

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ КАРБОНАТНЫХ АККУМУЛЯЦИЙ В ПОЧВАХ ГОЛОЦЕНОВОГО ХРОНОРЯДА СТЕПНОГО ПРИУРАЛЬЯ*

© 2004 г. О. С. Хохлова¹, А. А. Хохлов¹, О. А. Чичагова², Н. Л. Моргунова³

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Пушкино, Московской обл., ул. Институтская, 2

²Институт географии РАН, 117109, Москва, Старомонетный пер., 27/7

³Оренбургский государственный педагогический университет, Оренбург

Поступила в редакцию 29.10.2003 г.

Предложен новый подход к интерпретации результатов радиоуглеродного (РУ) датирования педогенных карбонатных аккумуляций. Показано, что РУ возраст карбонатов в изученном хроноряде черноземных супесчаных почв степного Приуралья определяется климатическими условиями в период их образования и трансформации, причем отмечаются периоды как омоложения, так и удревнения этого возраста. Предложена методика расчета относительной величины удревнения или омоложения РУ возраста педогенных карбонатов, в которой отражается интенсивность процессов аккумуляции – в аридные и растворения-перекристаллизации и переотложения карбонатов – в гумидные эпохи голоцена.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоуглеродное (РУ) датирование карбонатных аккумуляций в почвах мира проводилось многими исследователями [19–21, 25, 26, 28–31, 33, 34, 36, 38–40]. В ранних работах Бартлетта и Броикера [20, 22] ¹⁴C-даты для карбонатов рассматривались как несоответствующие возрасту почв и отложений из-за возможного включения в них первичных (литогенных) карбонатов. Позже исследованиями стабильных изотопов углерода было показано, что педогенные карбонаты сформированы в изотопном равновесии с почвенным CO₂ и растворение первичных карбонатов практически не влияет на соотношение изотопов углерода в почвенных карбонатных аккумуляциях из-за полного изотопного обмена с почвенным CO₂ [23, 24, 32]. Эти выводы явились причиной возобновления интереса к РУ датированию карбонатов. В работах Амунсоля с соавт. и Ванга с соавт. [19, 36] рассмотрен возможный механизм образования педогенных карбонатов. “Общее ¹⁴CO₂, произведенное на любой глубине в почве, происходит из двух главных источников: разложения органического вещества и дыхания живущих корней. Эти источники могут значительно различаться по содержанию ¹⁴C: корни, бактериальное разложение корневых экссудатов продуцируют диоксид углерода, который имеет содержание ¹⁴C, приблизительно равное атмосферному

($\delta^{14}\text{C} = 0\text{‰}$ в условиях до взрывов атомных бомб [27], а органическое вещество продуцирует CO₂, который может, в зависимости от возраста почвы и климатических условий, быть значительно меньше по ¹⁴C содержанию в сравнении с атмосферой” [19, с. 391–392]. Педогенные карбонаты формируются в равновесии с почвенным диоксидом углерода, который складывается из этих двух источников, следовательно, даже вновь образованные карбонаты в почвах будут иметь уже некий возраст по ¹⁴C, выше нуля. По мере увеличения возраста почвы и, соответственно возраста органического вещества, будет возрастать и начальный РУ возраст CO₂, происходящего от разложения гумуса. Возрастание будет происходить до установления квазиравновесного состояния свойств почвы с условиями среды, когда возраст гумуса перестанет увеличиваться.

В упомянутых работах предложены математические модели распределения РУ возраста педогенных карбонатов по глубине в пустынных почвах разного возраста с учетом того, что углерод карбонатов складывается из двух указанных источников. В рассмотренных почвах карбонаты оседают в виде корочек, наслоений на щебнистых включениях, поэтому было даже высказано предположение, что и толщина этих наслоений растет с возрастом почвы [35]. Важно указать, что авторами модели при расчетах было сделано допущение, что числовые характеристики, описывающие процесс разложения органического вещества, постоянны во времени и меняются только по

* Работа выполнена при поддержке РФФИ гранты № 02-04-96449-р2002урал, № 03-06-80305.

глубине почвы. Несмотря на значительные усилия, предпринятые для того, чтобы понять, как меняется РУ возраст карбонатов в зависимости от возраста почвы и глубины их залегания в профиле, сами авторы этих работ в конечном итоге заключили, что при переходе от моделей к реальным измеренным цифрам РУ возраста педогенных карбонатов отмечается несовпадение его с модельным возрастом, а также с другими методами датирования и временными критериями развития почвы (soil development index) [37], следовательно, необходимы дальнейшие исследования для понимания причин подобных расхождений.

По нашему мнению, одной из возможных причин ошибок при модельных расчетах является допущение о постоянстве процесса гумусоаккумуляции (то есть, равновесного процесса поступления-разложения органического углерода в профиле почвы) во времени, в частности в голоцене. Справедливости ради необходимо заметить, что в работе [19, с. 389] высказывается понимание этого: “инвариантность константы разложения органического углерода во времени не может быть гарантирована, но у нас нет иного подхода, чтобы определить их временную зависимость”. Как нам представляется, выработать подходы к пониманию и моделированию динамики процесса гумусоаккумуляции во времени (в частности в голоцене) можно, если обратиться к материалам палеопочвенного изучения археологических объектов, например, степной зоны России.

Во многих работах по археологическому почвоведению показано, что в хронорядах подкурганов почв в степной зоне России в голоцене (чаще всего рассматривается вторая его половина) происходили процессы активного гумусонакопления в периоды, благоприятные по увлажнению и температуре, и, напротив, уменьшения содержания, запасов гумуса и даже мощности гумусового горизонта в профилях почв в неблагоприятные периоды, например, резко засушливые [3–5, 13 и др.]. В обобщающей работе Иванова и Табанаковой [7] прослежено изменение интенсивности процесса гумусонакопления и мощности гумусового горизонта во времени на большом массиве данных. По этим данным, в частности во второй половине голоцена в степи Восточной Европы отмечаются периоды, когда мощность гумусового горизонта была меньшей, чем в предыдущее время.

Если сопоставить эти данные с представлениями зарубежных исследователей о формировании углерода педогенных карбонатов из двух источников CO_2 – атмосферного (в том смысле, что углерод имеет содержание ^{14}C , равное атмосферному) и от разложения органического вещества, можно высказать некоторые предположения. Вероятно, в периоды активного гумусонакопления и

преобладания процессов гумусоаккумуляции над процессами разложения органического вещества (в эпохи, когда условия были благоприятными для накопления гумуса) атмосферный CO_2 будет основным “поставщиком” углерода в карбонаты, которые должны, следовательно, омолаживаться в такие периоды. Когда условия среды неблагоприятны для гумусонакопления и преобладают процессы дегумификации, запасенный ранее “древний” гумус разлагается, значительная часть его углерода поступает в почву и “усваивается” карбонатами, которые в этот период должны удревнеться, если следовать логике и продолжить рассуждения авторов упомянутых работ [19, 36]. Возможно, если изменить исходные посылки в предложенных ими моделях для ^{14}C возраста педогенных карбонатов в связи с высказанными здесь соображениями (не принимать количество CO_2 от разложения гумуса за константу во времени), можно сблизить величины расчетного модельного и измеренного возраста карбонатов. Для этого надо использовать накопленные палеогеографами, палеопочвововедами знания о периодах потеплений–похолоданий голоцена–плейстоцена.

Также стоит иметь в виду, что в степной зоне с господством почв черноземного типа процессы гумусо- и карбонатааккумуляции, а также противоположные процессы дегумификации – вымывания карбонатов, взаимосвязаны. Смена климата в сторону гумидизации способствует гумусонакоплению и выносу-переотложению карбонатов, тогда как аридизация приводит к дегумификации, подтягиванию к поверхности и увеличению аккумуляции карбонатов.

Александровский и Чичагова в работах [1, 17] по изучению РУ возраста гумуса палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы показали, что этот возраст меняется во времени и различается в погребенных и фоновых почвах в одних и тех же горизонтах, что свидетельствует о разной интенсивности процессов аккумуляции и минерализации гумуса и связано с различиями климатических условий прошлого и настоящего. Для нас эти данные важны с точки зрения возможности ожидать, что и РУ возраст педогенных карбонатов будет различаться в связи с изменением условий среды различных эпох голоцена.

Основной задачей настоящей работы было изучить РУ возраст карбонатных аккумуляций черноземных почв в хроноряду второй половины голоцена на примере степного Приуралья с целью выявления механизмов аккумуляции и трансформации педогенных карбонатов и изменения их РУ возраста во времени.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Был изучен хроноряд, состоящий из палеопочв, погребенных под археологическими памятниками (курганами) в ямное время, в раннежелезном веке и в период средневековья, у с. Шумаево Ташлинского р-на Оренбургской обл. Это степная зона южного Приуралья с черноземными почвами. В геоморфологическом отношении указанный участок территории относится к долине р. Урал и ее притоков, которым является и р. Иртек. Рельеф участка могильников полого-волнистый, преобладающие абсолютные высоты составляют 100 м. Почвообразующими породами на первой террасе Иртека, где располагались курганные могильники, служат супесчано-песчаные практически бескарбонатные аллювиальные отложения. Основу современного почвенного покрова изученной территории составляют черноземы южные супесчаные. Климат района наиболее жаркий и засушливый в черноземно-степной полосе Оренбуржья. Средняя температура января – -15°C , июля – $+22^{\circ}\text{C}$, среднегодовая норма осадков – около 350 мм. Растительность нераспаханных участков, на которых расположены курганные могильники – типчаково-ковыльная степь.

Раскопки Шумаевских могильников (ШМ) проводились в 2000–2002 гг. По возможности, изученные курганы были датированы археологическими методами. В поле изучались погребенные под этими курганами почвы, а также современные (фоновые) почвы прилегающих к могильникам пространств. Характеристика изученных объектов приведена в табл. 1. В поле проводилась зарисовка и фотографирование всех изученных профилей, отбирались образцы для последующего морфологического и аналитического изучения. Содержание гумуса по методу Тюрина и CO_2 карбонатов ацидиметрически было определено в химико-аналитическом комплексе ИФХиБПП РАН (аналитики к. б. н. И.А. Скрипниченко, Н.Я. Плясова).

Ввиду невозможности в ряде случаев использовать археологические методы в полной мере для определения возраста курганов было проведено РУ датирование дерева, костей из погребений (в лаборатории ИИМК С.-Петербург под рук. Зайцевой Г.И.); дерева из погребений, гумуса верхних горизонтов погребенных почв и карбонатов (в лаборатории ИГ РАН Москва под рук. Чичаговой О.А.). Образцы гумуса и карбонатов для РУ датирования отбирались лишь из палеопочв, погребенных под курганами большой мощности, обеспечивающих надежную сохранность профилей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологическое строение профилей почв основных хроносрезов представлено на рис. 1, из которого видно, что за последние 5000 лет профили почв изученного хроноряда менялись неоднократно и весьма контрастно. Напомним, что изученный хроноряд развит на легких по гранулометрическому составу почвообразующих породах, поэтому скорости почвообразовательных процессов в них при смене внешних условий были довольно высокими.

Наиболее ранний хронологический горизонт в изученных курганах представлен комплексами эпохи ранней бронзы – ямной культуры. Курганы, относящиеся по данным археологии к ямной культуре, в поле были разделены на три группы по строению профилей погребенных под этими курганами почв. На самом раннем этапе ямной культуры (группа 1, к которой отнесены три ямных кургана I ШМ) почвы имели четко выраженную языковатую нижнюю границу гумусового горизонта, вскипание от HCl отмечалось с 32 см – нижней границы гор. А1. Уже в гор. АВса (с 45 см) появлялись видимые формы карбонатных аккумуляций – прожилки, которые ниже переходили в четко оформленную белоглазку и еще глубже, обнаруживались слои сплошь окарбонированной супеси, которые мы условно называли “карбонатной корой” (рис. 1, 5300–5000).

В палеопочвах, погребенных под курганами ямного времени группы 2, к которой были отнесены 2-й одиночный Шумаевский курган (2 ОШК) и четыре ямных кургана II ШМ (исключая курган 7), четкая языковатая граница гумусового горизонта не отмечается, в нижней половине гор. АВ просматриваются лишь тонкие неясные языки гумусового материала. Вскипание от HCl обнаруживалось с глубины примерно 50 см. В нижней части гор. АВ между гумусовыми языками фиксировалась лишь редкая мелкая белоглазка, приуроченная к трещинам, а ниже по профилю – размазанная крайне редкая белоглазка и прерывистые слои окарбонированной супеси (рис. 1, 5000–4800).

В палеопочве, отнесенной к группе 3, то есть, к финалу ямной культуры, которая была погребена под 7-м курганом II ШМ (разр. 7п/01), палево-бурый материал в верхней половине гор. АВ довольно сильно прокрашен гумусом, но еще недостаточно для того, чтобы отнести этот слой к гор. А1; нижняя граница гор. АВ волнистая. Вскипание от HCl зафиксировано с глубины 55 см. В палево-буром материале гор. АВ фиксируются слабо выраженные карбонатные прожилки, они имеют несколько более “мощный” вид только вдоль крупных пустот или трещин. Такие прожилки отмечены и по всему гор. В1са, лишь в нижней части этого горизонта по-

Таблица 1. Характеристика изученных объектов

№ кургана	Культурная принадлежность, предполагаемая археологическая дата	Разрез	Высота курганной насыпи: в месте заложения разреза/в ее центре, см	Глубина вскипания от НСІ, см	Сохранность погребенной почвы:			
					наличие гор. А диаг	мощность гор. [А1], см	нарушение поверхности пп	наличие диагенетических карбонатов в гор. [А1]
I Шумаевский курганный могильник								
2	Ямная, III тыс. до н.э.	1п/00	70/80	не опр.	–	12	+	+
3	»	5п/00	130/200	30	+	32	–	–
4	»	3п/00	40/50	не опр.	–	10	+	+
7	Раннесарматская, IV в. до н.э.	6п/00	30/30	не опр.	–	30	+	+
5	Средневековье, XIII–XIV вв. н.э.	4п/00	25/30	не опр.	–	45	+	+
6	»	12п/02	55/60	85–90	+	60(65)	–	+
	Фоновая почва	2ф/00	нет	100–105	нет	65*	нет	нет
II Шумаевский курганный могильник								
3	Ямная, III тыс. до н.э.	8п/01	70/70	35–40	–	35	–	+
4	»	3п/01	20/20	не опр.	–	35	+	+
5	»	5п/01	50/50	не опр.	–	30	+	+
6	»	10п/01	40/40	40–45	–	35	–	+
7	»	7п/01	105/105	50–55	+	33	–	–
2	Саврматская, VI в. до н.э.	11п/01	25/30	не опр.	–	50	+	+
9	Раннесарматская, III–II вв. до н. э.	14п/02	35/40	не опр.	–	35(37)	+	+
		15п/02		не опр.	–	–	+	+
8	Позднесарматская, II в. н. э.	9п/01	30/50	50–55	–	55	+	–
11	Средневековье	13п/02	20/30	не опр.	–	55(60)	+	+
	Фоновая почва	6ф/01	нет	100–105	нет	65	нет	нет
Одиночный курган								
2	Ямная, III тыс. до н.э.	4п/01	230/>250	50	+	30(33)	–	–

Примечания: + – признак обнаружен, – – признак отсутствовал; пп – погребенная почва; нет – означает, что рассматриваемые в таблице признаки характеризуют погребенные почвы и не относятся к современным фоновым почвам; не опр. – определить глубину вскипания было невозможно.

* Указана мощность гор. А1 современных почв.

являются фрагменты пропитки и мелкой нечетко сформированной белоглазки, которая также приурочена лишь к трещинам. Фрагменты сплошь окаربоначенной супеси, языками уходящие в глубину (зоны промывки), наблюдаются в глубоком гор. ВСса (рис. 1, 4500–4300). Палеопочва третьей группы ямного времени выглядела более “промытой”, чем почва современная и палеопочвы остальных групп ямного времени.

Для отображения закономерностей распределения процентного содержания гумуса и CO₂ карбонатов в палеопочвах ямного времени (рис. 2, А

и 3, А) нами выбраны разрезы, представляющие каждую группу из тех, к которым относилась более чем одна палеопочва: группа 1 – разр. 5п/00, группа 2 – разр. 4п/01. Эти разрезы изучены под курганами наибольшей мощности (в каждой группе), палеопочвы не подверглись диагенетическому окаربоначиванию, имели ненарушенную поверхность. В третьей группе, представленной лишь одним разрезом – разр. 7п/01, сохранность палеопочвы также была достаточно хорошей (табл. 1).

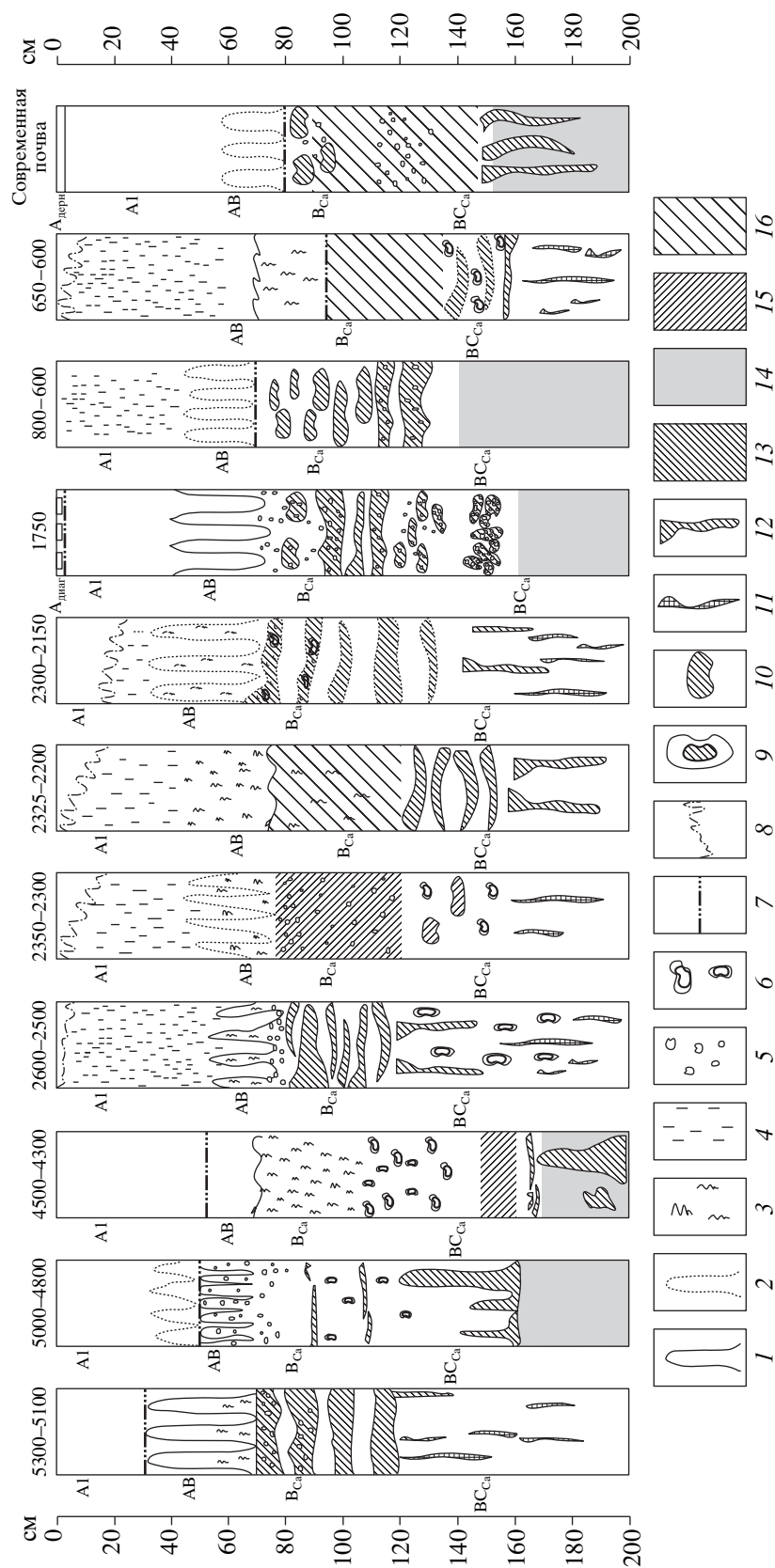


Рис. 1. Схемы морфологического строения профилей палеопочв изученного хроноряда.

Условные обозначения: 1 – четкие гумусовые «языки»; 2 – прерывистые, гумусовые «языки»; 3 – карбонатные прожилки; 4 – диагенетические прожилки; 5 – белоглазка с четкими границами; 6 – белоглазка расплывчатая; 7 – линия вскипания от HCl; 8 – линия, показывающая, что верх почвы был нарушен; 9 – на фоне слабой прожилки более белые пятна; 10 – пятна прожилки; 11 – окarbonаченные трещины, ходы корней; 12 – пятна прожилки, языками уходящие вглубь; 13 – карбонатная прожилка; 14 – слоистый слабокарбонатный песок; 15 – белесый оттенок в цвете почвенной массы.

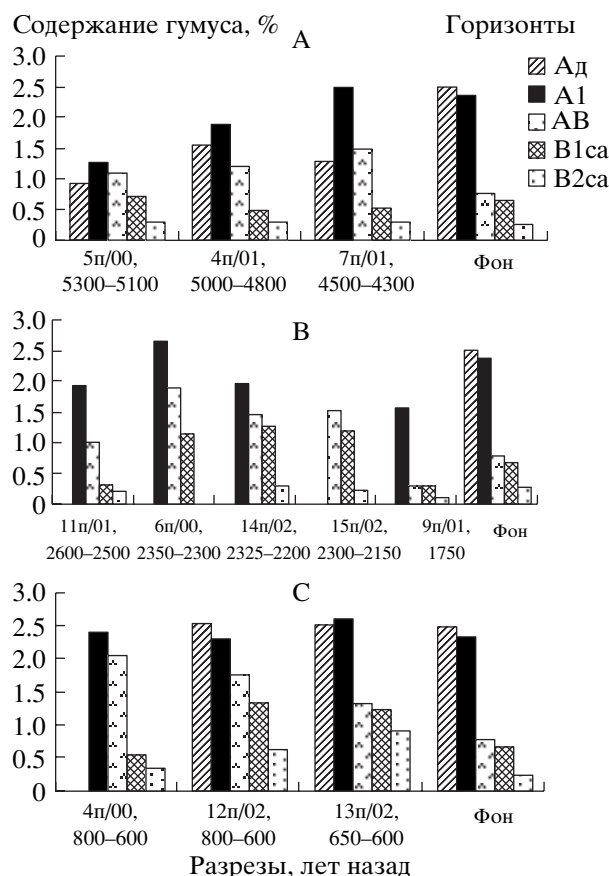


Рис. 2. Содержание гумуса в почвах хронояра: А – ямный период; В – раннежелезный век; С – эпоха средневековья.

Данные по содержанию гумуса и CO_2 карбонатов подтверждают выявленные по морфологическим наблюдениям закономерности: от начала к

финалу ямного времени отмечается возрастание содержания гумуса в гумусовом профиле и уменьшение содержания карбонатов в гор. АВ, В1, перемещение максимума их накопления в глубокий гор. ВСса в палеопочве завершающего этапа ямной культуры (рис. 2, А, 3, А). В этой палеопочве (разр. 7п/01) карбонаты практически вымыты из гор. АВ, В1. Отмечаемые в этих горизонтах карбонатные прожилки (рис. 1, 4500–4300) содержат ничтожно мало карбонатов и не проявляются при ацидиметрическом определении их процентного содержания.

РУ даты, полученные по дереву и костям из погребений и гумусу верхних горизонтов погребенных почв, подтвердили установленный в поле порядок сооружения курганов (табл. 2, 3). В тексте статьи рассматриваются только калиброванные ^{14}C -даты, в табл. 2, 3 и 4 приведены и калиброванные и некалиброванные данные. При использовании РУ дат по гумусу для установления времени погребения почвы вычитался возраст гумуса (характерное время) верхних 10 см для черноземов – 1000 лет, взятый из работ [1, 16, 18]. Полная сводка и детальное обсуждение РУ определений по материалам из ШМ приведена в работе [12].

Самая ранняя группа 1 ямных курганов протирована в пределах второй половины IV – первой четверти III тыс. до н. э. ^{14}C -даты, полученные для курганов группы 2, не выходят за рамки первой половины III тыс. до н. э. Разница в сооружении курганов первой и второй групп составила в среднем не менее 200 лет. И, наконец, для кургана третьей группы получена ^{14}C -дата по гумусу, относящаяся ко второй половине III тыс. до н. э. Курган был сооружен на 300–400 лет позже насыпей второй группы. Условно РУ даты для палео-

Таблица 2. Результаты радиоуглеродных определений материалов (дерево, кости) из Шумаевских курганов (лаборатория Института истории материальной культуры РАН, г. С.-Петербург)

№	Могильник, курган/погребение	Лаб. № ЛЕ	РУ возраст, ВР, лет назад	Интервалы калиброванного календарного возраста, cal BC (до н. э.)		Тип образца	Предполагаемый археологический возраст
				1σ – 68% вероятности	2σ – 95% вероятности		
Курганы ямной культуры							
1	2 ОШК*/2	6088	4100 ± 40	2810–2590	2810–2510	дерево, колесо № 1	пер. пол. III тыс. до н.э.
2	2 ОШК/2	6090	4060 ± 120	2870–2490	2950–2300	кость человека	пер. пол. III тыс. до н.э.
3	II ШМ, 6/6	6087	4070 ± 45	2860–2500	2870–2490	дерево от колеса	пер. пол. III тыс. до н.э.
4	II ШМ, 6/6	6089	4080 ± 100	2870–2500	2950–2350	кость человека	пер. пол. III тыс. до н.э.
5	I ШМ, 3/6	6091	4300 ± 150	3300–2600	3400–2500	кость человека	рубеж IV–II тыс. до н.э.
Курган раннего железного века							
6	I ШМ, 7/5	6092	2330 ± 40	480–370	517–211	кость человека	IV в до н.э.

Сокращения, приводимые в табл. 2 и далее в табл. 3, 4, объяснены в тексте.

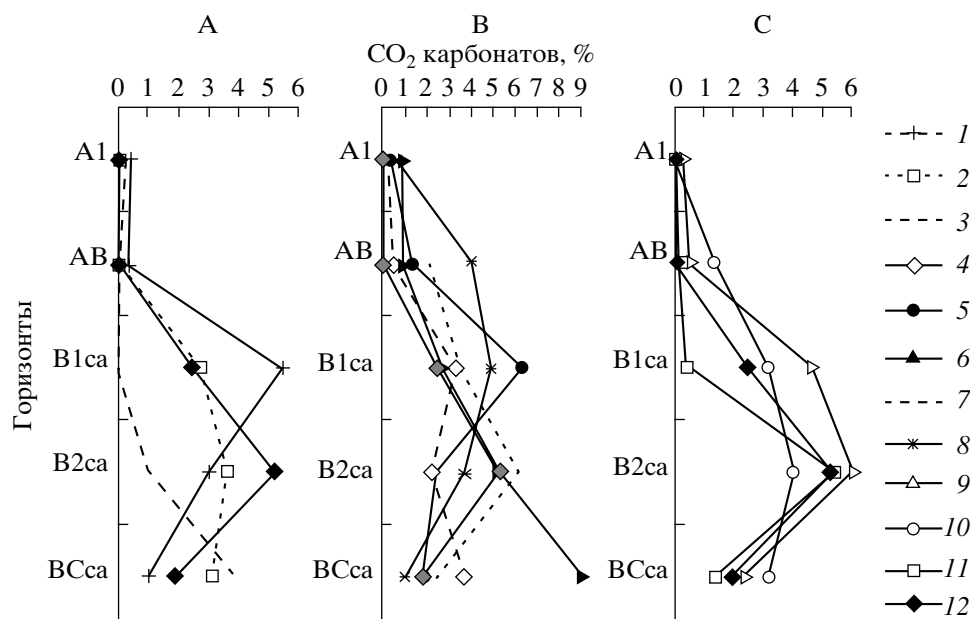


Рис. 3. Содержание CO_2 карбонатов в почвах хроноряда: А – ямный период; В – раннежелезный век; С – эпоха средневековья. Условные обозначения: 1 – разр. 5 п/00, 5300–5000 л.н.; 2 – разр. 4 п/01, 5000–4800 л.н.; 3 – разр. 7 п/01, 4500–4300 л.н.; 4 – разр. 11 п/01, 2600–2500 л.н.; 5 – разр. 6 п/00, 2350–2300 л.н.; 6 – разр. 15 п/02, 2300–2150 л.н.; 7 – разр. 9 п/01, 1750 л.н.; 8 – разр. 4 п/00, 800–600 л.н.; 9 – разр. 12 п/02, 800–600 л.н.; 10 – разр. 13 п/01, 600–650 л.н.; 11 – разр. 2 ф/00, фон.

почв, погребенных под курганами ямной культуры в разное время, представлены в тексте по группам 5300–5100, 5000–4800, 4500–4300 л. н., соответственно.

Калиброванные РУ даты, полученные для карбонатных аккумуляций палеопочв, следующие:

для первой группы в гор. В1 – 12 883–12 647 л. н. (табл. 4, графа 6) или, если мы запишем разброс этих дат в виде среднего и 100% доверительного интервала и цифры немного округлим, $12\,750 \pm 120$, второй группы в гор. В1 – 12 551–12 081 или $12\,300 \pm 235$, 12 164–11 867 или $12\,000 \pm$

Таблица 3. Результаты радиоуглеродных определений по материалам (гумус, дерево) Шумаевских курганов (лаборатория Института географии РАН)

№	Могильник, курган/погребение или горизонт погребенной почвы, глубина от ппп*, см	Лаб. № ИГАН	РУ возраст, ВР, лет назад	Интервалы калиброванного возраста и наиболее вероятный календарный возраст (в скобках), (1σ)		Тип образца	Предполагаемый археологический возраст
				cal BC–AD (до н.э.–н.э.)	cal BP (л. н.)		
Курганы ямной культуры							
1	2 ОШК/2	2448	3980 ± 50	2563–2457 (2468)	4512–4406 (4417)	дерево, колесо № 1	пер. пол. III тыс. до н. э.
2	2 ОШК/[Ад], 0–4	2391	5030 ± 120	3966–3695 (3891, 3890, 3796)	5916–5645 (5840, 5839, 5745)	гумус	пер. пол. III тыс. до н. э.
3	II ШМ, 6/[A1], 0–10	2431	4100 ± 90	2871–2493 (2615)	4821–4443 (4564)	гумус	пер. пол. III тыс. до н. э.
4	II ШМ, 7/ [Ад + A1], 0–10	2476	4610 ± 190	3631–3036 (3360)	5581–4986 (5309)	гумус	вт. пол. III тыс. до н. э.
Курган раннего железного века							
6	II ШМ, 8/[Ад + A1], 0–10	2432	2940 ± 70	1259–1009 (1125)	3209–2959 (3074)	гумус	II в. н. э.

* ппп – поверхность погребенной почвы.

Таблица 4. Результаты радиоуглеродных определений карбонатов из палеопочв, погребенных под курганами Шумаевских могильников (лаборатория Института географии РАН)

№	Могильник, курган/погребение или гор. погребенной почвы, глубина от ппп, см	Лаб. № ИГАН	РУ возраст, ВР, лет назад	Интервалы калиброванного возраста и наиболее вероятный календарный возраст (в скобках), (1σ)		Тип образца
				CalBC–AD (до н.э.–н.э.)	Cal BP (л.н.)	
Палеопочвы, погребенные под курганами ямного времени						
1	I ШМ, 4/[ABca], 40–55	2300	9520 ± 80	8927–8440 (8831, 8817, 8594, 8540)	10877–10390 (10780, 10766, 10543, 10489)	общая масса карбонатов
2	I ШМ, 3/[B1ca], 70–120	2303	10840 ± 110	10933–10697 (10817)	12883–12647 (12766)	»
3	2 ОШК/[B1ca], 50–70	2441	10440 ± 170	10601–10131 (10440)	12551–12081 (12349)	»
4	2 ОШК/[B2ca], 70–105	2442	10470 ± 170	10632–10183 (10436)	12582–12133 (12385)	»
5	II ШМ, 3/[B1ca], 70–80	2439	10180 ± 110	10214–9317 (9967)	12164–11867 (11916)	»
6	II ШМ, 6/[B2ca], 110–115	2438	7300 ± 60	6178–6031 (6122, 6087, 6063)	8128–7981 (8071, 8036, 8012)	»
7	II ШМ, 7/[B2ca], 150–155	2443	8080 ± 90	7232–6786 (7035)	9182–8736 (8984)	»
Палеопочвы, погребенные под курганами РЖВ						
8	II ШМ, 2/[B2ca], 120–130	2445	8080 ± 80	7193–6815 (7035)	9143–8765 (8984)	»
9	I ШМ, 7/[B1ca], 50–60	2304	6220 ± 90	5260–5055 (5213, 5161, 5144)	7210–7005 (7162, 7110, 7093)	»
10	II ШМ, 8/[ABca], 60–80	2444	6910 ± 110	5924–5633 (5724)	7874–7583 (7673)	»
Палеопочва, погребенная под средневековым курганом						
11	I ШМ, 5/[B2ca], 95–110	2301	6880 ± 50	5743–5672 (5704)	7692–7621 (7653)	»
Современные черноземы южные						
12	I ШМ, фон/B1ca, 115–145	2305	8790 ± 130	7976–7588 (7903, 7755, 7745)	9926–9538 (9852, 9704, 9694)	»
13	II ШМ, фон/B1ca, 105–130	2446	7740 ± 90	6606–6455 (6535, 6522, 6487)	8556–8405 (8484, 8471, 8436)	»
14	II ШМ, фон/B1ca, 105–130	2447	6840 ± 220	5944–5523 (5679)	7894–7473 (7628)	ядра бело-глазки

± 150; в гор. В2 – 12 582–12 133 или 12 350 ± 225; третьей группы в гор. В2 – 9182–8736 или 8950 ± ± 225 л. н. Для РУ датирования отбирались карбонатные аккумуляции из морфологического максимума (максимумов) их залегания в профиле. Напомним, что профиль почвы, погребенной 4500–4300 л. н. (третья группа), был промыт в значительной степени, и первая “существенная” аккумуляция карбонатов, из которой возможно было отобрать карбонатный материал на датирование, встретила лишь в гор. В2 (рис. 1, 4500–4300).

Следующий хронологический горизонт Шумаевских могильников был представлен курганами раннего железного века (**РЖВ**). В основном датирование курганов этого времени проведено археологическими методами. В двух случаях, когда из погребений и курганов РЖВ отбирались образцы на РУ анализ для установления даты сооружения памятников, археологические и РУ даты были близки, поэтому последние здесь не приводятся. Каждый хроносрез РЖВ в Шумаевских могильниках был представлен лишь одной палеопочвой, одним разрезом. Все палеопочвы РЖВ были с нарушенной или неопределенной верхней границей

гумусового горизонта из-за малой мощности курганной насыпи и ее сложения из гумусового же материала, верхние 30–40 до 50 см погребенных почв были диагенетически окарбоначены за исключением разр. 9п/01 (табл. 1).

В палеопочве, погребенной под савроматским курганом 2 II ШМ в VI в. до н. э. (2600–2500 л. н., разр. 11п/01), четко выражена языковатая нижняя граница гумусового горизонта, языки довольно толстые – от 10 до 15 см шириной, почти не сужающиеся книзу, между языками в буром материале гор. АВса отмечаются карбонатные прожилки, редко – кутаны, мелкая белоглазка наблюдается лишь на самой нижней границе горизонта. В гор. В1са белесые, 10–15 см толщиной прослой сплошь окарбоначенной супеси чередуются с бурым, слабо окарбоначенным материалом. В гор. В2са отмечаются вертикальные, уходящие вглубь, морфоны, пропитанные карбонатами в большей степени, чем окружающая масса, ниже (в гор. ВСса) переходящие в цепочки мелкой и расплывчатой белоглазки.

В палеопочве, погребенной под раннесарматским середины IV в. до н. э. (2350–2300 л. н.) курганом 7 I ШМ (разр. 6п/00), в гор. АВса отмечаются лишь слабовыраженные гумусовые языки. Прежде бурый материал между гумусовыми языками, который наблюдался в предыдущей почве, здесь покрашен гумусом в большей степени, что стирает морфологический контраст между гумусовыми языками и бурым материалом заклинков. Кроме этого, весь материал гор. АВса диагенетически окарбоначен, что маскирует морфологический облик начала карбонатного профиля, существовавшего в этой почве до погребения. Гор. А1 и АВ погребенной почвы вскипают очень слабо, поэтому можно предположить, что до появления диагенетических карбонатов эти горизонты также не вскипали. В гор. В1са отмечается сплошное окарбоначивание, здесь нет чередования более или менее окарбоначенных слоев, как в предыдущей почве в этом горизонте, а на фоне сплошной пропитки встречаются горизонтальные цепочки белоглазки. В основном, белоглазка очень плохо оформлена, она представляет собой то мелкие, то крупные более белые пятна на фоне белесоватой пропитки, но в средней части горизонта белоглазка сформирована довольно отчетливо. Здесь можно говорить о том, что карбонатный профиль рассматриваемой почвы более компактный, чем в савроматской почве, подтянут вверх, в горизонтах В2са и ВСса пятна пропитки редкие и мелкие, основная масса карбонатов концентрируется в гор. В1са.

Строение профилей палеопочв, погребенных под курганом 9 II ШМ, который насыпался в два этапа: ранняя насыпь – конец IV–III вв. до н. э. (2325–2200 л. н., разр. 14п/02), поздняя насыпь –

III – первая половина II вв. до н. э. (2300–2150 л. н., разр. 15п/02), заметно различается. Почва более раннего этапа сооружения кургана (разр. 14п/02) имеет достаточно мощный, однородный гумусовый горизонт со слабоволнистой нижней границей, то есть языковатости не отмечается. Вместе с тем, иногда при особом освещении на общем темно-сером фоне гумусового горизонта можно было увидеть очень тонкие (не более 1–2 см) языки-трещины, заполненные чуть более темным материалом. Вероятно, это указывает на то, что языковатая гумусовая граница никуда не “пропадает” в почвах отдельных хроносрезов, а лишь маскируется при усилении процесса гумусоаккумуляции. Горизонты А1 и АВ сильно диагенетически окарбоначены, в гор. АВ помимо диагенетических прожилок отмечаются мицелярные формы карбонатов. Гор. В1са – однородный палево-белесый, сплошь пропитанный карбонатами, никакой концентрации карбонатов на фоне пропитки не обнаружено, степень пропитанности карбонатами, если судить о ней по белесому оттенку пропитки, меньше по сравнению с предыдущим профилем раннесарматской палеопочвы. Ниже, в горизонтах В2са, ВСса чередуются слои толщиной от 10 до 20 см более желтого, окарбоначенного песка с более влажным бурым, менее окарбоначенным.

В то же время в почве, погребенной 2300–2150 л. н. (разр. 15п/02), гумусовые языки в гор. АВса мощные, протяженные, а в гор. В1са мы снова видим довольно отчетливо сформированные субгоризонтальные прерывистые слои сплошь окарбоначенной супеси, перемежающиеся с желто-бурными, менее карбонатными слоями. На фоне сплошной карбонатной пропитки в окарбоначенных слоях начинают появляться более четко сформированные карбонатные аккумуляции: белоглазка, расплывчатые белые пятна. В нижних горизонтах В2са, ВСса чередуются слои бурого влажного песка со слоями палевого более сухого песка. Кое-где видны вертикальные, уходящие вглубь окарбоначенные трещины.

Последняя из изученных палеопочва РЖВ, погребенная под позднесарматским курганом в начале II в. н. э. (1750 л. н., разр. 9п/01), имеет заметные отличия в строении профиля от всех ранее рассмотренных палеопочв этого времени. Языковатость гумусового горизонта в этой почве выражена наиболее четко, языки толщиной 8–10 см очень постепенно уменьшаются книзу гумусового горизонта. Почвенный материал между гумусовыми языками имеет белесовато-палевый цвет, равномерно окарбоначен, на нижней границе гор. АВса появляется четко сформированная белоглазка и крупные более белые, чем окружающая масса, расплывчатые пятна. В гор. В1са слои четко выраженной белоглазки чередуются со слоями пропитки белесовато-палевого цвета без види-

мых форм карбонатных аккумуляций. Белоглазка в гор. В1са сформирована очень четко, имеет концентрированное ядро и более рассеянную периферию, достигает 2–3 см в диаметре, не сливается с общим белесым фоном. Ниже, в гор. В2са, белоглазка имеет расплывчатые очертания, хотя залегает однородным и достаточно компактным слоем. В гор. ВСса не отмечено никаких видимых форм карбонатных аккумуляций. Таким образом, иллювиально-карбонатный горизонт профиля позднесарматской палеопочвы достигает наиболее значительной мощности. Морфологическая выраженность карбонатных аккумуляций в нем также максимальна по сравнению с другими палеопочвами РЖВ.

По содержанию гумуса (рис. 2, В), из-за значительной нарушенности и измененности диагенетическими процессами верхних гумусовых горизонтов погребенных почв этого хроноинтервала, сравнения достаточно условны. Отметим лишь, что в позднесарматской палеопочве, погребенной 1750 л. н., наблюдается наименьшее содержание гумуса во всех горизонтах, а в раннесарматской палеопочве (разр. 6п/00, 2350–2300 л. н.) – максимальное содержание гумуса в верхних горизонтах, и вместе с тем, гумусовый профиль в этой палеопочве резко обрывается (в гор. В2са содержание гумуса равно нулю), подтянут кверху. В савроматской палеопочве, погребенной 2600–2500 л. н. (разр. 11п/01), содержание гумуса в профиле также снижено, хотя и не настолько, как в позднесарматской.

Валовое содержание CO_2 карбонатов в профилях изученных почв отражает распределение именно педогенных карбонатов из-за того, что почвообразующие породы, на которых сформированы почвы района, практически бескарбонатны. Поэтому распределение CO_2 карбонатов в почвах довольно точно совпадает с наблюдаемыми морфологическими различиями в строении их карбонатных профилей. Исключение составляют верхние горизонты А1 и АВ, где небольшое количество CO_2 карбонатов (не более 1%) может быть обусловлено диагенетическими карбонатами, появившимися в профилях уже после погребения. Там, где в этих горизонтах педогенные карбонаты были до погребения (например, в палеопочве, погребенной 1750 л. н., разр. 9п/01, гор. АВ), процентное содержание CO_2 карбонатов выше (около 4%). Максимумы содержания карбонатов располагаются в гор. В1са в палеопочвах, погребенных 2600–2500 (разр. 11п/01), 2350–2300 (разр. 6п/00) и 1750 (разр. 9п/01); в гор. В2са – в палеопочве, погребенной 2300–2150 (разр. 15п/02), и в современных почвах; в гор. ВСса (наиболее глубокий) – в палеопочве, погребенной 2325–2200 л. н. (разр. 14п/02). Вместе с тем, в палеопочве с датой погребения 1750 л. н. высокое процент-

ное содержание карбонатов отмечается и в горизонтах АВса и В2са, тогда как во всех остальных почвах хроноряда, включая современные, имеет лишь один четко выраженный максимум карбонатов. Наиболее “промытой” от карбонатов, так же как и при морфологическом анализе, можно считать палеопочву, погребенную 2325–2200 л. н. (рис. 3, В).

РУ датирование карбонатных аккумуляций (табл. 4) в палеопочвах РЖВ (в калиброванных значениях) дало следующие результаты: почва, погребенная 2600–2500, гор. В2са – 9000 ± 200 ; почва, погребенная 2350–2300, гор. В1са – 7100 ± 100 ; почва, погребенная 1800, нижняя граница гор. АВса – 7750 ± 150 л. н. округленно.

Следующий и последний хронологический горизонт представляли в Шумаевских могильниках курганы эпохи средневековья. Палеопочвы этого хроносреза были погребены под тремя курганами: 5 и 6 I ШМ, отнесенным к XIII–XIV вв. н. э. (800–600 л. н.), разрезы 4п/00 и 12п/02, соответственно, и 11 II ШМ, датированным по археологическим находкам второй половиной XIV в. н. э. (650–600 л. н.), разр. 13п/02. По нашим предположениям, основанным на строении профилей, разница в датах погребения между этими двумя палеопочвами составляет не менее 100–150 лет, поэтому далее в тексте условно даты погребения будем обозначать как 800 л. н. – для 5 и 6 курганов I ШМ и 650 л. н. – для 11 кургана II ШМ.

В палеопочвах, погребенных 800 л. н. (разр. 4п/00 и 12п/02), мощность ненарушенного гумусового горизонта приближается к таковой у современных почв, языковатость нижней границы выражена не очень контрастно, почвенный материал между гумусовыми языками не вскипает от HCl, граница вскипания совмещается с нижней границей гор. АВ. В гор. В1са отмечаются белесые, размазанные пятна пропитки, чередующиеся с палевым, менее окарбоначенным материалом. В гор. В2са фиксируются регулярные субгоризонтальные слои окарбоначенной супеси, на фоне которой отчетливо видны более белые пятна – размазанная белоглазка или более концентрированная пропитка. Но эти слои не достигают той мощности и массивности, какие мы наблюдали в палеопочвах раннеямного времени, где эти слои были названы “карбонатной корой”. Интересной особенностью рассматриваемых профилей является то, что в нижней части гор. ВСса на глубине более 2 м от поверхности погребенной почвы отмечаются железисто-марганцевые примазки, указывающие на периодическую смену окислительно-восстановительной обстановки в этом горизонте, вероятно, в результате более высокого уровня стояния грунтовых вод в то время.

Главными отличительными морфологическими признаками палеопочвы, погребенной 650 л. н.,

являются: абсолютная невыраженность языковатости нижней границы гумусового горизонта, в гор. АВ, В1 отмечаются слабовыраженные карбонатные прожилки, приуроченные к норам и редким мелким трещинам, вскипание от HCl здесь обнаружено на границе горизонтов В1 и В2са, в гор. В2са фиксируется слой мощной однородной пропитки без пятен белоглазки. В нижней части гор. В2са видны неясные субгоризонтальные слои больше или меньше окarbonаченной супеси, но выраженные очень слабо, прерывистые, а также очень размазанные пятна белоглазки.

По данным аналитического исследования отмечаем, что в гор. А1 разр. 13п/02 (курган 11 П ШМ, сооружен 650 л. н.), гумуса содержится несколько больше, чем в аналогичных горизонтах двух других средневековых палеопочв и современных почв (рис. 2, С). Максимум содержания CO₂ карбонатов отмечается в гор. В2са разр. 13п/02, а выше – содержание карбонатов близко к нулю, тогда как в двух других средневековых палеопочвах, погребенных 800 л. н., – разр. 4п/00 и 12п/02, максимум содержания отмечается уже в гор. В1са, и он более растянутый (рис. 3, С).

РУ датирование карбонатных аккумуляций из средневековых палеопочв показало: палеопочва, погребенная 800 л. н., гор. В2 – 7650 ± 50. Из палеопочвы, погребенной под курганом 11 П ШМ, образцы карбонатов на датирование не отбирались, так как не было уверенности в хорошей консервации карбонатного горизонта из-за малой мощности насыпи кургана (25–30 см) и вероятного диагенетического преобразования горизонтов погребенной почвы.

Современные черноземы южные были изучены вблизи двух могильников: I ШМ – разр. 2ф/00 и II ШМ – разр. 6ф/01. Если почвы вблизи II ШМ распахивались в начале XX века, а в 30–40-х годах были оставлены, то распашка почв вокруг I ШМ была прекращена около 10–15 лет назад. Языковатая нижняя граница гумусового горизонта в современных почвах выражена нечетко, хотя имеются современные тонкие (примерно 1–2 см толщины) трещины, идущие от поверхности до глубины гор. В1са, слабо заполненные гумусовым материалом. Вскипание от HCl отмечается на нижней границе гор. АВ, далее следует горизонт пропитки и белоглазки, наиболее компактное залегание белоглазки отмечается на границе горизонтов В1са и В2са, в верхней части гор. В1 размазанные пятна карбонатной пропитки чередуются с палево-бурым материалом, в гор. В2 пропитка менее интенсивная охватывает весь горизонт. Глубже уходят языки вымывания карбонатов. Отличия, отмеченные для современных почв двух участков, расположенных примерно в 1 км друг от друга, состоит в том, что в почве разр. 2ф/00 четко фиксируется пахотный гори-

зонт, а также белоглазка здесь сформирована лучше, чем в разр. 6ф/01.

Гумуса в почве разр. 6ф/01 содержится немного больше, чем в разр. 2ф/00, но характер распределения его по профилям обеих почв одинаков. Максимум залегания карбонатов отмечен в гор. В2са, но процентное содержание CO₂ карбонатов в этом горизонте в почве разр. 6ф/01 несколько больше, чем в разр. 2ф/00 (6.5 против 4%). В остальных горизонтах цифры близки. При сравнении с распределением процентного содержания гумуса и CO₂ карбонатов палеопочв с современными для последних использовались усредненные данные, поэтому современные почвы на графиках условно названы “фоном”.

РУ датирование карбонатных аккумуляций (табл. 4) для современных почв в гор. В1са дало следующие результаты: I ШМ разр. 2ф/00 9750 ± 200 л. н. – для общей массы карбонатов, II ШМ разр. 6ф/01 8500 ± 75 л. н. – для общей массы карбонатов и 7700 ± 200 л. н. – для ядер белоглазки. На примере современной почвы была опробована методика отдельного отбора образцов: общей массы карбонатов и ядер карбонатных аккумуляций (в данном случае – белоглазки).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение свойств палеопочв хроноряда второй половины голоцена позволило провести палеоклиматические реконструкции для различных хроносрезов второй половины голоцена в степном Приуралье. Период, предшествовавший погребению наиболее ранних ямных курганов, сооруженных 5300–5100 л. н., вероятно, характеризовался экстрааридными условиями, приближающимися к современному климату полупустынной зоны (на 50–100 мм суше, чем в современное время на рассматриваемой территории). На рубеже атлантического и суббореального периодов голоцена или в самом начале суббореального периода (по археологической хронологии – в начале бронзового века и ямной культуры) климатические условия поменялись очень контрастно. В целом, природно-климатические условия становления и развитого этапа ямной культуры были благоприятными – с увлажнением, превышающим увлажнение современного времени примерно на 50 мм, более мягкими и менее контрастными по температурному режиму, чем в наше время. Напомним, что профиль палеопочвы, погребенной 4500–4300 л. н., выглядит более “промытым”, чем все остальные палео- и современные почвы рассмотренного хроноряда. Выводы о палеоклимате эпохи ранней бронзы, полученные нами, совпадают с выводами палинологов, работавших в Приуралье ранее [9, 10, 14].

Курганы РЖВ, изученные в ШМ, были представлены значительным разнообразием хроносрезов. Из четырех, раскопанных в ШМ курганах РЖВ ни один не повторялся хронологически. Курган 9 II ШМ был сооружен в два этапа, что отчетливо прослеживалось как по археологическим, так и по почвенным материалам. Это позволило на основе палеопочвенного исследования детально рассмотреть климатические условия хроноинтервала 2700–1700 лет и представить их следующим образом. Период, предшествующий погребению савроматской почвы (разр. 11п/01, 2600–2500 л. н.), который мы оцениваем примерно в 100 лет (так как свойства рассматриваемых супесчаных почв меняются сравнительно быстро), был довольно засушливым, но либо непродолжительным, либо пик засухи приходился на более раннее время, поэтому свойства савроматской почвы далеки от свойств экстра-ксероморфной почвы. В период существования савроматской культуры (2600–2500 л. н.) климат отличался нестабильностью, контрастностью, но был вполне пригоден для жизни по условиям увлажнения. Ранние сарматы, появившиеся в степном Приуралье в IV в. до н. э. (2400 л. н.), продолжали жить в таких же и даже несколько более благоприятных – без контрастных перепадов по температуре условиях – пока в конце III – начале II вв. до н. э. (2300–2150 л. н.) не наступил период непродолжительной, но очень резкой засухи, продолжавшейся вплоть до середины II в. н. э. Со второй половины II в. н. э. (1750 л. н.) условия увлажнения нормализовались, и климат времени проживания поздних сармат был похож на климат времени расцвета ямной культуры. Изученную в рассматриваемом хроноряде позднесарматскую почву (разр. 9п/01, 1750 л. н.) еще и потому отнесли к самому началу позднесарматского времени – второй половины II в. н. э., так как в ней не обнаруживается никаких признаков начавшегося в позднесарматское время увлажнения и смягчения климата, что было установлено нами ранее на основании исследования другого хроноряда в Оренбургской обл. [15].

Курганы периода средневековья в ШМ немногочисленны, и по свойствам погребенных под ними палеопочв разделены на две группы. Если палеопочвы курганов XIII–XIV вв. (800–600 л. н.) сформированы в период жаркого и сухого климата, с увлажнением примерно на 50 мм меньше, чем в настоящее время, то почва кургана 11, сооруженного 650–600 л. н., развивалась во влажном и более мягком климате, годовая сумма осадков была выше современной примерно на 25 мм.

В соответствии со схемой колебаний палеоклимата изученных хроноинтервалов второй половины голоцена степного Приуралья изменялись и процессы гумусо- и карбонатааккумуляции в почвах хроноряда: повышалось процентное

содержание гумуса, понижалась граница вскипания и максимум содержания карбонатов в профиле – в гумидные эпохи (в палеопочвах, погребенных 5000–4800, 4500–4300, 2300–2150, 650–600 л. н.); уменьшалось содержание гумуса, повышалась граница вскипания и максимума содержания карбонатов, а также абсолютные значения этого максимума – в аридные эпохи (в палеопочвах, погребенных 5300–5100, 2600–2500, 2350–2200, 1750, 800–600 л. н.).

Учитывая полученные закономерности смены климата и изменения свойств почв в изученном хроноряде, попытаемся понять, что же отражено в цифрах РУ возраста карбонатов. Для этого нами были произведены некоторые пересчеты и составлена табл. 5. В графе 1 этой таблицы приведены даты погребения почв, взятые для ямных курганов из калиброванных РУ дат, для курганов РЖВ и средневековья – полученные археологическими методами, в графе 2 – калиброванный РУ возраст карбонатов, л. н. (cal BP), взятый из табл. 4. В графе 3 – приведенные даты для карбонатов или возраст карбонатов на момент погребения почвы, полученные путем вычитания из их калиброванного возраста даты погребения почвы. В графе 4 разница дат погребения почв получена вычитанием из даты погребения предыдущей почвы даты для рассматриваемой почвы. Расчетная РУ дата для карбонатов (графа 5) получена путем сложения измеренной приведенной РУ даты карбонатов (графа 2) с разницей дат погребения данной и следующей в хроноряде почв (графа 3). Например, расчетная дата для карбонатов почвы, погребенной 4900 ± 100 л. н., – это сумма приведенной даты для карбонатов почвы, погребенной 5200 ± 100 л. н. и разницы дат погребения этих почв: $7550 \pm 120 + 300 \pm 100 = 7850 \pm 120$. При этом мы исходили из соображения, как если бы карбонаты просто “старели” в зависимости от длительности почвообразования, периода развития почвы (то есть, в рассмотренном примере, если палеопочва на 300 лет старше предыдущей в хроноряде, то и карбонаты в ней должны быть на 300 лет старше). И далее (графа 6), определяли разницу между измеренной приведенной и расчетной датами для карбонатов, которая получалась со знаками минус или плюс, отражая процесс омоложения–удревнения реальной измеренной даты карбонатов по сравнению с расчетной.

Здесь может возникнуть вопрос, почему данные для графы 6 мы определяли ступенчато, двигаясь от почвы к почве, а не взяли, например, дату для карбонатов из самой “древней” почвы хроноряда за точку отсчета и не проводили дальнейшие пересчеты относительно нее. На этот вопрос для себя мы ответили следующим образом. Понятно, что если просто взять РУ дату для карбонатов почвы любого хроносреза, она суммарно отражает зачастую неизвестные нам процессы

Таблица 5. Расчетные даты карбонатных аккумуляций, полученные на основе измерения их радиоуглеродных дат

Дата погребения почвы, лет назад	РУ возраст карбонатов, cal BP, лет назад	Приведенная дата для карбонатов (на момент погребения)	Разница дат погребения почв, лет	Расчетная дата для карбонатов, (3 + 4)*	Омоложение (-)/удревнение (+) измеренной приведенной даты для карбонатов по сравнению с расчетной
1	2	3	4	5	6
5200 ± 100	12750 ± 120	7550 ± 120	нет	нет	нет
4900 ± 100	12300 ± 235	7400 ± 235	300 ± 100	7850 ± 120	-450 ± 235
	12000 ± 150	7100 ± 150			-750 ± 150 (-900...-200)**
	12350 ± 225	7450 ± 225			-400 ± 225
4400 ± 100	8950 ± 225	4550 ± 225	500 ± 100	7900 ± 235	-3350 ± 235 (-3600...-2800)
				7600 ± 150	-3050 ± 225
2550 ± 50	9000 ± 200	6450 ± 200	1850 ± 100	6400 ± 225	~0
2325 ± 25	7100 ± 100	4775 ± 100	225 ± 50	6675 ± 200	-1900 ± 200
1750	7750 ± 150	5950 ± 50	475 ± 25	5250 ± 100	+700 ± 100
700 ± 100	7650 ± 50	6950 ± 100	1100 ± 100	7050 ± 100	~0
0	9750 ± 200	—***	700 ± 100	7650 ± 100	+2100 ± 200
	8450 ± 75	—			+800 ± 100
	7700 ± 200	—			~0

* (3 + 4) означает, что цифру из графы “4” для данной почвы надо сложить с цифрами из графы “3” для предыдущей почвы данной таблицы, то есть, это расчетная дата для карбонатов по отношению к предшествующей по времени почве (при сложении или вычитании величин с разными отклонениями в полученном результате использовалось большее отклонение).

** В скобках приведен максимальный разброс всех полученных значений.

*** РУ возраст и приведенная дата для карбонатов современных почв совпадают.

трансформации карбонатных аккумуляций, не раз происходившие в почве за время ее развития в голоцене в эпохи повторяющихся циклов гумидизации-аридизации, и сама по себе эта дата ничего не значит. Двигаясь ступенчато, мы пытались, по мере возможности, вычленить отдельные циклы этих повторяющихся процессов и получить относительные цифры, знак которых может отражать направление, а модуль — интенсивность процесса. Несовершенство нашего подхода состоит в том, что в рассматриваемом хронологическом ряду имеются существенные временные пробелы, для которых нет данных, но этот недостаток можно преодолеть лишь дальнейшим накоплением материала. В этой работе нам хотелось лишь наметить путь к решению проблемы РУ датирования карбонатов.

Итак, продолжая анализ данных табл. 5, напомним, что по высказанной во “Введении” данной статьи мысли: в степной зоне в гумидные климатические эпохи, благоприятствующие образованию и аккумуляции гумуса и растворению и переотложению карбонатов, карбонаты должны омолаживаться, тогда как в аридные периоды, когда происходит дегумификация (минерализация гумуса) и много древнего углерода поступает в почвенный профиль, карбонаты должны стареть. Если рассмотреть полученные в графе 6

табл. 5 цифры с этой точки зрения, приходим к выводу, что в ямное время развитие почв хронологического ряда шло в гумидных условиях, причем, очевидно, на финальном этапе (при переходе от палеопочвы, погребенной 5000–4800 л. н. к той, которая была погребена 4500–4300 л. н.) усиление гумидизации было наиболее значительным. Омоложение карбонатов, произошедшее в это время, было максимальным в изученном хронологическом ряду. Этот вывод совпадает и с морфологическими наблюдениями за строением профилей. Палеопочва, погребенная 4500–4300 л. н., выглядит наиболее “промытой” по строению карбонатного профиля; содержание гумуса в верхних 100 см в ней велико и близко к максимально возможным величинам в рассматриваемом хронологическом ряду.

При переходе к палеопочвам РЖВ, погребенным 2600–2500, 2350–2300 и 1750 л. н., получаем для первой палеопочвы разницу между расчетной и приведенной измеренной РУ датами карбонатов близкой к нулю. Это означает, что после существенного омоложения в финале ямного времени в последующее время шло лишь закономерное, коррелирующее с увеличением длительности периода развития почвы “старение” карбонатных аккумуляций. При этом мы не исключаем возможности за длительный период в 2000 лет между ямным временем и РЖВ, для которого у нас нет данных,

прохождения одного или нескольких циклов удревнения-омоложения карбонатов, уравнивавших друг друга и не проявившихся в “суммарном” РУ возрасте карбонатов за это время.

Довольно значительное омоложение получено в палеопочве, погребенной 2350–2200 л. н. и удревнение – в палеопочве, погребенной 1750 л. н., и эти наблюдения точно укладываются в разработанную схему палеоклиматических изменений и совпадают с морфологическими наблюдениями и аналитическими данными для этих хроносрезов, о которых говорилось выше. Например, в период, предшествующий погребению позднесарматской (1750 л. н.) палеопочвы, отмечается непродолжительный аридный эпизод, длившийся около 200–300 лет, когда преобладали процессы дегумификации и аккумуляции карбонатов. Здесь интересно отметить, что удревнение карбонатов в позднесарматской палеопочве получено после существенного их омоложения в предшествующей раннесарматской палеопочве, что говорит о значительной интенсивности поступления “старого” углерода от разложения гумуса в карбонаты палеопочвы, погребенной 1750 л. н.

Далее, до следующей почвы изучаемого хроноряда, погребенной 800–600 л. н., прошло 1200–1000 лет. Чтобы представить, что же происходило в регионе в этот период, обратимся к литературным данным. II–III в. н. э. – время существования позднесарматской культуры в Приуральских степях характеризовалось благоприятным гумидным климатом [13, 15], когда опять карбонаты должны были “омолодиться”. Для эпохи средневековья в палеогеографии выделяются среднесубатлантическое потепление или “малый климатический оптимум” (IV–XII вв. н. э.), проявившийся в степной зоне аридизацией, а также позднесубатлантическое увлажнение (XIII–XIX вв. н. э.) или “малый ледниковый период” [6, 8, 11]. Итак, в почве, погребенной 800–600 л. н., отразился этап значительной аридизации, но мы ничего не можем сказать об относительной интенсивности иссушения климата этого периода по РУ возрасту карбонатов средневековой почвы (разница РУ дат для карбонатов предшествующей – погребенной 1750 л. н. и палеопочвой, погребенной 800–600 л. н. близка нулю), так как мы не знаем, насколько были омоложены карбонаты в период позднесарматской гумидизации.

Наиболее неожиданным из полученных результатов явилось значительное “удревнение” возраста карбонатов в современных почвах, поскольку это не находит подтверждения в морфологическом строении профилей этих почв. Это “удревнение” выглядит тем более значительным, если вспомнить, что средневековая палеопочва (XIV в. н. э.) в изученном хроноряду выглядит довольно “промытой”, прошла очередной цикл гу-

мидизации и, следовательно, карбонаты в ней должны были омолодиться по сравнению с предшествующей палеопочвой, с которой мы сейчас сравниваем возраст карбонатов в современных почвах. Выявленное “старение” карбонатов можно отнести на счет сельскохозяйственного воздействия на почвы региона последнего столетия, особенно значительного в периоды освоения целины, которое многие почвоведы и экологи, работающие в Волго-Уральском междуречье, называют процессом агрогенного опустынивания [2, 8]. Интенсивная агрогенная дегумификация пахотных почв, очевидно, отразилась на РУ возрасте карбонатов, но перестройки карбонатного профиля не последовало. Возможно, что она происходит в настоящее время, но пока морфологически не проявилась.

С этой точки зрения интересно рассмотреть современные почвы в зависимости от истории их сельскохозяйственного использования, которая различна для двух изученных современных почв, а также постараться понять механизм обновления углерода в карбонатных аккумуляциях при трансформации свойств почв под воздействием внешних факторов на примере раздельного определения возраста карбонатов общей массы и ядер карбонатных аккумуляций. Если почва участка I ШМ (разр. 2ф/00) активно агрогенно использовалась до 90-х годов прошлого столетия, то использование почвы участка II ШМ (разр. 6ф/01) прервалось в предвоенные годы. Также различалась и интенсивность использования: с помощью современной тяжелой техники, затрагивающей глубокие горизонты – разр. 2ф/00, и с помощью лошади и ручного вскапывания – разр. 6ф/01. Поэтому такая разница наблюдается и в РУ возрасте общей массы педогенных карбонатов этих двух почв. Очевидно, что процессы трансформации карбонатов под воздействием агрогенного использования в почве разр. 2ф/00 “зашли дальше”, карбонаты обновлялись за счет более “древнего” углерода гумуса, который активно минерализуется не только в верхнем, но и более глубоком горизонте, поэтому и возраст общей массы карбонатов в этой почве на 1000 лет больше, чем в почве разр. 6ф/01.

Раздельное определение РУ возраста карбонатов общей массы и ядер белоглазки в разр. 6ф/01 позволяет понять, в какой последовательности происходит обновление углерода в карбонатном профиле почв при смене внешних условий. Очевидно, что центральная часть стяжения (ядро) обновляется в последнюю очередь, поэтому ядра белоглазки имеют более молодой РУ возраст (на 1000 лет в нашем примере) по сравнению с общей массой карбонатов, которая интенсивно обновляется за счет агрогенной дегумификации углеродом, ¹⁴C-возраст которого значительно отличается от нуля. Именно поэтому разница между РУ воз-

растом ядра белоглазки и расчетной датой для карбонатов в современной почве близка к нулю (последняя строка табл. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый подход к интерпретации результатов РУ датирования карбонатных аккумуляций в черноземных почвах голоценового хроноряда. Показано, что РУ возраст карбонатных аккумуляций в изученном хроноряду черноземных супесчаных почв степного Приуралья определяется климатическими условиями в период образования и трансформации карбонатов. Отмечаются периоды как омоложения, так и удревнения РУ возраста карбонатов, связанные, соответственно, с гумидизацией и аридизацией климата в различные эпохи второй половины голоцена. Трансформация карбонатных аккумуляций при смене условий окружающей среды, вероятно, начинается с внешних частей этих новообразований, ядро затрагивается в последнюю очередь, если вообще затрагивается. Необходимо отметить также, что по измеренным цифрам РУ возраста карбонатов, очевидно, можно выявить количественные закономерности “перекачки” углерода из резервуара (гумус) в резервуар (карбонаты) в аридные эпохи и полного или частичного обновления углерода этих двух резервуаров – в гумидные.

Модуль расчетной величины удревнения или омоложения РУ возраста карбонатных аккумуляций отражает, вероятно, интенсивность процессов: аккумуляции карбонатов в аридные и их растворения–перекристаллизации – в гумидные эпохи голоцена. Интенсивность этих процессов связана с тем, насколько более влажным или аридным стал климат. Вероятно, следующим шагом в работе по установлению закономерностей изменения РУ возраста педогенных карбонатов во времени, в частности, изучаемой нами второй половине голоцена, должна стать попытка найти связь количественных параметров, описывающих климатические условия (например, количество осадков в ту или иную эпоху голоцена), с возможным удревнением-омоложением педогенных карбонатов и моделирование этого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л., Чичагова О.А. Радиоуглеродный возраст палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1414–1422.
2. Ахмеденов К.М. Степи Волго-Уральского междуречья в условиях опустынивания // Степи Северной Евразии. Материалы третьего Междунар. симпозиума. Оренбург: ИПК Газпромнефть, 2003. С. 54–57.
3. Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Лугово-черноземные палеопочвы эпохи бронзы Окско-Донской лесостепи // Почвоведение. 1990. № 7. С. 26–38.
4. Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 229 с.
5. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука, 1992. 144 с.
6. Иванов И.В., Луковская Т.С. Динамика природных условий, почвообразование и взаимодействие природы и общества в степях Евразии, некоторые вопросы палеогеографии голоцена // Экология и почвы. Избр. лекции I–VII Всерос. школ. Пущино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. С. 283–302.
7. Иванов И.В., Табанакоева Е.Д. Изменения мощности гумусового горизонта и эволюции черноземов Восточной Европы в голоцене (механизмы, причины, закономерности) // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1029–1042.
8. Климанов В.А. Климат Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене (по палинологическим данным). Автореф. дис. ... докт. географ. наук. М., 1996. 46 с.
9. Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А. Результаты палеогеоморфологических исследований на стоянках неолита-бронзы в бассейне р. Самары // Моргунова Н.Л. Неолит и энеолит юга лесостепи Волго-Уральского междуречья. Приложение. Оренбург, 1995. С. 177–200.
10. Левковская Г.М. Заключение по результатам споро-пыльцевого анализа образцов из разрезов стоянок Ивановского микрорайона на р. Ток // Моргунова Н.Л. Неолит и энеолит юга лесостепи Волго-Уральского междуречья. Приложение. Оренбург, 1995. С. 173–176.
11. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 407 с.
12. Моргунова Н.Л., Гольева А.А., Краева Л.А., Мецгеряков Д.В., Турецкий М.А., Халыпин М.В., Хохлова О.С. Шумаевские курганы. Оренбург, 2003. 391 с.
13. Рысков Я.Г., Демкин В.А. Результаты естественного изучения курганов левобережного Илека // Курганы левобережного Илека. М., 1995. Вып. 3. С. 48–68.
14. Спиридонова Е.А., Алешинская А.С. Периодизация неолита-энеолита Европейской России по данным палинологического анализа // Российская археология. 1999. № 1. С. 23–33.
15. Хохлова О.С., Хохлов А.А. Пространственная изменчивость свойств современных и погребенных голоценовых темно-каштановых почв Южного Приуралья // Почвоведение, 2002. № 3. С. 261–272.
16. Чичагова О.А. Радиоуглеродное датирование гумуса почв. М.: Наука, 1985. 157 с.
17. Alexandrovskiy A.L., Chichagova O.A. Radiocarbon age of Holocene Paleosols of the East European forest-steppe zone // Catena. 1998. V. 34. P. 197–207.
18. Alexandrovskiy A.L., Chichagova O.A., Shishlina N.I. ¹⁴C studies of burial mounds in the steppe zone: chronology and paleoenvironment // 11th International Workshop on Isotope-Geochemical Research in Baltic region, Varch 14–16, 1996. Lohusalu, Estonia. 1996. P. 19.

19. Amundson R., Wang Y., Chadwick O., Trumbore S., McFadden L., McDonald E., Wells S., DeNiro M. Factors and processes governing the ^{14}C content of carbonate in desert soils // *Earth and Planetary Science Letters*. 1994. V. 125. P. 385–405.
20. Bartlett H. H. Radiocarbon datability of peat, marl, caliche, and archaeological materials // *Science*. 1951. V. 114. P. 55–56.
21. Bowler J., Polach H. Radiocarbon analyses of soil carbonates: an evaluation from paleosols in southeastern Australia // *Paleopedology* / Ed. Yaalon. 1971. P. 97–108.
22. Broecker W. S., Walton A. The geochemistry of C^{14} in fresh-water systems // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1959. V. 16. P. 15–38.
23. Cerling T.E. The stable isotopic composition of modern soil carbonate and its relationship to climate // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1984. V. 71. P. 229–240.
24. Cerling T.E., Quade J., Wang Y., Bowman J.R. Carbon isotopes in soils and paleosols as ecology and palaeoecology indicators // *Nature*. 1989. V. 341. P. 138–139.
25. Chen Y., Polach H. Validity of ^{14}C ages of carbonate in sediments // *Radiocarbon*. 1986. V. 28(2A). P. 464–472.
26. Courty M.-A., Marlin C., Dever L., Tremblay P., Vachier P. The properties, genesis and environmental significance of calcitic pendants from the High Arctic (Spitsbergen) // *Geoderma*. 1994. V. 61. P. 71–102.
27. Dorr H., Munnich K.O. Annual variations of the ^{14}C content of soil CO_2 // *Radiocarbon*. 1986. V. 28. P. 338–345.
28. Evin J., Marechal J., Pachiaudi C., Puissegur J. Conditions involved in dating terrestrial shells // *Radiocarbon*. 1980. V. 22(2). P. 545–555.
29. Haas H., Haynes C. Discussion on radiocarbon dates from the Western Desert // Eds Wendorf F., Schild R. *Prehistory of the Eastern Sahara*. New York: Academic Press, 1980. P. 373–378.
30. Pendall E.G., Harden J.W., Trumbore S.E., Chadwick O.A. Isotopic approach to soil carbonate dynamics and implications for paleoclimatic interpretations // *Quaternary Research*. 1994. V. 42. P. 60–71.
31. Pustovoytov K.E. Pedogenic carbonate cutans as a record of the Holocene history of relic tundra-steppes of the Upper Kolyma Valley (North-Eastern Asia) // *Catena*. 1998. V. 34. P. 185–195.
32. Quade J., Cerling T.E., Bowman J.R. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan // *Nature*. 1989. V. 342. № 9. P. 163–165.
33. Slate J., Bull W., Teh-lung K., Shafiqullah M., Lynch D., Yi-Pu H. Soil-carbonate genesis in the Pinacate volcanic field, north-western Mexico // *Quaternary Research*. 1991. V. 35. P. 400–416.
34. Sowers J., Szabo B., Jull T., Ku T., Reheis M., Chadwick O., Robinson S., Amundson R. Age data for Kyle Canyon soils and deposits // Eds. Weide D., Faber M. *This extended land, geological journeys in the southern basin and range*. GSA, Cordillerian Section, Field Trip Guidebook. 1988. P. 141–142.
35. Vincent K., Bull W., Chadwick O. Construction of a soil chronosequence using the thickness of pedogenic carbonate coatings // *Journal of Geological Education*. 1994. V. 42. P. 316–324.
36. Wang Y., Amundson R., Trumbore S. A model of $^{14}\text{CO}_2$ and its implications for using ^{14}C to date pedogenic carbonate // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1994. V. 58. P. 393–399.
37. Wang Y., McDonald E., Amundson R., McFadden L., Chadwick O. An isotopic study of soils in chronological sequences of alluvial deposits, Providence mountains, California // *Geol. Soc. of Am. Bull.* 1996. V. 108. P. 379–391.
38. Williams G., Polach H. The evaluation of ^{14}C ages for soil carbonate from the arid zone // *Earth and Planetary Science Letters*. 1969. V. 4. P. 240–242.
39. Williams G., Polach H. Radiocarbon dating of arid zone calcareous paleosols // *Geological Society of America Bulletin*. 1971. V. 82. P. 3069–3086.
40. Zhou W., Head M., Wang F., Donahue D., Jull A. The reliability of AMS radiocarbon dating of shells from China // *Radiocarbon*. 1999. V. 41. № 4. P. 17–24.

Radiocarbon Dating of Calcareous Accumulations in Soils of the Holocene Chronosequence in the Ural River valley (Cis-Urals steppe)

O. S. Khokhlova, A. A. Khokhlov, O. A. Chichagova, and N. L. Morgunova

A new approach to the interpretation of radiocarbon dates of pedogenic calcite is offered. The radiocarbon age of carbonates in the studied chronosequence of sandy-loamy chernozems in the Cis-Urals steppe depends on the climatic regime at the time of their development and transformation. That is, the carbonates can have either an older or younger ^{14}C age than the soil itself. The deviation of the carbonates' age from that of the soil can be estimated, judging from the carbonate accumulation rate during the dry phases and the carbonate dissolution and redeposition rates during the humid phases of the Holocene.