

ИЗОТОПНЫЕ МАРКЕРЫ ЭКОСИСТЕМ И ПИТАНИЯ СРЕДНЕВЕКОВОГО СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2020 г. М.В. Добровольская^{1,*}, А.В. Тиунов^{2,**}, О.А. Крылович^{2,***},
Е.А. Кузьмичева^{2,****}, И.К. Решетова^{1,*****}, А.Б. Савинецкий^{2,*****},
Н.Г. Сvirкина^{1,*****}, А.Л. Смирнов^{1,*****}

¹Институт археологии РАН, Москва, Россия

²Институт проблем экологии и эволюции РАН, Москва, Россия

*E-mail: mk_pa@mail.ru

**E-mail: a_tiunov@mail.ru

***E-mail: okrylovich@gmail.com

****E-mail: kuzmicheva.evgeniya@gmail.com

*****E-mail: reshetovairina@yandex.ru

*****E-mail: arkadybs@rambler.ru

*****E-mail: svirkina.natalia@mail.ru

*****E-mail: ari1828@bk.ru

Поступила в редакцию 25.11.2019 г.

После доработки 16.01.2020 г.

Изучение изотопного состава углерода и азота в современных природных сообществах помогает создавать палеоэкологические реконструкции ландшафтного окружения и пищевых ресурсов средневекового сельского населения. Цели исследования состоят в определении изотопного состава (соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) представителей флоры и фауны современного гемибореального леса европейской части России, а также проведение пилотной реконструкции особенностей питания и среды обитания средневековых жителей исследуемого региона. На основании определения изотопного состава азота и углерода 320 образцов флоры и фауны Пеновского и Андреапольского р-нов Тверской обл. сформированы представления о характерных величинах изотопного состава азота и углерода растений, гумусового горизонта почвы, коллагена костной ткани млекопитающих и рыб. Полученные результаты сходны с данными из прилегающих регионов (Прибалтика, Польша, Кировская обл. РФ), что позволяет предположить однородную структуру «изотопного ландшафта» на северо-востоке Европы. Исследован изотопный состав углерода и азота в коллагене костной ткани индивидов из жальников и курганов Тверской области, а также средневекового Новгорода. Обсуждаются вопросы изменчивости изотопных показателей в связи с различиями в среде и использовании пищевых ресурсов.

Ключевые слова: средневековое население, лесная зона европейской части России, изотопные маркеры питания.

DOI: 10.31857/S086960630010944-7

Изучение уклада жизни сельского средневекового населения — особое направление в современной отечественной археологии. Монографические издания, статьи и сборники отражают интерес к этой тематике и совершенствование методов изучения (Макаров и др., 2001; Чернов и др., 2004; Сельская Русь..., 2008; Археология..., 2009). Тесная связь человека с местными природными ресурсами делает экологический подход одним из наиболее актуальных. Связь верований и культурных традиций с хозяйственной деятельностью

не позволяет относиться к характеристикам земледелия, животноводства, землепользования как к сугубо экономическим сферам. При изучении сельской жизни средневекового социума исследования культурных традиций и экологических связей тесно сопрягаются. Культурная деятельность человека в свою очередь трансформировала освоенные экосистемы.

Одним из актуальных подходов в реконструкции образа жизни человека можно считать изотопный, получивший широкое

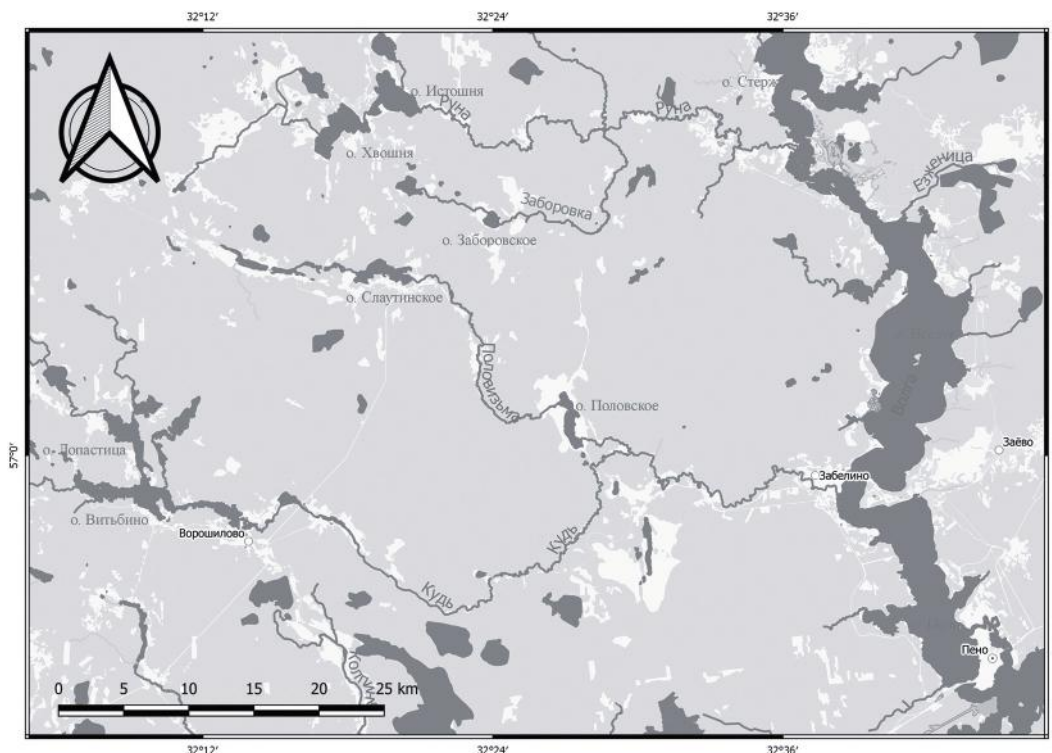


Рис. 1. Изучаемая территория Пеновского района Тверской области.

Fig. 1. The studied area in Peno district of Tver Region

распространение в мировой археологии. Традиционная область применения изотопного анализа — определение трофических связей внутри экосистемы. Для того чтобы данные, полученные при изучении изотопного состава биоархеологических материалов, могли быть предметно интерпретированы, необходимо изотопное исследование современных модельных экосистем, на основании знания которых может осуществляться реконструкция исторических условий. Изучение такой модельной экосистемы проходит в рамках данного проекта.

Выбор модельной территории. В задачи исследования входило изучение территории, которая покрыта хвойно-лиственным лесом, не испытывает существенной антропогенной нагрузки и содержит значительное количество разновременных археологических памятников, подтверждающих активное использование ее человеком в прошлом.

В качестве модельного региона изучения флоры и водной фауны выбран участок Пеновского р-на Тверской обл., ограниченный с севера р. Руна, с юга — р. Кудь, с востока — западным берегом оз. Пено, с запада — западными же побережьями озер Хвошня и Витьбино (рис. 1). В настоящее время

район малонаселен. Слабая археологическая изученность этого участка оставляет белое пятно на археологической карте Пеновского р-на, включающей более 300 памятников всех эпох начиная с финального палеолита (Археологическая..., 2012. С. 188). Данные млекопитающих получены не только из этого микрорегиона, но и из Центрального лесного заповедника (ближайший Андреапольский р-н).

Территория к западу от оз. Пено относится к главному водоразделу восточноевропейских стоков рек. Местность можно связать с летописным Оковским лесом. Позднесредневековые исторические сведения позволяют реконструировать принадлежность этих земель. Новгородско-Ржевские рубежи четко определены по разводной грамоте 1483 г. Точная локализация межевых ориентиров проведена В.А. Кучкиным (1984. С. 165–175). Предположительно стабильные границы Деревской пятины существовали со второй четверти XII в. (Кучкин, 1984. С. 174, 175). Изучаемый локус относился к землям Ржевы Володимировой и граничил с Деревской пятиной. Межевое описание содержит упоминания пашенных земель, болот, крупных дубов и сосен и лишь однажды отмечена грива — поросший лесом холм. Такое же впечатление складывается из описания

путешествия Я. Стрейса, ехавшего из Риги в Москву в 1668 г. через Печеры, Псков и Новгород. Автор редко упоминает “дремучий лес”. Более обычны другие описания: “...по обеим сторонам дороги раскинулись поля и луга, насколько хватало глаз” (Стрейс, 1935. С. 150). Комплексные археологические исследования, проведенные в Верхнем Подвинье (Еремеев, Дзюба, 2010. С. 634), также указывают на значимое воздействие человека на природное окружение.

Приступая к работам, мы отдавали себе отчет в невозможности получения быстрых ответов, но и осознавали необходимость начала систематического изучения изотопных маркеров экологических связей в антропогенных ландшафтах прошлого как перспективного направления археологических исследований. Изотопные реконструкции базируются на хорошо установленных природных закономерностях, однако сталкиваются с многочисленными трудностями. Среди них – пространственная изменчивость изотопного состава основных продуцентов (растений) в пределах и между экосистемами, степень трофического фракционирования изотопов, различия в изотопном составе наземных и водных экосистем. В связи с этим определены первостепенные задачи исследования:

- формирование представлений о своеобразии изотопного состава растений и животных южнотаежного леса на примере модельных биотопов;
- сравнение изотопного состава наземных и водных позвоночных животных;
- сравнение изотопного состава животных и растений модельного района и других регионов Северо-Западной Европы для оценки монотонности изотопного ландшафта;
- соотнесение изотопного состава компонентов малонарушенных лесных экосистем и коллагена костной ткани средневековых жителей гемибореального леса.

Теоретическая основа реконструкции трофических связей в антропогенных экосистемах. Изотопная масс-спектрометрия позволяет получать сведения об изотопном составе элементов (прежде всего, углерода, азота, кислорода) и характеризовать экосистемы. Теоретической основой служат представления о трофических связях внутри экосистем и о закономерностях изотопного фракционирования в трофических цепях этих экосистем. “Изотопная экология”

базируется на следующих основных феноменах. Во-первых, изотопный состав организма отражает интегрированный во времени изотопный состав его пищи. Во-вторых, в трофических цепях происходит небольшое, но устойчивое накопление тяжелых изотопов азота и углерода. В-третьих, в силу разнообразных физико-химических и биологических процессов разные компоненты ландшафтов и экосистем, равно как и разные органы и ткани в пределах отдельного организма, несколько различаются по изотопному составу.

Формирование изотопного состава углерода лесных экосистем происходит прежде всего в процессе фотосинтеза. В лесном поясе Евразии абсолютно доминируют СЗ растения¹. Изотопный состав углерода мало изменяется в пищевых цепях; как правило, происходит небольшое (в пределах 1–2 промилле) накопление тяжелого углерода (Тиунов, 2007). Однако величина $\delta^{13}\text{C}$ очень существенно варьирует в разных органах и тканях живых организмов. Для археологических исследований важно учитывать особенности изотопного состава коллагена костей и историческую динамику содержания ^{13}C в углекислом газе атмосферы. Из-за высокого содержания глицина коллаген, как правило, обогащен ^{13}C на 2–4‰ по сравнению с мышечными белками или кровью и на 5‰ и более по сравнению с углеродом диеты в целом (Hedges et al., 2004). Изотопный состав атмосферы существенно менялся на протяжении последних столетий. Сжигание ископаемого топлива и изменения в землепользовании в индустриальный период привели к росту поступления в атмосферу обедненного ^{13}C углекислого газа и повышения общей концентрации CO_2 , что обеспечило снижение $\delta^{13}\text{C}$ атмосферного углекислого газа примерно на 1.5‰ (так называемый эффект Зюсса) (Keeling et al., 1979; Francey et al., 1999). Изотопный состав углерода на всех уровнях трофической цепи отражает изотопный состав исходного ресурса, поэтому на протяжении последних 150 лет наблюдается снижение $\delta^{13}\text{C}$ в тканях растений и животных (Bump et al., 2007; Yakir, 2011). Таким образом,

¹ СЗ растения используют для фиксации CO_2 цикл Кальвина, который формирует молекулу с тремя атомами углерода (глицеральдегид-3-фосфат). Фиксация атмосферного CO_2 растениями с СЗ типом фотосинтеза сопровождается сильным фракционированием против тяжелого изотопа ^{13}C , поэтому для СЗ растений характерны низкие величины $\delta^{13}\text{C}$, обычно в пределах от -35 до -22‰ (Tykot, 2004. Р. 433).

при сравнении изотопного состава в разные периоды необходимо использовать поправку, учитывающую изменения $\delta^{13}\text{C}$ атмосферного углекислого газа во времени (Bocherens, Drucker, 2003).

Изотопный состав азота растений и потребляющих растения животных зависит от особенностей почвы и ландшафта, но, как правило, лежит в пределах от -10 до $+10\%$. В лесных экосистемах пониженные величины $\delta^{15}\text{N}$ характерны для деревьев, активно формирующих микоризный симбиоз (ель, сосна, дуб, береза и пр.) (Evans, 2001). Внесение органических удобрений существенно увеличивает величину $\delta^{15}\text{N}$ в обрабатываемых почвах. Поэтому величины $\delta^{15}\text{N}$ культурных растений могут информировать о наличии или отсутствии традиции внесения навоза в землю под посевы (Bogaard et al., 2013. P. 12589). Аналогично меняется изотопный состав азота фуражных растений в местах систематического выпаса копытных (Szpak, 2014). В огромном большинстве случаев ткани консументов обогащены ^{15}N по сравнению с их пищей, т.е. в пищевых цепях происходит накопление тяжелых изотопов азота. В среднем величина $\delta^{15}\text{N}$ увеличивается на $2.5\text{--}3.4\%$ на один трофический уровень (Post, 2002; Vanderklift, Ponsard, 2003), но во многих случаях величина трофического фракционирования изотопов азота достигает 5% и более (Bocherens, Drucker, 2003).

Успех реконструкции трофических связей в современных и исторических сообществах во многом зависит от корректного определения “изотопного фона” экосистемы. Исследования изотопной геохимии выявили прямую связь между температурой и величиной $\delta^{13}\text{C}$ и обратную — с влажностью (например: Kovda et al., 2010; Масленникова и др., 2012; Simonova et al., 2017). Состав стабильных изотопов углерода и азота может рассматриваться как климатический маркер. Возможность оценить локальные природно-климатические изменения создает особое поле деятельности (Hollund et al., 2010; Шишлина, 2015). Эти и другие закономерности легли в основу палеодиетологических реконструкций. Фракционирование изотопов углерода при фотосинтезе и в других процессах оказывает влияние и на радиоактивные атомы углерода (C^{14}), поэтому данные о соотношении стабильных изотопов ($\delta^{13}\text{C}$) стали необходимой частью радиоуглеродного датирования.

Изотопные маркеры экосистемы гемибореального леса. Для оценки “изотопного ландшафта” модельной территории нами собрано и проанализировано 25 образцов A_0 горизонта почвы (лесной подстилки), 120 проб лесной растительности, 113 образцов коллагена костей наземных позвоночных и 63 образца коллагена костей рыб.

Как правило, сбор многочисленных образцов фауны затруднен — в публикациях для диких животных фигурируют численности по виду от единичных до $5\text{--}9$ индивидов. Минимальная статистическая обработка возможна начиная с пяти образцов. Так, в обзорной обобщающей статье по территории Балтии (Etu-Sihvola et al., 2019) использованы данные о современных млекопитающих в численности: заяц — 9 шт., бобр — 3 шт., олень, кабан, лось, тюлень — по 5 индивидов на каждый вид. В нашем случае присутствуют численности 9 и 11. Образцы получены благодаря помощи местных охотников и сотрудников Центрального лесного заповедника, прежде всего П.Н. Кораблева, любезно предоставившего краниологические коллекции, за что мы искренне признательны.

Пробы растительности сформированы типичными для местной флоры деревьями (ель, сосна, береза, рябина), карликовыми кустарничками (черника и брусника). Образцы растительности отбирались по трансектам, проходившим через различные элементы рельефа. Расстояние между двумя точками составляло 100 м. В каждой точке брались все категории образцов: почва, листья и хвоя древесных растений, травянистые растения. Каждый образец составлялся из трех равных частей от трех растений, находящихся неподалеку друг от друга. Каждая точка сбора фиксировалась GPS координатами и снабжалась короткой микроландшафтной характеристикой.

На фоне высокой вариабельности индивидуальных величин $\delta^{13}\text{C}$ листьев и хвои (рис. 2) средние величины $\delta^{13}\text{C}$ всех видов растений очень низки (менее -29% , табл. 1). Это может быть отчасти связано с так называемым эффектом лесного полога, поскольку пробы в основном отобраны в плотных древостоях. При сильном затенении увеличивается фракционирование против ^{13}C при фотосинтезе (Brooks et al., 1997). Изотопный состав азота отдельных растений также колебался в широких пределах, но в среднем между -2 и -4% (табл. 2). Фактором индивидуальной

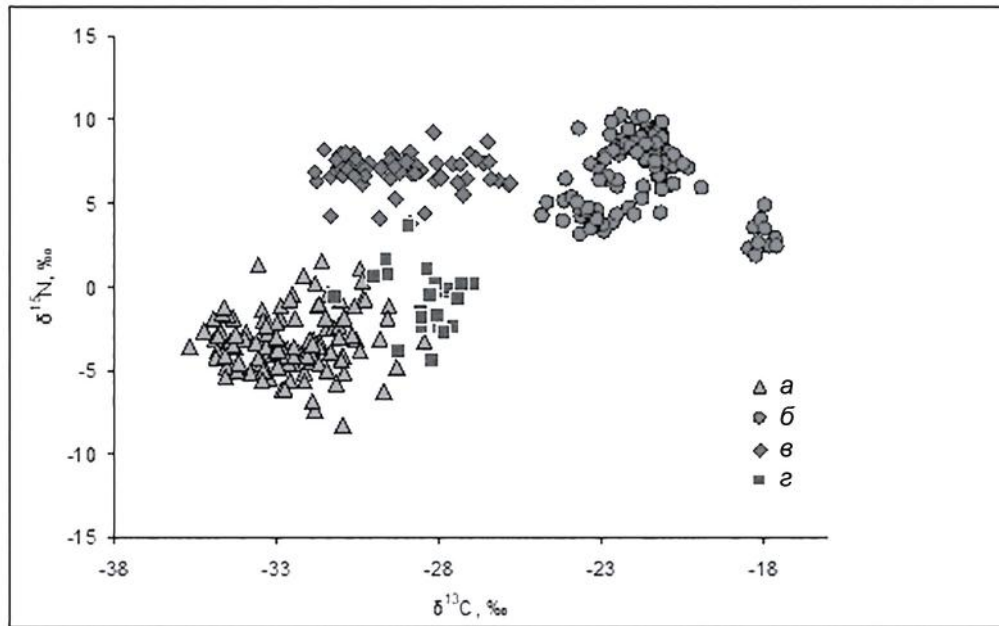


Рис. 2. Изотопный состав углерода и азота (величины $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) органического вещества почвы (з), растительности, а (листья и хвоя), млекопитающих, б (коллаген костей), рыбы, в (коллаген костей) на модельной территории (Тверская обл., Россия). Каждая точка отражает результаты одного анализа.

Fig. 2. The isotopic composition of carbon and nitrogen (values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of the soil organic matter (з), vegetation, а (leaves and needles), mammals, б (collagen of bones), fish, в (collagen of bones) on the studied territory (Tver Region, Russia). Each point reflects the results of one analysis

изменчивости изотопного состава растений может быть высокая расчлененность ландшафта и выраженный микрорельеф.

Образцы растительности и верхнего гумусового слоя почвы отбирались по трансектам, которые пересекали ярко выраженные элементы рельефа, в том числе заболоченные участки и сформированные ледниковыми отложениями гряды. В отдельных случаях удалось проследить повышение величины $\delta^{13}\text{C}$ на возвышенных элементах рельефа, однако в целом зависимость $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ растений от высоты была слабо выражена. Тем не менее широкий диапазон изотопного состава растений даже в пределах модельного участка ограниченной площади может иметь большое значение для биоархеологических реконструкций и требует дальнейших работ.

Пробы коллагена костной ткани современных лесных млекопитающих получены от 12 видов травоядных, всеядных и хищных животных (рис. 2). Коллаген выделялся из компактной костной ткани. Наиболее низкое содержание ^{15}N и ^{13}C отмечено у травоядных (лось, бобр). Средняя величина $\delta^{13}\text{C}$ коллагена лоса и бобра составила -23.5 и -23.6‰ соответственно, т.е. более чем на 6‰ выше,

чем величина $\delta^{13}\text{C}$ доминирующих лесных растений. Для специализированных хищников — норки, хоря, барсука, выдры, куницы, лисицы и волка — характерны величины $\delta^{15}\text{N}$ выше 7.5‰. По $\delta^{15}\text{N}$ медведь занимает промежуточное положение между травоядными и хищниками. В целом полученное распределение величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ наземных млекопитающих соответствует ожидаемой картине за двумя исключениями. Удивляют относительно низкие величины $\delta^{15}\text{N}$ у рыси, типичного хищника, и экстремально высокое содержание ^{13}C у белки (табл. 2). Причины этих феноменов остаются неясными.

Исследовано девять наиболее распространенных видов рыб из р. Руна и из нескольких озер разной площади. Образцы коллагена рыб получены из жаберных крышек. Для коллагена костей рыбы из озер характерны очень низкие величины $\delta^{13}\text{C}$, в рыбе из реки — на 1–2‰ выше. Все местные озера в той или иной степени заболочены. В целом все рыбы были существенно обеднены ^{13}C по сравнению с наземными млекопитающими (рис. 2). Вариации $\delta^{15}\text{N}$ между разными водоемами невелики и не выходят за пределы индивидуальной изменчивости внутри отдельных водоемов. Максимальная величина $\delta^{15}\text{N}$ отмечена у щуки,

Таблица 1. Изотопный состав углерода (величины $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, ‰) в листьях и хвое лесных растений и коллагене костей млекопитающих и рыб в Пеновском р-не Тверской обл.

Table 1. Carbon isotope composition (values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, ‰) in the leaves and needles of forest plants and in the collagen of mammalian and fish bones in Peno district of Tver Region

Образцы	<i>n</i>	$\delta^{13}\text{C}$ средняя (SD)		min $\delta^{13}\text{C}$	max $\delta^{13}\text{C}$
		Почва и растения			
Почва (верхний горизонт)	25	−28.4	(0.9)	−31.2	−27.0
Ель (<i>Picea abies</i>)	28	−31.8	(0.9)	−33.6	−29.7
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	9	−29.9	(1.1)	−31.6	−28.5
Береза (<i>Betula pendula</i>)	18	−31.9	(1.2)	−33.4	−29.8
Рябина (<i>Sorbus aucuparia</i>)	21	−33.0	(0.8)	−34.8	−31.4
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	11	−32.8	(1.4)	−34.9	−30.9
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	19	−34.4	(0.8)	−35.7	−32.5
Кислица (<i>Oxalis</i> sp.)	14	−32.9	(0.9)	−34.2	−31.0
		Млекопитающие			
Лиса (<i>Vulpes vulpes</i>)	10	−21.7	(0.3)	−22.2	−21.1
Выдра (<i>Lutra lutra</i>)	10	−22.0	(0.8)	−23.7	−20.9
Волк (<i>Canis lupus</i>)	11	−22.4	(0.4)	−22.9	−21.6
Хорь (<i>Mustela putorius</i>)	8	−21.1	(0.4)	−21.8	−20.3
Барсук (<i>Meles meles</i>)	9	−21.1	(0.3)	−21.6	−20.7
Куница (<i>Martes martes</i>)	11	−21.4	(0.6)	−22.1	−19.9
Норка (<i>Mustela lutreola</i>)	7	−20.9	(0.2)	−21.1	−20.5
Рысь (<i>Lynx lynx</i>)	10	−22.9	(0.5)	−24.1	−22.5
Медведь (<i>Ursus arctos</i>)	9	−21.6	(0.5)	−22.5	−20.9
Бобр (<i>Castor fiber</i>)	9	−23.6	(0.5)	−24.6	−23.1
Лось (<i>Alces alces</i>)	9	−23.5	(0.7)	−24.8	−22.6
Белка (<i>Sciurus vulgaris</i>)	10	−18.0	(0.3)	−18.4	−17.6
		Рыбы			
Щука (<i>Esox lucius</i>)	1	−28.2	—	—	—
Окунь (<i>Perca fluviatilis</i>)	7	−29.4	(1.9)	−31.0	−26.4
Густера (<i>Blicca bjoerkna</i>)	7	−29.7	(0.7)	−31.0	−28.9
Плотва (<i>Rutilus rutilus</i>)	20	−29.0	(1.6)	−31.2	−26.4
Ёрш (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)	7	−31.4	(0.3)	−31.8	−31.1
Красноперка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	14	−28.0	(1.8)	−31.0	−25.8
Уклейка (<i>Alburnus alburnus</i>)	3	−28.3	(1.0)	−29.4	−27.4
Лещ (<i>Abramis brama</i>)	1	−29.4	—	—	—
Карась (<i>Carassius</i> sp.)	3	−30.0	(1.2)	−31.3	−28.9

Таблица 2. Изотопный состав азота (величины $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, ‰) в листьях и хвое лесных растений и коллагене костей млекопитающих и рыб в Пеновском р-не Тверской обл.**Table 2.** Nitrogen isotopic composition (values of $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$, ‰) in the leaves and needles of forest plants and collagen of mammalian and fish bones in Peno district of Tver Region

Образцы	<i>n</i>	$\delta^{15}\text{N}$ средняя (SD)		min $\delta^{15}\text{N}$	max $\delta^{15}\text{N}$
		Почва и растения			
Почва (верхний горизонт)	25	−0.8	(1.8)	−4.5	3.6
Ель (<i>Picea abies</i>)	28	−3.2	(2.3)	−8.2	1.3
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	9	−3.0	(3.6)	−11.1	1.5
Береза (<i>Betula pendula</i>)	18	−2.6	(1.8)	−6.2	1.1
Рябина (<i>Sorbus aucuparia</i>)	21	−3.7	(1.4)	−6.1	−0.8
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	11	−4.0	(1.2)	−5.8	−2.5
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	19	−3.2	(1.3)	−5.6	−1.2
Кислица (<i>Oxalis</i> sp.)	14	−3.8	(1.3)	−5.1	−0.9
		Млекопитающие			
Лиса (<i>Vulpes vulpes</i>)	10	8.8	(0.4)	8.3	9.7
Выдра (<i>Lutra lutra</i>)	10	8.8	(0.9)	7.7	10.2
Волк (<i>Canis lupus</i>)	11	8.7	(0.9)	7.7	10.2
Хорь (<i>Mustela putorius</i>)	8	8.4	(1.0)	7.1	9.6
Барсук (<i>Meles meles</i>)	9	8.0	(1.1)	6.1	9.9
Куница (<i>Martes martes</i>)	11	7.6	(0.8)	5.9	8.5
Норка (<i>Mustela lutreola</i>)	7	7.5	(0.2)	7.2	7.9
Рысь (<i>Lynx lynx</i>)	10	6.5	(0.4)	6.0	7.3
Медведь (<i>Ursus arctos</i>)	9	5.3	(0.9)	4.3	6.6
Бобр (<i>Castor fiber</i>)	9	4.6	(0.6)	3.5	5.3
Лось (<i>Alces alces</i>)	9	3.8	(0.5)	3.2	4.6
Белка (<i>Sciurus vulgaris</i>)	10	3.0	(0.9)	1.9	4.8
		Рыбы			
Щука (<i>Esox lucius</i>)	1	9.2	—	—	—
Окунь (<i>Perca fluviatilis</i>)	7	6.9	(0.9)	5.5	8.0
Густера (<i>Blicca bjoerkna</i>)	7	7.6	(0.4)	7.1	8.0
Плотва (<i>Rutilus rutilus</i>)	20	7.2	(0.8)	4.4	8.6
Ёрш (<i>Gymnocephalus cernuus</i>)	7	7.0	(0.6)	6.3	8.2
Красноперка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	14	6.8	(0.6)	6.1	7.9
Уклейка (<i>Alburnus alburnus</i>)	3	6.6	(0.5)	6.2	7.1
Лещ (<i>Abramis brama</i>)	1	5.3	—	—	—
Карась (<i>Carassius</i> sp.)	3	4.0	(0.2)	3.8	4.2

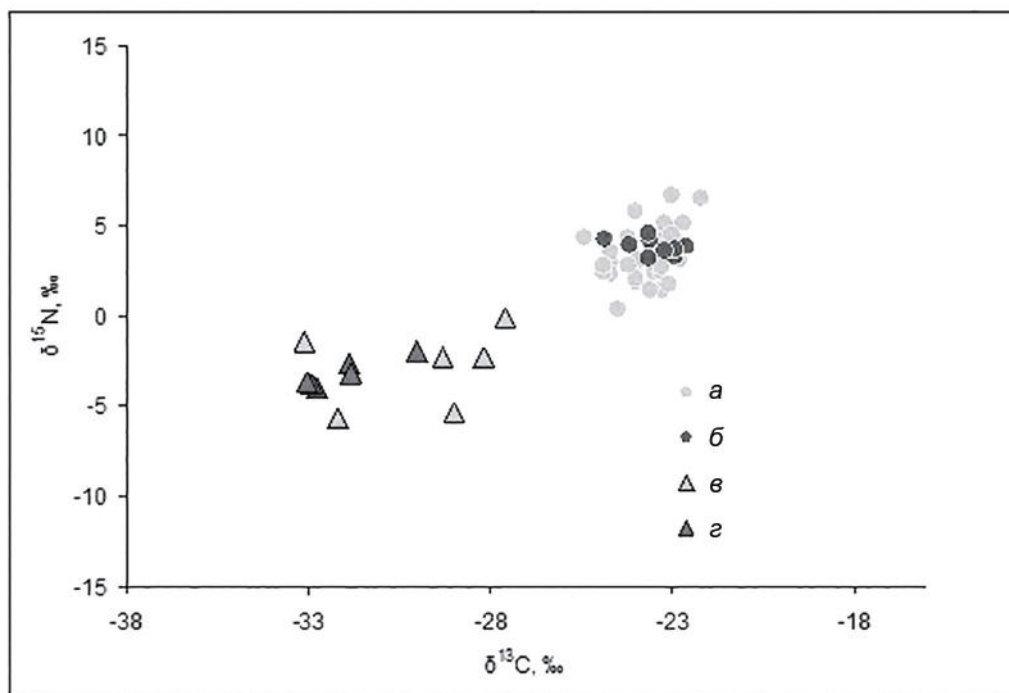


Рис. 3. Изотопный состав коллагена костей лося (*a, б*) и зеленых частей растений (*в, г*) в базе dIANA, *a, в* (Etu-Sihvola et al., 2019) и на модельной территории, *б, г* (Тверская обл.). Современные данные. Для растений каждая точка отражает среднюю величину для шести видов: ели, сосны, березы, рябины, брусники и кислицы. Для лося (*Alces alces*) каждая точка отражает результаты одного анализа.

Fig. 3. The isotopic composition of collagen in moose bones (*a, б*) and green parts of plants (*в, г*) in the dIANA database, *a, в* (Etu-Sihvola et al., 2019) and on the studied territory, *б, г* (Tver Region). Contemporary data. For plants, each point reflects the average value for six species: spruce, pine, birch, mountain ash, lingonberry and wood sorrel. For moose (*Alces alces*), each point reflects the results of one analysis

минимальная — у леща и карася (табл. 2). Изотопный состав коллагена выдры лишь немного отличается от изотопного состава наземных хищников. Возможно, выдра питалась преимущественно в малых водотоках, трофические сети в которых целиком зависят от поступающего с берега органического вещества. Этот вопрос требует дальнейшего изучения. Итак, в качестве основных отличительных черт “изотопного ландшафта” модельной территории назовем следующие:

- низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ лесной растительности, сформированной облигатно микоризированными растениями;
- большая изменчивость величин $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ растений в пределах вида, но относительно небольшая разница изотопного состава растений разных видов;
- значительное обогащение коллагена травоядных млекопитающих ^{13}C и ^{15}N по сравнению с лесной растительностью, что еще более выражено у хищных млекопитающих;

— низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ у речной и особенно у озерной рыбы.

“Облака” индивидуальных точек различных видов животных и растений на изотопном биоплоте образуют шаблон, который может быть использован при обработке биоархеологических материалов (рис. 2).

При реконструкции питания и природного окружения археологи редко имеют возможность получить данные о древнем “изотопном ландшафте”. В связи с этим необходимо решение следующих вопросов. Во-первых, насколько устойчивы полученные на модельной территории закономерности и можно ли их распространить на более обширный регион. Во-вторых, в какой степени найденные закономерности устойчивы во времени и не претерпели ли они существенных изменений по сравнению с доиндустриальной эпохой.

Для решения этих вопросов привлечены материалы открытой базы данных по изотопному составу растений и животных Северной и

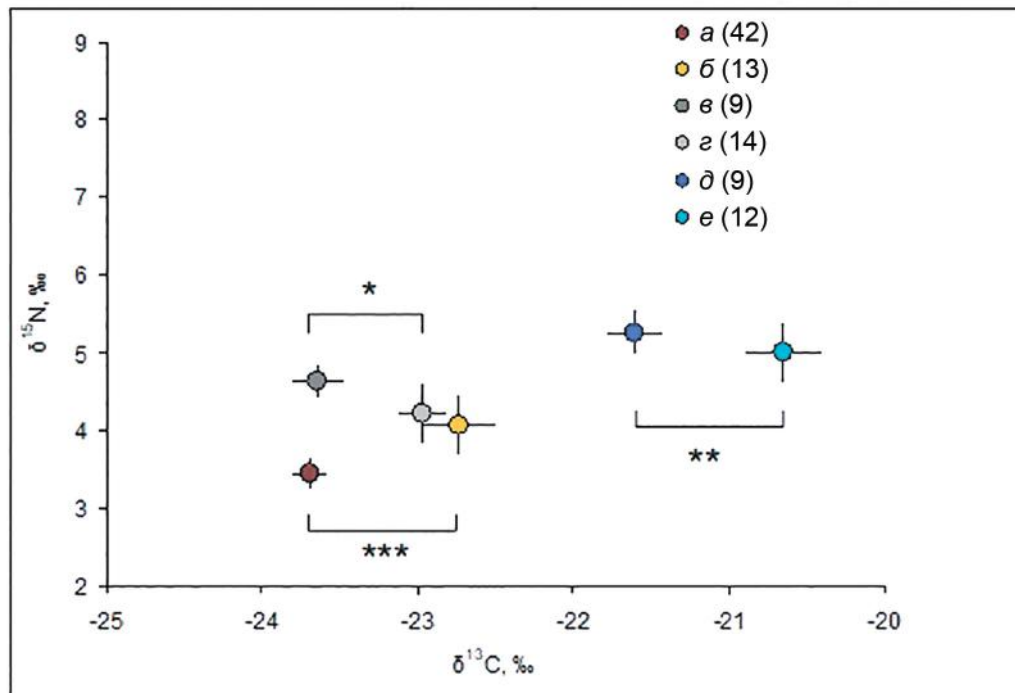


Рис. 4. Изотопный состав коллагена костей лося (*а, б*), бобра (*в, г*) и медведя (*д, е*) до (*б, г, е*) и после (*а, в, д*) 1950 г. Исторические (и отчасти современные данные по лосю) взяты из базы dIANA. Современные данные получены на модельной территории. Показаны средние величины и стандартная ошибка средней, число повторностей приведено в скобках. Статистическая значимость различий: **P* < 0.05; ***P* < 0.01; ****P* < 0.001 (LSD test).

Fig. 4. The isotopic composition of collagen in bones of moose (*a, б*), beaver (*в, г*) and bear (*д, е*) before (*б, г, е*) and after (*а, в, д*) 1950. Historical (and partially contemporary data on moose) were taken from the dIANA database. Contemporary data were obtained on the studied territory. Mean values and standard error of the mean are shown, the number of replications is given in brackets. The statistical significance of the differences: **P* < 0.05; ***P* < 0.01; ****P* < 0.001 (LSD test)

Северо-Восточной Европы dIANA (Etu-Sihvola et al., 2019). Она содержит результаты изотопных анализов костного коллагена древних и современных животных с территории прибалтийских стран. Сравнение наших материалов с материалами базы dIANA показало высокую сопоставимость результатов (рис. 3). Представленные в базе особи лося получены с обширной территории, включая Польшу, Литву, Белоруссию и Кировскую обл. России. Как отмечалось, изотопный состав CO₂ атмосферы изменяется, что требует коррекции при сравнении исторических и современных данных. С началом индустриальной эпохи сжигание ископаемого топлива привело к снижению величины $\delta^{13}\text{C}$ углекислого газа атмосферы. Особенно резкое снижение произошло после 1955 г. (Graven, et al., 2017). Величина необходимой поправки может различаться между регионами.

Используя наши данные и материалы базы dIANA по образцам, собранным до 1950 г., мы оценили степень изменения изотопного состав коллагена трех видов животных — лося, бобра

и медведя. Во всех случаях произошло уменьшение величины $\delta^{13}\text{C}$ в современных образцах примерно на 1‰. В то же время существенное изменение величины $\delta^{15}\text{N}$ не зафиксировано (рис. 4). Проведенный анализ позволяет предположить, что полученные нами данные об изотопном составе модельной экосистемы южнотаежного леса отражают характерный для Северо-Востока Европы “изотопный ландшафт” и могут быть использованы для реконструкции питания, хозяйства и природного окружения древнего и средневекового населения. При интерпретации данных об изотопном составе углерода необходимо учитывать произошедшие в последние столетия изменения изотопного состава углекислого газа в атмосфере.

Изотопные характеристики средневекового сельского населения гемибореальных лесов. Средневековые погребальные памятники, включающие курганы, грунтовые погребения и жальник у д. Поддубье Фировского р-на Тверской обл., изучены В.А. Буровым. Автор раскопок атрибутировал Поддубье 2 как

Таблица 3. Изотопный состав углерода и азота коллагена костной ткани людей из средневековых погребений на Валдае**Table 3.** The isotopic composition of carbon and nitrogen of human bone tissue collagen from medieval burials in Valdai Hills region

Памятник, индивид	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{15}\text{N}$, ‰	%C	%N	C/N atom
Городок VIII, п. 2, мужчина	-21.40	10.32	39.6	14.0	3.3
Городок VIII, п. 3, ребенок	-22.16	10.02	37.5	13.7	3.2
Поддубье 2, РII, п. 3, ребенок, 2–3 года	-20.68	11.37	39.8	14.6	3.2
Поддубье 2, РII, п. 2, ребенок, младенец	-21.15	9.80	36.3	12.9	3.3
Поддубье 2, РII, п. 10, ребенок, 1–2 года	-20.99	10.29	38.2	13.8	3.2
Поддубье 2, РII, п. 11, ребенок, 2–3 года	-21.38	7.72	38.2	13.8	3.2
Поддубье 2, РII, п. 9, ребенок, 3–4 года	-21.34	11.12	38.1	13.7	3.2
Поддубье 2, РII, п. 4, ребенок, 3–4 года	-20.88	12.18	38.4	14.0	3.2
Поддубье 2, РII, п. 7, ребенок, 5–6 лет	-20.98	10.02	39.2	14.3	3.2
Поддубье 2, РII, п. 5, ребенок, 5–6 лет	-20.79	10.44	32.8	11.8	3.2
Поддубье 2, РII, п. 1, мужчина	-20.21	10.66	39.7	14.4	3.2
Поддубье 2, РII, п. 8, женщина	-21.16	11.37	39.5	14.1	3.2
Поддубье 2, РII, п. 6, мужчина	-21.11	9.06	39.4	14.2	3.2
Комкино 2, п. 1, женщина	-21.85	10.1	40.5	14.7	3.2
Комкино 2, п. 1, женщина	-21.36	8.87	38.3	13.9	3.2
Поддубье 3, кург. 18, женщина	-22.49	11.02	38.3	13.7	3.3
Поддубье 3, кург. 1, женщина	-22.05	10.30	40.3	14.7	3.2
Поддубье 3, кург. 15, мужчина	-22.11	10.59	39.4	14.2	3.2

курганно-жальничный могильник XIII–XVI вв. и отметил, что “явственно наблюдается смена курганного обряда на бескурганный” (Буров, 2005. С. 587). Курганная группа Поддубье 3 также расположена у д. Поддубье, в этом же районе – грунтовый могильник Городок и жальник Комкино². Исследовано 18 образцов коллагена костной ткани из погребений Поддубье 2, Поддубье 3, Городок VIII и Комкино 2 (табл. 3). Полученные значения расположены на рубеже изменчивости местных лесных млекопитающих. Выражена большая индивидуальная вариативность по $\delta^{15}\text{N}$ (около 4.5‰), чем по изотопному соотношению

углерода (около 1.5‰). Высокая изменчивость $\delta^{15}\text{N}$ на первый взгляд не позволяет судить о единой пищевой модели.

Половозрастная структура группы Поддубье 2 характерна для небольшого родственного коллектива. Из 11 погребенных – 7 детей, 2 мужчин и 1 женщина. Возраст мужчин – старше 50 и 40 лет, женщины – 35–44 года. Дети – возрастов от младенческого до примерно 6 лет. Наибольшие значения $\delta^{15}\text{N}$ (более 11‰) отмечены для трех детей, возраст которых (2–3 года) не исключает продолжающееся грудное вскармливание. Наименьшие величины $\delta^{15}\text{N}$ обнаружены у двух детей младенческого возраста и одного из мужчин. Другой мужчина, женщина и дети возрастом 5–6 лет имеют сходный изотопный состав и занимают компактное промежуточное положение (табл. 3; рис. 5). Низкая величина $\delta^{15}\text{N}$

² Все палеоантропологические материалы предоставлены В.А. Буровым. Выражаем глубокую благодарность исследователю за возможность работы с ними. Ранее половозрастные определения и морфологические измерения проведены Т. Томашевич.

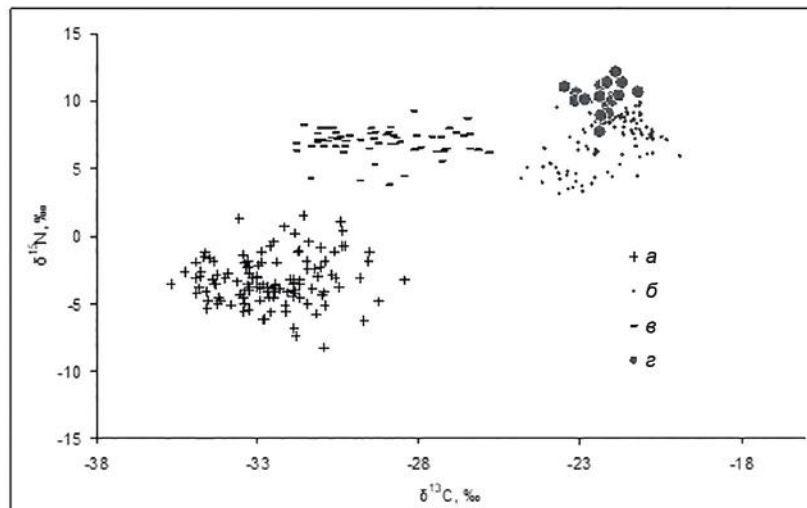


Рис. 5. Изотопный состав углерода и азота (величины $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) образцов коллагена костной ткани человека (z) из средневековых сельских погребальных памятников на Валдае. Для сравнения приведен изотопный состав современных растений (a), млекопитающих, б (за исключением белки), рыбы (e) на модельной территории (Тверская обл., Россия). Для корректного сравнения величины $\delta^{13}\text{C}$ коллагена человека уменьшены на 1‰, чтобы скомпенсировать снижение величины $\delta^{13}\text{C}$ в CO_2 атмосферы в последние столетия.

Fig. 5. The isotopic composition of carbon and nitrogen (values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of collagen samples of human bone tissue (z) from medieval rural burial sites in Valdai. For comparison, the isotopic composition of modern plants (a), mammals, b (except for squirrel), fish (e) in the studied territory (Tver Region, Russia) is given. For a correct comparison, the $\delta^{13}\text{C}$ values of human collagen were reduced by 1‰ in order to compensate for the decrease in $\delta^{13}\text{C}$ in CO_2 in the atmosphere in recent centuries

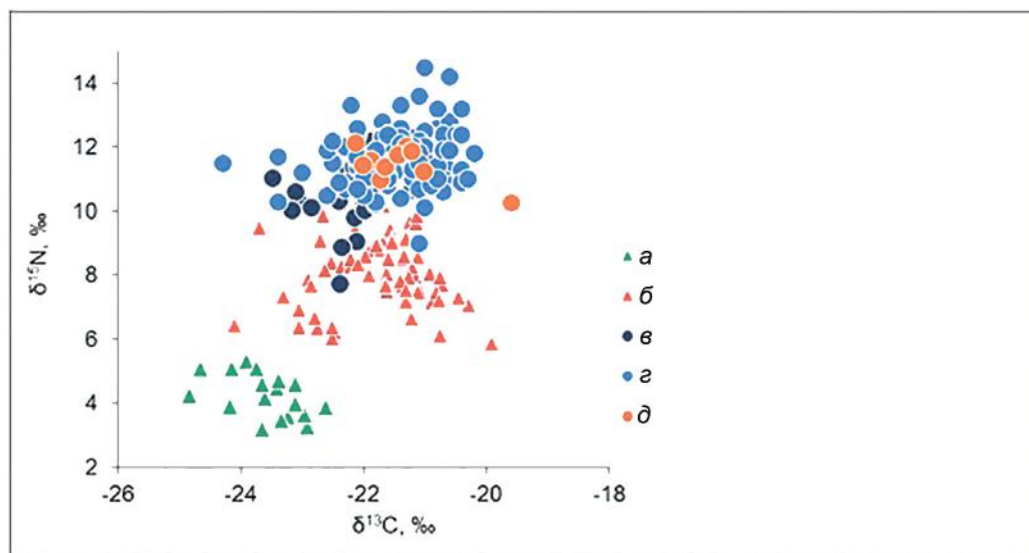


Рис. 6. Изотопный состав углерода и азота образцов коллагена костной ткани человека из сельских (e) и городских (z – Ярославль; d – Новгород) средневековых памятников. Для сравнения приведен изотопный состав современных травоядных, a (лось, бобр), и хищных (b) млекопитающих. Для корректного сравнения величины $\delta^{13}\text{C}$ коллагена человека уменьшены на 1‰.

Fig. 6. The isotopic composition of carbon and nitrogen of collagen samples of human bone tissue from rural (e) and urban (z – Yaroslavl; d – Novgorod) medieval sites. For comparison, the isotopic composition of modern herbivores, a (moose, beaver), and predatory (b) mammals is given. For a correct comparison, the values of $\delta^{13}\text{C}$ of human collagen were reduced by 1‰

Таблица 4. Изотопный состав углерода и азота коллагена костной ткани людей из средневековых погребений Юрьева монастыря в Новгороде

Table 4. The isotopic composition of carbon and nitrogen of human bone tissue collagen from the medieval burials of the St. George Monastery in Novgorod

Номер погребения, индивид	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{15}\text{N}$, ‰	%C	%N	C/N atom
17/1, мужчина	-20.87	11.59	41.0	14.8	3.2
15, мужчина	-20.63	11.38	40.5	14.9	3.2
17/2, ребенок	-21.13	12.12	40.5	14.8	3.2
21/2, мужчина	-20.72	10.97	40.2	14.6	3.2
22, мужчина	-20.65	11.37	39.7	14.5	3.2
20, мужчина	-20.31	12.02	39.2	14.4	3.2
19, мужчина	-20.02	11.24	40.3	14.7	3.2
23, мужчина	-20.44	11.74	39.6	14.4	3.2
18, мужчина	-21.01	11.44	39.8	14.1	3.3
24, мужчина	-20.22	11.86	38.9	14.1	3.2
27/6, мужчина	-18.60	10.27	38.5	13.9	3.2

для детей — результат явной белковой недостаточности, причины которой могут быть различны.

Полученный результат важен, так как однозначно свидетельствует о необходимости раздельной оценки величин дельта взрослых и детей с подростками. Именно за счет высокой изменчивости дельта азота у детей создается ложное впечатление о больших вариациях доли белковой пищи в усредненном рационе в группе в целом.

Из жальничных погребений могильника Поддубье 2 индивидуальная изменчивость детских показателей $\delta^{15}\text{N}$ составляет около 4.5‰, а взрослых индивидов — менее 2.5. Величины дельта азота взрослых из сельских памятников находятся в зоне минимальных индивидуальных значений, определенных ранее для жителей средневекового Ярославля (Энговатова и др., 2013. С. 110).

Трое взрослых происходят из курганов Поддубье 3. При примерно сопоставимых величинах $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ у всех трех существенно ниже и не превышает 22‰. Низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ коллагена обнаружены и в образцах из памятников Городок VIII и Комкино 2. Это может указывать на потребление ресурсов водного происхождения или на то, что местная лесная дичь составляла значимую

часть ежедневного рациона. В любом случае есть основания предполагать отсутствие единой пищевой модели у сельского средневекового населения. Проверить эту гипотезу возможно только при расширении числа изученных памятников. Величины $\delta^{13}\text{C}$ у людей из курганных захоронений Поддубье 3 ставят вопрос о том, насколько едины были системы хозяйства у “людей из курганов” и “людей из жальников”.

Для изотопного состава костного коллагена взрослых и детей из изученных памятников отмечена величина $\delta^{15}\text{N}$, которая соответствует или превосходит величину $\delta^{15}\text{N}$ специализированных хищников в лесной экосистеме (рис. 6). Подобное положение человека на “изотопном поле” универсально от палеолита до средневековья (например: Bocherens et al., 2005; Müldner, Richards, 2005, Fig. 2; Wood, 2006; Hedges et al., 2008). Объяснением может служить не только доля белков в рационе, но и особенности накопления тяжелого азота в коллагене человека (O’Connell et al., 2012). Величина $\delta^{15}\text{N}$ взрослых представителей домонгольского города (Новгород, некрополь Юрьева монастыря, XI–XII вв.) была еще выше. В некрополе погребались представители высоких светских социальных страт, также монашество и священство. Сравнение изотопных соотношений у взрослых представителей светской части общества и одного

индивида, погребенного по монашескому обряду, позволяет видеть своеобразие последнего (рис. 6; табл. 4). Исследованные индивиды демонстрируют пищевую модель, описанную для погребений в статусных городских некрополях (Энговатова и др., 2013. С. 96; 2015. С. 80). Всего один образец из погребения по монашескому обряду располагается обособленно, что только ставит вопросы и открывает перспективу совершенно особой темы. По результатам проведенного анализа представляется, что изотопный состав коллагена из жальника Поддубье 2 свидетельствует о том, что экосистема, в которую он входил, не может квалифицироваться как лесная.

Итак, в заключение можно сказать, что изотопный состав растений и животных современного гемибореального леса европейской части России характеризуется низкими величинами $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$. Изотопный состав костного коллагена млекопитающих и рыб хорошо различается и в целом соответствует ожидаемым величинам. Обнаружены феномены, которые нуждаются в дальнейшем исследовании (относительно низкие величины $\delta^{15}\text{N}$ рыси и аномально высокие величины $\delta^{13}\text{C}$ белки).

Изученное сельское средневековое население, жившее и хозяйствовавшее в лесной зоне, существенно трансформировало окружающий ландшафт, основой его питания были преимущественно растения, росшие на освобожденной от леса территории. Трофические связи с местными природными экосистемами (лес, водоемы) выражены у различных групп в разной степени. У средневекового населения (жальник Поддубье 2, XIII–XVI вв.) уровень потребления белковых продуктов был, вероятно, ниже, чем у представителей высоких социальных страт города. Единичные сведения о курганных погребениях указывают на бытование иной модели питания, в большей степени связанной с пищевыми ресурсами леса. Результаты, полученные на основании сбора современных данных, позволяют с уверенностью судить о базовых изотопных характеристиках лесных экосистем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 17-06-00543 и 18-00-00819.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Археологическая карта России. Тверская область. Ч. 4 / Ред. А.В. Кашкин; сост. И.В. Исланова,

К.И. Комаров, Г.Г. Король, В.С. Нефедов. М.: ИА РАН, 2012. 483 с.

Археология северорусской деревни X–XIII веков: средневековые поселения и могильники на Кубенском озере. Т. 3: Палеоэкологические условия, общество и культура / Ред. Н.А. Макаров. М.: Наука, 2009. 233 с.

Буров В.А. Курганно-жальничный могильник конца XIII–XVI в. Поддубье-2 на Валдае // Древности Евразии: от ранней бронзы до раннего средневековья / Ред. В.И. Гуляев. М.: ИА РАН, 2005. С. 581–587.

Еремеев И.И., Дзюба О.Ф. Очерки исторической географии лесной части пути из варяг в греки. Археологические и палеогеографические исследования между Западной Двиной и озером Ильмень. СПб.: Нестор-История, 2010. 782 с.

Кучкин В.А. Межевание 1483 г. и вопрос о древней новгородско-смоленской границе // Новгородский исторический сборник. Вып. 2 (12). Л.: Наука, 1984. С. 165–175.

Макаров Н.А., Захаров С.Д., Бужилова А.П. Средневековое расселение на Белом озере. М.: Языки славянской культуры, 2001. 496 с.

Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. Стабильные изотопы углерода и кислорода в донных отложениях озера Сырыткуль (Южный Урал) как индикаторы палеоклиматических условий голоцена // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2012. № 6. С. 124–127.

Сельская Русь в IX–XVI веках / Ред.: Н.А. Макаров, С.З. Чернов; сост. И.Н. Кузина. М.: Наука, 2008. 418 с.

Стрейс Я.Я. Три путешествия. М.: ОГИЗ-СОЦЭКГИЗ, 1935. 415 с.

Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН. Серия биологическая. 2007. № 4. С. 475–489.

Чернов С.З., Низовцев В.А., Александровский А.Л., Кренке Н.А. Культура средневековой Москвы: Исторические ландшафты Москвы. Т. 1: Расселение, освоение земель и природная среда в округе Москвы XII–XIII вв. М.: Наука, 2004. 448 с.

Шишлина Н.И. Идентификация сезонных и длительных миграций населения южнорусских степей и Северного Кавказа в бронзовом веке по данным геохимического анализа // Кавказ как связующее звено между Восточной Европой и Передним Востоком: диалог культур, культуру диалога (к 140-летию А.А. Миллера). СПб.: ИИМК РАН, 2015. С. 348–355.

Энговатова А.В., Добровольская М.В., Антипина Е.Е., Зайцева Г.И. Коллективные захоронения в Ярославле. Реконструкция системы питания на основе

- результатов изотопного анализа // КСИА. 2013. Вып. 228. С. 96–115.
- Энговатова А.В., Добровольская М.В., Зайцева Г.И. “Кремлевская диета” древнерусского города (по изотопным данным) // КСИА. 2015. Вып. 237. С. 80–89.
- Bocherens H., Drucker D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in collagen // *International Journal of Osteoarchaeology*. 2003. 13, iss. 1–2. P. 46–53.
- Bocherens H., Drucker D.G., Billiou D., Patou-Mathis M., Vandermeersch B. Isotopic evidence for diet and subsistence pattern of the Saint-Cesaire I Neanderthal: review and use of a multi-source mixing model // *Journal of Human Evolution*. 2005. V. 49, iss. 1. P. 71–87.
- Bogaard A., Fraser R., Heaton T.H., Wallace M., Vaillova P., Charles M., Jones G., Evershed R.P., Styring A.K., Andersen N.H., Arbogast R.M. Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013. V. 110. № 31. P. 12589–12594.
- Brooks J.R., Flanagan L.B., Buchmann N., Ehleringer J.R. Carbon isotope composition of boreal plants: functional grouping of life forms // *Oecologia*. 1997. 110. P. 301–311.
- Bump J.K., Fox-Dobbs K., Bada J.L., Koch P.L., Peterson R.O., Vucetich J.A. Stable isotopes, ecological integration and environmental change: Wolves record atmospheric carbon isotope trend better than tree rings // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2007. V. 274, iss. 1624. P. 2471–2480.
- Etu-Sihvola H., Bocherens H., Drucker D.G., Junno A., Mannermaa K., Oinonen M., Uusitalo J., Arppe L. The dIANA database – Resource for isotopic palaeodietary research in the Baltic Sea area // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2019. V. 24. P. 1003–1013.
- Evans R.D. Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition // *Trends in Plant Science*. 2001. V. 6, iss. 3. P. 121–126.
- Francey R.J., Allison C.E., Etheridge D.M., Trudinger C.M., Enting I.G., Leuenberger M., Langenfelds R.L., Michel E., Steele L.P. A 1000-year high precision record of $\delta^{13}\text{C}$ in atmospheric CO_2 // *Tellus*. B. 1999. V. 51, iss. 2. P. 170–193.
- Graven H., Allison C.E., Etheridge D.M., Hammer S., Keeling R.F., Levin I., Meijer H.A., Rubino M., Tans P.P., Trudinger C.M., Vaughn B.H., White J.W. Compiled records of carbon isotopes in atmospheric CO_2 for historical simulations in CMIP6 // *Geoscientific Model Dev*. 2017. V. 10, iss. 12. P. 4405–4417.
- Hedges R., Saville A., O'Connell T. Characterizing the diet of individuals at the Neolithic chambered tomb of Hazleton North, Gloucestershire, England, using stable isotopic analysis // *Archaeometry*. 2008. V. 50, iss. 1. P. 114–128.
- Hedges R., Stevens R.E., Richards M.P. Bone as a stable isotope archive for local climatic information // *Quaternary Science Reviews*. 2004. V. 23, iss. 7–8. P. 959–965.
- Hollund H.I., Higham T., Belinskij A., Korenevskij S. Investigation of palaeodiet in the North Caucasus (South Russia) Bronze Age using stable isotope analysis and AMS dating of human and animal bones // *Journal of Archaeological Science*. 2010. V. 37, iss. 12. P. 2971–2983.
- Keeling C.D., Moor W.G., Tans P.P. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide // *Nature*. 1979. V. 277. P. 121–123.
- Kovda I., Morgun E., Golubeva N. Stable isotopic compositions of carbon in vegetation and soil organic matter along the bioclimatic transect, North Caucasus // *Geophysical Research Abstracts*. 2010. V. 12: EGU General Assembly 2010. P. 2252.
- Müldner G., Richards M.P. Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis // *Journal of Archaeological Science*. 2005. V. 32, iss. 1. P. 39–48.
- O'Connell T.C., Kneale C.J., Tasevska N., Kuhnle G.G. The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study // *American Journal of Physical Anthropology*. 2012. 149, 3. P. 426–434.
- Post D.M. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions // *Oecologia*. 2002. V. 83. P. 703–718.
- Simonova G., Volkov Y., Markelova A., Kalashnikova D. Isotope monitoring of forest ecosystems // *SGEM Conference Proceedings*. 2017. V. 17, iss. 32. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. P. 885–890.
- Szpak P. Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices // *Frontiers in Plant Science*. 2014. 5. 288.
- Tykot R.H. Stable isotopes and diet: You are what you eat // *Proceeding of the International School of Physics “Enrico Fermi” Course* / Eds. M. Martini, M. Milazzo, M. Piacentini. Amsterdam, 2004. P. 433–444.
- Vanderkluft M.A., Ponsard S. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis // *Oecologia*. 2003. V. 136. P. 169–182.
- Wood R. Chronometric and paleodietary studies at the Mesolithic and Neolithic burial ground of Minino, NW Russia. Dissertation for the MSc in Archaeological Science. Oxford, 2006. 114 p.
- Yakir D. The paper trail of the ^{13}C of atmospheric CO_2 since the industrial revolution period // *Environmental Research Letters*. 2011. V. 6. № 3. 034007.

ISOTOPE MARKERS OF ECOSYSTEMS AND NUTRITION OF THE MEDIEVAL RURAL POPULATION IN THE FOREST ZONE OF EUROPEAN RUSSIA

Maria V. Dobrovolskaya^{1,*}, Alexei V. Tiunov^{2,**},
Olga A. Krylovich^{2,***}, Evgenia A. Kuzmicheva^{2,****},
Irina K. Reshetova^{1,*****}, Arkady B. Savinetsky^{2,*****},
Natalia G. Svirkina^{1,*****}, Alexei L. Smirnov^{1,*****}

¹Institute of Archaeology RAS, Moscow, Russia

²Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

*E-mail: mk_pa@mail.ru

**E-mail: a_tiunov@mail.ru

***E-mail: okrylovich@gmail.com

****E-mail: kuzmicheva.evgeniya@gmail.com

*****E-mail: reshetovairina@yandex.ru

*****E-mail: arkadybs@rambler.ru

*****E-mail: svirkina.natalia@mail.ru

*****E-mail: ari1828@bk.ru

Studying the isotopic composition of carbon and nitrogen in contemporary natural communities contributes to creating palaeoecological reconstructions of the landscape environment and food resources of the medieval rural population. The objectives of the study are to determine the isotopic composition (ratio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) of flora and fauna representatives of the modern boreal forest in European Russia, as well as a preliminary reconstruction of the nutrition and habitat of medieval residents in the studied area. Identification of the isotopic composition of nitrogen and carbon in 320 samples of flora and fauna from Peno and Andreapol districts of Tver Region allowed forming the ideas of the characteristic values of nitrogen and carbon isotopic composition in plants, the humus horizon of soil, and the collagen of bone tissue in mammals and fish. The results obtained are similar to data from adjacent regions (Baltic states, Poland, and Kirov Region of the Russian Federation), which suggests a homogeneous structure of the "isotopic landscape" in northeastern Europe. The study analyzed isotopic composition of carbon and nitrogen in the collagen of the bone tissue of individuals from the burial grounds and mounds of Tver Region and medieval Novgorod. The paper discusses issues of variability in isotopic indices depending on difference in the environment and use of food resources.

Keywords: medieval population, forest zone of European Russia, nutritional isotopic markers.

REFERENCES

- Arkheologicheskaya karta Rossii. Tverskaya oblast' [Archaeological map of Russia. Tver Region], 4. A.V. Kashkin, ed., I.V. Islanova, K.I. Komarov, G.G. Korol, V.S. Nefedov, comp. Moscow: IA RAN, 2012. 483 p.
- Arkheologiya severorusskoy derevni X–XIII vekov: srednevekovyye poseleniya i mogil'niki na Kubenskom ozere [Archaeology of the Northern Rus village of the 10th–13th centuries: medieval settlements and burial grounds on Lake Kubenskoye], 3. Paleoeologicheskiye usloviya, obshchestvo i kul'tura [Palaeoecological conditions, society and culture]. N.A. Makarov, ed. Moscow: Nauka, 2009. 233 p.
- Bocherens H., Drucker D., 2003. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in collagen. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 1–2, pp. 46–53.
- Bocherens H., Drucker D.G., Billiou D., Patou-Mathis M., Vandermeersch B., 2005. Isotopic evidence for diet and subsistence pattern of the Saint-Cesaire I Neanderthal: review and use of a multi-source mixing model. *Journal of Human Evolution*, vol. 49, iss. 1, pp. 71–87.
- Bogaard A., Fraser R., Heaton T.H., Wallace M., Vaiglova P., Charles M., Jones G., Evershed R.P., Styring A.K., Andersen N.H., Arbogast R.M., 2013. Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 31, pp. 12589–12594.
- Brooks J.R., Flanagan L.B., Buchmann N., Ehleringer J.R., 1997. Carbon isotope composition of boreal plants: functional grouping of life forms. *Oecologia*, 110, pp. 301–311.
- Bump J.K., Fox-Dobbs K., Bada J.L., Koch P.L., Peterson R.O., Vucetich J.A., 2007. Stable isotopes, ecological integration and environmental change:

- Wolves record atmospheric carbon isotope trend better than tree rings. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 274, iss. 1624, pp. 2471–2480.
- Burov V.A., 2005. The mound and cemetery site of the late 13th–16th century Poddubye-2 in Valdai. *Drevnosti Evrazii: ot ranney bronzy do rannego srednevekov'ya* [Antiquities of Eurasia: from the Early Bronze to the Early Middle Ages]. V.I. Gulyayev, ed. Moscow: IA RAN, pp. 581–587. (In Russ.)
- Chernov S.Z., Nizovtsev V.A., Aleksandrovskiy A.L., Krenke N.A., 2004. Kul'tura srednevekovoy Moskvy: Istoricheskiye landshafty Moskvy [The culture of medieval Moscow: Historical landscapes of Moscow], 1. Rasseleniye, osvoyeniye zemel' i prirodnaya sreda v okruge Moskvy XII–XIII vv. [Settling, land development and the natural environment in Moscow vicinity of the 12th–13th centuries]. Moscow: Nauka. 448 p.
- Engovatova A.V., Dobrovol'skaya M.V., Antipina E.E., Zaytseva G.I., 2013. Mass burials in Yaroslavl. Reconstruction of the nutrition system based on the isotope analysis. *KSIA* [Brief Communications of the Institute of Archaeology], 228, pp. 96–115. (In Russ.)
- Engovatova A.V., Dobrovol'skaya M.V., Zaytseva G.I., 2015. The "Kremlin diet" of a Medieval Russian town (based on isotopic data). *KSIA* [Brief Communications of the Institute of Archaeology], 237, pp. 80–89. (In Russ.)
- Eremeyev I.I., Dzyuba O.F., 2010. Ocherki istoricheskoy geografii lesnoy chasti puti iz varyag v greki. Arkheologicheskiye i paleogeograficheskiye issledovaniya mezhdru Zapadnoy Dvinoi i ozerom Il'men' [Studies on the historical geography of the forest part of the route from the Varangians to the Greeks. Archaeological and palaeogeographic research between the Western Dvina and Lake Ilmen]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya. 782 p.
- Etu-Sihvola H., Bocherens H., Drucker D.G., Junno A., Mannermaa K., Oinonen M., Uusitalo J., Arppe L., 2019. The dIANA database – Resource for isotopic paleodietary research in the Baltic Sea area. *Journal of archaeological science: Reports*, 24, pp. 1003–1013.
- Evans R.D., 2001. Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition. *Trends in Plant Science*, vol. 6, iss. 3, pp. 121–126.
- Francey R.J., Allison C.E., Etheridge D.M., Trudinger C.M., Enting I.G., Leuenberger M., Langenfelds R.L., Michel E., Steele L.P., 1999. A 1000-year high precision record of $\delta^{13}\text{C}$ in atmospheric CO_2 . *Tellus. B*, vol. 51, iss. 2, pp. 170–193.
- Graven H., Allison C.E., Etheridge D.M., Hammer S., Keeling R.F., Levin I., Meijer H.A., Rubino M., Tans P.P., Trudinger C.M., Vaughn B.H., White J.W., 2017. Compiled records of carbon isotopes in atmospheric CO_2 for historical simulations in CMIP6. *Geoscientific Model Development*, vol. 10, iss. 12, pp. 4405–4417.
- Hedges R., Saville A., O'Connell T., 2008. Characterizing the diet of individuals at the Neolithic chambered tomb of Hazleton North, Gloucestershire, England, using stable isotopic analysis. *Archaeometry*, vol. 50, iss. 1, pp. 114–128.
- Hedges R., Stevens R.E., Richards M.P., 2004. Bone as a stable isotope archive for local climatic information. *Quaternary Science Reviews*, vol. 23, iss. 7–8, pp. 959–965.
- Hollund H.I., Higham T., Belinskij A., Korenevskij S., 2010. Investigation of palaeodiet in the North Caucasus (South Russia) Bronze Age using stable isotope analysis and AMS dating of human and animal bones. *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, iss. 12, pp. 2971–2983.
- Keeling C.D., Moor W.G., Tans P.P., 1979. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 277, pp. 121–123.
- Kovda I., Morgun E., Golubeva N., 2010. Stable isotopic compositions of carbon in vegetation and soil organic matter along the bioclimatic transect, North Caucasus. *Geophysical Research Abstracts*, 12. EGU General Assembly 2010, p. 2252.
- Kuchkin V.A., 1984. The landmarking of 1483 and the issue of the medieval Novgorod-Smolensk border. *Novgorodskiy istoricheskiy sbornik* [Novgorod historical collection of articles], 2 (12). Leningrad: Nauka, pp. 165–175. (In Russ.)
- Makarov N.A., Zakharov S.D., Buzhilova A.P., 2001. Srednevekovoye rasseleniye na Belom ozere [Medieval settling on Lake Beloye]. Moscow: Yazyki slavyanskoy kul'tury. 496 p.
- Maslennikova A.V., Udachin V.N., Deryagin V.V., 2012. Stable isotopes of carbon and oxygen in the bottom sediments of Lake Syrytkul (Southern Urals) as indicators of the palaeoclimatic conditions of the Holocene. *Vestnik Orenburgskogo gos. univ.* [The Vestnik of Orenburg State University], 6, pp. 124–127. (In Russ.)
- Müldner G., Richards M.P., 2005. Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. *Journal of Archaeological Science*, vol. 32, iss. 1, pp. 39–48.
- O'Connell T.C., Kneale C.J., Tasevska N., Kuhnle G.G., 2012. The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study. *American Journal of Physical Anthropology*, 149, 3, pp. 426–434.
- Post D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Oecology*, 83, pp. 703–718.
- Sel'skaya Rus' v IX–XVI vekakh [Rural Rus in the 9th–16th centuries]. N.A. Makarov, S.Z. Chernov, ed., I.N. Kuzina, comp. Moscow: Nauka, 2008. 418 p.
- Shishlina N.I., 2015. Identification of seasonal and long-term migrations of the population of the southern Russian steppes and the North Caucasus in the

- Bronze Age based on geochemical analysis. *Kavkaz kak svyazuyushcheye zveno mezhdu Vostochnoy Evropoy i Perednim Vostokom: dialog kul'tur, kul'tura dialoga (k 140-letiyu A.A. Millera) [The Caucasus as a link between Eastern Europe and the Near East: dialogue of cultures, culture of dialogue (to the 140th anniv. of A.A. Miller)]*. St. Petersburg: IIMK RAN, pp. 348–355. (In Russ.)
- Simonova G., Volkov Y., Markelova A., Kalashnikova D., 2017. Isotope monitoring of forest ecosystems. *SGEM Conference Proceedings*, vol. 17, iss. 32. 17th Intern. Multi-disciplinary Scientific GeoConference, pp. 885–890.
- Streys Ya.Ya., 1935. Tri puteshestviya [Three Travels]. Moscow: OGIZ-SOTsEKGIZ. 415 p.
- Szpak P., 2014. Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices. *Frontiers in Plant Science*, 5, 288.
- Tiunov A.V., 2007. Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil and ecological studies. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Biological Series]*, 4, pp. 475–489. (In Russ.)
- Tykot R.H., 2004. Stable isotopes and diet: You are what you eat. *Proceed. of the Intern. School of Physics "Enrico Fermi" Course*. M. Martini, M. Milazzo, M. Piacentini, eds. Amsterdam, pp. 433–444.
- Vanderklift M.A., Ponsard S., 2003. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, 136, pp. 169–182.
- Wood R., 2006. Chronometric and paleodietary studies at the Mesolithic and Neolithic burial ground of Minino, NW Russia. Dissertation for the MSc in archaeological Science. Oxford. 114 p.
- Yakir D., 2011. The paper trail of the ^{13}C of atmospheric CO_2 since the industrial revolution period. *Environmental Research Letters*, vol. 6, no. 3. 034007.