

УДК 631.417

DOI:10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-1-46-60

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) В ПОЧВАХ И КУЛЬТУРНЫХ СЛОЯХ ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Н. О. Ковалева^{1*}, Р. А. Решетникова¹, И. В. Ковалев¹, Е. М. Столпникова^{1, 2}

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

² Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, 119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 33

* E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Развивающаяся в последние годы практика применения изотопного анализа в археологических исследованиях требует познания особенностей фракционирования изотопов в культурных слоях и погребенных почвах. Конструктивные свойства геоархеологических памятников обусловлены местным рельефом, климатом, растительностью, гидрологией ландшафтов, физическими и химическими свойствами почвообразующих и подстилающих пород, бытованием культур, и поэтому их изотопная подпись имеет сложный кумулятивный характер. Целью исследования стало изучение вариабельности изотопного состава углерода почв, пород и культурных слоев различных ландшафтных частей геоархеологических насыпей в разных природных зонах Русской равнины с позиций выявления общеклиматических трендов и вклада антропогенного фактора во фракционирование изотопов углерода. В качестве объектов исследования выбраны оборонительные валы Дмитровского кремля (Московская область), Давыдовского городища (Тамбовская область), Водянского городища (Волгоградская область), некрополи археологических комплексов Жерено и Кветунь (Брянская область). Показано, что значительная вариабельность изотопного состава углерода характерна для почв и культурных слоев геоархеологических памятников разных природных зон и позволяет выявить этапы стабильного почвообразования на поверхности насыпей и этапы подсыпки сооружений. Изотопные отношения уменьшаются в гумусовых горизонтах дневных и погребенных почв. Увеличение изотопных отношений характерно для культурных слоев геоархеологических памятников во всех природных зонах и маркирует эпохи бытования культур, однако механизмы этого процесса требуют дальнейших исследований. Несмотря на преимущественное распространение травяной растительности на дневной поверхности памятников, изотопная подпись погребенных почв отражает тип господствующей зональной растительности и через особенности типа фотосинтеза позволяет реконструировать особенности климата региона различных хроноэтапов существования объектов.

Ключевые слова: органический углерод, конструкторы, антропогенная эволюция, палеоклимат, стабильные изотопы углерода.

Введение

В силу того, что длительность археологических эпох сопоставима по масштабам с характерными временами формирования почв, репрезентативным объектом изучения изотопного состава углерода могут служить насыпи археологических памятников (курганов, валов оборонительных сооружений, городищ), так как сочетают в своей толще культурные слои и материал почвенного и литогенного происхождения, состоят из разновозрастных поверхностей и могут быть датированы археологическим методом.

Как известно из моделей Farquhar et al. [1989], биохимическое фракционирование изотопов в растениях зависит от парциального давления углекислого газа в атмосфере и особенностей его ассимиляции растениями: биомасса растений с С3-типом фотосинтеза накапливает более легкие изотопы ($\delta^{13}\text{C}$ от -22 до -32‰), а растения с С4-циклом дикарбоновых кислот содержат более тяжелые изо-

топы ($\delta^{13}\text{C}$ от -10 до -18‰). Доля С4-растений увеличивается поэтому с увеличением географической широты местности. Изотопный состав углерода растений с САМ-типом фотосинтеза (кислотный метаболизм толстянковых) менее изучен, и величины $\delta^{13}\text{C}$ колеблются от -10 до -28‰ . Эффект дальнейшего фракционирования изотопов при разложении растительных остатков в почве не превышает $1-2\text{‰}$ [Ковда и др., 2011]. В почвах возможно также кинетическое фракционирование изотопов, или изотопный обмен при химических реакциях: молекулы, содержащие легкий изотоп, более подвижны по сравнению с аналогичными соединениями с тяжелым изотопом в процессах испарения, адсорбции, диффузии, конденсации и пр. [Юдович, Кетрис, 2010]. Различают еще и термодинамический изотопный эффект, при котором соединения с более тяжелым изотопом мигрируют между взаимодействующими фазами в соответствии с термодинамическими законами вслед за повышением или понижением температур (при низких температурах

фракционирование изотопов максимально) или изменением окислительно-восстановительного потенциала: восстановленные соединения содержат больше легких изотопов, а окисленные — тяжелых [Вагапов, Алексеев, 2015; Ковда и др., 2011].

Массовое применение методов геохимии стабильных изотопов для исследования изотопного состава различных биогенных и абиогенных объектов привело не только к накоплению большого количества новых данных, но и к большому разбросу мнений по поводу их интерпретации. В результате часто одни и те же изотопные эффекты получают прямо противоположное толкование, о чем пишут Юдович и Кетрис [2010]. Между тем системные исследования изотопного состава почв разных природных зон и элементов ландшафта пока немногочисленны и ограничиваются работами Моргуна и др. [2008], Ковды и др. [2011], Тиунова [2007], Макарова и др. [2016], Ковалевой и Добровольского [2013] и др. Расширяющаяся в последние годы практика применения изотопного анализа в археологических исследованиях [Энговатова и др., 2015; Яворская и др., 2015], особенно в культурных слоях и погребенных почвах, требует понимания закономерностей изотопных эффектов в них.

Поэтому цель настоящего исследования — изучить особенности изотопного состава почв, пород и

культурных слоев различных ландшафтных частей геоархеологических памятников в разных природных зонах Русской равнины с позиций выявления природных трендов и вклада антропогенного фактора во фракционирование изотопов углерода.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны конструкторы земляных насыпей фортификационных сооружений и некрополей некоторых геоархеологических памятников Русской равнины: 1) в южной тайге — археологический комплекс Дмитровский кремль (г. Дмитров, Московская область, N 56°20'42", E 37°31'12"), 2) в зоне серых лесных почв — некрополь Кветунь (N 52°34'79", E 33°38'56") и неолитическая стоянка Жерено (Брянская область, Трубчевский район), 3) в черноземной лесостепи археологический памятник — Давыдовское городище (Тамбовская область, N 53°38'58"; E 41°45'00"), 4) в степной зоне (N 49°08'10"; E 44°85'49") — Водянское городище (Волгоградская область).

Объекты исследования представляют собой разновозрастные и многослойные (по историческим и археологическим данным) насыпи, состоящие из слоев породы, почвенных горизонтов и культурных слоев поселений. Литология исследованных ландшафтов представлена в основном флювиогляци-

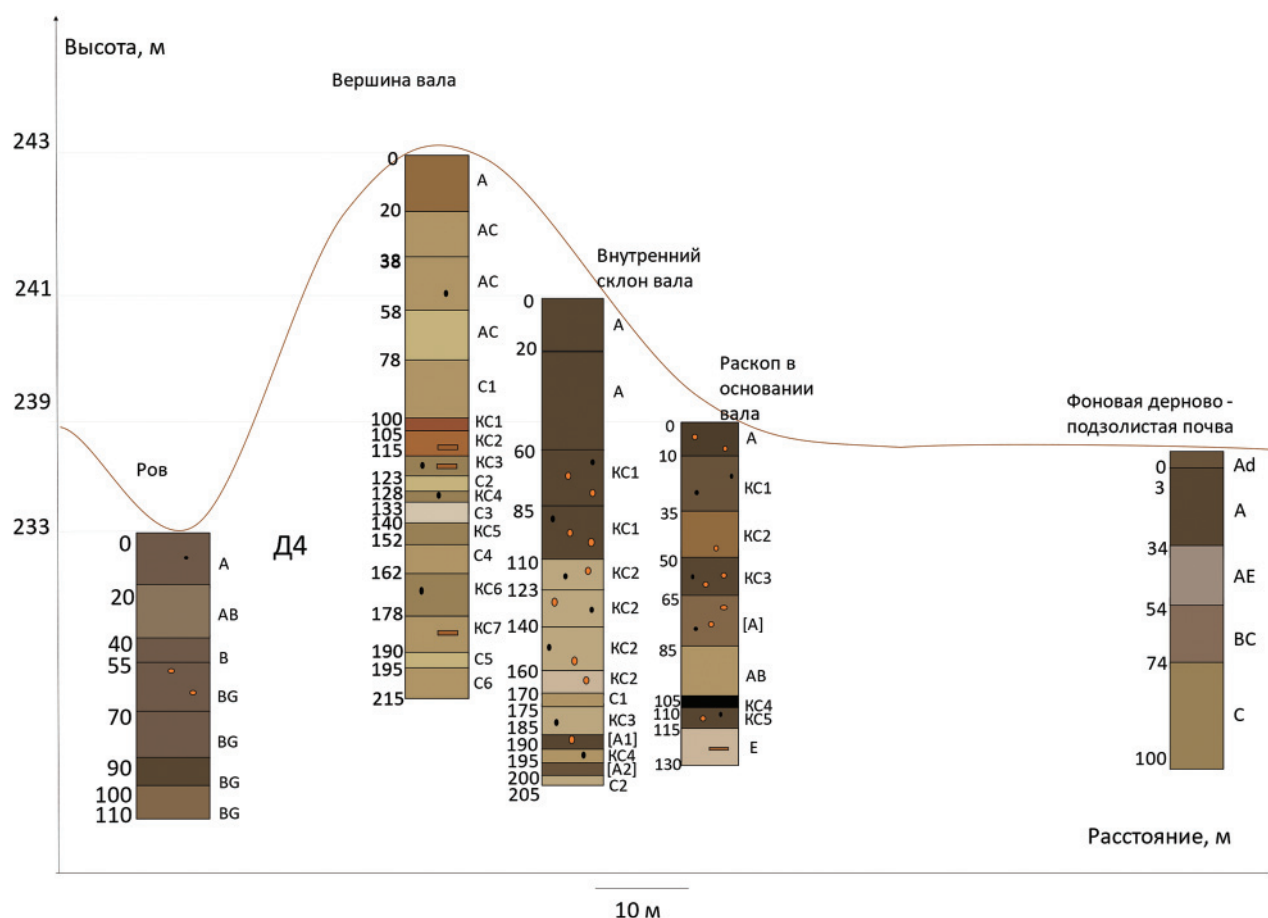


Рис. 1. Схема заложения разрезов на территории Дмитровского кремля

альными и аллювиальными отложениями, так как миграция культур в начале исторического времени определялась динамикой речных русел. При движении вниз по Русской равнине вслед за уменьшением количества осадков от 650–700 мм в таежной зоне до 350 мм в сухой степи и соответствующим увеличением величины испаряемости закономерно нарастает минерализация грунтовых вод и степень засоления почв. Характер засоления в лесостепной зоне Тамбовщины — гидрокарбонатно-натриевый [Ковалева и др., 2016], в Нижнем Поволжье — сульфатный [Иванов и др., 2020].

В Московской области разрезы и археологические раскопы заложены на вершине и на склоне средневекового крепостного вала Дмитровского кремля, датированного [Гольева, 2009] серединой XII — концом XIII в. (стратоземы серогумусовые), в днище рва у основания вала (темногумусовая глеевая типичная почва), а также на территории археологического комплекса у внутренней части вала (стратозем темногумусовый на погребенном подзоле) (рис. 1). Фоновый разрез представлен дерново-подзолистой супесчаной почвой на второй-третьей террасе древнеозерного расширения долины реки Яхромы в 2 км от городища.

В зоне серых лесных почв изучен Кветуньский курганный комплекс вблизи детинца городи-

ща Старый Трубчевск (VIII–XII вв.) [Падин, 1963; Падин, 2004]. Буровой скважиной вскрыт курган некрополя за пределами городища и заложен фоновый разрез серой лесной почвы на первой террасе реки Десны в 500 м от городища.

Расположенный на другом берегу Десны курганный комплекс неолитической стоянки Жерено приурочен к Неруссо-Жеренскому полесью. Буровой скважиной вскрыт курган некрополя на берегу озера Большое Жерено и фоновым разрезом — дерново-подзол в сосновом бору Деснянско-Жеренского заказника (рис. 2).

В черноземной лесостепи катена из четырех почвенных разрезов заложена на территории археологического памятника Давыдовское городище (N 53°38'58"; E 41°45'00") [Андреев, Разуваев, 2012]: стратозем на погребенной почве в археологическом раскопе оборонительного вала городища, лугово-черноземная почва в днище рва у оборонительного вала, черноземы обыкновенные под луговой степью и под лесом за пределами вала выбраны в качестве фоновых почв (рис. 3). Еще одним типичным фоновым разрезом Тамбовщины послужил чернозем осолоделый «куста» заповедной Матырской дубравы (N 53°38'00"; E 41°45'97").

В Волгоградской области в ландшафтах сухой степи в качестве объектов исследования выбраны

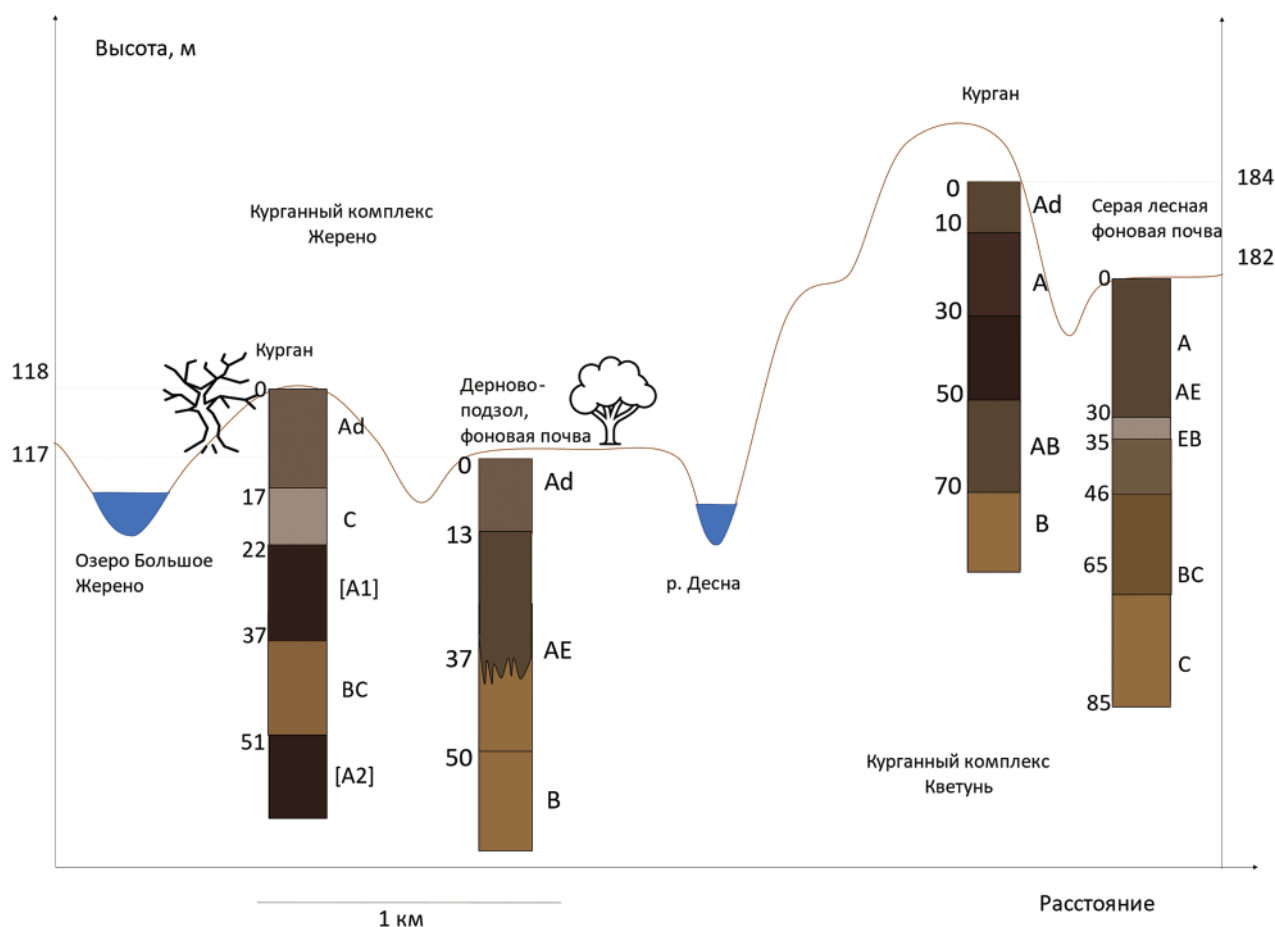


Рис. 2. Схема заложения разрезов в Подесенье

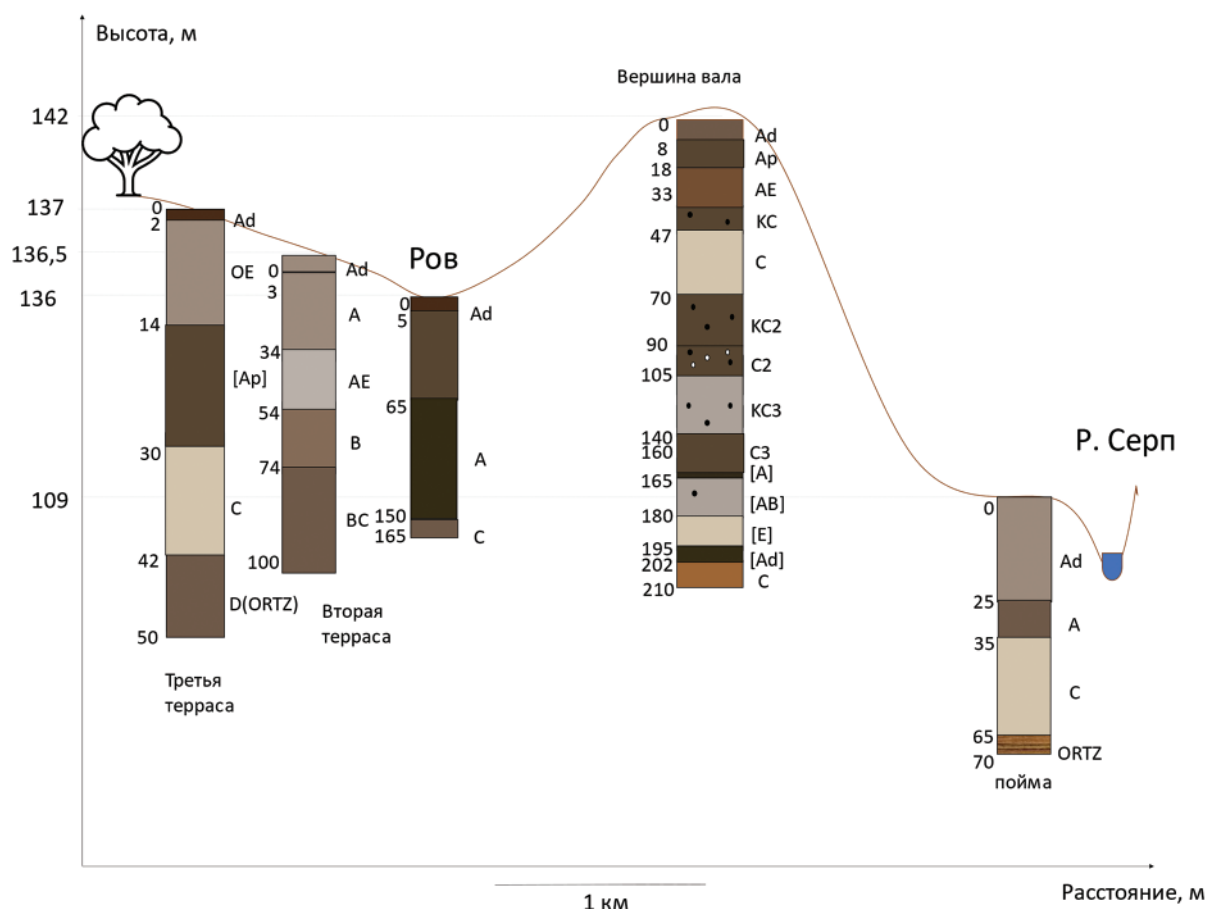


Рис. 3. Схема заложения разрезов на территории Давыдовского городища

стратоземы светло-гумусовые Водянского городища у города Дубовка (один из крупных и благоустроенных городов Орды в XII–XIV вв.) (рис. 4). Зачистка берегового обрыва под городищем выполнена в рамках междисциплинарной экспедиции Флотилии плавучих университетов России [Иванов и др., 2020].

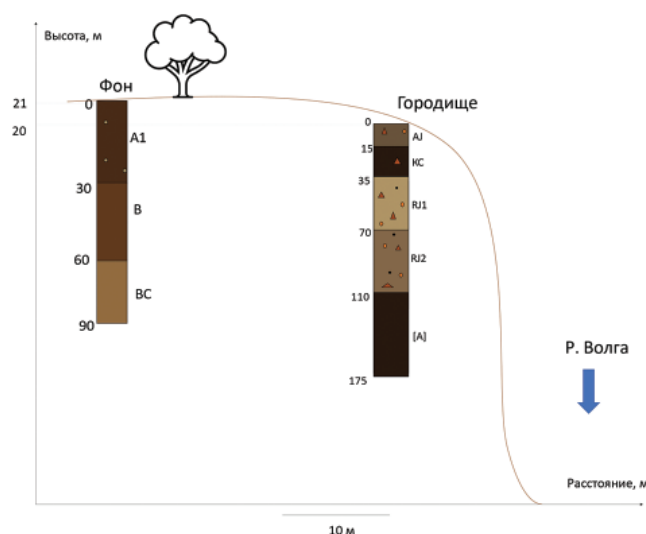


Рис. 4. Схема заложения разрезов на территории Водянского городища

Методы исследования включали морфологический анализ почв, определение актуальной почвенной кислотности потенциометрически стеклянным электродом. Определение углерода выполнено на элементном CNS-анализаторе (VARIO EL, Elementar GmbH, Hanau). Определение содержания карбонатов проводилось волуметрическим методом, удельная магнитная восприимчивость измерена полевым каппаметром КТ-5. Все определения выполнены в трехкратной повторности. Методика определения лигнинных фенолов подробно изложена в наших предыдущих работах [Ковалева, Ковалев, 2015].

Определение изотопного состава углерода органического вещества почв выполняли в одно- и двухкратной повторности после удаления корней, детритовых включений и карбонатов. Карбонаты разрушали многократной обработкой образцов 1 М HCl, после чего образцы отмывали от кислоты дистиллированной водой с использованием центрифуги. Измерения проводили в Институте проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН с помощью масс-спектрометра Termo-Finnigan Delta V Plus. Полученные результаты выражены в промилле (‰) по отношению к стандарту VPDB. Радиоуглеродное датирование выполнялось жидкостным сцинтилляционным методом в Киевской радиоуглеродной лаборатории.

Результаты

Морфологическое описание (табл. 1, представлены описания профилей, заложенных на максимальных гипсометрических отметках памятника) конструкторов георхеологических памятников обнаруживает некоторые особенности их инженерии и строительства, отражающие как условия окружающей среды, так и образа жизни культур. Например, буровые скважины и археологические раскопы Дмитровского вала (табл. 1, рис. 1) вскрывают песчаные слои, связанные с подсыпкой вала флювиогляциальными отложениями Яхромско-Дубнинской поймы; слои типичной для водоразделов красно-коричневой московской морены и земляных кирпичей из нее, а также прослойки угля; под валом — профиль погребенной болотно-подзолистой почвы, на поверхности которой был сконструирован вал.

Морфология курганов Жеренского некрополя, расположенного вдоль заболоченного в настоящее время русла Неруссы, обнаруживает культурные слои средневекового возраста (330 ± 80 лет, Ki-18778),

перекрытые песчаной засыпкой из местного материала дюн первой террасы Десны, и гумусовый горизонт погребенной под курганом почвы IV–III тысячелетия до н. э. [Смирнов, 1982]. Курганы Кветуньского некрополя вскрывают культурные слои X–XIII вв. [Падин, 1963], перекрытые легкосуглинистым аллювиальным материалом поймы реки Десны.

Конструктором Давыдовского городища высотой 3 м обнаруживает несколько культурных слоев различных археологических культур: энеолита, средней и поздней бронзы, скифского и сарматского периодов железного века, раннего Средневековья; 4 этапа подсыпки вала. Особенностью устройства валов было использование дернины для укрепления поверхности вала на глубине 160–165 см, 70–90 см, 33–47 см, а также наличие древо-земляных конструкций — городней из стволов хвойных пород деревьев.

Стратозем Водянского городища сформирован на погребенном солонце и отличается карбонатностью всего профиля. В его толще на глубине 110 см

Таблица 1

Морфология насыпей георхеологических памятников

Горизонт глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Структура	Корни, %	Гранулометриче- ский состав	Новообразования, включения	Вскипание от HCl
<i>Стратозем серо-гумусовый на вершине оборонительного вала Дмитровского кремля</i>						
A 0–20	10YR 5/3	пылеватая	90	песок	стекло	нет
AC 20–38	10YR 5/3	пылеватая	80	песок	уголь, камни	нет
AC 38–58	10YR 5/3	пылеватая	50	песок	уголь, камни	нет
AC 58–78	10YR 5/4	пылеватая	50	песок	камни, Fe-конкреции	нет
C1 78–100	10YR 5/4	пылеватая	20	песок	карбонаты, камни, Fe-конкреции	вскипает
KC1 100–105	10YR 4/4	ореховатая	5	суглинок	карбонаты, камни, земля- ные кирпичи из морены	вскипает
KC2 105–118	10YR 4/4	ореховатая	5	суглинок	древесина, карбонаты	вскипает
KC3 118–123	10YR 5/4	плитчатая	единичные	песок	уголь, карбонаты, камни, древесина, зерна кварца	вскипает
C2 123–128	10YR 7/2	пылеватая	единичные	песок	слюда	нет
KC4 128–133	10YR 5/3	пылеватая	50	супесь	камни, уголь, Fe-конкреции	нет
C3 133–140	10YR 7/2	пылеватая	5	песок	Mn-конкреции, зерна кварца	нет
KC5 140–152	10YR 6/4	пылеватая	10	песок	камни, уголь	нет
C4 152–162	10YR 5/4	плитчатая	единичные	песок	прослойки Fe	нет
KC6 162–178	10YR 5/4	пылеватая	единичные	песок	карбонаты, камни, уголь Fe-конкреции	нет
KC7 178–190	10YR 6/4	пылеватая	единичные	песок	древесина, ветки	нет
C5 190–195	10YR 7/3	плитчатая, чешуйчатая	0	песок	камни	нет

Горизонт глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Структура	Корни, %	Гранулометриче- ский состав	Новообразования, включения	Вскипание от HCl
C6 195–215	10YR 6/4	пылеватая	5	песок	стяжения Fe	нет
<i>Стратозем темно-гумусовый Жеренского курганного комплекса</i>						
Ad 0–17	10YR 5/2	бесструктур- ный	50	песок	пятна и примазки Fe	нет
C 17–22	10YR 6/2	бесструктур- ный	30	песок		нет
[A1] 22–37	10YR 5/2	бесструктур- ный	50	песок	прослой угля	нет
B 37–51	10YR 6/3	бесструктур- ный	5	песок	пятна и примазки Fe	нет
[A2] 51–75	10YR 6/2	пылеватая	5	песок	оглеение	нет
<i>Стратозем на вершине вала Давыдовского городища</i>						
Ad 0–8	10YR 3/2	комковато-зер- нистая	90	легкий суглинок		нет
A 8–18	10YR 3/3	комковато-по- рошистая	80	супесь		нет
AE 18–33	10YR 3/2	глыбистая	50	средний сугли- нок	кремнеземистая присыпка	нет
KC1 33–47	10YR 2/1	комковато-по- рошистая	80	суглинок сред- ний	уголь	нет
C 47–70	10YR 4/3	глыбисто-по- рошистая	единичные	легкий суглинок	выцветы солей, карбонаты, кротовина	вскипает
KC2 70–90	10YR 3/3	глыбисто-по- рошистая	60	средний сугли- нок	уголь	нет
C2 90–105	10YR 3/3	пластинчатая	40	средний сугли- нок	уголь, выцветы солей, остатки древесины	нет
KC3 105–140	10YR 2/1	комковато- глыбистая	20	супесь	уголь, белоглазка	вскипает
C3 140–160	10YR 3/2	глыбистая	единичные	легкий суглинок	пятна оглеения	нет
[A] 160–165	10YR 3/3	комковатая	90	средний сугли- нок	уголь, карбонаты	вскипает
[AB] 165–180	10YR 2/1	столбчатая	20	супесь	кротовина	нет
[E] 180–195	10YR 4/1	столбчатая	единичные	средний сугли- нок		нет
[Ad] 195–202	10YR 3/3	комковатая	70	средний сугли- нок		нет
C 202–210	10YR 5/3	бесструктур- ный	0	песок	кротовина	нет
<i>Стратозем серо-гумусовый, Водянское городище</i>						
A 0–15	10YR 4/2	зернисто-пы- леватая	30	легкий суглинок	кирпич, керамика, кости	вскипает
KC1 15–35	10YR 3/2	зернисто-пы- леватая	20	легкий суглинок	керамика, кости	вскипает
KC2 35–70	10YR 5/2	комковато-пы- леватая	10	легкий суглинок	песчано-гравийные про- слои (3–4)	вскипает
KC3 70–110	10YR 5/2	пылеватый	единичные	супесь	крупные линзы песчано- гравийной смеси	вскипает
[A] 110–175	10YR 3/2	призматиче- ская	20	легкий суглинок		вскипает

различимы культурные слои расцвета разрушенного в XII в. городища и на глубине 30 см культурный слой села Дубовки, обслуживающего «поволоку» между Волгой и Доном в XVII–XVIII вв.

Во всех фортификационных сооружениях использовались деревянные сваи, о чем свидетельствуют находки древесины, все исследуемые городища и некрополи подвергались пожарам, судя по находкам древесного угля, то есть располагались вблизи лесов. Ортзанды, бобовины и пятна оглеения маркируют динамичность уровней грунтовой воды, подтапливающей археологические комплексы снизу в разные периоды их существования. Расположение памятников в пределах речных долин предопределило песчаный и супесчаный, изредка легкосуглинистый гранулометрический состав культурных слоев и погребенных почв. Как правило, гранулометрический состав культурных слоев тяжелее вмещающих горизонтов. Культурные слои отличает также обилие артефактов, углей, более темная окраска, наличие остатков щебня.

Химические свойства конструкторов южной тайги и слабокислые — в фоновых дерново-подзолистых почвах (табл. 2), нейтральные — в почвах черноземной зоны и близкие к нейтральным — в фоновых черноземах (табл. 3). Наибольшая кислотность свойственна песчаным почвам полесий: в курганном комплексе Жерено — до 4,8–4,9, в Кветуни — до 5,2–5,4, величины солевых вытяжек обнаруживают значения pH от 3,8 до 4,6 соответственно. Наибольшую щелочность закономерно демонстрируют почвы Нижнего Поволжья — до

8,25 и культурные слои памятников: даже в южной тайге — до 8,0. Характерное для урбаноземов подщелачивание культурных слоев происходит за счет привноса кальцийсодержащего материала, примеси золы и иных антропогенных включений [Александровский, 2007; Герасимова и др., 2017].

Карбонаты содержатся в незначительном количестве в почвах Дмитровского вала: 0,3% на глубине 85–110 см в скважине на склоне вала; в скважине на вершине вала — 0,4% (78–100 см) и 0,5% (105–115 см), мелкозем не вскипает. В стратоземе Водянского городища их содержание колеблется от следов до 2,3% (на глубине 35–70 см). В горизонте В (60–90 см) фоновой почвы Дубовки наблюдается наибольшее количество карбонатов — около 8%, появляется гипс.

Регрессивно-аккумулятивный характер профиля распределения углерода нарушен локальными пиками в погребенных горизонтах и культурных слоях (табл. 2, 3, 4) всех объектов. В почвах Дмитровского вала количество углерода находится в пределах от 0,05 до 3,65%, минимальные значения характерны для песчаных горизонтов, а максимальные, 3,65%, — для верхнего горизонта гидроморфной почвы рва. Закономерно высоким содержанием углерода (до 4–5%) отличаются черноземы. Содержание углерода в почвах Нижнего Поволжья варьирует от 0,74 до 1,74% (в фоновых почвах 0,54–1,55%).

Величины изотопных отношений углерода органического вещества верхних горизонтов всех исследованных конструкторов наследуют изотопный состав господствующей растительности с доминированием С3-типа фотосинтеза (табл. 2). Наиболее низкие значения изотопных отношений (от –27,3 до –27,6‰) типичны для поверхностных горизонтов изученных объектов в таежной зоне и

Таблица 2

Физико-химические свойства конструкторов Дмитровского кремля

Горизонт	Глубина, см	Возраст	pH водн.	Сорг. %	Магнитная восприимчивость χ , 10^{-8} м ³ /кг	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
<i>Стратозем светлогумусовый на вершине вала Дмитровского кремля</i>						
A	0–20		6,8	1,76	1,28	–27,0
AC	20–38	XIX–XX вв.	6,9	0,56	0,60	–
AC	38–58		6,9	0,31	0,58	–22,3
AC	58–78	XVI в.	6,8	0,25	0,41	–21,8
C1	78–100		7,2	0,32	0,59	–
KC1	100–105		7,8	0,56	0,76	–
KC2	105–118		8,0	0,50	1,02	–23,7
KC3	118–123		7,1	0,38	0,52	–21,6
C2	123–128		7,7	0,05	0,06	–
KC4	128–133		7,0	0,74	0,69	–19,0
C3	133–140		7,4	0,10	0,13	–24,3
KC5	140–152	XVI в.	7,0	0,48	0,63	–

Горизонт	Глубина, см	Возраст	pH водн.	Сорг. %	Магнитная восприимчивость χ , 10^{-8} м ³ /кг	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
C4	152–162		7,3	0,22	0,79	–24,4
KC6	162–178		7,1	0,39	0,56	–25,6
KC7	178–190	XIII–XIV вв.	7,1	0,32	0,74	–25,3
C5	190–195		7,1	0,14	0,34	–24,8
C6	195–215		7,2	0,23	0,56	–25,3
<i>Стратозем темногумусовый на погребенном подзоле, основание вала Дмитровского кремля</i>						
A	0–10		7,0	2,87	2,89	–27,0
KC1	10–35		7,2	1,15	0,94	–25,2
KC2	35–50		7,0	0,75	0,84	–26,0
KC3	50–65		7,0	1,8	1,63	–26,9
[A]	65–80	XIV–XV вв.	7,1	1,39	1,36	–25,0
B	80–110		7,1	1,36	0,68	–22,8
KC5	110–115	XI–XIV вв.	7,0	1,8	0,85	–26,7
[E]	115–130		7,1	0,12	0,07	–20,2
<i>Стратозем серогумусовый, склон вала Дмитровского кремля</i>						
A	0–20		7,0	2,45	1,77	–26,8
A	20–60		6,9	1,16	1,17	–26,1
KC1	60–85		6,6	1,35	1,10	–25,4
KC1	85–110		6,8	1,82	2,98	–25,6
KC2	110–123		7,0	1,19	1,49	–26,1
KC2	123–140		6,9	1,65	2,36	–26,7
KC2	140–160		6,9	1,64	1,90	–25,8
KC2	160–170		7,0	1,05	1,09	–25,8
C1	170–175		7,0	0,49	0,85	–23,5
KC3	175–185		6,8	1,34	1,00	–27,0
[A1]	185–190		6,7	1,1	1,16	–25,4
KC4	190–195		6,8	0,38	0,66	–22,9
[A2]	195–200	XII в.	6,5	0,97	0,70	–25,4
C2	200–205		6,5	0,68	0,45	–24,1
<i>Темногумусовая глеевая почва, ров у оборонительного вала Дмитровского кремля</i>						
A	0–20		6,8	3,65	3,02	–27,2
AB	20–40		6,9	0,77	1,60	–25,1
B	40–55		6,8	0,91	1,46	–25,3
BG	55–70		6,8	1,84	2,27	–25,8
BG	70–90		6,9	1,4	2,20	–25,6
BG	90–100		7,1	0,35	1,28	–24,4
BG	100–110	XVI в.	7,1	0,28	1,30	–24,2
<i>Дерново-подзолистая супесчаная почва под редколесьем на второй террасе реки Яхромы (фон)</i>						
Ad	0–3		6,57	1,27	2,08	–25,8
A	3–34		5,72	1,73	1,99	–25,5
AE	34–54		5,55	0,54	2,16	–24,7
BC	54–74		5,69	0,45	2,40	–25,2
C	74–100		5,67	0,04	1,09	–25,3

Таблица 3

Физико-химические свойства почв Подесенья

Горизонт	Глубина, см	Возраст	pH _{водн.}	C _{орг} , %	Сгк/ Сфк	Магнитная восприимчи- вость χ , 10 ⁻⁸ м ³ /кг	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
Курганный комплекс «Жерено», курган							
Ad	0–17	XIII–XX	5,4	0,35	1,47	0,33	–27,6
C	17–22		4,9	0,45	0,05	0,31	–26,9
[A1]	22–37	330±50	4,8	0,38	3,03	0,31	–26,6
B	37–51		5,1	0,23	1,44	0,29	–26,2
[A2]	51–75	V–IV тысяче- летие до н. э.	4,9	0,46	Только ГК	0,10	–27,4
Фоновая почва (дерново-подзол, сосновый лес)							
Ad	0–13		5,7	0,42		0,56	–26,5
AE	13–37		5,4	0,23		0,47	–25,7
B	37–↓		4,9	0,11		0,49	–25,1
Курганный комплекс «Кветунь», курган							
A	0–30		5,2	0,94	2,24	2,81	–26,3
[A]	30–50	X–XIII вв.	5,3	1,09	1,22	2,78	–26,3
AB	50–70		5,3	0,64	0,62	3,08	–26,5
B	70–80		5,4	0,48	–	2,94	–26,3
Фоновая серая лесная почва							
A	0–30	2180±60	6,4	3,41	0,69	3,95	–26,1
AE	30–35		6,6	0,25	0,82	3,90	–25,4
EB	35–46		6,6	0,15	–	2,65	–24,7
BC	46–65		6,8	0,14	–	2,45	–24,7
C1	65–85		7,0	0,10	–	2,11	–24,1

отражают, по-видимому, вклад полугидроморфных луговых и лесных экосистем в пул органического углерода. При этом легкие значения изотопного состава наблюдаются даже в поверхностных дерновых горизонтах вала Дмитровского кремля, существующих сейчас под травянистой растительностью. Небольшое утяжеление изотопных значений закономерно демонстрируют поверхностные горизонты вала Давыдовского городища в лесостепи Тамбовской области — от –26,3 до –27,00‰, отражая изотопный состав тканей лугово-степной растительности. Степные злаки формируют почвенный пул углерода в сухой степи: значения изотопных отношений дерновых горизонтов на Водянском городище в Волгоградской области достигают величин от –24,5 до –24,90‰. Фоновые разрезы и дневные поверхностные горизонты конструкторов обнаруживают утяжеление изотопных отношений с глубиной. В подзолистых горизонтах вала Давыдовского городища — до величин –25,0‰, в оподзоленных горизонтах серых лесных почв Подесенья — до –25,4, –24,7‰, в осолоделом горизонте фоновой почвы Матырской дубравы — до –25,6‰, в подзолистом горизонте почвы, погребенной под

валом Дмитровского кремля, — до –20,2‰. Наиболее резкое утяжеление изотопных отношений вниз по профилю наблюдается в фоновой каштановой почве Волгоградской области: до –23,0‰, хотя в конструкторе некрополя Водянского городища изотопное отношение меняется с –24,9‰ в поверхностном горизонте до –23,2‰ — в нижележащем культурном слое.

Распределение изотопных отношений по профилю исследованных конструкторов (рис. 4) в целом имеет полимодальный характер, отражающий высокую вариабельность величин. Однако прослеживаются некоторые закономерности в содержании изотопов углерода во времени.

Исходя из значений археологического и радиоуглеродного датирования (табл. 2, 3, 4), гумусовые горизонты исследованных черноземов под валом Давыдовского городища наиболее древние, они сформировались около 3300 лет назад (3290±90, Ki-17742), чуть позже — около 2700 лет (2680±80, Ki-17409) — образовался чернозем осолоделый в районе Матырской дубравы и началось первое укрепление городищского поселка в Давыдово (2210±20, Ле-7908) [Александровский, 2007].

Таблица 4

Физико-химические свойства почв лесостепи

Горизонт	Глубина, см	Возраст	pH _{водн.}	C _{орг.} %	Магнитная восприимчивость $\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$
<i>Стратозем на погребенной почве, вал Давыдовского городища</i>						
Ad	0–8		7,24	3,07	47,43	–26,3
A	8–18	101±1,5	7,16	2,27	54,67	–25,5
AE	18–33		7,24	2,54	52,00	–25,0
KC	33–47	X–XI вв.	7,12	1,27	59,33	–25,5
C	47–70		7,35	1,64	57,33	–25,2
KC2	70–90	VIII–XI вв.	7,2	1,25	41,67	–25,6
C2	90–105		6,85	2,72	73,00	–26,4
KC3	105–145	VI–IV вв. до н.э.	7,35	0,99	38,00	–25,6
C3	145–160		7,73	5,04	52,33	–25,8
[A]	160–165	2210±20	7,45	2,19	47,33	–25,7
[AB]	165–180		7,23	1,70	59,67	–25,6
[E]	180–195		6,83	0,61	22,67	–25,8
[Ad]	195–202	3290±90	7,08	0,75	24,00	–25,9
C	202–220		7,12	0,19	8,33	–26,3
<i>Чернозем гидрометаморфизированный, ров у вала Давыдовского городища</i>						
Ad	0–5		6,00	2,01	25,00	–27,00
A	5–65		5,98	1,8	39,67	–25,6
Ag'	65–100		5,92	1,95	39,00	–25,2
Cg''	100–150		5,90	0,18	13,00	–
<i>Чернозем сегрегационный под лесом (фон)</i>						
Ad	0–3		6,35	1,38	33,33	–
A	3–34		6,80	1,23	33,00	–25,6
[Ap]	34–54		6,15	1,02	33,00	–25,0
B	54–74		6,73	0,61	28,67	–25,4
BC	74–100		6,50	0,37	13,33	–25,5
<i>Чернозем осолоделый</i>						
Ad	0–2		6,90	6,20	8,67	–27,2
AE	2–14		6,84	0,39	7,33	–26,2
[Ap]	14–30		6,94	0,37	8,67	–25,8
C	30–42		6,68	0,21	2,00	–25,9
D(ORTZ)	42–60		6,75	0,20	7,00	–25,8
<i>Аллювиальная луговая почва</i>						
A	0–35		7,20	0,39	25,33	–25,9
C	35–65		6,76	0,35	22,33	–25,8
ORTZ	65–↓		6,28	0,20	15,67	–25,6
<i>Чернозем осолоделый заповедной Матырской дубравы</i>						
Ad	0–5		6,36	–	–	–
A	5–23		6,39	3,23	12,00	–26,6
A	23–47	2680±80	6,40	2,08	11,33	–26,3
AE	47–61		6,63	0,66	9,67	–25,6
B	61–90		7,15	1,62	7,33	–26,0
C1	90–108		7,07	0,67	3,67	–26,5
C2	108–130		7,35	0,08	3,00	–26,9

Таблица 5

Физико-химические свойства почв поселений Поволжья

Горизонт	Глубина, см	Возраст	pH _{водн.}	C _{орг} , %	Магнитная восприимчивость, χ , 10 ⁻⁸ м ³ /кг	% CaCO ₃	$\delta^{13}\text{C}$, ‰
<i>Стратозем (городище)</i>							
A	0–15		7,81	1,51	3,41	0,2	–24,9
KC1	15–35		8,17	1,74	4,07	0	–23,2
KC2	35–70		8,20	1,56	2,27	2,3	–23,5
KC3	70–110		7,88	0,81	1,42	0,3	–23,4
[A]	110–175	XII в.	8,25	0,74	2,24	0	–23,4
<i>Каштановая почва (фоновая почва)</i>							
A	0–30		7,60	1,55	4,75	0,3	–24,5
B	30–60		7,36	0,54	2,67	3,9	–23,0
BC	60–90		8,04	1,58	1,63	8,3	–
C	90–↓		7,72	0,03	1,32	–	–25,0

Погребенные под курганами в Неруссо-Жеренском полесье гумусовые горизонты имеют возраст 4000–3000 лет до н. э. [Евстигнеев, 2009], а фоновые серые лесные почвы — около 2000 лет (2180±60, Ki-17415), чернозем осолоделый на террасе реки Серп — около 1200 лет (1210±70, Ki-17410). Датировки насыпей курганных комплексов и подсыпок валов лежат в интервале от Средневековья до времени малого ледникового периода (330±30, Ki-17742) в Жеренском заказнике, соответствуют 100-летнему возрасту (101±1,5, Ki-17743) — на поверхности Давыдовского городища и вала Дмитровского кремля.

При этом эпоха начала исторического времени (железный век) характеризуется значениями $\delta^{13}\text{C}$ в пределах от –25,8 до –25,2‰ для погребенных горизонтов черноземов Тамбовщины, то есть остается умеренно-влажной. А горизонты средневековых культур во всех исследованных памятниках обнаруживают утяжеление изотопных отношений: в Черноземье — до –25,0‰; на Водянском городище — до –23,4‰; в погребенных почвах Дмитровского кремля — до –24,4‰. Лишь в курганных комплексах Трубчевского ополья значения $\delta^{13}\text{C}$ остаются постоянными — от –26,2 до –26,46‰.

Горизонты почв, сформированные в последующий малый ледниковый период (XVII–XIX вв., 330±80, 101±1,5 лет), имеют значения отношения изотопов, превышающие таковые в современных верхних горизонтах — –23,2‰ на Водянском городище, –26,6‰ — в лесостепи Подесенья, в разрезе рва Дмитровского кремля –25,3 ‰, в подсыпке вала — –22,3‰; –25,5‰ — в горизонтах Давыдовского городища.

Величины магнитной восприимчивости подтверждают результаты выделения культурных слоев, так как имеют максимумы в гумусовых горизонтах, что определяется содержанием органического вещества. Это может быть связано с бла-

гоприятными условиями среды и одновременным накоплением гумуса и магнитных минералов [Андреев, Разуваев, 2012] и присутствием соединений железа в виде органоминеральных комплексов. Слишком сухой и слишком влажный климат препятствует образованию магнитных зерен, чем объясняется пониженная магнитная восприимчивость в гидроморфных почвах (современных и древних) Жеренского кургана, обедненных органическим веществом песчаных прослоев вала Дмитровского кремля.

Обсуждение

Морфологические и химические свойства исследованных почв позволяют диагностировать в геoaрхеологических памятниках наличие культурных слоев с обилием артефактов, более темной окраской, утяжелением гранулометрического состава, повышенным содержанием углерода по сравнению с фоновыми почвами, а также слои породы и присутствие горизонтов погребенных почв с зональными признаками элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, гидроморфизма, засоления, гумусонакопления и т.д. (табл. 1, 2, 3).

Значения изотопных отношений поверхностных горизонтов отражают характер господствующей зональной растительности: лесной — по величинам от –25 до –27‰ и степной злаковой — в сухой степи — по величинам от –22 до –24‰. Однако доля C4-растений невелика и в сухой степи, так как значения не достигают характерных для степных злаков отношений: от –21 до –22‰ [Моргун и др., 2008]. Их обнаруживает лишь фоновый разрез каштановой почвы.

Действительно, данные о биохимическом составе органического вещества почв с. Дубовка (табл. 6) демонстрируют среднюю степень трансформации органики и величины отношения сиреневых

Таблица 6

Лигниновые параметры фоновых почв

Горизонт, глубина, см	Лигнин (VSC), мг г ⁻¹ Сорг	S/V	(Ac/Al) _v	(Ac/Al) _s	T, %
<i>Серая лесная почва Подесенья (N 52°34'79", E 33°38'56")</i>					
Ap, 0–30	12,49	1,50	0,28	0,37	10,72
EB, 30–55	4,99	2,46	0,47	1,16	18,90
<i>Кашитановая почва, с. Дубовка (N 49°08'104", E 44°85'495")</i>					
Ap, 0–10	11,22	0,80	0,36	0,60	11,50
B, 50–60	3,91	0,55	0,33	0,32	10,09

Примечание. VSC — суммарное количество продуктов окисления лигнина; S/V — синрингиловые фенолы/ванилиновые фенолы; (Ac/Al)_v — ванилиновые кислоты/ванилин; (Ac/Al)_s — синрингиловые кислоты/синрингиловые альдегиды; T — % измененности боковых цепочек по отношению лигнина к исходным растительным тканям.

фенолов к ванилинам, свойственные древесным (0,80) экосистемам широколиственного леса [Ковалева, Ковалев, 2015; Kögel, 1986; Farquhar et al., 1989], возможно, дубового. Но на глубине 50–60 см состав лигниновых фенолов по величине S/V = 0,55 отражает лугово-степные условия, в которых существовал крупный торговый центр Водянского городища в XII–XVI вв. Соответственно и значения $\delta^{13}\text{C}$ утяжеляются в нижней части профиля стратозема до –23,4‰.

В целом характер профильного распределения изотопных отношений – зигзагообразный. Вариации изотопных отношений находятся в пределах от –27 до –19‰. При этом наиболее резкие изменения изотопного состава углерода органического вещества в насыпях археологических памятников фиксируются между почвенными горизонтами, культурными слоями и горизонтами породы. Самые высокие значения изотопных отношений — до –19,0‰ и выше — выявлены в культурных слоях в средней части разреза вала Дмитровского кремля в горизонтах среднего суглинка, маркирующих дневную поверхность вала XVI в. наравне с повышенным содержанием остаточных корней, наличием остатков деревянных свай. Интересно отметить, что обсуждаемым горизонтам свойственны повышенные величины pH до 8, наличие угля и золы от большого пожара и несколько аномально тяжелых значений изотопного состава, что связано, возможно, с неполным удалением из проб неорганического углерода при отмывании карбонатов общепринятыми методами. Технику удаления карбонатов необходимо совершенствовать, имея в виду, что в культурных слоях могут быть не только карбонаты кальция, но и калия [Александровский, 2007], железа и пр. [Эволюция почв и почвенного покрова, 2015]. Вероятным объяснением факта утяжеления изотопного состава до –19,0‰ может быть наличие продуктов жизнедеятельности домашних животных, изотопные отношения для которых лежат в указанных пределах [Яворская и др., 2015]: собака — от –17

до –21‰; овцы — от –18 до –21‰; крупный рогатый скот — от –19 до –20‰. Повышение значений в навозе и помете домашних животных связано со специфической диетой последних, например, если их кормят биомассой C4-растений — просом или кукурузой.

Более закономерным выглядит утяжеление изотопных отношений в подзолистых (до –20,20‰), оподзоленных и осолоделых горизонтах всех объектов, расположенных в гумидной и умеренно гумидной зонах. Видимо, в результате промачивания песчаных толщ, обладающих хорошим естественным дренажем, из профилей выносятся наиболее легкий изотоп и наблюдается относительное обогащение элювиальных горизонтов тяжелыми изотопами.

Исходя из датировок культурных слоев и горизонтов погребенных и фоновых почв, можно реконструировать тренды изменения природной обстановки в регионах исследования. Величины $\delta^{13}\text{C}$, равные –27,4‰ в погребенном под курганом культурном слое IV–III тысячелетия до н. э. в Жеренском заказнике, –26,3‰, в почве под валом Давыдовского городища (возраст 3290 ± 90 лет), позволяют предполагать существование гумидного эпизода и распространение лесной растительности в речных долинах зоны широколиственных лесов Русской равнины в эпоху бронзы. Палинологические спектры, полученные для погребенных под курганами почв неолитической стоянки Большое Жерено [Евстигнеев, 2009], подтверждают существование лесной растительности в районе памятника: в палеолите и, видимо, позднее в состав лесных сообществ входили деревья из родов *Carpinus* (граб), *Larix* (лиственница), *Fagus* (бук) и *Duschekia* (*Alnaster*) (ольха), а среди кустарников встречалась *Betula nana* (карликовая березка).

Эпоха железного века, судя по изотопным отношениям в пределах от –25,2 до –25,6‰ в раскопе Давыдовского городища, была умеренно-сухим периодом расцвета городища вплоть до VII–VIII вв. н. э. На водораздельных пространствах по мере их обысхания формировались черноземно-

луговые почвы в Матырской дубраве (2680±80 лет назад) Тамбовщины и в предполесском ландшафте Подесенья (2180±60 лет назад). Следы кустарниково-древесной растительности обнаружены по составу лигнинных фенолов в серой лесной почве фонового ландшафта Подесенья (табл. 6). Отношения синрингиловых фенолов к ванилинам, равные 1,5, соответствуют тканям ольхи и березы [Kögel, 1986].

Эпоха повышенного увлажнения в начале исторического времени (VII–VIII вв. н. э.), что следует из величин $\delta^{13}\text{C}$ –26,2‰ на третьей террасе реки Серп в горизонте, возраст которого 1210±70 лет и который перекрывает погребенную под ним почву, привела, по-видимому, к значительному подъему уровня воды в реках и отложению аллювия на высоких террасах. Озеро Большое Жерено, по-видимому, подтопило курганный могильник, так как фиксируется перерыв в существовании некрополя [Макаров и др., 2016].

В культурных слоях и погребенных горизонтах средневекового возраста изотопные отношения соответствуют самым сухим климатическим условиям как для южной тайги (от –24,4 до –25,3‰), так и для лесостепи Тамбовщины (–25,0‰) и даже Подесенья (–25,3‰), и являются индикатором распространения травяных экосистем в первых двух случаях. Это малый климатический оптимум исторического времени и начало активного преобразования человеком окружающих ландшафтов, сопровождавшегося вырубкой деревьев в пределах речных пойм и распашкой территории [Евстигнеев, 2009]. Практически во всех фоновых разрезах по ровной нижней границе гумусового горизонта фиксируются признаки распахивания и следы пожаров в виде прослоев угля. Антропогенное «остепнение», которое фиксировалось нами и раньше в других регионах по изменению характера биологического круговорота элементов [Эволюция почв и почвенного покрова, 2015], накладывается на архив изотопных признаков, отражающих климатические тренды. Надо отметить, что антропогенное обезлесивание ландшафтов лесостепи не затронуло лишь заболоченные понижения «осиновых кустов», не пригодных к распашке из-за высокого уровня гидрокарбонатно-натриевых [Ковалева, Добровольский, 2013; Ковалева и др., 2016] грунтовых вод.

Гумидные и аридные климатические эпизоды чередовались во времени, сопровождаясь повышением-понижением уровня грунтовой воды. Полученные результаты подтверждаются и обратной корреляцией изотопных отношений с величинами магнитной восприимчивости почв: коэффициенты корреляции варьируют от –0,53 до –0,96. Вероятно, что в эпохи повышенного увлажнения и подъема уровня воды в реках жизнь городищ становилась невозможной вплоть до полного уничтожения дачинцев, и культуры сменяли друг друга.

Чередование максимумов и минимумов на изотопных кривых позволяет судить и об особенностях конструкции насыпей археологических памятников: диагностирует минимум пять слоев подсыпки вала Дмитровского кремля и четыре этапа реконструкции вала в Давыдовском городище.

Заключение

Сравнительный анализ вариаций изотопного состава насыпей геоархеологических памятников разных природных зон обнаруживает некоторые общие закономерности. Увеличение изотопных отношений характерно для культурных слоев геоархеологических памятников во всех природных зонах и маркирует эпохи бытования культур, однако механизмы этого процесса требуют дальнейших исследований. Зигзагообразные формы изотопных кривых позволяют выявить этапы стабильного почвообразования на поверхности насыпей и этапы подсыпки сооружений. Несмотря на преимущественное распространение травяной растительности на дневной поверхности памятников, изотопная подпись погребенных почв отражает тип господствующей зональной растительности и через восстановление особенностей типа фотосинтеза позволяет реконструировать климатические тренды различных хроноэтапов существования объектов.

Информация о финансировании работы

Работа выполнена частично при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-18-00024 (объекты Тамбовской области), частично по государственному заданию Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова № 122011800459-3 (Дмитровский кремль), частично — по проекту «Флотилия плавучих университетов России» (Поволжье).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л. Пирогенное карбонатообразование: результаты почвенно-археологических исследований // Почвоведение. 2007. № 5.
2. Андреев С.И., Разуваев Ю.Д. Исследование укреплений Давыдовского городища в 2011 г. // Вестн. ТГУ. 2012. Вып. 6 (110).
3. Ваганов И.М., Алексеев А.О. Магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия РАН. Сер. Географическая. 2015. № 5.
4. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. и др. Антропогенные почвы: Учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., испр. и доп. М., 2017.
5. Гольева А.А. Почвенные исследования средневековых валов Дмитрова, Ярославля и Ростиславля // Ар-

хеология Подмосковья: материалы научного семинара. М., 2009. Вып. 5.

6. Евстигнеев О.И. Неруссо-Деснянское полесье: история природопользования. Брянск, 2009.

7. Иванов А.В., Яшков И.А., Грачев В.А. и др. Эволюционная урбанистика Поволжья и Прикаспия в музейном пространстве. Исследования сетей поселений в рамках проекта «Флотилия плавучих университетов». Путеводитель и каталог совместных экспозиций Музея естествознания Саратовского гос. техн. ун-та имени Ю.А. Гагарина и Музея землеведения Моск. гос. ун-та имени М.В. Ломоносова. М., 2020.

8. Ковалева Н.О., Добровольский Г.В. Изотопный состав углерода почв в диагностике изменений климата: состояние проблемы и вероятные сценарии. // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. Т. 19, № 2.

9. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Лигниновые фенолы как биомаркеры палеорастительности // Почвоведение. 2015. № 9.

10. Ковалева Н.О., Канищев В.В., Тютерева О.И. и др. Гидрогеохимия ландшафтов Тамбовщины в историческое время // Вестн. Тамбовского ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2016. Т. 21, вып. 1. <http://vesnik.tsutmb.ru/rus>; <http://vesnik.tsutmb.ru/eng/>

11. Ковда И.В., Олейник С.А., Голубева Н.И. и др. Изменение изотопного состава углерода органического вещества и карбонатов почв в пределах слабого дрейфа климатических параметров // Известия РАН. Сер. географическая. 2011. № 2.

12. Макаров М.И., Малышева Т.И., Бузин И.С. и др. К вопросу об использовании стабильных изотопов углерода в почвах как индикатора изменений климата и растительности // Материалы IV Всероссийской научной конференции «Динамика современных экосистем в голоцене». Товарищество научных изданий КМК. М., 2016.

13. Моргун Е.Г., Ковда И.В., Рысков Я.Г. и др. Возможности и проблемы использования методов геохимии ста-

бильных изотопов углерода в почвенных исследованиях (обзор литературы) // Почвоведение. 2008. № 3.

14. Падин В.А. Курганы эпохи бронзы около Трубчевска // Советская археология. 1963. № 1.

15. Падин В.А. Среднее Подесенье (Трубчевская округа) в VI–V вв. до н. э. — X–XII вв. н. э., по материалам археологических исследований // Очерки по истории археологии Брянской области. Брянск, 2004. Вып. 2.

16. Смирнов А.С. Неолитические стоянки Жеренских озер // Советская археология. 1982. № 3.

17. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Известия РАН. Сер. биологическая. 2007. № 4.

18. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М., 2015.

19. Энговатова А.В., Добровольская М.В., Зайцева Г.И. «Кремлевская диета» древнерусского города (по изотопным данным) // Краткие сообщения Института археологии. 2015. № 237.

20. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Соотношение изотопов углерода в стратифере и биосфере: четыре сценария // Биосфера. 2010. № 4.

21. Яворская Л.В., Антипина Е.Е., Энговатова А.В. и др. Стабильные изотопы углерода и азота в костях домашних животных из трех городов Европейской части России: первые результаты и интерпретации // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 4. История. 2015. № 1 (31).

22. Farquhar G.D., Ehleringer J.R., Hubick K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1989. Vol. 40.

23. Kögel I. Estimation and decomposition pattern of the lignin component in forest soil // Soil Biol. Biochem. 1986. Vol. 18.

Поступила в редакцию 20.07.2022

После доработки 07.11.2022

Принята к публикации 01.12.2022

VARIABILITY OF THE CARBON ISOTOPE COMPOSITION ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) OF SOILS AND CULTURAL LAYERS OF GEOARCHEOLOGICAL MONUMENTS, RUSSIAN PLAIN

N. O. Kovaleva^{1*}, R. A. Reshetnikova¹, I. V. Kovalev¹, E. M. Stolpnikova^{1, 2}

The practice of using isotope analysis in archaeological research, which has been developing in recent years, requires knowledge of the features of isotope fractionation in cultural layers and buried soils. The structural properties of geoarchaeological monuments are determined by local relief, climate, vegetation, landscape hydrology, physical and chemical properties of soil-forming and underlying rocks, and the existence of crops, and therefore their isotopic signature has a complex cumulative character. The aim of the study was to study the variability of the carbon isotope composition of soils, rocks and cultural layers of various landscape parts of geoarchaeological mounds in different natural zones of the Russian Plain from the standpoint of identifying general climatic trends and the contribution of the anthropogenic factor to carbon isotope fractionation. The defensive ramparts of the Dmitrovsky Kremlin (Moscow region), Davydovsky settlement (Tambov region), Vodyansky settlement (Volgograd region), necropolises of the Zhereno and Kvetun archaeological complexes (Bryansk region) were chosen as objects of study. It is shown that a significant variability in the carbon isotope composition is typical for soils and cultural layers of geoarchaeological monuments of different natural zones and makes it possible to identify the stages of stable soil formation on the surface of embankments and the stages of backfilling structures. The isotopic ratios decrease in the humus horizons of daytime and buried soils. An increase in isotopic ratios is characteristic of the cultural layers of geoarchaeological monuments in all natural zones and marks the epochs of the existence of cultures, however, the mechanisms of this process require further research. Despite the predominant distribution of herbaceous vegetation on the day surface of the sites, the isotope signature of buried soils reflects the type of dominant zonal vegetation and, through features of the type of photosynthesis, makes it possible to reconstruct the climate features of the region at various chronostages of the existence of objects.

Key words: organic carbon, constructozems, anthropogenic evolution, paleoclimate, isotope fractionation.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковалева Наталия Олеговна, докт. биол. наук, доцент, зав. лаб. экологического почвоведения каф. географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова,
e-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Решетникова Радислава Андреевна, аспирант 2 года обучения каф. географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова,
e-mail: rada3025@mail.ru

Ковалев Иван Васильевич, докт. с.-х. наук, вед. науч. сотр. каф. физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова,
e-mail: kovalevmsu@mail.ru

Столпникова Екатерина Михайловна, канд. биол. наук, мл. науч. сотр. Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН,
e-mail: opallada@yandex.ru