая лишь остатки лесных и луговых видов содержали столько же органики, сколько ее бывает в костях, близких к современности, а часть остатков, включающая и остатки представителей тундростепного комплекса, содержали заметно меньше органического вещества. Для некоторых челюстей показан плейстоценовый вариант фоссилизации. Лишь для одного местонахождения — грота Сухореченского в Красно-

фимской лесостепи — данные термического анализа подтвердили синхронность остатков узкочерепных полевок остаткам других видов из слоя, возраст которого по радиоуглероду составляет около 3000 лет.

Таким образом, установлено, что из видов позднеплейстоценового комплекса, позднее исчезнувших на Среднем Урале, в отложениях конца среднего голоцена в непереотложенном состоянии обнаружены только остатки узкочерепных полевок в островной Красноуфимской лесостепи. Принадлежность к голоцену находок остатков копытных леммингов, пеструшек, хомячков ни в одном из рассмотренных случаях нельзя считать твердо обоснованной.

Проведенный анализ показывает, что в каждом отдельном случае вопрос о степени синхронности остатков нужно решать аналитическими методами на серийном материале, не полагаясь на априорные заключения, внешние признаки фоссиллизации или единичные абсолютные датировки. Наши исследования позволяют рекомендовать для этих целей термогравиметрический анализ, как наиболее мало-затратный и позволяющий использовать минимальные по массе образцы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08–04–00663), а также Программы УрО РАН с ДВО РАН (проект № 09–С–4–1015).

ЛИТЕРАТУРА

Пидопличко И.Г. Новый метод определения геологического возраста ископаемых костей четвертичной системы. Киев: Изд-во АН УССР, 1952. 90 с.

Смирнов Н.Г., Вотяков С.Л., Садыкова Н.О. и др. Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста. Ч. 1. Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. Екатеринбург: Изд-во «Гошицкий», 2009. 118 с.

Price T.D. Multi-element studies of diagenesis in prehistoric bone // The chemistry of prehistoric human bone. Ed. Price T.D. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1989. P. 126–154.

Price T.D., Blitz J., Burton J., Ezzo J.A. Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions // J. Archaeol. Sci., 1992. V. 19. P. 513–529.

Szöör G. Fossil age determination by thermal analysis // J. Thermal Analysis. 1982. V. 23. P. 83–91.