

численная группа представляет собой компактную группу, отличающуюся от предыдущей, прежде всего по содержанию ^{15}N , составляя по нему в среднем $0,76\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C} -22,6 - -20,6\text{‰}$ и $\delta^{15}\text{N} -2,4 - 4,1\text{‰}$). Данное значение изотопного сигнала крайне удивительно и в настоящее время нам не удалось в научной литературе найти для гусиных ни одного аналога. Из видов в настоящее время обитающих на Алеутских островах такое трофическое положение соответствует лишь тундрной куропатке (*Lagopus muta*) ([8]; наши данные). В питании куропаток большую роль играют вересковые, которым присущи низкие показатели $\delta^{15}\text{N}$, благодаря их симбиозу с грибами в форме микоризы [4]. Следует отметить, что такой изотопный сигнал у казарок может быть только в том случае, если птицы не совершают сезонные перелеты, как они это делают в настоящее время. В местах зимовок объекты их питания имеют другой изотопный сигнал, что в свою очередь отразилось бы и на изотопном сигнале коллагена костей [7].

Распределение этих двух трофических групп казарок (можно назвать их условно «травяные» и «вересковые») во времени и пространстве на Алеутских островах неравномерно. В восточной части Алеутский гряды были обнаружены только кости «вересковых» казарок. В центральной части гряды на о. Адак в наиболее древнем памятнике, существовавшем около 6500 лет назад, оба типа казарок существовали одновременно, но «травяные» казарки составляли только около 20% от островной популяции. На этом же острове, но в более молодом памятнике, существовавшем 850–350 лет назад, во всей толще были найдены кости только «вересковых» казарок ($N=38$), кроме самого верхнего слоя, где были найдены только кости ($N=2$) «травяных» казарок. Единственная кость казарки из западной части Алеутской гряды относится к «вересковому» типу.

Таким образом, на основании соотношения стабильных изотопов углерода и азота из коллагена костей алеутской казарки можно сделать следующие предварительные выводы: в голоцене на Алеутских островах существовало две трофические морфы казарок – т.н. «травяная», питающаяся преимущественно злаками и осоками, и, т.н. «вересковая», питающаяся в основном вересковыми. Вторая группировка казарок, по-видимому, не совершала сезонных перелетов. По встречаемости костей в археологических памятниках «вересковые» казарки значительно преобладают над

«травяными». Это, с определенными оговорками, свидетельствует и о преобладании их по численности. В настоящее время на Алеутских островах обитают лишь представители «травяной» группы казарок, что может быть связано с восстановлением алеутской казарки практически из единственной сохранившейся колонии на о. Булдырь. Определить существование и оценить степень генетического различия двух экологических группировок позволит предполагаемое исследование древнего ДНК представителей обеих группировок.

Литература

1. Горлова Е.Н., Крылович О.А. Тиунов А.В. Хасанов Б.Ф. Васюков Д.Д. Савинецкий А.Б. Изотопный анализ как метод таксономической идентификации археозоологического материала // Археология, этнография и антропология Евразии. 2015. Т. 43. Вып. 1. С. 110–121.
2. Bailey E.P. Introduction of Foxes to Alaskan Islands - History, Effects on Avifauna, and Eradication. US Department of the Interior Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. 1993 (Resource Publication 193). P. 13–53.
3. Gibson, D.D., Byrd G.V. Birds of the Aleutian Islands, Alaska. Nuttall Ornithological Club and the American Ornithologists' Union. Series in Ornithology. 2007. 351 p.
4. Hobbie J.E., Hobbie E.A. ^{15}N in symbiotic fungi and plants estimates nitrogen and carbon flux rates in Arctic tundra // Ecology. 2006. V. 87. No 4. P. 816–822.
5. Jones R.D. Jr. Buldir Island, site of a remnant breeding population of Aleutian Canada Geese // Annual Report Wildfowl Trust. 1963. V. 14. P. 80–84.
6. Mini A.E., Bachman D.C., Cocks J., Griggs K.M., Spragens K.A., Black J.M. Recovery of the Aleutian Cackling Goose *Branta hutchinsii leucopareia*: 10-year review // Wildfowl. 2011. V. 61. P. 3–29.
7. Newsome S.D., Phillips D.L., Culleton B.J., Guilderson T.P., Koch P.L. Dietary reconstruction of an Early to Middle Holocene human population from the central California coast: insights from advanced stable isotope mixing models // Journal of Archaeological Science. 2004. V. 31. No 8. P. 1101–1115.
8. Ricca M.A., Miles A.K., Anthony R.G., Deng X., Hung S.S.O. Effect of lipid extraction on analyses of stable carbon and stable nitrogen isotopes in coastal organisms of the Aleutian archipelago // Canadian Journal of Zoology. 2007. V 85. No 1. P. 40–48.
9. Schmutz J., Petersen M.R., Schmutz J.A., Rockwell R.F. Emperor Goose (*Chen canagica*), The Birds of North America Online (A. Poole, Ed.). 2011. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology; Retrieved from the Birds of North America Online: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/097>.
10. Sederger J.S., Raveling D.G. Dietary Selectivity in Relation to Availability and Quality of Food for Goslings of Cackling Geese // The Auk. 1984. V. 101. No 2. P. 295–306.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВОЗРАСТА КОСТНЫХ ОСТАТКОВ МЕЛКИХ ПОЗВОНОЧНЫХ

Н.О. Садыкова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202;
e-mail: etoninos@gmail.com

Костные остатки мелких позвоночных – один из ценных источников палеоэкологической ин-

формации. Они служат, в частности, для биоэкологической реконструкции четвертичных отложений, являются важ-

ным компонентом реконструкций динамики биоценозов. При интерпретации любых ископаемых материалов ключевой методической проблемой является корректное определение возраста образцов. Для костных остатков позднечетвертичного возраста основным методом определения возраста уже на протяжении полувека является радиоуглеродный метод. В настоящее время без надежной хронологической основы в виде серии радиоуглеродных дат описание какого-либо палеофаунистического памятника вряд ли можно считать качественным. Наличие радиоуглеродных дат закономерно становится одним из критериев при оценке возможности публикации палеофаунистических материалов в серьезных научных журналах. В то же время, применение радиоуглеродного метода для датирования костных остатков мелких позвоночных имеет целый ряд ограничений, которые во многих случаях препятствуют получению корректных результатов радиоуглеродного анализа. В исследованиях мелких позвоночных позднечетвертичного возраста радиоуглеродное датирование всего костеносного слоя или слоев какого-либо местонахождения по коллагену, полученному из смеси не диагностированных костных фрагментов, – обычная практика. Соответственно, при любом подозрении на наличие асинхронных примесей в составе образца для датировки, возникают сомнения в хронологической привязке слоя. Для предварительной оценки хронологической однородности костных остатков в пределах одного слоя, а также для определения относительного возраста однотипных костных фрагментов в пределах одного или нескольких сходных по тафономическим условиям местонахождений, нами ранее было предложено использовать результаты определения на серийном материале остаточного содержания в костях органической компоненты методом дифференциального термического анализа (ДТА) или термогравиметрии (ТГА) [2]. Основными преимуществами данного метода являются возможность работы с маленькими количествами материала (для измерения достаточно костного фрагмента массой всего 3–5 мг), простота пробоподготовки и высокая экспрессность (анализ 1 пробы занимает около 2 ч.). Эта методика в дальнейшем успешно применялась при изучении нескольких пещерных местонахождений костных остатков на Урале [1,3].

В некоторых случаях результаты термогравиметрического анализа серий костей, происходящих из одного слоя местонахождения, демонстрировали широкий (до 10% и более) разброс значений содержания органической компоненты в однотипных костных фрагментах, что может служить свидетельством хронологической неоднородности слоя. Очевидно, что радиоуглеродная дата, полученная по коллагену смеси костей из такого слоя, будет представлять собой «среднюю температуру по больнице» и не позволит судить ни о длительности накопления слоя, ни об абсолютном возрасте входящих в него остатков. В то же время, бывает, что большой разброс значений

содержания органической компоненты определяется наличием в выборке всего лишь одной или нескольких костей, характеризующихся резко «выпадающими» в большую или меньшую сторону по сравнению с основной массой остатков показателями содержания органики. В таких случаях можно предположить, что основная часть остатков в слое хронологически однородна и содержит лишь в небольшом количестве примесь материала, относящегося к иному периоду осадконакопления. Можно ли датировать такой материал по смеси костей? Насколько будет искажена радиоуглеродная дата из-за содержащихся примесей? Можно ли как-то учесть результаты анализа содержания органической компоненты при интерпретации результатов радиоуглеродного датирования такого «сомнительного» материала?

В настоящей работе предлагается формула, которая позволяет, в случае обнаружения признаков асинхронной примеси в слое, приблизительно рассчитать, насколько эта примесь может исказить результат радиоуглеродного датирования образца. Для этого можно использовать результаты ТГА в качестве предварительной оценки долей общего углерода в образце коллагена, полученного из смеси хронологически разнородных костей мелких позвоночных. Рассмотрим ситуацию, когда образец представляет собой смесь костных остатков, относящимся к двум разным периодам осадконакопления в данном местонахождении, оказавшимся в одном слое отложений: t_a – возраст более «молодого» компонента смеси (лет, ВР) (может быть принят за 0, если предполагается, что имеет место примесь современного материала); t_b – возраст более «древнего» компонента смеси; t_x – радиоуглеродный возраст (без калибровки) данной смеси (лет, ВР), который определяется по формуле:

$$t_x = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{^{14}C_0}{^{14}C_a + ^{14}C_b},$$

где λ – постоянная распада радиоуглерода, равная 8033^{-1} ; $^{14}C_0$ – начальная удельная активность (концентрация радиоизотопа в атмосферном углероде); $^{14}C_a$ и $^{14}C_b$ – удельные активности (концентрации) изотопа ^{14}C из «молодого» и «древнего» компонентов смеси, соответственно. Последние два параметра будут зависеть от возраста компонентов смеси (t_a и t_b), а также от того, какие доли общего углерода в анализируемой смеси относятся к разным возрастным периодам. Соответствующие доли можно определить, исходя из того, какова приблизительная массовая доля остатков разного возраста в смеси (A_a и A_b) и каково среднее содержание остаточной органической компоненты в каждом из компонентов (O_a и O_b). Эти параметры определяются результатами термического анализа серии однотипных костных фрагментов. Например, если в серии из 20 костных фрагментов 18 содержат от 12 до 16 % органического вещества (в среднем 14% – это величина O_b), а 2 фрагмента – 20 и 22% органического

вещества (в среднем 21 % – это величина O_a), то можно предположить, что в анализируемом слое около 90% (величина A_b) костей относятся к одному периоду накопления (имеющему возраст t_b), а 10% (величина A_a) – примесь более «молодого» материала (имеющего возраст t_a), тогда в 100 г костей из данного слоя будет содержаться приблизительно 12,6 г. ($0,14 \times 0,9 \times 100$ г) органического вещества из основной, более «древней» части смеси и около 2,1 г. ($0,21 \times 0,1 \times 100$ г) органического вещества из «молодой» примеси. Всего – около 14,7 г остаточного органического вещества в 100 г костей. Эти данные позволяют вывести формулы расчета предполагаемого содержания в смеси радиоуглерода из разных возрастных компонентов:

$${}^{14}C_a = \alpha_a \cdot {}^{14}C_0 \cdot e^{-\lambda t_a};$$

$${}^{14}C_b = \alpha_b \cdot {}^{14}C_0 \cdot e^{-\lambda t_b},$$

где $\alpha_a = \frac{A_a O_a}{A_a O_a + A_b O_b}$ – доля органического вещества, относящегося к «молодой» части смеси, а $\alpha_b = \frac{A_b O_b}{A_a O_a + A_b O_b}$ – доля органического вещества, относящегося к «древней» части смеси, ($\alpha_a + \alpha_b = 1$).

Тогда формула расчета радиоуглеродного возраста смеси остатков приобретает следующий вид:

$$t_x = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{{}^{14}C_0}{\alpha_a \cdot {}^{14}C_0 \cdot e^{-\lambda t_a} + \alpha_b \cdot {}^{14}C_0 \cdot e^{-\lambda t_b}} = -8033 \cdot \ln \left(\frac{\alpha_a}{e^{t_a/8033}} + \frac{\alpha_b}{e^{t_b/8033}} \right)$$

Используя эту формулу, подставляя различные возможные значения возрастов и количественных соотношений двухкомпонентной разновозрастной смеси образца для датирования, можно определить, как наличие той или иной хронологической примеси может повлиять на получаемую радиоуглеродную дату. Подобные расчеты производились и ранее, так, в статье [4] приведена таблица с оценками влияния современных и древних примесей на результаты оценки радиоуглеродного возраста образца.

Важным следствием из вышеприведенной формулы является возможность рассчитать максимальный возможный возраст «древнего» компонента смеси ($t_b(max)$), при известном (заданном) минимальном возрасте «молодого» компонента ($t_a(min)$), по радиоуглеродной дате, полученной для коллагена из данной смеси, если для нее методом ТГА установлены пропорции содержания «древнего» и «молодого» органического вещества в костях:

$$t_b(max) = t_x + 8033 \cdot \ln \frac{\alpha_b}{1 - \alpha_a \cdot e^{\frac{(t_x - t_a(min))}{8033}}}$$

Проиллюстрировать использование этой формулы можно на примере слоя 4 местонахождения Навес Светлый [3]. Для него был проведен термический анализ серии из 22 нижнечелюстных костей разных видов полевок. Лишь 2 челюсти из 22 содер-

жали около 20,5% органического вещества, в то время, как остальные 20 – от 13,4 до 17,9% (в среднем 15,6%). Эти результаты позволили предположить, что среди остатков в слое 4 присутствует небольшая (до 10%) примесь костного материала, соответствующего по времени накопления остаткам из вышележащих слоев. Для смеси такого состава были рассчитаны коэффициенты

$$\alpha_a = \frac{0,1 \times 0,205}{0,1 \times 0,205 + 0,9 \times 0,165} \approx 0,12;$$

$$\alpha_b = \frac{0,9 \times 0,165}{0,1 \times 0,205 + 0,9 \times 0,165} \approx 0,88$$

Радиоуглеродный возраст образца коллагена, полученного из смеси костей мелких млекопитающих из данного слоя составил 6300 ± 120 BP (SPb_812). Примесный материал может относиться к позднему голоцену, но его возраст, судя по стратиграфии поверхностных слоев, не может быть меньше 100 лет ($t_a(min) = 100$), тогда

$$t_b(max) = 6300 + 8033 \cdot \ln \frac{0,88}{1 - 0,12 \cdot e^{\frac{(6300 - 100)}{8033}}} \approx 6300 + 1373 \text{ (BP)},$$

то есть в данном случае наличие примеси из вышележащих горизонтов, вероятно, «омолаживает» радиоуглеродный возраст слоя не более, чем на 1400 лет.

Таким образом, оценка содержания органической компоненты в костных остатках методом ТГА для серий однотипных костных фрагментов может быть важным дополнительным этапом изучения ископаемых скоплений костных остатков мелких позвоночных, предшествующим радиоуглеродному датированию образцов. Использование этого метода в некоторых случаях позволяет решить следующие методические проблемы:

- 1) сделать выводы о хронологической однородности или неоднородности костных остатков внутри слоя;
- 2) оценить пригодность образца для радиоуглеродного датирования и предварительно рассчитать, сколько коллагена для датирования можно получить из имеющейся навески костного материала;
- 3) при подозрении на присутствие в материале примеси иного возраста, приблизительно оценить, как ее наличие может повлиять на радиоуглеродный возраст образца, а после получения радиоуглеродной даты – рассчитать, какую погрешность могла внести в определение даты имеющаяся примесь.

Автор выражает признательность Д.А. Бедину за помощь в математических расчетах. Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №14-04-00120.

Литература

1. Садыкова Н.О. Некоторые методические аспекты изучения тафоценозов мелких млекопитающих из зоогенных скоплений // Зоологический журнал, 2013. Т. 92, № 9. С. 1142–1151.

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

3. Korkina I.N., Smirnov N.G., Izvarin E.P., Ulitko A.I. Deposits of the rock shelter Svetly (the Middle Urals):

Comparison of paleosol and paleotheriological data and paleoenvironmental reconstructions based on them // Quaternary International. 2016. In press. doi:10.1016/j.quaint.2015.10.081

4. Pazdur M.F. Modern aspects of radiocarbon dating method: fundamental concepts and archaeological applications // Archeologia Moldovei. 1992. V.15. P. 191–211.

ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ФРАКЦИИ 1-0,25 ММ ПОЧВ ОВРАЖНОЙ И БАЛОЧНОЙ СИСТЕМ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ

О.А. Самонова

*Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1; e-mail: oasamonova@mail.ru*

Распределение редкоземельных элементов: La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu (РЗЭ) в различных типах почв, корреляционная связь с физико-химическими свойствами почв, почвообразовательными процессами, изучается многие десятилетия [1–7], однако их поведение в бассейновых системах не исследовано. Это обуславливает актуальность анализа дифференциации содержаний РЗЭ в почвах малых эрозионных форм – в овраге и балке – локальных ландшафтно-геохимических системах, которые можно представить как модели бассейновых систем микроуровня. Для оценки поведения химических элементов в почвах, ландшафтно-геохимических системах, а также геохимической трансформации твердой фазы почвенного материала в процессе механического перемещения материала, необходимы детальные исследования отдельных гранулометрических фракций. Большинство работ, посвященных анализу содержания металлов в гранулометрических фракциях почв, включает характеристику физической глины, пылеватых и илистых частиц [8–11]. Геохимические параметры песчаных фракций почв анализируются реже, что снижает объективность и точность оценки миграционных процессов.

Цель данной работы: анализ содержания и латерального распределения РЗЭ во фракции 1-0,25 мм почв оврага и балки, выявление трендов геохимического изменения песчаной фракции в процессе механической миграции.

Объекты исследования – овраг и балка – расположены на левом берегу р. Протва, в юго-восточной части Смоленско-Московской возвышенности. Рельеф района типичен для вторичных моренных равнин [12]. Овраг и балка отличаются морфологическим обликом и имеют разный возраст. На водосборной территории оврага преобладают дерново-среднеподзолистые почвы; почвенный покров склонов и днища оврага представлен дерновыми, дерновыми слабо развитыми разновидностями [13]. Водосборная область балки занята агроландшафтами на дерново-среднеподзолистых освоенных почвах; почвенный покров склонов и днища балки образуют те же разновидности, что и в овраге, но гранулометрический состав почв – су-

глинистый, тогда как в овраге часто проявляется опесчаненность почвенных профилей. На конусах выноса обеих форм развиваются дерновые почвы.

В образцах гумусовых горизонтов почв, отобранных на водосборах, правых бортах, днищах, конусах выноса оврага и балки (по 11 в каждой форме) определено значение pH_{KCl} , содержание $S_{орг}$ по Тюрину; валовое содержание La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu в общей почвенной массе и ее песчаной фракции – масс-спектральным с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) методом на приборе Elan – 6100 (Perkin Elmer, США). Гранулометрический анализ выполнен пирофосфатным методом, фракция 1–0,25 мм выделена ситовым методом.

Эрозионные формы рассматривались как единые системы, в которых склоны, днище, конус выноса находятся в тесном взаимодействии между собой и с окружающей водосборной областью. Выборки для статистической обработки сформированы в соответствии с принадлежностью почвенных проб к геоморфологическим элементам этих форм. Статистическая обработка данных выполнена в программе Excel. Для оценки латерального распределения фракции 1–0,25 мм в почвах и РЗЭ в ее составе использован коэффициент латеральной дифференциации (L), равный отношению среднего содержания элемента в данной выборке (склон, днище и т.д.) к его содержанию в почвах водосбора.

В почвах оврага содержание фракции 1–0,25 мм увеличивается от водосбора к конусу выноса от 4,2 до 31,8% соответственно (таблица). Это, вероятно, обусловлено гетеролитностью системы: суглинистыми отложениями на водосборе и легкосуглинистыми опесчаненными на склонах и в днище, в последнем случае развиты также песчаные почвы. В почвах склонов содержание этой фракции почти в 3 раза выше, чем на водосборе. В гумусовых горизонтах почв балки максимальное содержание фракции выявлено на склонах, где оно почти в 4 раза больше, чем на водосборе (таблица). Вероятно, это обусловлено поступлением песчаных частиц из области водосбора, что подтверждает возможность накопления почвенного материала на склонах эрозионных форм [14]. Рас-