

УДК 551.89 + 631.4 (571.5)

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ И УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ В ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ И ГОЛОЦЕНОВЫХ ПОЧВАХ ВЕРХНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

В. А. Голубцов^{1,*}, А. А. Черкашина¹, член-корреспондент РАН В. А. Снытко¹

Приводятся первые данные о возрасте карбонатных натёков в почвах Верхнего Приангарья. На основании изучения условий залегания, морфологии, вещественного и изотопного состава выделены три группы карбонатных кутан. Прямое ¹⁴C AMS-датирование микрослоёв натёков позволило определить интервалы их формирования. Кутаны первой группы формировались в среднем голоцене (3,6–3,3 тыс. кал. л.н.). Формирование новообразований второй и третьей групп проходило во второй половине MIS-3 (24,1–23,3 и ~34–35 тыс. кал. л.н., соответственно). Палеоэкологические условия, реконструируемые для выявленных стадий формирования карбонатных кутан, удовлетворительно коррелируют с общим ходом климатических изменений в регионе и Северном полушарии в целом, отражая влияние колебаний тепло- и влагообеспеченности на динамику процессов почвообразования. Сравнение возраста новообразований с возрастом вмещающих их современных и погребённых почв показывает, что педогенные карбонатные кутаны в почвах Верхнего Приангарья являются реликтовым признаком предшествующих эпох педогенеза (MIS-3) и первых этапов современного почвообразования, начавшегося, по-видимому, в среднем голоцене. Близкие соотношения состава стабильных изотопов углерода и кислорода в среднеголоценовых и позднекаргинских (MIS-3) кутанах дают основание предполагать сходство условий педогенеза в этих временных интервалах, связанное, прежде всего, с невысокой теплообеспеченностью и длительностью нахождения почв в сезонно-мёрзлом состоянии.

Ключевые слова: педогенные карбонатные новообразования, карбонатные кутаны, палеопочвы, стабильные изотопы углерода и кислорода, ¹⁴C-AMS датирование.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524866727-732>

Педогенные карбонаты являются основным резервуаром почвенного неорганического углерода, который играет значимую роль в углеродном обмене между почвой и атмосферой и оказывает влияние на глобальные климатические процессы [1]. Это определяет актуальность изучения условий образования и пространственно-временной динамики карбонатов в почвах.

Первостепенное значение при этом имеют карбонатные новообразования – устойчивые эволюционно-генетические формы, поддающиеся датированию методами абсолютной геохронологии. Особенно перспективны стратифицированные кутаны (натёки), содержащие информацию о характере и интенсивности процессов почвообразования, а также об определяющих эти процессы условиях среды и их временной динамике [1–5]. Абсолютный возраст таких новообразований надёжно определяется различными методами [1, 2, 5]. Однако примеры прямого послойного датирования педогенных кутан ограничены, а применительно к почвам Верхнего Приангарья отсутствуют. Восстановлению этого пробела посвящено данное сообщение.

В основу полученных выводов легли результаты исследований разрезов, вскрывающих отложения террас и коренных бортов долины реки Белой (рис. 1). Изучены разновозрастные почвы, а также сформированные в них вторичные карбонаты. Состав стабильных изотопов углерода и кислорода карбонатов определён с использованием масс-спектрометра “Thermo Finnigan” MAT 253. Результаты изотопных измерений выражены по отношению к стандарту PDB. ¹⁴C AMS-датирование слоёв кутан, маркирующих смены этапов педогенеза, выполнено с использованием системы MICADAS в лаборатории Klaus Tschira Archäometrie Zentrum (Манхайм, Германия). Определение абсолютного возраста погребённых почв выполнено радиоуглеродным методом со сцинтилляционным измерением активности ¹⁴C в Санкт-Петербургском государственном университете по углероду гуминовых кислот. Далее в тексте приводится и используется календарный возраст.

В разрезах изучено строение чернозёмов глинисто-иллювиальных (Luvic Chernozems), сформированных на карбонатных лёссовидных суглинках, подстилающихся разновозрастными аллювиальными образованиями (рис. 2). Карбонатный профиль почв характеризуется резкой верхней границей, залегающей на глубине 70–100 см. Ниже отмечается максимальное содержание карбонатов. В среднем мощ-

¹ Институт географии Сибирского Отделения Российской Академии наук, Иркутск

* E-mail: tea_88@inbox.ru

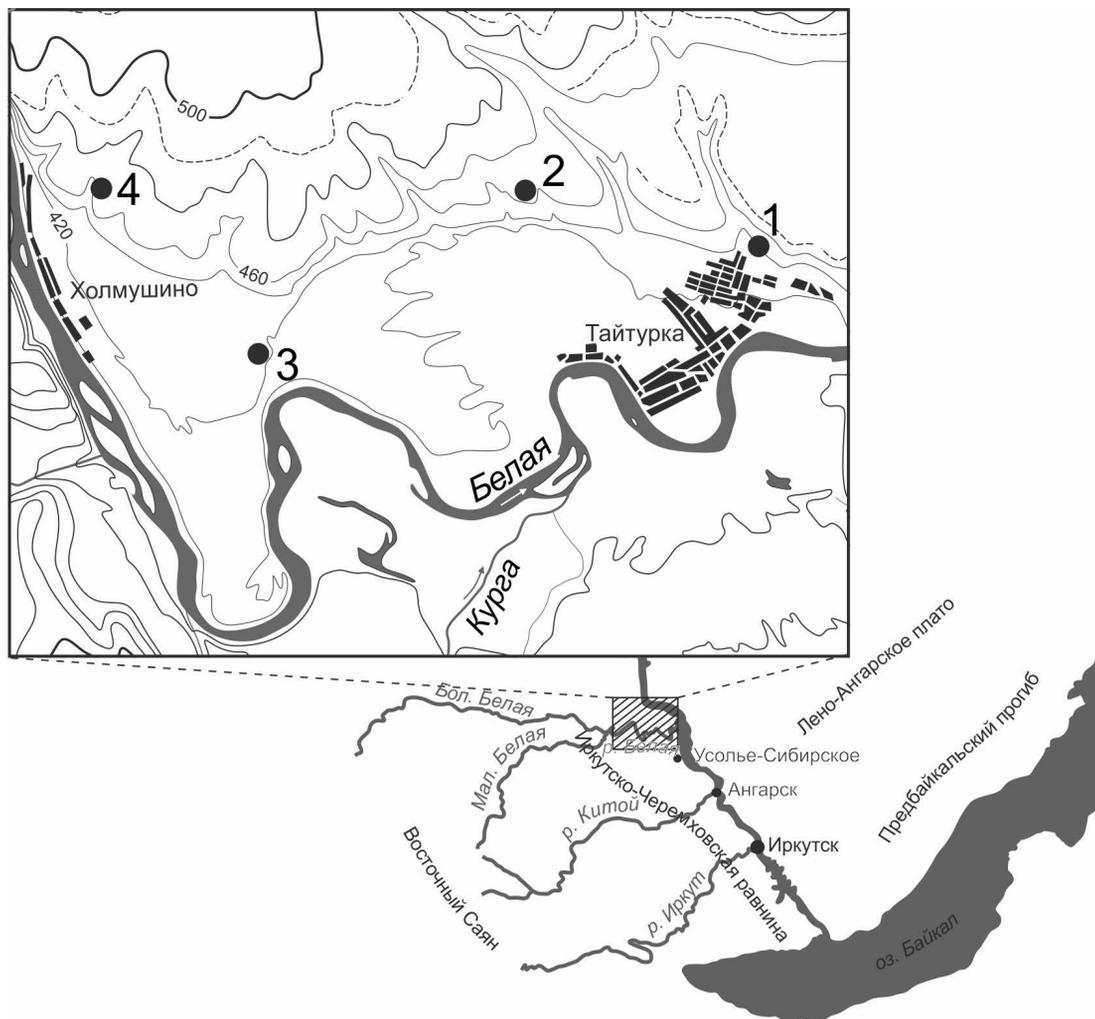


Рис. 1. Район исследований и положение разрезов: 1 – Тайтурка-I; 2 – Тайтурка-II; 3 – Березовый; 4 – Осиновый.

ность горизонта их аккумуляции составляет 50 см. Натёки обнаружены в пределах аккумулятивно-карбонатного горизонта современных почв и на более древних уровнях педогенеза. Во всех случаях они локализируются на нижних поверхностях галечниковых включений, что свидетельствует о формировании кутан в процессе выщелачивания карбонатов из вышележащих отложений.

В разрезе Березовый карбонатные кутаны сформированы на галечниках, залегающих под педоседиментами возрастом $27\,990 \pm 330$ кал. л.н. В разрезе Тайтурка-I нижняя граница распространения новообразований совпадает с уровнем залегания дериватов палеопочвы, по гумусу которой получена дата $31\,570 \pm 1840$ кал. л.н. В разрезе Тайтурка-II кутаны обнаружены в гравийно-галечниковых слоях под педоседиментами почвы, сформировавшейся, вероятно, в финале каргинского времени (MIS-3) (см. рис. 2).

Исследуемые карбонатные новообразования объединены в три группы на основании различий в мор-

фологии, изотопном составе и условиях залегания. В центральной части разрезов, отвечающей MIS-3, сформированы кутаны третьей группы. Выше залегают новообразования второй группы, обнаруженные в разрезах Тайтурка-I и Тайтурка-II. Карбонатные кутаны первой группы, сформированы в пределах аккумулятивно-карбонатного горизонта современных почв (см. рис. 2). Строение новообразований первой группы позволяет выделить два основных этапа в их формировании. В течение первого этапа сформировались внутренние слои натёков. Повышенное содержание в них органического вещества и железа свидетельствует об активном иллювиировании гумуса в аккумулятивно-карбонатный горизонт и Al-Fe-гумусовом процессе в холодных гумидных условиях. Возраст описываемых слоев кутан (3,6 тыс. кал. л.н.), соответствует влажной холодной фазе развития педогенных натёков (3,7 тыс. кал. л.н.) в криоаридных почвах Тувы [4]. Формирование внешних слоев новообразований (второй этап) завершилось 3,3 тыс. кал. л.н. и про-

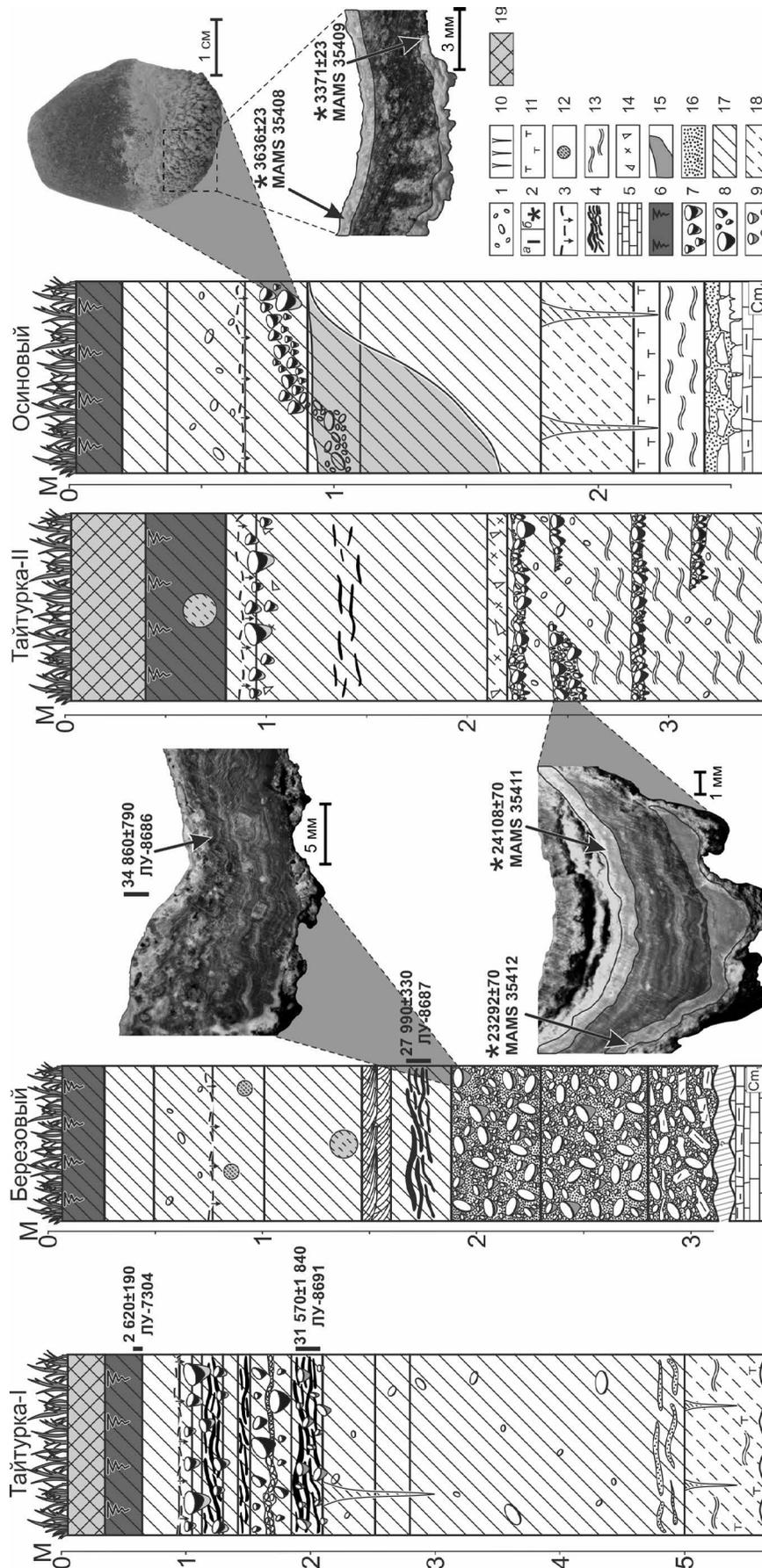


Рис. 2. Стреление исследуемых разрезов и карбонатных новообразований и их абсолютный возраст. Условные обозначения: 1 – галечниковые включения; 2 – радиоуглеродный возраст, определённый стандартным методом (а) и ^{14}C AMS (б); 3 – верхняя граница карбонатного профиля; 4 – педосидименты; 5 – коренные породы; 6 – гумусовые горизонты современных почв; 7–9 – карбонатные кутаны первой, второй и третьей групп, соответственно; 10 – криотенные клинья; 11 – прослой торфа; 12 – кротовины; 13 – глинистые прослой; 14 – включения дресвы и щебня; 15 – погрёбённая эрозийная форма; 16 – пески; 17 – суглинки; 18 – супеси; 19 – антропогенные отложения.

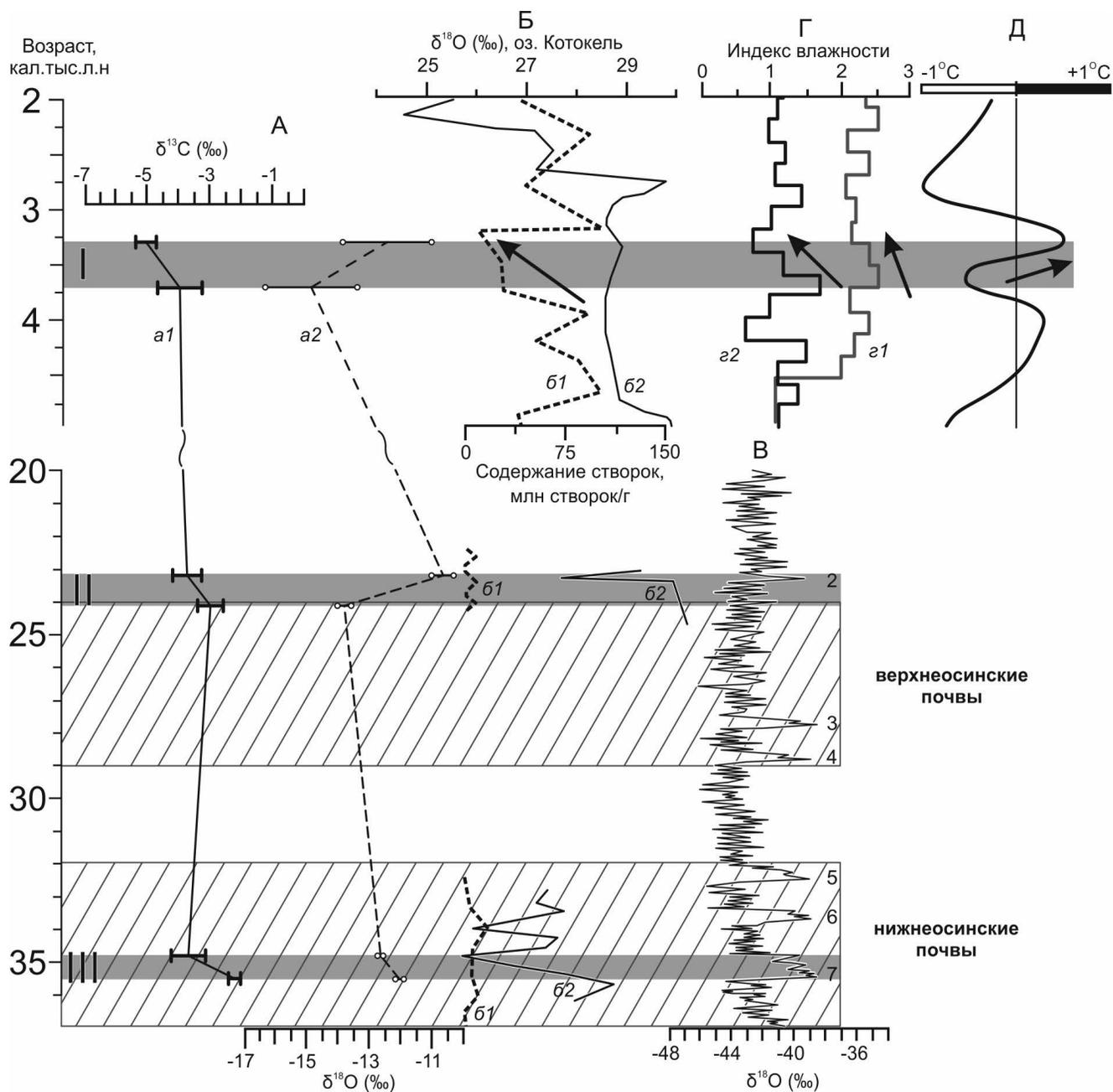


Рис. 3. Сопоставление этапов формирования новообразований с региональными и глобальными палеоклиматическими записями. А – состав стабильных изотопов углерода (a1) и кислорода (a2) педогенных карбонатных кутан; Б – содержание створок диатомовых водорослей (b1) и их изотопно-кислородный состав (b2) в донных осадках оз. Котокель [7]; В – изотопно-кислородная шкала NGRIP как показатель температур воздуха Северного полушария (цифрами показаны положительные сдвиги в осцилляциях Дансгора-Эшгера) [13]; Г – динамика увлажнения в северной части Монголии (r1) и Байкальском регионе (r2) [8]; Д – динамика условий теплообеспеченности в Прибайкалье [6]. Римскими цифрами в левой части обозначены группы кутан и интервалы их формирования.

текало в ходе вторичного иллювиального перераспределения карбонатов в относительно сухих климатических условиях. Кристаллизация материала кутан проходила из высоконасыщенных карбонатами растворов. Об этом свидетельствуют малые размеры слагающих натёки кристаллов, отсутствие признаков их травления и растворения. Высокое

содержание CaCO_3 могло стать следствием роста температур, проявившегося в уменьшении растворимости CO_2 и росте его концентрации в почвенном воздухе в результате усиления биологической активности. В таких условиях скорости формирования педогенных карбонатов значительно возрастают [1]. Аридизация климата на данном этапе подтверждает

ется также характером изменений состава стабильных изотопов углерода и кислорода в слоях кутан. Значения $\delta^{13}\text{C}$ уменьшаются во внешних слоях по отношению к внутренним, в то время как величины $\delta^{18}\text{O}$ в более молодых слоях натёков возрастают, что свидетельствует о постепенном обогащении локальных атмосферных осадков ^{18}O [3]. Подобные изменения были вызваны возрастанием среднегодовых температур и аридизацией, что фиксируется в это время также по педолитологическим данным [6], снижению содержания диатомей в осадках оз. Котокель и утяжелению их изотопно-кислородного состава [7], динамике увлажнения в Байкальском регионе и на прилегающих территориях [8] (рис. 3).

Сравнение возраста карбонатных кутан первой группы (3,6–3,3 тыс. кал. л.н.) с возрастом гуминовых кислот из подошвы гумусового горизонта почв (2,6 тыс. кал. л.н.) указывает на формирование натёков на начальных стадиях современного педогенеза. Данный вывод основан на допущении о том, что зрелый профиль чернозёма формируется в течение 3 тыс. лет [9] и возможности омоложения возраста органического вещества в ходе углеродного обмена в биологическом круговороте [10]. Продолжительность формирования кутан первой группы оценивается в 300 лет. Они представляют собой реликтовые признаки, записавшие условия начальных стадий формирования современных чернозёмов исследуемой территории. Подобные признаки критически важны при изучении эволюции полноразвитых полигенетичных почв в силу стирания со временем информации о начальных фазах педогенеза [11]. Важны они и с точки зрения антропогенной нарушенности современных почв, которая зачастую не позволяет реконструировать условия их формирования в прошлом.

Строение и вещественный состав натёков второй и третьей групп, обнаруженных в разрезах Тайтурка-I и Тайтурка-II (см. рис. 2), сходны. Кутаны второй группы сформированы в интервале 24,1–23,3 тыс. кал. л.н., тогда как натёки третьей группы более древние. Возраст внутренних слоёв, описываемых новообразований оценивается в $34\,860 \pm 790$ кал. лет. Хронологически формирование кутан второй и третьей групп соотносится с двумя региональными уровнями почвообразования (нижнеосинским и верхнеосинским) [12], повышением численности диатомей в донных осадках оз. Котокель, сопровождающимся утяжелением их изотопно-кислородного состава, 36–32 тыс. кал. л.н. и в течение MIS-2 [7]. Перечисленные этапы коррелируют с кратковременными интервалами в осцилляциях Дансгора–

Эшгера (2 и 7), отражающими рост средней температуры воздуха в Северном полушарии [13] (см. рис. 3).

Соотношение состава стабильных изотопов углерода и кислорода в кутанах, сформированных в финале среднего голоцена и в позднекаргинское время (MIS-3), довольно близко. Это дает основание предполагать сходство условий педогенеза в этих временных интервалах, связанное, прежде всего, с невысокой теплообеспеченностью и длительностью нахождения почв в сезонно-мёрзлом состоянии.

Анализ состава стабильных изотопов углерода и кислорода и прямое ^{14}C AMS-датирование микрослоёв карбонатных кутан в почвах Верхнего Приангарья позволили установить приуроченность их формирования к фазам потепления и аридизации, проявившимся как в регионе, так и в Северном полушарии 3,6–3,3; 24,1–23,3 и ~34–35 тыс. кал. л.н. На основании послойного исследования кутан впервые определена динамика условий почвообразования в этих коротких временных интервалах, обусловленная климатическими флуктуациями позднего неоплейстоцена и голоцена. Полученные результаты важны для детализации ландшафтно-климатических изменений Байкальского региона и сопредельных территорий и позволяют с новых позиций оценить отклик почв на данные изменения.

Благодарности. Авторы благодарят д.г.н. Е.В. Безрукову и академика РАН М.И. Кузьмина за ценные замечания.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках программы НИР Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (№ IX.127.2) при поддержке РФФИ (проект № 17-04-00092).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y.* // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 157. P. 1–17.
2. *Oerter E.J., Sharp W.D., Oster J.L., et al.* // Proc. of the Nat. Academy of Sciences. 2016. Vol. 113 (4). P. 919–924.
3. *Голубцов В.А., Черкашина А.А., Пустовойтов К.Е. и др.* // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1215–1227.
4. *Бронникова М.А., Коноплиникова Ю.В., Агамова А.Р. и др.* // Почвоведение. 2017. № 2. С. 158–175.
5. *Pustovoytov K., Schmidt K., Taubald H.* // Quaternary Research. 2007. Vol. 67. P. 315–327.
6. *Воробьева Г.А.* В кн.: Байкал – природная лаборатория для исследования изменений окружающей среды и климата. Иркутск: ЛИСНА, 1994. Т. 2. С. 54–55.
7. *Кострова С.С., Майер Х., Тарасов П.Е. и др.* // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 8. С. 1571–1580.

8. Wang W., Feng Z. // *Earth-Science Reviews*. 2013. Vol. 122. P. 38–57.
9. Александровский А.Л. В кн.: *Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий*. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 75–105.
10. Alexandrovskiy A.L., Chichagova O.A. // *Catena*. 1998. Vol. 34. P. 197–207.
11. Таргульян В.О. В кн.: *Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий*. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 24–57.
12. Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е., Липнина Е.А. и др. // *Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры*. 2015. № 4. С. 58–71.
13. Svensson A., Andersen K., Bigler M. et al. // *Climate of the Past*. 2008. Vol. 4. P. 47–57.

FIRST DATA ON THE AGE AND FORMATION CONDITIONS OF SECONDARY CARBONATE ACCUMULATIONS IN UPPER PLEISTOCENE AND HOLOCENE SOILS OF UPPER ANGARA REGION

V. A. Golubtsov, A. A. Cherkashina, Corresponding Member of the RAS V. A. Snytko

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Received August 28, 2018

The first data on the age of secondary carbonate pendants in the soils of the Upper Angara region are given. Based on the study of the conditions of occurrence, morphology, material and isotopic composition, three groups of carbonate kutans were identified. The direct ^{14}C AMS dating of the coatings microlayers allowed to determine intervals of their formation. Pendants of the first group were formed in the middle Holocene (3.6–3.3 kyr BP). The formation of coatings of the second and third groups took place in the second half of MIS-3 (24.1–23.3 and ~34–35 kyr BP, respectively). The paleoecological conditions reconstructed for the identified stages of the formation of carbonate pendants satisfactorily correlate with the climate changes in the region and the northern hemisphere as a whole, reflecting the influence of temperature and moisture fluctuations on the dynamics of soil formation processes. Comparison of the age of carbonate accumulations with the age of modern and buried soils shows that pedogenic carbonate coatings in the soils of the Upper Angara region are a relict features of previous stages of pedogenesis (MIS-3) and the first stages of modern soil formation, which began, apparently, in the middle Holocene. The close ratios of the composition of stable carbon and oxygen isotopes in mid-Holocene and Late Kargin (MIS-3) coatings suggest that there is a similarity of pedogenesis conditions in these time intervals, primarily due to the relatively low temperature of pedogenesis and the duration of the seasonally frozen of soils.

Keywords: secondary carbonate accumulations, carbonate coatings, palaeosols, stable carbon and oxygen isotopes, ^{14}C AMS-dating.