

ГЕНЕЗИС  
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

ТРАНСФОРМАЦИЯ КАРБОНАТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ  
ПАЛЕОПОЧВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА,  
ПОГРЕБЕННЫХ ПОД КУРГАНАМИ\*

© 2008 г. О. С. Хохлова<sup>1</sup>, А. А. Хохлов<sup>2</sup>, О. А. Чичагова<sup>3</sup>,  
А. М. Кузнецова<sup>4</sup>, С. А. Олейник<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
142290, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2  
e-mail: akhokhlov@mail.ru

<sup>2</sup>Институт биофизики клетки РАН,  
142290, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 4

<sup>3</sup>Институт географии РАН, 117109, Москва, Старомонетный пер., 27/7

<sup>4</sup>Лаборатория электронной микроскопии, Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,  
119991, Москва, Ленинские горы

<sup>5</sup> Department of Earth and Atmospheric Sciences, Purdue University,  
550 Stadium Mall Drive, West Lafayette, IN, 47907, USA

Поступила в редакцию 28.02.2007 г.

Изучены карбонатные новообразования в хроноряду палеопочв, погребенных в конце IV–первой половине V вв. н.э. на Северном Кавказе с использованием комплекса морфологических и изотопно-геохимических методов. Впервые обнаружено, что морфологически разные фазы кальцита: колломорфная и кристаллическая в карбонатных новообразованиях (псевдомицелий) и в карбонатном горизонте в парах образцов–несегрегированные–сегрегированные карбонаты имеют разный элементный состав и изотопный состав углерода и, следовательно, различные механизмы формирования. Добавление к игольчатому кальциту карбонатной массы, вероятно, переносимой в коллоидных растворах из нижних почвенных горизонтов к поверхностным в период нарастающей аридизации климата, явилось, по нашему предположению, причиной резкого и незакономерного увеличения радиоуглеродного возраста новообразованного псевдомицелия.

ВВЕДЕНИЕ

Карбонатные новообразования (КНО) или аккумуляции, их связь с современным гидротермическим режимом и механизмы формирования в аридных почвах мира основательно изучены как в отечественном почвоведении – это работы С.А. Захарова, В.А. Ковды, Е.А. Афанасьевой, М.И. Герасимовой, Е.К. Дайнеко, В.В. Добровольского, И.И. Лебедевой, А.В. Македонова, С.В. Овечкина, Т.А. Соколовой и многих других, так и за рубежом [25–27, 29, 31–34, 37, 38]. Гораздо меньше сведений можно найти о путях и механизмах трансформации КНО при естественной смене внешних (например, климатических) условий в голоцене [24, 28, 35]. Мы пытаемся восполнить этот пробел, изучая КНО в хроноряде палеопочв, погребенных под курганами в степной зоне России в течение второй половины голоцена [17, 30], что важно и интересно не только с точки зрения наблюдений за изменениями педогенных карбонатов во времени, но также позволяет пред-

ставить механизмы и скорости образования и трансформации тех или иных форм КНО. Для получения полной и достоверной информации о карбонатах в степных почвах мы предложили изучать их *карбонатное состояние*, то есть, совокупность всех форм карбонатного вещества на разных уровнях его организации. Изучение проводится с использованием комплекса современных морфологических, аналитических и инструментальных (термогравиметрия, рентгеновский анализ, инфракрасная спектроскопия, изотопный состав углерода в карбонатах и другие) методов [30], и, как итог, предполагает выявление процессов поступления, перераспределения, миграции и трансформации карбонатов в почвах. Радиоуглеродный (РУ) метод датирования педогенных карбонатов занимает особое место, именно с его помощью получена уникальная информация о путях трансформации КНО в голоценовом хроноряде черноземов южных степного Приуралья [20]. Использование метода РУ датирования в комплексе с изучением стабильных изотопов углерода (соотношение <sup>13</sup>C и <sup>12</sup>C) перспективно в плане получения новых знаний о генезисе и меха-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 04-06-80044, 07-05-00905).

**Таблица 1.** Объекты исследования в курганном могильнике Брут 1

Разрез	Курган	Мощность курганной насыпи, см	Археологическая дата сооружения кургана и погребения почвы
13п/04	13	60	Примерный рубеж* IV-V вв. н.э.
9п/04	9	90	Первая половина V в. н.э.
10п/04	10	60	»
11п/04	11	55	»
12п/04	12	60–65	»
14п/04	14	55	»

8ф/04, современная фоновая почва – чернозем обыкновенный

\* «Примерный рубеж» – именно такая формулировка даты приводится археологами, так как если указать «рубеж IV–V вв. н. э.», это будет означать, что дается точная дата, тогда как археологические методы не позволяют этого сделать.

низмах трансформации педогенных карбонатов во времени.

Основная цель данной работы – изучить карбонатное состояние хроноряда черноземных палеопочв, погребенных под курганами на Северном Кавказе, с использованием комплекса методов, включая изотопно-геохимические (метод стабильных изотопов углерода и РУ датирование), и представить генезис и пути трансформации КНО при смене климатических условий.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Карбонатное состояние и КНО изучены в хроноряду палеопочв, погребенных под курганами в очень узком временном интервале – от примерно рубежа IV–V до середины V вв. н. э. в могильнике Брут 1, расположенном у с. Брут в республике Северная Осетия-Алания, Россия. Полевые палеопочвенные исследования проведены нами в составе археологической экспедиции Музея искусства народов Востока и Института археологии РАН под руководством Т.А. Габуева и В.Ю. Малашева. Были изучены палеопочвы под восемью курганами и два разреза современных почв. Данные об изученных почвенных разрезах, о мощности курганных насыпей, под которыми были погребены палеопочвы, даты сооружения курганов, установленные археологическими методами, представлены в табл. 1.

Могильник Брут 1 располагается на первой высокой выровненной террасе р. Камбилеевка (приток р. Терек) компактно, занимая площадь около 5 га на выгоне для скота на окраине с. Брут. Почвообразующие породы – лёссовидные суглинки. Геоморфологически изученная террито-

рия относится к Осетинской наклонной аллювиальной равнине, сформированной отложениями рек Терек и Сунжа, а также их притоками. Равнина с юга, востока и севера окружена горными хребтами Большого Кавказа. Климат умеренно теплый, среднегодовая температура воздуха +8.4°C. Июль – наиболее жаркий месяц, среднемесячная температура +20.6°C; самый холодный – январь (–4.4°C). Сумма осадков за период активной вегетации сельскохозяйственных растений составляет 350–500 мм, за год – около 600 мм. Испарение влаги довольно большое, коэффициент испаряемости составляет около 0.7. Основу современного почвенного покрова составляют черноземы обыкновенные, карбонатные в разной степени, среднемощные, реже – мощные.

Все разрезы современной фоновой почвы и подкурганых палеопочв описывались в поле и в них отбирались образцы. В химико-аналитическом комплексе ИФХиБПП РАН валовое содержание CO<sub>2</sub> карбонатов было определено ацидиметрически (аналитики к.б.н. И.И. Скрипниченко, Н.Я. Плясова). Образцы из сегрегированных (КНО) и несегрегированных карбонатов отобраны отдельно, и в таких образцах определялось содержание CaCO<sub>3</sub> термическим методом (на дериватографе типа Q1000°C венгерской фирмы MOM) и соотношение стабильных изотопов углерода. Соотношение <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C было определено для карбонатов и гумуса на масс-спектрометре Delta PlusXL в США. Результаты <sup>13</sup>C (‰) приведены по отношению к PDB стандарту. Из ненарушенных образцов-монолитов, отобранных из карбонатных горизонтов, были сделаны шлифы, и изучены на поляризационном микроскопе. Морфология небольших фрагментов этих монолитов была исследована на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6380LA. Перед исследованием образцы покрывались тонким металлическим слоем (сплав Au-Pd-Ag) для создания электропроводности на ионной напылительной установке Eiko IB-3. Для определения элементного состава отдельных участков изучаемых образцов был использован энергодисперсионный спектрометр (ЭДС) JED-2300. <sup>14</sup>C-датирование общей массы карбонатов и гумуса проведено в РУ лаборатории Института географии РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

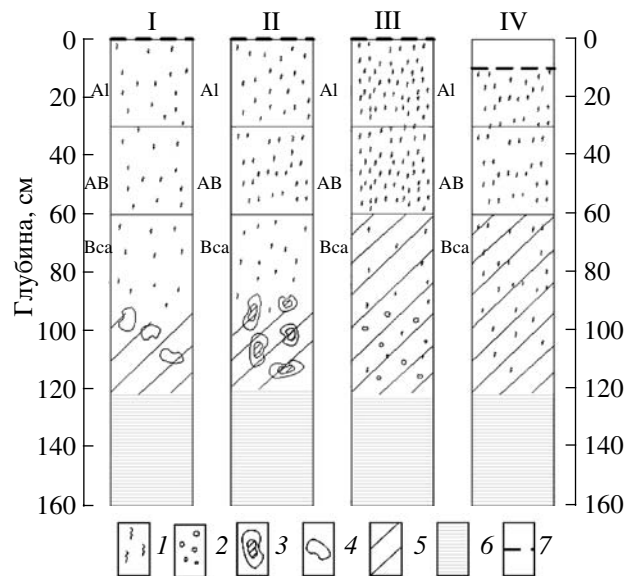
Изученные морфологические и аналитические свойства почв хроноряда могильника Брут 1 описаны ранее при рассмотрении всего комплекса проведенных в этом регионе палеопочвенных исследований [19], в настоящей работе мы рассматриваем лишь особенности их карбонатного состояния. При полевом морфологическом изучении особенно ярко были видны различия в строении верхних частей карбонатных профилей

почв хроноряда. Все профили погребенных почв вскипали от HCl с поверхности, КНО в верхней части профилей хроноряда были представлены псевдомицелярными формами, тогда как примерно с глубины 100–110 см появлялись пропитка или белоглазка (рис. 1).

Заметим, что ни в одном из профилей погребенных почв не было выявлено особых форм диагенетических карбонатов, которые могут появляться в таких почвах уже после их погребения под земляными насыпями. Отсутствие диагенетических карбонатов, вероятно, объясняется надежной консервацией погребенных почв под насыпями достаточной мощности. Высота курганных насыпей в могильнике Брут 1 превышала 50 см (табл. 1), насыпи никогда не распахивались. Псевдомицелий в погребенных почвах в гор. А1 ничем не отличался от такого в гор. АВса. Но, помня о том, что в этой природной зоне диагенетическим окарбоначиванием могут быть охвачены верхние 30 см (редко – 50 см) погребенных почв, а диагенетические формы КНО – представлены псевдомицелярными или игольчатыми формами (на микроуровне наблюдения) [18], мы отбирали образцы псевдомицелия для дальнейшего изучения из гор. [АВса] с губины 50–60 см погребенных почв.

В ряду палеопочв от погребенной на рубеже IV–V вв. н. э. (разр. 13п/04) до погребенных в первой половине V в. н.э. прослеживалось постепенное увеличение густоты и мощности сети карбонатного псевдомицелия (рис. 1). По этому признаку почвы в поле были выстроены во внутривековой хроноряд: разр. 12п/04 и 14п/04 были условно отнесены к первой четверти V в. н.э., а разр. 9п/04, 10п/04, 11п/04 – ко второй четверти V в. н.э. (более подробно про обоснование такого разделения см. в работе Хохловой с соавт. [19]). В средней и нижней частях карбонатного профиля (гор. Вса) в разр. 13п/04 карбонаты были представлены белоглазкой и пропиткой, в палеопочвах первой четверти V в. н.э. – диффузной белоглазкой в верхней части Вса и пропиткой – в его нижней части, в палеопочвах второй четверти V в. н.э. – пропиткой с крайне редкими пятнами белоглазки в присутствии псевдомицелия (рис. 1, I, II, III). В современной непаханной почве вскипание от HCl отмечалось под дерновым горизонтом – с глубины 7–10 см, затем следовал горизонт псевдомицелия, в средней и нижней частях карбонатного профиля (гор. Вса) более редкая сеть псевдомицелия располагалась на фоне пропитки (рис. 1, IV).

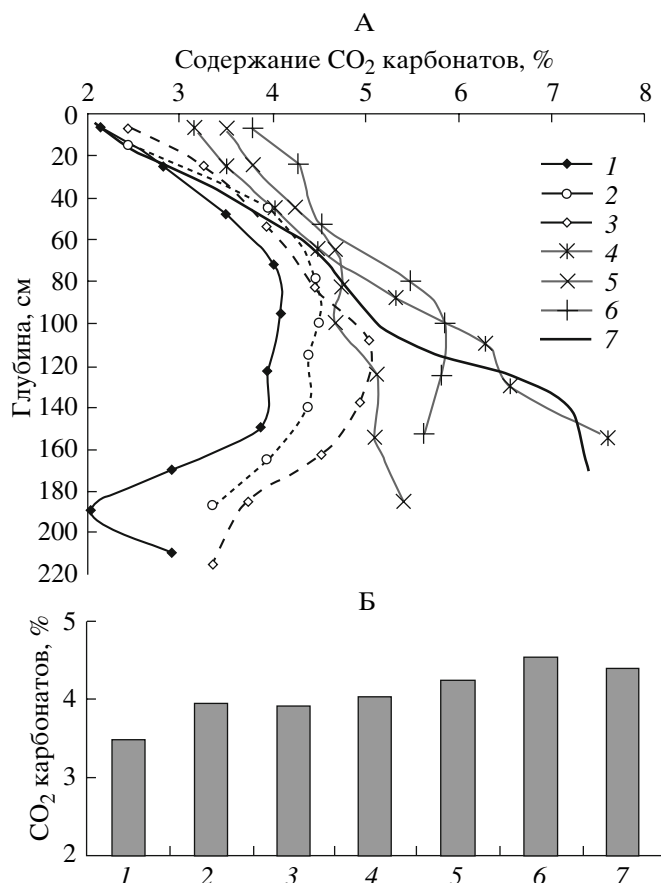
Данные валового процентного содержания CO<sub>2</sub> карбонатов в общей массе совпадают с морфологическими наблюдениями. В распределении CO<sub>2</sub> карбонатов по профилям почв (рис. 2, А) отмечается ясная тенденция увеличения его содержания в верхней части профилей во внутривеко-



**Рис. 1.** Морфологическое строение карбонатных профилей в погребенных и современной почвах объекта Брут 1. Условные обозначения: I – палеопочва, погребенная примерно на рубеже IV–V вв. н.э.; II – палеопочва, погребенные в первой четверти V в. н.э.; III – палеопочвы, погребенные во второй четверти V в. н.э.; IV – фоновая почва (чернозем обыкновенный); 1 – псевдомицелий; 2 – редкая мелкая белоглазка, 3 – белоглазка с диффузными границами; 4 – белоглазка с четкими границами; 5 – пропитка; 6 – слой окарбоначенный, но без выраженных форм карбонатных аккумуляций; 7 – граница вскипания от HCl.

вом хроноряду от палеопочвы рубежа IV–V (разр. 13п/04) к палеопочвам сначала первой (разр. 12п/04 и 14п/04), а затем – второй четверти V в. н.э. (разр. 9п/04, 10п/04, 11п/04). В палеопочвах, условно отнесенных ко второй четверти V в. н.э., происходит постепенное увеличение содержания CO<sub>2</sub> карбонатов в гор. АВса по сравнению с палеопочвами более ранних сроков погребения в изучаемом хроноряду (рис. 2, В). В среднем, по сравнению с палеопочвой примерного рубежа IV–V вв. н.э. (разр. 13п/04) в палеопочвах второй четверти V в. н.э. (разр. 9п/04, 10п/04, 11п/04) происходит увеличение содержания карбонатов в гор. АВса на 15–17%.

Дифференциальный термический анализ (ДТА) был выполнен отдельно для образцов КНО и почвенной массы без видимых форм КНО (несегрегированные карбонаты), отобранных из одних и тех же горизонтов. Нижним пределом определения содержания карбонатов методом ДТА на дериватографе МОМ 1000°C является 2%, меньшие величины прибор уверенно не определяет. Содержание CaCO<sub>3</sub> в псевдомицелии варьирует от 2.3 до 7.1% и возрастает в палеопочве хроноряда наиболее позднего срока погребения (вторая четверть V в. н.э.) по сравнению с палео-



**Рис. 2.** Содержание CO<sub>2</sub> карбонатов в целом в профилях (А) и в гор. АВса, 30(35)–60(70)см (Б) погребенных и современной почв объекта Брут 1. Условные обозначения: 1 – разр. 13п/04, погребенный примерно на рубеже IV-V вв. н.э.; 2 – разр. 12п/04 и 3 – разр. 14п/04, погребенные в первой четверти V в. н.э.; 4 – разр. 9п/04, 5 – разр. 10п/04 и 6 – разр. 11п/04, погребенные во второй четверти V в. н.э.; 7 – разр. 8ф/04 фоновой почвы.

почвами, погребенными ранее (табл. 2). Содержание CaCO<sub>3</sub> в почвенной массе без видимых КНО в парах образцов стабильно меньше, чем в псевдомицелии, при этом их температурные характеристики практически идентичны. В разр. 13п/04 в гор. А1 и АВса и в разр. 8ф/04 в гор. АВса несегрегированные карбонаты методом ДТА не обнаружены. Это означает, что в указанных горизонтах несегрегированные карбонаты, если и присутствовали, то составляли менее 2% от веса почвенной массы, взятой для анализа. В белоглазке-пропитке содержание CaCO<sub>3</sub> возрастает по сравнению с псевдомицелием (23.0–16.5% против 2.3–7.1%), что закономерно [8]. При этом температурные характеристики кривой ДТА в белоглазке выше, чем в псевдомицелии, что указывает на более совершенную структуру кристаллической решетки кальцита в белоглазке [11].

При изучении микро- и субмикроморфологических особенностей КНО в палеопочвах хроноряда основное внимание было сосредоточено на псевдомицелярных формах, поскольку именно эти формы были наиболее показательными в рассматриваемом “коротком” хроноряде при выявлении различий палеопочв. При микроморфологическом изучении гор. АВса в разр. 13п/04 обнаруживаются игольчатый кальцит, выстилающий редкие поры, но этого кальцита в порах мало, иглы мелкие. Плазма пропитана криптозернистым кальцитом, который дает слабую интерференционную окраску при скрещенных николях и иногда образует овальные стяжения (рис. 3, а). На субмикроруровне видно, что отдельные иглы (рис. 3, б), либо крайне редкие скопления игл (рис. 3, в) встречаются на фоне фрагментарной пленки скрытокристаллического кальцита.

В шлифах КНО гор. АВса в разр. 14п/04 наблюдается преобладание игольчатого кальцита, иголки довольно крупного размера, хотя и микроучастки плазмы, пропитанной криптозернистым кальцитом (правая часть фото) также имеются (рис. 3, г). Под электронным микроскопом наблюдаем сплошные иголки, иногда образующие пучки и жгуты (рис. 3, д). При увеличении в 2000 раз видно, что иголки окристаллизованы очень хорошо, они ровные, длинные, без наростов и обломков (рис. 3, е). Вместе с тем, микроучастки колломорфной кальцитовой массы, хоть и редко, но встречаются (рис. 4, фото 0215), при этом микрозоны расположения игольчатого и колломорфного кальцита четко разграничены.

На микрофотографии КНО из гор. АВса разр. 9п/04 видно, что игольчатый кальцит локализован в относительно мелких порах, окружен плазмой, пропитанной криптозернистым кальцитом, причем степень пропитанности плазмы несравненно выше, чем в гор. АВса разр. 13п/04 (рис. 3, ж). На некоторых микроучастках шлифа видно, что произошло внедрение игольчатых форм в плазму, уменьшение степени “отделенности” и приуроченности этих форм лишь к поровому пространству. При рассмотрении псевдомицелярных форм кальцита под электронным микроскопом при довольно большом увеличении (в 5000 раз) отмечаем, что иглы не имеют уже столь совершенных форм, они словно бы покрыты вуалью, маскирующей четкость их очертаний (рис. 3, з). К тому же в образце отмечаются локализованные микроучастки лишь колломорфной массы кальцита без выраженных кристаллических форм (рис. 3, е).

Микроформы КНО из гор. АВса современной фоновой почвы (разр. 8ф/04) довольно схожи с таковыми для палеопочв второй четверти V в. н. э.: имеются микроучастки с игольчатым кальцитом, приуроченным к поровому пространству, а

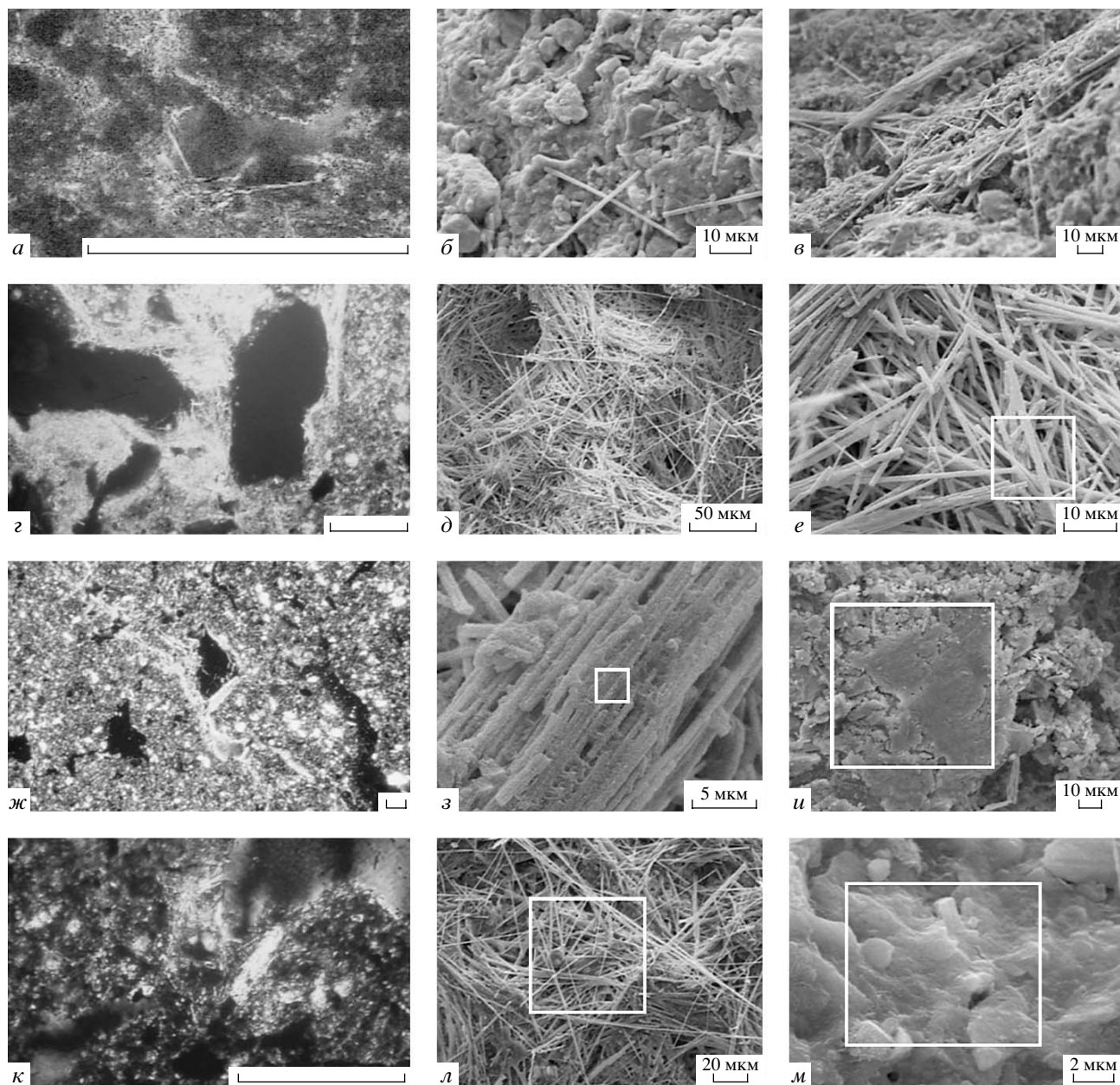
**Таблица 2.** Данные дифференциального термического анализа карбонатов в почвах хроноряда

Разрез, горизонт, глубина от поверхности курганной насыпи, [глубина от поверхности погребенной почвы], см	Образец КНО	CaCO <sub>3</sub> в КНО, %	Температура, °С		
			начала	максимума	конца
			спада кривой ДТА		
Примерный рубеж IV–V вв. н.э.					
13п/04, [A1], 70–80, [10–20]	Диagenетические прожилки?	2.3	670	700	730
То же	Без видимых КНО		Карбонатов не обнаружено		
13п/04, [ABca], 110–120, [50–60]	Псевдомицелий	4.8	670	720	730
То же	Без видимых КНО		Карбонатов не обнаружено		
13п/04, [B2ca], 170–180, [110–120]	Пропитка-белоглазка	16.5	680	770	760
То же	Без видимых КНО	6.0	680	740	760
Первая четверть V в. н.э.					
12п/04, [ABca], 110–125, [50–65]	Псевдомицелий	5.0	670	720	730
То же	Без видимых КНО	3.6	660	710	720
12п/04, Bca, 165–170, [105–110]	Белоглазка диффузная	23.0	710	770	800
То же	Без видимых КНО	6.9	690	740	760
14п/04, [ABca], 105–115, [50–60]	Псевдомицелий	5.7	660	730	740
То же	Без видимых КНО	5.2	670	730	760
14п/04, [B1ca], 165–175, [110–120]	Белоглазка диффузная	19.4	670	740	760
То же	Без видимых КНО	7.2	670	760	780
Вторая четверть V в. н.э.					
9п/04, [ABca], 140–150, [50–60]	Псевдомицелий	7.1	660	720	740
То же	Без видимых КНО	6.3	660	720	750
Современность					
8ф/04, ABca, 50–60	Псевдомицелий	5.3	660	720	740
То же	Без видимых КНО		Карбонатов не обнаружено		

рядом – иглы, уже внедренные в плазму. В целом, пропитанность плазмы криптозернистым кальцитом меньше, видны сравнительно крупные округлые стяжения в основной массе (рис. 3, *и*). На субмикроруровне отмечаем микроучастки как игольчатого кальцита – иголки несовершенной структуры, спутанные, сросшиеся, с наростами и обломками (рис 3, *к*), так и колломорфной массы кальцита (рис. 3, *л*).

Рентгеновский микроанализатор показал, что и игольчатые формы, и колломорфная масса в КНО – это именно кальцит. На некоторых фотографиях, полученных на сканирующем электронном микроскопе, квадратиками маркированы микрозоны зондирования образцов (рис. 3). Результаты зондирования игольчатой (образцы 0200, 0207 и 0236) и колломорфной массы кальцита (образцы 0208, 0211 и 0215), слагающих КНО гор. АВ современной (разр. 8ф/04) и погребенных почв (разр. 9п/04 и 14п/04), соответственно, представлены на рис. 4. Высокое содержание в образцах Au-Pd-Ag дает напыленная электропроводящая пленка.

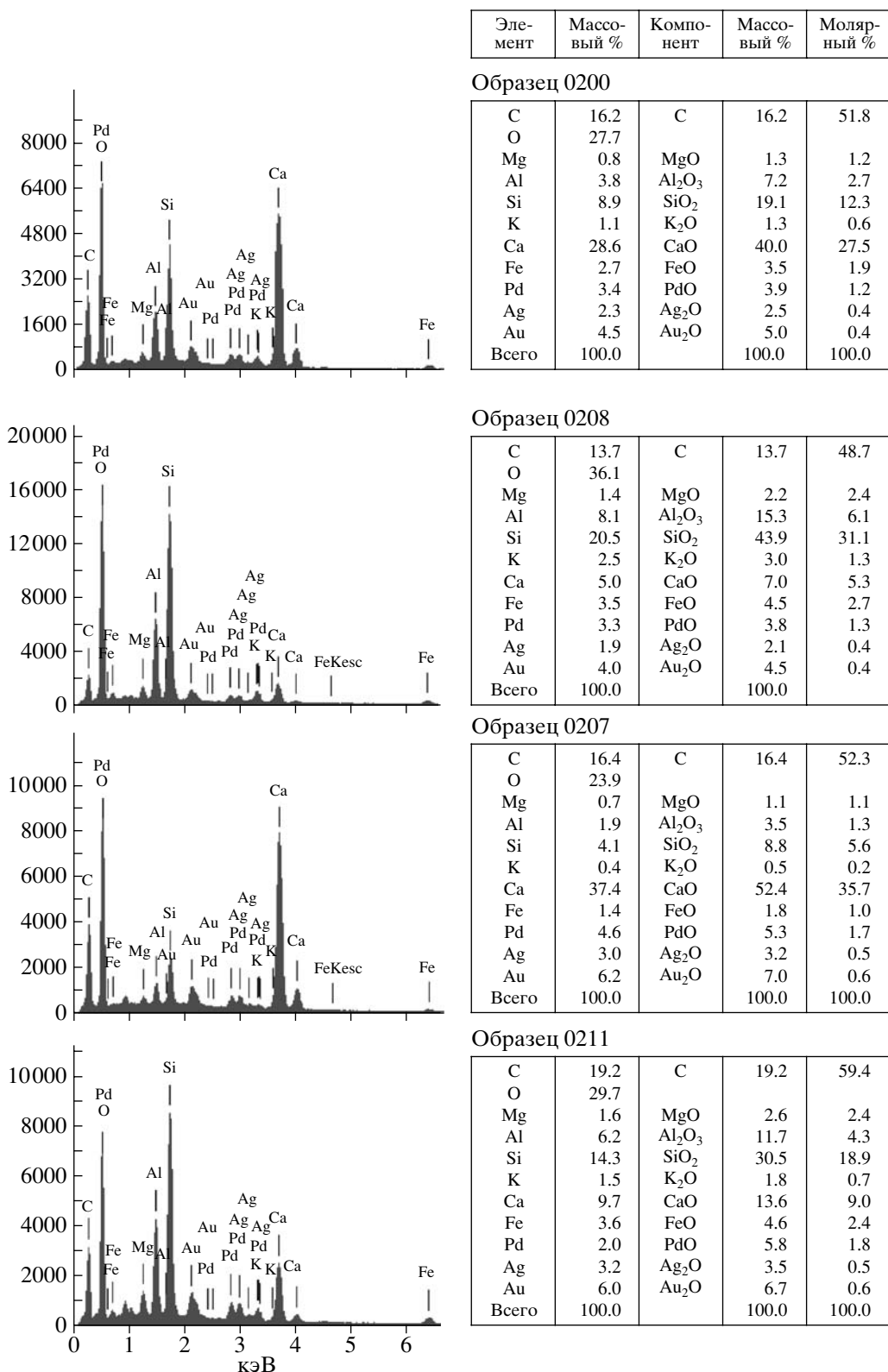
Из данных спектров и таблиц, получаемых при зондировании образцов, видно, что иголки (образцы 0200, 0207 и 0236, рис. 3 и 4) показывают ясные пики углерода и кальция, на третьем месте находится кремний, процентное содержание этих элементов в указанных образцах составляет 16.2–16.4–13.6%; 28.6–37.4–43.9%; 8.9–4.1–1.9%, соответственно. Необходимо пояснить, что кремний в виде кварца и алюмосиликатных минералов регулярно обнаруживается в составе КНО черноземов [3, 6], но ясного понимания – находится ли кремний в составе кристаллических КНО или это примесь окружающей силикатной почвенной массы, пока нет. В колломорфной массе кальцита (образцы 0208, 0211 и 0215, рис. 3 и 4), уменьшается содержание кальция (5.0–9.7–3.4%, соответственно) и увеличивается – кремния (20.5–14.3–22.8%), а также заметно увеличивается доля алюминия и железа по сравнению с иголками. Такое соотношение элементов может быть связано с двумя причинами: 1 – глубина проникновения зонда в образец составляет 1 мкм, поэтому вполне возможно, что зонд анализирует не только



**Рис. 3.** Микро- и субмикростроение карбонатных новообразований из гор. AVса палео- и современной почв объекта Брут 1. Микрофотографии псевдомицеллярных форм КНО из гор. AVса: *a* – разр. 13п/04; *z* – разр. 14п/04; *ж* – разр. 9п/04; *к* – разр. 8ф/04 сняты при х николях; белая горизонтальная линия в правом нижнем углу фото равна 100 мкм. Фото псевдомицеллярных форм КНО и рассеянных несегрегированных карбонатов из гор. AVса, полученные на сканирующем электронном микроскопе: *б*, *в*, – разр. 13п/04; *д*, *е* – разр. 14п/04; *з*, *и* – разр. 9п/04; *л*, *м* – разр. 8ф/04.

пленку кальцита колломорфной массы, но и нижежащий алюмосиликатный материал; 2 – если предполагать, что колломорфная масса кальцита сформирована в результате осаждения из коллоидного раствора, то силикатная примесь в виде сорбированного и кластического материала – сопутствующий компонент при такого рода переносе коллоидной карбонатной массы [4, 6]. Для сравнения был снят спектр зерна силикатного минерала (образец 0212, рис. 4). Ясно видны отличия

указанного спектра от спектров колломорфной массы кальцита: процентное содержание кальция и углерода в спектре образца 0212 резко уменьшается, преобладают железо, кремний и алюминий, а также значительную долю составляет магний (3.8% против 0.7–1.6% в карбонатных образцах). Отметим, что как игольчатый, так и колломорфный кальцит по данным зондирования показывают практически полное отсутствие магния в своем составе, что позволяет считать каль-



**Рис. 4.** Результаты микрозондирования кальцита на рентгеновском микроанализаторе при изучении образцов на электронном сканирующем микроскопе. Номера образцов соответствуют номерам тех фотографий рис. 3, на которых виден белый квадрат – место микрозондирования. Образцы 0200, и 0208 – игольчатая и коллоидная масса кальцита из гор. АВСа, разр. 8ф/04; образцы 0207 и 0211 – игольчатая и коллоидная масса кальцита из гор. АВСа, разр. 9п/04; образцы 0236 и 0215 – игольчатая и коллоидная масса кальцита из гор. АВСа, разр. 14п/04. Образец 0212 – зерно силикатного минерала из гор. АВСа, разр. 9п/04; квадратик на фотографиях 0215 и 0212 – место микрозондирования.







**Таблица 3.** Изотопный состав углерода педогенных карбонатов в почвах хронорядя

Разрез, курган	Горизонт, глубина, см	Форма КНО	ИСУ КНО	ИСУ несегрегированных карбонатов
Примерный рубеж IV–V вв. н.э.				
13п/04, 13	[АВса], 50–60	Псевдомицелий	–8.6	–7.4
13п/04, 13	[В1са], 110–120	Пропитка-белоглазка	–9.9	–9.4
Первая четверть V в. н.э.				
12п/04, 12	[АВса], 50–65	Псевдомицелий	–8.3	–7.9
12п/04, 12	[В1са], 105–110	Белоглазка диффузная	–9.4	–6.8
14п/04, 14	[АВса], 50–60	Псевдомицелий	–8.3	–8.3
14п/04, 14	[В1са], 110–120	Белоглазка диффузная	–10.8	–6.6
Вторая четверть V в. н.э.				
9п/04, 9	[АВса], 50–60	Псевдомицелий	–6.8	–7.3
Современность				
8ф/04	[АВса], 50–60	Псевдомицелий	–9.4	–8.9

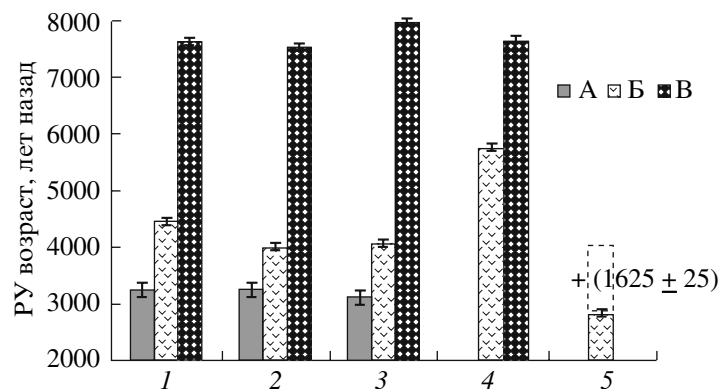
цит, слагающий КНО изучаемых почв, практически чистым CaCO<sub>3</sub>.

Сравнение игольчатого и колломорфного кальцита из разр. 14п/04 и 9п/04 погребенных почв, относящихся к первой и второй четвертям V в. н.э., соответственно, показало, что иголки разр. 14п/04 более “карбонатны”: в них очень тесное соотношение атомов углерода и кальция (47 молярных % С против 45% Са по данным зондирования) и совсем мало примесей силикатной массы (Si, Mg, Al, Fe). В иголках из разр. 9п/04 указанных примесей больше, тогда как соотношение атомов углерода и кальция составляет 52 к 36. По данным зондирования образцов колломорфной массы кальцита из указанных разрезов, картина обратная: велика доля примесей силикатных минералов в колломорфной массе кальцита из разр. 14п/04, соотношение атомов углерода и кальция составляет 35 к 4; в разр. 9п/04 доля примесей меньше, а отношение содержаний С к Са – 59 к 9. Итак, “карбонатность” игольчатого кальцита уменьшается, а колломорфного – увеличивается в палеопочве второй четверти V в. н.э. (разр. 9п/04) по сравнению с палеопочвой, погребенной в первой четверти V в. н.э. (разр. 14п/04).

Исследования стабильных изотопов углерода в гумусе и карбонатах показали, что изотопный состав углерода (ИСУ) гумуса во всех палеопочвах хронорядя Брут 1 был близок. Варьирование δ<sup>13</sup>С в гумусе верхнего горизонта палеопочв и современной почвы составило –24.3 ... –24.9‰. В то же время по данным ИСУ КНО и несегрегированных карбонатов в палеопочвах хронорядя можно отметить ряд интересных особенностей (табл. 3). В парах образцов “КНО-несегрегированные карбонаты” ИСУ первых практически всегда “легче” по сравнению с ИСУ вторых. При

этом ИСУ карбонатов из горизонтов псевдомицелия различается меньше, чем из горизонтов белоглазки-пропитки, так как затруднительно провести отдельный отбор КНО и несегрегированных карбонатов из горизонта, сплошь пронизанного псевдомицелием. Величина δ<sup>13</sup>С для белоглазки-пропитки легче, чем псевдомицелия. Наиболее “тяжелый” ИСУ среди изученных образцов отмечается в паре образцов “КНО-несегрегированные карбонаты” разр. 9п/04, отнесенного к группе палеопочв наиболее позднего срока погребения в изучаемом хроноряду.

РУ даты были получены для гумуса из поверхностного гор. А1 (0–5 см) и общей массы карбонатов из гор. АВса (50–60 см) и гор. Вса (100–110(120) см) палеопочв хронорядя, относящихся к разным временным интервалам погребения в пределах 50–75 лет функционирования могильника Брут 1. Все рассматриваемые в статье РУ даты приведены в некалиброванных значениях. <sup>14</sup>С-даты для гумуса (рис. 5), показывают довольно хорошую сходимость с учетом близких дат погребения палеопочв в изучаемом хроноряду. Близки и РУ даты, полученные для общей массы карбонатов из гор. Вса, 100–110(120) см, в котором преобладают белоглазка и пропитка. Вместе с тем, отмечается резкое и существенное (более чем на 1000 лет) “удревнение” РУ возраста псевдомицелия из гор. АВса, 50–60 см в разр. 9п/04, погребенном во второй четверти V в. н.э., по сравнению с аналогичными датами для разрезов более ранних сроков погребения в хроноряду. РУ возраст для псевдомицелия из гор. АВса современной почвы (разр. 8ф/04), если к измеренной РУ дате прибавить среднюю дату погребения палеочв в изученном хроноряду (1625 ± 25 лет), получается близким к РУ датам для карбонатов из аналогичных горизонтов палеопочв примерного рубежа IV–V –



**Рис. 5.** Радиуглеродный возраст гумуса в гор. А1(0–5 см) и карбонатных новообразований в гор. АВса (50–60 см) и Вса (100–110(120) см) в палеопочвах и современной почве объекта Брут 1. Для современного чернозема (разр. 8ф/04) на рисунке показаны измеренная РУ дата для карбонатов общей массы из гор. АВса и реконструированная (или приведенная к соответствующим датам карбонатов из погребенных почв) – нарисован белый прямоугольник, длина которого равна средней дате погребения палеопочв в хроноряду объекта Брут 1 (1625 ± 25 лет). Условные обозначения: 1 – разр. 13п/04, погребенный примерно на рубеже IV–V вв. н.э.; 2 – разр. 12п/04 и 3 – разр. 14п/04, погребенные в первой четверти V в. н. э.; 4 – разр. 9п/04, погребенный во второй четверти V в. н.э.; 5 – разр. 8ф/04 фоновой почвы. А – гумус, 0–5 см; Б – карбонаты общей массы из гор. АВса, 50–60 см; В – карбонаты общей массы из гор. Вса, 100–110 (120) см.

первой четверти V в. н.э. (разр. 13п/04, 12п/04, 14п/04, рис. 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании комплексного палеопочвенного анализа хроноряда Брут 1 нами ранее проведены реконструкции палеоклимата, позволившие заключить, что климатические условия интервала времени от примерного рубежа IV–V до середины V вв. н.э. в регионе можно охарактеризовать как начальный этап аридизации [19]. Рассмотрим изменения в карбонатном состоянии почв хроноряда, которые произошли за 50–75 лет – длительность интервала времени функционирования могольника Брут 1, на фоне усиливавшейся аридизации.

Наиболее заметные изменения связаны с верхней частью карбонатного профиля черноземов, где преобладает псевдомицелий. Происходит увеличение густоты и мощности сети псевдомицелиарных форм КНО в палеопочвах первой половины V в. н.э. по сравнению с палеопочвой примерного рубежа IV–V вв. н.э., видное на всех уровнях наблюдения (макро-, микро- и субмикроуровни), а также отражающееся в валовом содержании карбонатов в гор. АВса. Но если в палеопочвах, отнесенных к первой четверти V в. н.э., происходит лишь увеличение количества псевдомицелиарных КНО на макроуровне и игольчатого кальцита, видного при микро- и субмикронаблюдениях, то в палеопочвах второй четверти V в. н.э., изменения захватывают внутреннее строение и изотопный состав этих форм кальцита. При наблю-

дениях под электронным сканирующим микроскопом за КНО палеопочв второй четверти V в. н.э. видно, что игольчатый кальцит теряет свои ясные очертания, покрывается словно бы пленкой, вуалирующей его прежде четко кристаллические формы. В вещественном составе это выражается в увеличении доли примесей силикатной минеральной массы в игольчатом кальците и уменьшении этой доли и увеличении степени “карбонатности” колломорфной массы кальцита в КНО. “Завуалированный” игольчатый кальцит обогащается тяжелым изотопом углерода, а РУ возраст псевдомицелия резко и несоразмерно с датами погребения палеопочв в хроноряду увеличивается. Мы полагаем, что все эти изменения связаны подтягиванием карбонатов вверх в условиях усиливающегося иссушения климата.

Каким образом происходит это подтягивание? Традиционное представление – карбонаты подтягиваются вверх в истинных растворах в весенний сезон [1, 2, 8], и при значительной степени пересыщенности почвенного раствора, кальцит выпадает в твердую фазу в кристаллическом виде. Но это представление не объясняет полученных нами различий по морфологии, элементному составу и ИСУ выделенных фаз кальцита – колломорфной и кристаллической. Мы полагаем, что “четкость” и “карбонатность” игольчатых кристаллов кальцита в псевдомицелии может уменьшаться при осаждении на них колломорфной массы кальцита, выпадающей из коллоидных растворов, которые подтягиваются вверх по профилям почв при аридизации климата.

В работе Добровольского [4] почти полвека назад, уже высказано предположение, что передвижение карбонатов в почвенном профиле может происходить в коллоидных растворах. Все вещества в определенных условиях можно получить в коллоидном состоянии [21], поэтому физико-химических “запретов” на образование растворов с частицами кристаллов карбонатов коллоидных размеров не существует. Экспериментально подтверждено [23, 39, 40] образование в почве, находящейся в контакте с известью, Са-Si-гидрат-гелей (состав элементов соединения установлен анализатором, который не определял углерод) с небольшим количеством Al при повышенных температурах в упомянутых работах соединений напоминают коллоидную пленку карбонатной массы, которая наблюдается в наших исследованиях. В соответствии с этими экспериментами отмечаемое нами увеличение всякий раз при появлении коллоидной массы в ее составе элементов силикантой основы (в первую очередь, Si и Al) указывает на связь карбонатов и силикатов и заставляет полагать, что и передвигаются карбонаты вместе с силикатами в коллоидных растворах.

По данным Степанова [12, 13] для кристаллов карбоната кальция “по возрастанию степени пересыщения раствора (или скорости кристаллизации, что то же самое), морфология индивидов изменяется от крупных совершенных кристаллов (очень малая степень пересыщения) к мелким несовершенным кристаллам (средняя степень пересыщения), далее к игольчатым и скелетным кристаллам (высокая степень пересыщения), и, наконец, к суспензиям мелких скелетных кристаллов, возникающих при объемной кристаллизации (очень высокая степень пересыщения)”. Последний механизм, по сути, это и есть выпадение кристаллов СаСО<sub>3</sub> из коллоидных растворов (или суспензий, в которых взвешенные частицы имеют несколько больший размер, чем в истинных коллоидах), а внешний вид кристаллов кальцита, возникающих при этом, автором впервые был назван “коллоидной” [12].

Термин “коллоидная структура” заимствован почвоведением в геологии, где им обозначается “микроструктура руд, а также некоторых тонкодисперсных осадочных пород, выражающаяся в чередовании криволинейных, прихотливо изогнутых, нередко концентрических (округлых) полосок одного или нескольких рудных и нерудных минералов” на макроуровне наблюдения, а “образование коллоидной структуры объясняется выпадением вещества из коллоидных растворов, ритмической кристаллизацией из таких растворов и отчасти, может быть, замещением” [7]. Заметим, что даже в геологии нет тождества между понятиями “коллоидная морфологическая структура” и “аморфное состояние выпавшего

из раствора вещества”; первый термин используется для обозначения морфологии отвердевшей массы минерала или осадка и связывается с выпадением вещества из коллоидных растворов, в противопоставление термину “кристалломорфная структура”.

В почвоведении термин “коллоидная структура” впервые по отношению к карбонатам в почвах и почвообразующих породах Центрально-Черноземной области применен Добровольским [4, 5] без определения. Поэтому на основе опыта его использования в морфологических исследованиях в почвоведении можно отметить, что “коллоидная структура” – это термин чисто морфологический, обозначающий, что объект не имеет видимого кристаллического и вообще зернистого строения, а является собой сплошную однородную массу “застывшего киселя” на данном уровне наблюдения, в нашем случае – субмикроморфологическом. Этот термин не связан с реальной структурой вещества и не является синонимом терминов “коллоидный” или “аморфный” или “микрорекристаллический”. Объект, наблюдаемый под электронным микроскопом как коллоидный, может быть по структуре аморфным или кристаллическим – последнее можно доказать методами, которые выводят на характеристики, свойственные кристаллам, например, интерференционная окраска в шлифах или данные рентгенодиффрактометрии.

Отмечаемый нами на микроуровне кристаллический кальцит в изучаемых почвах дает при скрещенных николях слабую интерференционную окраску, поэтому можно говорить о кристаллическом строении кальцита, который при морфологических исследованиях на субмикроморфологическом уровне наблюдения обнаруживается в виде коллоидной массы. Это означает, что кристаллы кальцита имеют очень малые (коллоидные) размеры. Важно также отметить, что при введении термина “кристаллический кальцит” в практику микроморфологических исследований Парфенова, Ярилова [10] указали, что синонимом ему является термин “коллоиднозернистый” кальцит.

В недавних работах [14–16] на новом экспериментальном материале и с применением самых современных инструментальных методов довольно убедительно показано, что необходимо рассматривать поведение почв с точки зрения коллоидно-химической, а не физической модели, а почвенный раствор – как структурированную коллоидную систему. Авторы указанных работ прямо не рассматривают возможность передвижения карбонатов в коллоидном растворе, но по словам Г.Н. Федотова (устное сообщение) обнаруживаемый в почвах гумусовый студень может быть армирован любыми минеральными части-

цами коллоидных размеров, в том числе, и карбонатами.

Эти выводы, а также проведенный обзор литературы о возможности образования карбонатных частиц коллоидных размеров позволяют с уверенностью полагать, что передвижение карбонатов в почвенном профиле может происходить в коллоидных растворах, а колломорфная масса кальцита, которую мы наблюдаем практически во всех наших образцах на субмикроруровне, – следствие выпадения карбонатов из этих растворов.

Важное для понимания механизма образования КНО наблюдение было сделано при изучении их внутреннего строения, а также внутреннего строения несегрегированных карбонатов в парах образцов “КНО – несегрегированные карбонаты” из одних и тех же горизонтов почвы. Выявлено, что КНО на субмикроруровне наблюдения состоят из двух фаз – кристаллической (или кристалломорфной) и колломорфной (или скрытокристаллической), имеющих различный вещественный состав и ИСУ. Несегрегированные карбонаты, в которых преобладает скрытокристаллическая (колломорфная) масса кальцита, имеют более тяжелый ИСУ и менее “карбонатны”, чем четкие кристаллы кальцита в КНО. При этом, когда “четкость” кристаллов кальцита уменьшается, как это было выявлено для игольчатого кальцита в гор. АВса разр. 9п/04, уменьшается степень их “карбонатности” и утяжеляется ИСУ этих кристаллов. Мы предполагаем, что “четкость” и “карбонатность” игольчатых кристаллов кальцита в псевдомицелии может уменьшаться при воздействии колломорфной массы кальцита, выпадающей из коллоидных растворов, которые подтягиваются вверх по профилям почв при аридизации климата.

С этой же “вуалью” колломорфного кальцита связано, вероятно, и увеличение РУ возраста псевдомицелия в гор. АВса разр. 9п/04. Откуда берется колломорфный кальцит? Если предположить, что увеличение РУ возраста псевдомицелия в палеопочве второй четверти V в. н.э. произошло за счет передвижения из нижнего горизонта карбонатного материала КНО (например, белоглазки-пропитки), имеющих известный нам  $^{14}\text{C}$ -возраст, мы подсчитали, что должно было бы добавиться около 50% карбонатного материала с РУ возрастом около 7500–8000 л.н. (именно эти цифры получены нами для  $^{14}\text{C}$ -возраста карбонатов из гор. Вса) к валовому содержанию карбонатов в гор. АВса. На самом деле в палеопочвах второй четверти V в. н.э. содержание карбонатов в исследуемом гор. АВса увеличилось лишь на 15–17% от их валового содержания. Следовательно, должен был добавиться карбонатный материал, имевший больший возраст, чем РУ возраст белоглазки-пропитки из гор. Вса, 100–110(120) см.

Очевидно, это мог быть материал из более глубоких горизонтов. Увеличение содержания карбонатов на 15–17% от их валового содержания в гор. АВса палеопочвы второй четверти V в.н. э. может рассматриваться как максимум для добавившегося колломорфного кальцита, а реальная доля его могла быть тем меньше, чем он был древнее по  $^{14}\text{C}$ -возрасту.

Ранее исследователями РУ возраста педогенных карбонатов в аридных регионах мира было отмечено, что общее  $^{14}\text{C}$ , произведенное на любой глубине в почве, происходит из двух источников: от разложения органического вещества и дыхания живущих корней, а формирование педогенных карбонатов идет в равновесии с почвенным  $\text{CO}_2$ , который складывается из этих двух источников [22, 36]. Далее, нами было показано, что в аридные эпохи  $^{14}\text{C}$ -возраст карбонатов может значительно и незакономерно увеличиваться, как мы предположили, за счет “старого” углерода, попадающего в почвенный раствор за счет разложения гумуса, так как процесс дегумификации активно происходит в почвах степной зоны как раз эпохи усиления аридизации климата [20]. В результате проведенных исследований можно добавить к этим источникам и углерод карбонатов нижних горизонтов, который переносится к поверхности без обмена с почвенным  $\text{CO}_2$  в коллоидных растворах, следовательно, уже имеет довольно “древний” РУ возраст. При этом процесс “удревнения” РУ возраста таких подвижных, миграционных форм КНО, к которым относится псевдомицелий [8, 9], можно отнести к сравнительно быстрым процессам, может быть, даже реализующимся за сезон (несколько сезонов). Напомним, что в исследуемом хроноряду интервал времени между палеопочвой, в которой этого удревнения не наблюдается, и палеопочвой, в которой РУ возраст псевдомицелия скачкообразно увеличивается, не превышает 50 лет.

Почему мы считаем, что РУ возраст псевдомицелия не мог “удревниться” в почве второй четверти V в. н.э. рассматриваемого хроноряда за счет “старого” углерода, попадающего в почвенный раствор при разложении почвенного гумуса? Во-первых, возраст этого углерода должен был быть равным величинам порядка 10000 радиоуглеродных лет, а гумус даже самых нижних горизонтов гумусового профиля современных черноземов не имеет такого возраста. И, во-вторых, если не менялся механизм осаждения кальцита в псевдомицелии, и все время  $\text{CaCO}_3$  выпадал из истинного раствора, чем можно объяснить появление “вуали” на кальците, имеющей отличный от игольчатого кальцита морфологический облик, элементный состав и ИСУ?

Рассуждая о “судьбе” кальцита, принесенного в коллоидных растворах и осевшего в твердой

фазе в колломорфном виде, на примере псевдомицелия в почвах рассмотренного хроноряда можно предположить, что этот кальцит быстро подвергнется перекристаллизации в поверхностном гор. АВса под воздействием атмосферных осадков, и через довольно короткое время колломорфная масса, принесенная в коллоидном растворе, уже приобретет обычный кристалломорфный облик (игольчатый кальцит). И в разр. 9п/04, отнесенном ко второй четверти V в. н.э., нам “случайно” удалось застать колломорфный кальцит в его “свежем” виде, когда он был только принесен и перешел в твердую фазу из коллоидного раствора, не успев перекристаллизироваться и приобрести игольчатый вид. При перекристаллизации *in situ* колломорфный кальцит потеряет свой “древний” возраст по РУ за счет обмена с CO<sub>2</sub> атмосферных осадков и станет таким же, как и окружающий его игольчатый кальцит. В правдоподобности высказанного предположения нас убеждает тот факт, что подавляющее большинство РУ дат для псевдомицелия из гор. АВса палео- и современных почв хроноряда очень близки. Исключением является <sup>14</sup>C-дата именно того псевдомицелия, где наблюдается “вуаль” колломорфного кальцита (разр. 9п/04).

Вместе с тем, как свидетельствуют наблюдения, несегрегированный кальцит преимущественно представлен в почвенной массе в скрытокристаллическом (колломорфном) виде. Этот кальцит показывает различия как в ИСУ, так и в элементном составе с игольчатым кальцитом КНО. Очевидно, можно говорить о колломорфной и кристалломорфной фазах кальцита, присутствующих одновременно в почвенном горизонте, содержащем КНО, и находящихся преимущественно в несегрегированном и сегрегированном виде, соответственно.

Почему же несегрегированный кальцит находится в профиле в виде колломорфной, неокристаллизованной массы? По данным [9] формирование КНО происходит при просачивании и испарении растворов преимущественно по порам и пустотам. Тогда как несегрегированные карбонаты, локализующиеся в межтрещинном, межпоровом пространстве, очевидно, крайне редко испытывают влияние почвенных растворов – лишь при полном насыщении почвенного профиля влагой (например, при таянии снега весной или после ливней), а такое состояние почвы, вероятно, способствует проявлению коллоидных свойств почвенных растворов.

## ВЫВОДЫ

1. РУ возраст КНО формируется тремя потоками углерода в почвенном профиле: атмосферный (<sup>14</sup>C возраст этого углерода принимается равным нулю), углерод минерализованного гумуса (<sup>14</sup>C возраст этого углерода имеет возраст гумуса)

и углерод уже существующих долгое время в профиле “старых” карбонатов (<sup>14</sup>C возраст этого углерода имеет возраст карбонатов нижних горизонтов).

2. Получено еще одно доказательство корреляции удрежнения РУ возраста КНО в хронорядах подкурганных почв с аридизацией климата во второй половине голоцена в степной зоне России. Ранее было показано [20], что в эпохи усиления аридности климатических условий РУ возраст КНО черноземов “удрежняется”, в более влажные – “омолаживается”.

3. Карбонаты из нижних горизонтов, вероятно, в эпохи усиления аридизации могут подтягиваться вверх по профилю почвы в коллоидных растворах, что приводит к формированию “старых” по <sup>14</sup>C, хотя и новообразованных с точки зрения момента появления их в том или ином горизонте КНО.

4. Субмикроскопические исследования позволили обнаружить, а изотопно-геохимические методы – впервые охарактеризовать разные фазы кальцита, а именно, колломорфную и кристалломорфную (кристаллическую), как в КНО, так и в парах образцов “КНО-несегрегированные карбонаты”, отобранных из одних и тех же горизонтов. Колломорфная масса кальцита имеет определенные элементный состав и ИСУ, отличающиеся от таковых для кристалломорфной, что однозначно указывает на различия механизма их формирования – из коллоидных и истинных растворов, соответственно. Предлагаем считать наличие колломорфного кальцита в составе педогенных карбонатов индикатором осаждения его из коллоидных растворов.

5. Колломорфный кальцит в КНО поверхностных горизонтов, возможно, довольно быстро перекристаллизуется. Тогда как несегрегированный кальцит обнаруживается в карбонатном горизонте преимущественно в колломорфном виде. Несегрегированный кальцит локализован в горизонте в межпоровом, межтрещинном пространстве, тогда как КНО – на стыках граней структурных отделенностей, в порах, пустотах, что обеспечивает возможность для реализации различных механизмов образования этих двух форм карбонатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Е.А. Солевой профиль черноземов и пути его формирования // Черноземы СССР. М.: Колос, 1974. Т. 1. С. 145–156.
2. Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 223 с.
3. Артемьева З.С. Состав белоглазки черноземов теплой фации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. 1986. № 3. С. 55–56.

4. Добровольский В.В. Карбонатные стяжения в почвах и почвообразующих породах Центрально-черноземной области // Почвоведение. 1956. № 5. С. 31–42.
5. Добровольский В.В. Минералогия карбонатных стяжений из четвертичных суглинков // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1955. Ч. LXXXIV. № 2. С. 198–209.
6. Добровольский В.В. Элементы-примеси в карбонатных конкрециях из четвертичных отложений аридной зоны // Доклады АН СССР. 1959. Т. 126. № 2. С. 382–384.
7. Критский В.В., Четвериков С.Д. Краткий курс минералогии и петрографии с начальными сведениями по кристаллографии. Издание седьмое, переработанное и дополненное. М.: Углетехиздат, 1955. 435 с.
8. Лебедева И.И., Овечкин С.В. Карбонатные новообразования в черноземах Левобережной Украины // Почвоведение. 1975. № 11. С. 14–30.
9. Овечкин С.В. Генезис и минералогический состав карбонатных новообразований черноземов Левобережной Украины и Заволжья // Почвы и почвенный покров лесной и степной зон СССР и их рациональное использование. М., 1984. С. 184–189.
10. Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. М.: Наука, 1977. 292 с.
11. Соколова Т.А., Кулагина Е.К., Павлов В.Н., Царевский В.В. Опыт комплексного изучения почвенных карбонатов // Современные физические и химические методы исследования почв. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 171–194.
12. Степанов В.И. Об образовании так называемых “колломорфных” агрегатов // Онтогенетические методы в исследовании минералов. М.: Наука, 1970. С. 198–206.
13. Степанов В.И. Структуры и текстуры минеральных агрегатов, образующихся в свободном пространстве пустот // Спелеология в России, вып. 1. М.: Недра, 1998. С. 70–91.
14. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В. Коллоидно-химическая модель для описания некоторых почвенных процессов // Почвоведение. 2006. № 5. С. 535–545.
15. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Путляев В.И., Гаршев А.В., Иванов В.К., Пахомов Е.И. Гелевые структуры в почвах // Почвоведение. 2006. № 7. С. 824–835.
16. Федотов Г.Н., Поздняков А.И., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. Органо-минеральные гели в почвах: экспериментальные факты и гипотезы // Почвоведение. 2004. № 6. С. 691–696.
17. Хохлова О.С., Кузнецова А.М. Морфология карбонатных новообразований при смене условий среды в почвах сухостепной зоны Южного Приуралья // Почвоведение. 2002. № 11. С. 1371–1379.
18. Хохлова О.С., Олейник С.А., Ковалевская И.С. Отличия диагенетических и эпигенетических типоморфных карбонатных аккумуляций в голоценовых погребенных почвах черноземной зоны // Почвоведение. 2000. № 1. С. 28–37.
19. Хохлова О.С., Хохлов А.А., Олейник С.А., Габурев Т.А., Малашев В.Ю. Особенности палеопочв курганных могильников, вовлеченных в современное землепользование (на примере курганов ранних алан на Северном Кавказе) // Почвоведение. 2007. № 10. С. 1179–1189.
20. Хохлова О.С., Хохлов А.А., Чичагова О.А., Моргунова Н.Л. Радиоуглеродное датирование карбонатных аккумуляций в почвах голоценового хроноряда степного Приуралья // Почвоведение. 2004. № 10. С. 1163–1178.
21. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1936. 671 с.
22. Amundson R., Wang Y., Chadwick O., Trumbore S., McFadden L., McDonald E., Wells S., DeNiro M. Factors and processes governing the <sup>14</sup>C content of carbonate in desert soils // Earth and Planetary Science Letters. 1994. V. 125. P. 385–405.
23. Arabi M. and Wild S. Microstructural development in cured soil lime composites // J. of Materials Science. 1986. V. 21. P. 477–503.
24. Becze-Deak J., Langohr R., Verrecchia E.P. Small scale secondary CaCO<sub>3</sub> accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction // Geoderma. 1997. V. 76. P. 221–252.
25. Bockheim J.G. and Douglass D.C. Origin and significance of calcium carbonate in soils of southwestern Patagonia // Geoderma. 2006. V. 136. № 3–4. P. 751–762.
26. Drees L.R. and Wilding L.P. Micromorphic record and interpretations of carbonate forms in the Rolling Plains of Texas // Geoderma. 1987. V. 40. P. 157–175.
27. Gile L., Peterson F., Grossman R. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils // Soil Science. 1966. V. 101. P. 347–360.
28. Houman B. Morphology, distribution and environmental significance of pedogenic carbonates in relict soils of Tunisia // Global climate change and pedogenic carbonates/Eds. Lal R. et al. Lewis Publishers, 2000. P. 225–240.
29. Kemp R.A. Distribution and genesis of calcitic pedofeatures within a rapidly aggrading loess-paleosol sequence in China // Geoderma. 1995. V. 65. P. 303–316.
30. Khokhlova O.S., Sedov S.N., Golyeva A.A., and Khokhlov A.A. Evolution of Chernozems in the Northern Caucasus, Russia during the second half of the Holocene: carbonate status of paleosols as a tool for paleoenvironmental reconstruction // Geoderma. 2001. V. 104. P. 115–133.
31. Khormali F., Abtahi A., and Stoops G. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran // Geoderma. 2006. V. 132. № 1–2. P. 31–46.
32. Landi A., Mermut A.R. and Anderson D.W. Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada // Geoderma. 2003. V. 117. P. 143–156.
33. Manchanda M.L., Ahuja R.L., Khanna S.S. Genesis of calcium carbonate nodules in soils of Haryana // J. Indian Soc. Soil. Sci. 1984. V. 32. P. 334–338.
34. Pal D.K., Dasog G.S., Vadivelu R.L., Ahuja R.L. and Bhattacharyya T. Secondary calcium carbonate in soils

- of arid and semi-arid regions of India // Global climate change and pedogenic carbonates / Ed. by R. Lal et al. Lewis Publishers, 2000. P. 149–186.
35. *Srivastava P.* Paleoclimatic implications of pedogenic carbonates in Holocene soils of the Gangetic Plains, India // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2001. V. 172. Iss. 3–4. P. 207–222.
36. *Wang Y., Amundson R. and Trumbore S.* A model for soil  $^{14}\text{C}$  and its implications for using  $^{14}\text{C}$  to date pedogenic carbonate // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1994. V. 58. P. 393–399.
37. *West L.T., Wilding L.P., Hallmark C.T.* Calciustolls in central Texas: II. Genesis of calcic and petrocalcic horizons // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1988. V. 52. P. 1731–1740.
38. *Wieder M. and Yaalon D.H.* Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics // *Geoderma*. 1982. V. 28. P. 203–220.
39. *Wild S., Arabi M., and Leng-Ward G.* Soil-lime reaction and microstructural development at elevated temperatures // *Clay Minerals*. 1986. V. 21. P. 279–292.
40. *Wild S., Arabi M., and Ward G. L.* Fabric development in lime treated clay soils // *Ground Engineering*. 1989. V. 22. P. 35–37.

## Transformation of Carbonate Concentrations in Paleosols Buried under Kurgans in the North Caucasus Region

O. S. Khokhlova, A. A. Khokhlov, O. A. Chichagova, A. M. Kuznetsova, and S. A. Oleinik

Carbonate concentrations in a chronosequence of paleosols buried under kurgans in the North Caucasus region from the end of the fourth century BC to the first half of the fifth century AD have been studied with the use of a set of morphological and isotopic methods. It is demonstrated that morphologically different phases of calcite – the collomorphic phase and the crystalline phase – in carbonate pedofeatures (calcareous pseudomycelium) and in the calcareous horizon have different elemental compositions and different isotopic compositions of carbon. Hence, these forms of calcite should have different origins. An addition of colloidal carbonates migrating in solutions from the lower soil horizons to the soil surface during the periods of climatic aridization to the acicular calcite may be responsible for a sharp and irregular increase in the radiocarbon age of the newly formed carbonate pseudomycelium.