

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.417

doi: 10.17223/19988591/36/1

О.А. Некрасова¹, М.И. Дергачева², А.П. Учаев¹, Н.Л. Бажина²

*¹Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Сарыкульские палеопочвы отложений Миасского карьера (Южный Урал) с позиций палеопедологии

Данные исследования в Уральском федеральном университете поддержаны программой повышения конкурентоспособности (SC 02.A03.21.0006).

Изучены морфологические характеристики, особенности состава и свойств минеральной и органической частей Сарыкульских палеопочв в отложениях карьера Миасс на Южном Урале. Проведена диагностика экологических условий формирования палеопочв с использованием показателей группового состава гумуса и особенностей состава и строения их гуминовых кислот, а также данных гранулометрического состава почв, содержания общего органического углерода, магнитной восприимчивости, содержания карбонатов и аморфного железа. Установлено, что палеопочвы на границе раннего–среднего плейстоцена в пределах территории распространения современной лесной зоны Южного Урала формировались в условиях, аналогичных современной лесостепи. Выявленные с позиций палеопедологии специфические особенности Сарыкульских палеопочв Южного Урала позволят в дальнейшем встроить их в систему разновозрастных почв Урала.

Ключевые слова: палеоприродная среда; плейстоцен; гумусовые профили; гуминовые кислоты.

Введение

Изучение древних почв необходимо для реконструкции ретроспективных трендов изменений климата, проблема состояния которого остается на сегодня одной из самых актуальных. Данная проблема требует привлечения региональных материалов, обобщение которых в конечном итоге будет способствовать выявлению естественной и антропогенной составляющих глобального изменения климата. Одним из регионов, выделяющихся специфичностью природных условий формирования почв в плейстоцене, является Урал, который представляет собой своеобразную меридионально

ориентированную горную страну, выступающую в качестве климатического барьера. В связи с этим плейстоценовые почвы Южного Урала являются интересным объектом с позиций диагностики условий их формирования. Использование палеопочв этого геологического времени в качестве источника информации о природной среде их формирования в мировой литературе распространено достаточно широко. Чаще всего исследователи изучают морфологические, литологические и магнитные характеристики отложений [1–4]. Как правило, рассматриваются такие палеопочвенные показатели, как макро- и микроморфология, гранулометрический состав, величина магнитной восприимчивости, содержание и состав органического вещества, карбонатов и железа, а также другие характеристики [5–13]. Изучению органической составляющей плейстоценовых палеопочв уделяется меньше внимания, хотя показано, что гумусовые вещества имеют специфичный состав, отвечающий условиям формирования палеопочв, который сохраняется во времени [14–17]. Слабое влияние возраста палеопочв на состав гуминовых и фульвокислот отмечалось также в работе [18]. Гуминовые кислоты и их соотношение с другими компонентами гумуса сохраняются в диагенезе, их показатели, как правило, не выходят за типовые особенности, присущие соответствующим типам почв [15]. Таким образом, при диагностике и реконструкции палеоприродной среды могут применяться устойчивые во времени характеристики гумуса и его компонентов. Для Уральского региона уже есть рецентные материалы, которые позволяют воссоздать особенности палеоприродной среды плейстоцена, используя метод актуализма [19–23].

На Южном Урале в последние годы начато изучение палеопочв, венчающих Сарыкульскую свиту, приуроченных к границе между нижним и средним плейстоценом [24]. Они были вскрыты несколькими разрезами в отложениях бортов Миасского карьера. Полученные новые данные явились побудительным мотивом, чтобы вернуться к поднятой нами ранее проблеме [25].

Цель настоящей публикации: показать своеобразие Сарыкульских палеопочв Южного Урала с позиций палеопедологии для дальнейшего встраивания их в систему разновозрастных почв Урала.

Материалы и методики исследования

Объекты исследований – палеопочвы отложений, вскрытых разрезами в бортах Миасского карьера на Южном Урале. Административно карьер находится в Челябинской области (55°04'38" с.ш., 60°07'47" в.д.). Он приурочен к провинции восточных предгорий Уральского хребта, Кундравинско-Учалинскому району сосново-березовых лесов сосново-лесной зоны Урала [26]. Абсолютная высота лежит в пределах 376–380 м над ур. м. Среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляет +1,8°C, средняя температура января колеблется около –16,2°C, июля – +18,8°C. За год выпадает около 560 мм осадков [27]. Глубина снежного покрова не превышает

60–90 см, глубина промерзания почв варьирует от 50 до 80 см. Таким образом, современные континентальные климатические условия способствуют формированию на изучаемой предгорной территории лесных сообществ.

Палеопочвы, перекрывающие Сарыкульский горизонт, близки по морфологии, поэтому на данном этапе аналитическим исследованиям подвергнуты палеопочвы двух разрезов (2-013 и 9-014), для которых определены основные физико-химические характеристики, а также состав, соотношение гумусовых веществ и их спектральные свойства. Сарыкульские палеопочвы, приуроченные к подошве двадцатиметровых вскрытых карьером отложений, представляющих собой делювиальные суглинки хлорит-серицит-кварцевых сланцев [24], в момент отбора образцов были перекрыты сверху суглинками мощностью до 210 см.

Образцы палеопочв отбирались с учетом границ генетических горизонтов сплошной колонкой с шагом не более 5–10 см. Удельная магнитная восприимчивость (МВ) определялась на каппаметре Карраbrig KLY-2 (Чехословакия). Гранулометрический состав изучался пипеточным методом, актуальная кислотность – с использованием рН-метра «Анион 4100» (Россия), карбонаты – ацидиметрически, обменные кальций и магний – по Иванову [28–30]. Общий органический углерод определен по Тюрину, состав гумуса – по Пономаревой–Плотниковой (модификация метода 1968 г.) [31]. Гуминовые кислоты (ГК) выделялись 0,1н NaOH из предварительно декальцированных палеопочв и осаждались из щелочных растворов 2н HCl, повторно растворялись в щелочи и переосаждались. Традиционной жесткой очистки препаратов гуминовых кислот 6н HCl или смесью HF и HCl не проводилось. Элементный состав гуминовых кислот определялся на автоматическом элементном CHNS-О анализаторе EURO EA-3000 (Италия) и дублировался по Преглю. Спектральные характеристики гуминовых кислот получены с помощью спектрофотометра UV-1650 (Япония) и флуоресцентного спектрофотометра Cary Eclipse (США). Коэффициенты цветности ($E_4:E_6$) определялись по Вельте [32]. Для количественной характеристики флуоресцентных свойств гуминовых кислот использовали три показателя: длина волны положения максимума спектра (λ_{\max}), первый момент (M_1), представляющий собой средневзвешенное значение частоты контура флуоресценции, и коэффициент (α) – соотношение интегральных интенсивностей при длинах волн в областях максимальной интенсивности флуоресценции в синей и красной частях спектра. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы StatSoft STATISTICA 8.0.

Результаты исследования и обсуждение

Морфологически в Сарыкульских палеопочвах выделяется хорошо развитый горизонт [А] и меньшей мощности горизонт [В]. Каждый из этих горизонтов имеет близкие характеристики в рассматриваемых почвах. Зачист-

ка 2-013 вскрывает палеопочву общей мощностью 90 см, в которой четко выделяются два горизонта [А] и [В].

Горизонт [А] (0–69(72) см) имеет темно-серую окраску; это плотный, непрочной пластинчато-комковатой структуры, суглинистого гранулометрического состава, с присутствием карбонатного псевдомицелия и Fe-Mn призмами, вскипающий от 10% HCl горизонт, нижняя граница которого имеет волнистый характер и ясный по окраске переход в горизонт [В].

В почве этого разреза вскрыто только 20 см горизонта [В], который характеризуется как палевый, менее плотный, пластинчато-комковато-пылеватый, с единичными Fe-Mn конкрециями, не вскипающий от HCl, имеющий более легкий по сравнению с предыдущим горизонтом гранулометрический состав.

Почва, вскрытая разрезом 9-014, сходна по морфологическим признакам, имеет близкую мощность гумусированной толщи, не превышающую 78 см, и горизонт [В] – около 30 см, который, как и в предыдущей почве, не вскипает от HCl. Структура, состав, плотность, карбонатные и Fe-Mn новообразования также позволяют говорить о близости этих почв по морфологии.

Для корреляции рассматриваемых почв использовалась также удельная магнитная восприимчивость почвенной массы, которая, как показано во многих работах, очень устойчива во времени, интегрально отражает специфику состава и условия формирования осадка или почв и может успешно применяться при ближних корреляциях объектов [11, 33–36]. Сравнение изученных палеопочв по величине магнитной восприимчивости (рис. 1) показало их близость.

Так, верхняя 40-сантиметровая толща отличается величиной магнитной восприимчивости, лежащей в обеих почвах в диапазоне $1,3\text{--}1,6 \cdot 10^{-6}/\text{г}$ и увеличивающейся книзу как в пределах этой верхней толщи, так и в следующих 30 сантиметрах ($1,9\text{--}2,6 \cdot 10^{-6}/\text{г}$). Существенные различия величин удельной магнитной восприимчивости выявлены только в горизонтах [В], где в палеопочве разреза 2-013 она выше почти на единицу, чем в разрезе 9-014 ($2,8\text{--}2,9 \cdot 10^{-6}/\text{г}$ и $1,8\text{--}1,9 \cdot 10^{-6}/\text{г}$ соответственно).

Таким образом, сравниваемые гумусовые горизонты палеопочв близки по одному из интегральных показателей почвообразования – магнитной восприимчивости, величина которой связана с процессами накопления магнитных минералов (в частности, ферромагнетиков) и процессом гумусообразования [33, 34].

Анализ гранулометрического состава палеопочв, который рассматривается на примере разреза 9-014 (рис. 2), показал преобладание фракций мелкого песка (более 55% от массы почвы) и ила (10–17%). Верхняя часть гумусового горизонта до глубины 30 см имеет легкосуглинистый состав, а нижняя часть и горизонт [В] – супесчаный. Перераспределения илистой фракции по почвенному профилю не выявлено.

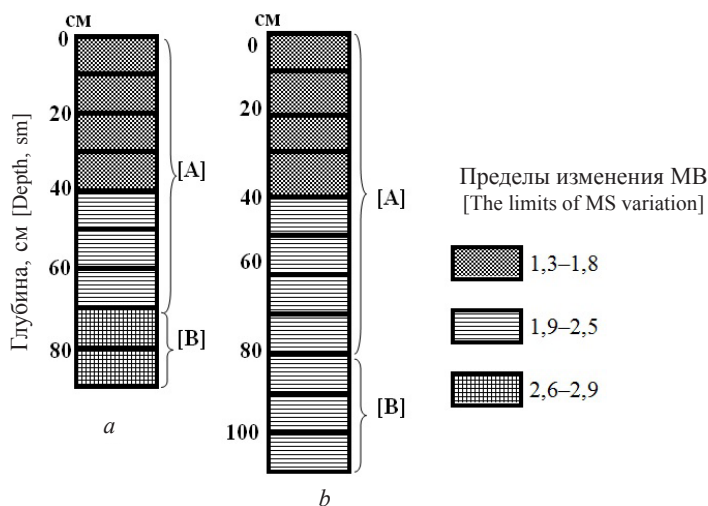


Рис. 1. Корреляция палеопочв в отложениях Миасского карьера по магнитной восприимчивости: *a* – разрез 2-013; *b* – разрез 9-014. Значения МВ даны в $\chi \cdot 10^{-6}/\text{г}$ СГСЕ
[Fig. 1. Correlation of paleosols in the sediments of the Miass quarry according to magnetic susceptibility: *a* - Section 2-013; *b* - Section 9-014. The values of MV are given in $\chi \cdot 10^{-6}/\text{g}$ SGSE]

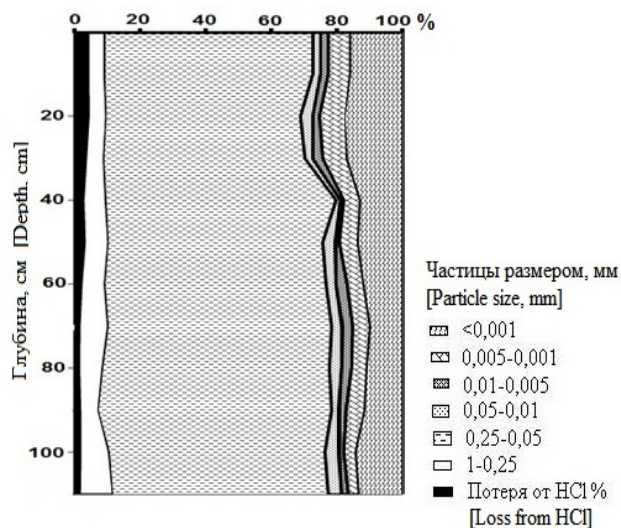


Рис. 2. Гранулометрический состав палеопочвы, вскрытой разрезом 9-014
[Fig. 2. Soil texture in Section 9-014]

Для рассматриваемых почв характерны также близкие показатели реакции среды, содержания обменных оснований с преобладанием в них кальция над магнием при высокой доле последнего, а также относительно высокое содержание аморфного железа (табл. 1).

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

**Средневзвешенные характеристики вещественного состава горизонтов
Сарыкульских палеопочв**
[Weighted average characteristics of the material composition of Sarykul paleosol horizons]

Число повтор-ностей (n) [Number of replications]	C _{орг} , % [TOC, %]	χ 10 ⁻⁶ /г CFGE [χ 10 ⁻⁶ /g SGSE]	CaCO ₃ , %	pH _{H₂O}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ₂ O ₃ по Тамму, мг/100 г [Fe ₂ O ₃ by Tamm, mg / 100g]
					мг-экв/100 г [mmol/kg]		
Разрез 2-013, горизонт [A] [Section 2-013, Horizon [A]]							
n = 7	0,77	1,75	4,1	7,60–7,84	15,3	10,3	53,1
Разрез 2-013, горизонт [B] [Section 2-013, Horizon [B]]							
n = 2	0,09	2,84	0	7,00–7,10	7,2	6,6	22,0
Разрез 9-014, горизонт [A] [Section 9-014, Horizon [A]]							
n = 8	0,54	1,88	1,7	7,62–7,88	15,4	11,9	94,3
Разрез 9-014, горизонт [B] [Section 9-014, Horizon [B]]							
n = 3	0,08	1.90	0	7.70–7.83	13.4	12.3	47.4

Судя по данным, отражающим закономерности содержания общего органического углерода в почвах разного возраста [14], изученные палеопочвы содержат относительно высокое количество общего органического углерода по сравнению с почвами аналогичного возраста других территорий. Горизонты [B], в отличие от горизонтов [A], характеризуются отсутствием карбонатов, практически на порядок меньшим содержанием гумуса и в 2 раза меньшим – аморфного железа.

Несмотря на близость по абсолютным средневзвешенным показателям, изменение их по профилю не идентично, хотя и имеет общий характер (рис. 3). Непараллельное изменение магнитной восприимчивости и содержания общего органического углерода с глубиной в обеих палеопочвах позволяет думать, что почвы прошли стадию относительно повышенного увлажнения [11]. Возможно, с этим связано невысокое содержание карбонатов и даже их отсутствие в горизонтах [B], а также относительно высокое содержание аморфного железа, наличие которого обычно связывают с сезонным или постоянным увлажнением [37]. Вероятно, формирование гумусового горизонта происходило в меняющихся условиях.

В основу диагностики и реконструкции палеоприродной среды в период формирования Сарыкульских палеопочв нами положены характеристики гумуса и гуминовых кислот, составляющие память почв [15]. Анализ гумусовых профилеграмм (рис. 4, А, В) показал, что в групповом составе гумуса Сарыкульских палеопочв преобладают гуминовые кислоты, доля которых в гумусовых горизонтах достигает 50%. Негидролизуемые формы гумуса составляют менее 30%. Среди гуминовых кислот существенно преобладают гуматы кальция. Фракция ГК, связанная с глинистыми частицами, представлена незначительной долей, бурые ГК – в следовых количествах.

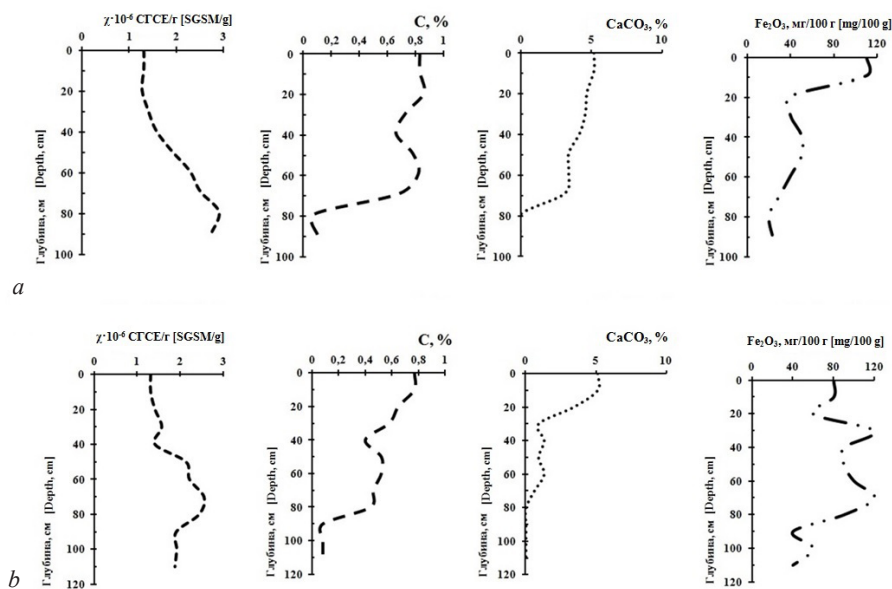


Рис. 3. Профильный ход изменения некоторых характеристик палеопочв: *a* – разрез 2-013; *b* – разрез 9-014

[Fig. 3. The profile variation of some characteristics of paleosols: *a* - Section 2-013; *b* - Section 9-014]

В целом групповой состав гумуса палеопочв обладает характерными для современных черноземных почв лесостепных условий формирования признаками: гуминовые кислоты, среди которых наибольшую долю составляют гуматы кальция, преобладают в его составе над фульвокислотами. Это проявляется в величинах отношений углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, которые в горизонтах [A] превышают 1,5 и соответствуют гуматному составу гумуса (табл. 2). В горизонтах [B] содержание гуминовых кислот снижается, что влечет уменьшение абсолютных величин интегрального показателя $C_{ГК} : C_{ФК}$.

Новые данные, характеризующие элементный состав гуминовых кислот и их спектральные характеристики горизонта А разреза 9-014, свидетельствуют о формировании Сарыкульской палеопочвы в условиях лесостепи (табл. 2). Так, параметры соотношения основных структурообразующих элементов – Н:С – лежат в пределах, установленных для лесостепных почв [21–22].

Кроме того, они показывают, что формирование гумусового горизонта этой почвы происходило в меняющихся от более сухих и теплых условий к более влажным и затем снова к относительно более сухим, поскольку величина отношения Н:С увеличивается от подошвы горизонта к средней его части и затем вновь уменьшается к его кровле. Доля гуминовых кислот в составе гумуса, их соотношение с фульвокислотами, а также все спектральные характеристики гуминовых кислот в целом подтверждают эти изменения (см. табл. 2).

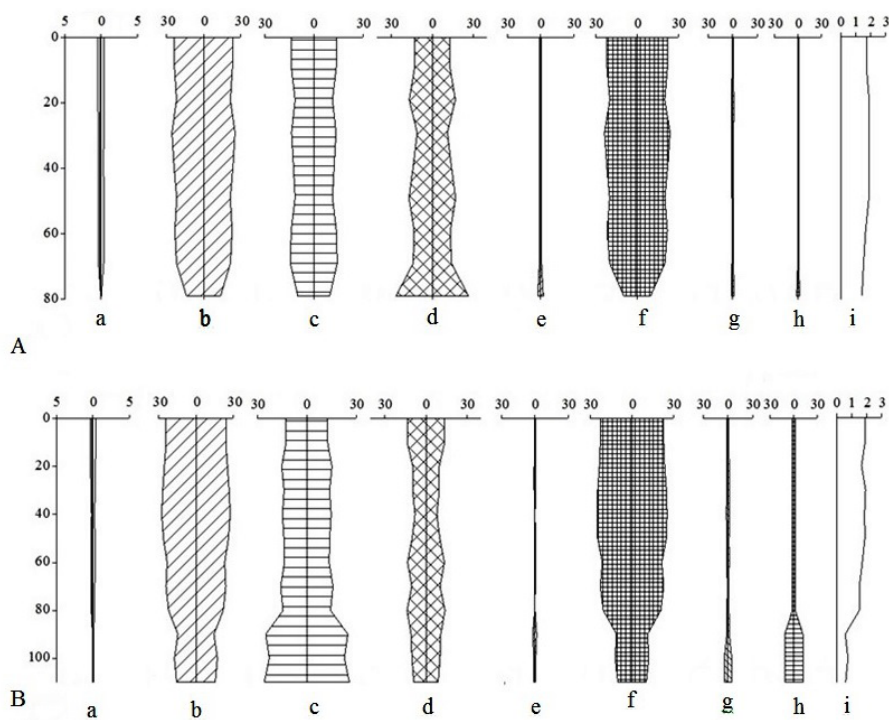


Рис. 4. Гумусовый профиль палеопочв: А – разрез 2-013, В – разрез 9-014.

Обозначения: а – общий органический углерод, % к почве; содержание углерода групп и фракций гумусовых веществ, % к общему органическому углероду; б – сумма гуминовых кислот (ГК); с – сумма фульвокислот (ФК); d – негидролизуемые формы гумуса; e – ГК фр. 1; f – ГК фр. 2; g – ГК фр. 3; h – ФК фр. 1a; i – $C_{ГК}:C_{ФК}$

[Fig. 4. Humus profile of paleosols: A - Section 2-013, B - Section 9-014.

a - Total organic carbon, % of the soil; carbon content of groups and fractions of humic substances, % of total organic carbon: b - Humic acids (HA); c - Fulvic acids (FA); d - Nonhydrolyzable forms of humus, e - HA fractions 1; f - HA fractions 2; g - HA fractions 3; h - FA 1a fractions; i - $C_{HA}:C_{FA}$]

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

Характеристики гумусовой составляющей Сарыкульской палеопочвы
[Characteristics of humus component of Sarykul paleosols]

Глубина, см [Depth, cm]	Доля ГК в составе гумуса [HA share in humus content]	$C_{ГК}:C_{ФК}$ [$C_{HA}:C_{FA}$]	H:C	$E_4:E_6$	λ_{max}	M_1	α
0-10	47,8	1,90	0,89	3,45	490	501	0,89
10-20	50,6	1,86	0,92	3,49	504	501	0,97
20-30	53,2	1,93	0,95	3,52	482	493	0,91
40-50	52,2	1,88	0,96	3,44	495	502	0,87
50-60	46,2	1,71	0,90	3,45	497	500	0,79
60-70	47,9	1,52	0,86	3,42	497	499	1,10

Note: $E_4:E_6$ - Chromaticity coefficient; λ_{max} - wavelength of the peak position in the spectrum; M_1 - first moment-weighted average rate of fluorescence contour; (α) - coefficient -ratio of integral intensities at wavelengths in the regions of the maximum intensity of fluorescence in blue and red parts of the spectrum.

На основании установленной М.И. Дергачевой связи между соотношением структурообразующих элементов (Н:С) и периодом биологической активности (ПБА) [15, 22] выявлено, что полученные показатели соотношения величин Н:С гуминовых кислот палеопочв лежат в области значений периода биологической активности, характерных для современных лесостепных условий с черноземами выщелоченными (рис. 4).

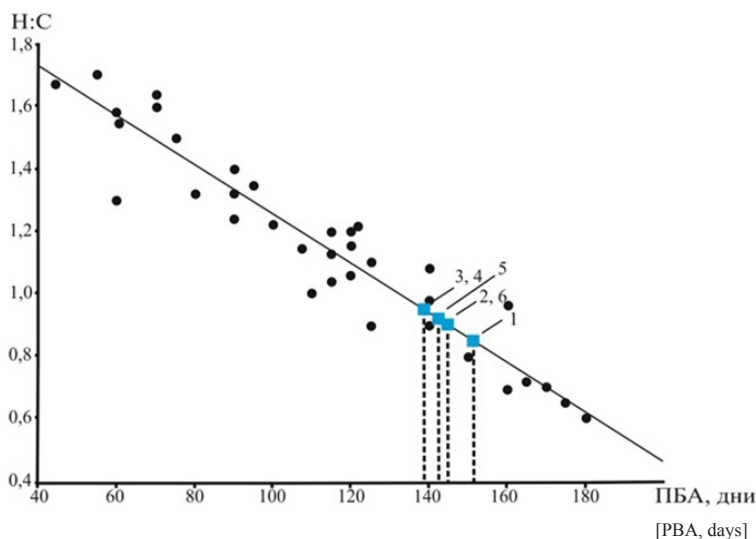


Рис. 5. Определение периода биологической активности по соотношению величин Н:С гуминовых кислот палеопочв. Обозначения: ГК горизонта [А] палеопочвы: глубина, см: 1 – 60–70; 2 – 50–60; 3 – 40–50; 4 – 20–30; 5 – 10–20; 6 – 0–10

[Fig. 5. Determination of the period of biological activity (PBA) by the ratio of H: C in humic acids of paleosols. Legend: HA of paleosol horizon [A]: depth, cm: 1 – 60-70; 2 – 50-60; 3 – 40-50; 4 – 20-30; 5 – 10-20; 6 – 0-10]

Заключение

Сарыкульские палеопочвы в отложениях Миасского карьера отличаются значительной мощностью гумусового горизонта и относительно высоким для плейстоценовых почв содержанием общего органического углерода. Особенности изменения с глубиной магнитной восприимчивости, содержания карбонатов и аморфного железа позволяют предполагать прохождение палеопочвами стадии относительно повышенного увлажнения. Соотношение основных компонентов гумуса Сарыкульских палеопочв лежит в пределах, характерных для черноземных почв, формирующихся в современных лесостепных условиях. Показатели элементного состава гуминовых кислот и их спектральные характеристики близки к таковым в современных черноземах выщелоченных, хотя свидетельствуют о возможности формирования гумусового горизонта в условиях меняющегося увлажнения.

Проведенная диагностика экологических условий формирования Сарыкульских палеопочв позволяет заключить, что климатические условия на границе раннего–среднего плейстоцена в пределах современной лесной зоны на Южном Урале были относительно теплыми, соответствующими лесостепным условиям. Представленные материалы могут способствовать установлению закономерностей изменения климата локальных территорий в контексте глобальных климатических трендов.

Литература

1. *Retallack G.J.* Soils of the past: an introduction to paleopedology. Blackwell, Oxford, UK. 2001. 600 p.
2. *Kitaba I., Harada M., Hyodo M., Katoh S., Sato H., Matsushita M.* Mis 21 and the Mid-Pleistocene Climate transition: climate and sea-level variation from a sediment core in Osaka Bay, Japan // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011. Vol. 299. PP. 227–239.
3. *Hyodo M., Katoh S., Kitamura A., Takasaki K., Matsushita H., Kitaba I., Tanaka I., Nara M., Matsuzaki T., Dettman D.L., Okada M.* High resolution stratigraphy across the early-middle Pleistocene boundary from a core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba Prefecture, Japan // *Quaternary International*. 2016. Vol. 397. PP. 16–26.
4. *Zeng L., Lu H., Yi S., Li Y., Lv A., Zhang W., Xu Z., Wu H., Feng H., Cui M.* New magnetostratigraphic and pedostratigraphic investigations of loess deposits in north-east China and their implications for regional environmental change during the Mid-Pleistocene climatic transition // *Journal of Quaternary science*. 2016. Vol. 31, № 1. PP. 20–32.
5. *Морозова Т.Д.* Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М. : Наука, 1981. 281 с.
6. *Сиренко Н.А., Турло С.И.* Развитие почв и растительности Украины в плиоцене и плейстоцене. Киев : Наук. думка, 1986. 186 с.
7. *Губин С.В., Луначев А.В.* Подходы к выделению и изучению погребенных почв в мерзлых толщах отложений ледового комплекса // *Криосфера Земли*. 2012. Т. XVI, № 2. С. 79–84.
8. *Rutter N.W., Velichko A.A., Dlussky K.G., Morozova T.D., Little E.C., Nechaev V.P., Evans M.E.* New insights on the loess/paleosol Quaternary stratigraphy from key sections in the U.S. Midwest // *Catena*. 2006. Vol. 67. PP. 15–34.
9. *Velichko A.A., Catto N.R., Kononov M.Yu., Morozova T.D., Novenko E.Yu., Panin P.G., Ryskov G.Ya., Semenov V.V., Timireva S.N., Titov V.V., Tesakov A.S.* Progressively cooler, drier interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region // *Quaternary International*. 2009. Vol. 198. PP. 204–219.
10. *Bidegain J.C., Rico Y., Bartel A., Chaparro M.A.E., Jurado S.* Magnetic parameters reflecting pedogenesis in Pleistocene loess deposits of Argentina // *Quaternary International*. 2009. Vol. 209. PP. 175–186.
11. *Дергачева М.И.* Магнитная восприимчивость почв и ее использование в палеопочвоведении // *Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики* / отв. ред. Г.В. Добровольский, М.И. Дергачева ; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН; Институт водных и экологических проблем СО РАН ; Томский государственный университет. Новосибирск : ЗАО «ОФСЕТ», 2012. С. 163–172.
12. *Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L., Simakova A., Sedov S., Maksimov F., Kuznetsov V., Savenko V., Starikova A., Korkka M., Titova D.* Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia) // *Quaternary International*. 2015. Vol. 365. PP. 26–41.

13. Nawrocki J., Lanczont M., Rosowiecka O., Bogucki A.B. Magnitostratigraphy of the loess-paleosol key Palaeolithic section at Korolevo (Transcarpatian, W. Ukraine) // *Quaternary International*. 2015. PP. 1–14.
14. Дергачева М.И., Зыкина В.С. Органическое вещество ископаемых почв. Новосибирск : Наука, 1988. 126 с.
15. Дергачева М.И. Гумусовая память почв // *Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий* / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
16. Dergacheva M.I. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia // *Quaternary International*. 2003. Vol. 106–107. PP. 73–78.
17. Dergacheva M., Fedeneva I., Bazhina N., Nekrasova O., Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20–25 ka // *Quaternary International*. 2015. Vol. 420. PP. 199–207.
18. Calderoni G., Schnitzer M. Effects of age on the chemical structure of paleosol humic acids and fulvic acids // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984. Vol. 48. PP. 2045–2051.
19. Русанов А.М., Азиева С.Ю. Экологические условия гумусообразования черноземов Урала // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2009. № 6 (112). С. 597–600.
20. Азиева С.Ю. Экология гумуса лесостепных и степных почв Урала (Оренбургского Предуралья) // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2011. № 12 (131). С. 16–18.
21. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Васильева Д.И., Фадеева В.П. Элементный состав гуминовых кислот целинных черноземов разных условий формирования // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2012. № 10 (146). С. 90–96.
22. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // *Сибирский экологический журнал*. 2012. № 5. С. 667–676.
23. Некрасова О.А. Элементный состав гуминовых кислот южнотаежных почв Среднего Урала и прилегающих территорий // *Вестник КрасГАУ*. 2013. Вып. 3. С. 23–28.
24. Стефановский В.В. Плиоцен и квартал Восточного склона Урала и Зауралья. Екатеринбург : Изд-во ИГГ УрО РАН, 2006. 223 с.
25. Dergacheva M., Nekrasova O., Uchaev A., Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia) // *Quaternary International*. 2015. Vol. 420. PP. 90–100.
26. Куликов П.В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2010. 969 с.
27. CLIMATE-DATA. ORG. Климат: Миасс. URL: <http://ru.climate-data.org/location/1843/> (дата обращения: 20.09.2016).
28. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М. : АН СССР, 1958. 192 с.
29. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
30. Теория и практика химического анализа почв / ред. Л.А. Воробьева. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
31. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л. : Наука, 1975. 106 с.
32. Welte E. Neuere Ergebnisse der Humusforschung // *Angev. Chem*. 1955. Vol. 67, № 5. PP. 153–155.
33. Mullins C.E. Magnetic Susceptibility of Soil and its Significance in Soil Science – a Review // *Journal of Soil Science*. 1977. Vol. 28. PP. 223–246.

34. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. М. : Ярославль, 1995. 223 с.
35. Дергачева М.И. Археологическое почвоведение. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.
36. Дергачева М.И. Методы почвоведения в археологических исследованиях. Новосибирск : Изд-во НГУ, 2007. 97 с.
37. Зонн С.В. Железо в почвах (генетические и географические объекты). М. : Наука, 1982. 208 с.

*Поступила в редакцию 29.10.2016 г.; повторно 15.11.2016 г.;
принята 18.11.2016 г.; опубликована 13.12.2016 г.*

Авторский коллектив:

Некрасова Ольга Анатольевна – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии, Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, г. Екатеринбург, Россия, ул. Мира, 19).

E-mail: o_nekr@mail.ru

Дергачева Мария Ивановна – д-р биол. наук, г.н.с. лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 8/2).

E-mail: mid555@yandex.com

Учаев Антон Павлович – ассистент кафедры экологии, Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, г. Екатеринбург, Россия, ул. Мира, 19).

E-mail: uchaev89@inbox.ru

Бажина Наталья Леонидовна – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 8/2).

E-mail: natasha-bazhina@mail.ru

Nekrasova OA, Dergacheva MI, Uchaev AP, Bazhina NL. Sarykul paleosols of the Miass quarry (Southern Urals) from the standpoint of paleopedology. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2016;4(36):6-20. doi: 10.17223/19988591/36/1 In Russian, English summary

Olga A. Nekrasova¹, Maria I. Dergacheva², Anton P. Uchaev¹, Natalia L. Bazhina²

¹*Ural Federal University named after the First President of Russia BN Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation*

²*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

Sarykul paleosols of the Miass quarry (Southern Urals) from the standpoint of paleopedology

To study ancient soils is significant for reconstructing the retrospective trends of climate change. This essential problem requires the involvement of regional materials, synthesis of which will ultimately facilitate identification of natural and anthropogenic components of global climate change. The aim of our research was to show the uniqueness of the Southern Urals Sarykul paleosols from the standpoint of paleopedology for further placing them in the system of uneven-aged soils of the Urals.

The objects of the study were paleosols in the Miass quarry, located in the Eastern foothills of the Southern Urals (55°04'38"N 60°07'47"E). Sarykul paleosols are morphologically similar, so only paleosols from two sections (2-013 and 9-014) were subject to analytical study. We studied basic physico-chemical characteristics as well as the composition, the ratio of humic substances and their spectral properties (See Tables).

We obtained similar values of the medium reaction, the content of exchangeable bases with a predominance of calcium over magnesium and high content of the latter, as well

as a relatively high content of amorphous iron in the considered soils. We did not reveal redistribution of clay fraction in the soil profile. Humus horizons of the paleosols are close in magnetic susceptibility - one of the soil integral indicators. The non-parallel change in the magnetic susceptibility and the content of total organic carbon with the depth in both paleosols, the low carbonate content and even their absence in [B] horizons, and a relatively high content of amorphous iron allows us thinking that the soil passed the stage of relatively high humidity. Group humus composition of paleosol is characterized as typical for modern Chernozem soil: humic acids have the largest proportion of calcium humates and predominate over fulvic acids. Data characterizing the elemental composition of humic acids and their spectral characteristics of [A] horizon indicate the possibility of humus horizon formation under the conditions of changing hydration. Data of H: C ratio in paleosol humic acids lies in the ranges of values of the period of biological activity specific to the modern forest-steppe conditions with the leached Chernozem. Diagnostics of environmental conditions of the formation period of Sarykul paleosols allows making conclusion that the climate conditions at the boundary between early and middle Pleistocene within the modern forest zone in the Southern Urals were relatively warm, corresponding to the forest-steppe conditions. The presented data may help establish patterns of climate change in local areas in the context of global climate trends.

Funding: This research at Ural Federal University was supported by the competitiveness improvement program (SC 02.A03.21.0006)

The article contains 5 Figures, 2 Tables, 37 References.

Key words: paleoenvironment; Pleistocene; humus; humic acids.

References

1. Retallack GJ. Soils of the past: an introduction to paleopedology. 2nd edition. Oxford, UK: Blackwell, 2001. 600 p.
2. Kitaba I, Harada M, Hyodo M, Katoh S, Sato H, Matsushita M. Mis 21 and the Mid-Pleistocene climate transition: Climate and sea-level variation from a sediment core in Osaka Bay, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011;299(1-2):227-239. doi: [10.1016/j.palaeo.2010.11.004](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.11.004)
3. Hyodo M, Katoh S, Kitamura A, Takasaki K, Matsushita H, Kitaba I, Tanaka I, Nara M, Matsuzaki T, Dettman DL, Okada M. High resolution stratigraphy across the early-middle Pleistocene boundary from a core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba Prefecture, Japan. *Quaternary International*. 2016;397:16-26. doi: [10.1016/j.quaint.2015.03.031](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.03.031)
4. Zeng L, Lu H, Yi S, Li Y, Lv A, Zhang W, Xu Z, Wu H, Feng H, Cui M. New magnetostratigraphic and pedostratigraphic investigations of loess deposits in north-east China and their implications for regional environmental change during the Mid-Pleistocene climatic transition. *Journal of Quaternary science*. 2016;31(1):20-32. doi: [10.1002/jqs.2829](https://doi.org/10.1002/jqs.2829)
5. Morozova TD. Razvitie pochvennogo pokrova Evropy v pozdnem pleystotsene [Development of soil cover in Europe in the Pleistocene]. Moscow: Nauka Publ.; 1981. 281 p. In Russian
6. Sirenko NA, Turlo SI. Razvitie pochv i rastitel'nosti Ukrainy v plitsene i pleystotsene [Development of soils and vegetation of Ukraine in the Pliocene and the Pleistocene]. Kiev: Nauk. dumka Publ.; 1986. 186 p. In Russian
7. Gubin SV, Lupachev AV. Approaches to determination and investigation of soils buried in ice complex deposits. *Kriosfera Zemli*. 2012; XVI(2):79-84. In Russian
8. Rutter NW, Velichko AA, Dlussky KG, Morozova TD, Little EC, Nechaev VP, Evans ME. New insights on the loess/paleosol Quaternary stratigraphy from key sections in the U.S. Midwest. *Catena*. 2006;67(1):15-34. doi: [10.1016/j.catena.2006.02.002](https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.02.002)
9. Velichko AA, Catto NR, Kononov MYu, Morozova TD, Novenko EYu, Panin PG, Ryskov GYa, Semenov VV, Timireva SN, Titov VV, Tesakov AS. Progressively cooler, drier

- interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region. *Quaternary International*. 200;198(1-2):204-219. doi: [10.1016/j.quaint.2008.06.005](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.06.005)
10. Bidegain JC, Rico Y, Bartel A, Chaparro MAE, Jurado S. Magnetic parameters reflecting pedogenesis in Pleistocene loess deposits of Argentina. *Quaternary International*. 2009;209(1-2):175-186. doi: [10.1016/j.quaint.2009.06.024](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.06.024)
11. Dergacheva MI. Magnitnaya vospriimchivost' pochv i ee ispol'zovanie v paleopochvovedenii [The magnetic susceptibility of soils and its use in paleopedology]. In: *Paleopochvy, prirodnaya sreda i metody ikh diagnostiki* [Paleosols, environment and their diagnosis methods]. Dobrovolski GV, Dergacheva MI, editors. Novosibirsk: ZAO OFSET Publ.; 2012. pp. 163-172. In Russian
12. Rusakov A, Nikonov A, Savelieva L, Simakova A, Sedov S, Maksimov F, Kuznetsov V, Savenko V, Starikova A, Korkka M, Titova D. Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia). *Quaternary International*. 2015;365:26-41. doi: [10.1016/j.quaint.2014.09.029](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.029)
13. Nawrocki J, Lanczont M, Rosowiecka O, Bogucki AB. Magnitostratigraphy of the loess-paleosol key Palaeolithic section at Korolevo (Transcarpatian, W. Ukraine). *Quaternary International*. 2015;399:72-85. doi: [10.1016/j.quaint.2014.12.063](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.063)
14. Dergacheva MI, Zykina VS. Organicheskoe veshchestvo iskopaemykh pochv [Organic substance of fossilized soils]. Novosibirsk: Nauka Publ.; 1988. 126 p. In Russian
15. Dergacheva MI. Humus as a Carrier of Soil Memory. In: *Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions*. Targulian VO, Goryachkin SV, editors. Moscow: LKI Publ.; 2008. pp. 530-560. In Russian, English summary
16. Dergacheva MI. Pedohumic method in paleoenvironmental reconstructions: an example from Middle Siberia. *Quaternary International*. 2003;106-107:73-78.
17. Dergacheva M, Fedeneva I, Bazhina N, Nekrasova O, Zenin V. Shestakovo site of Western Siberia (Russia): pedogenic features, humic substances and paleoenvironment reconstructions for last 20-25 ka. *Quaternary International*. 2015;420:199-207. doi: [10.1016/j.quaint.2015.10.087](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.087)
18. Calderoni G, Schnitzer M. Effects of age on the chemical structure of paleosol humic acids and fulvic acids. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984;48:2045-2051. doi: [10.1016/0016-7037\(84\)90385-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90385-5)
19. Rusanov AM, Agisheva SYu. Ekologicheskie usloviya gumusoobrazovaniya chernozemov Urala [Environmental conditions of humusforming in Ural chernozems]. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2009;6(112):597-600. In Russian
20. Agisheva SYu. Ecology of the humus of forest-steppe and steppe soils of Ural. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;12(131):16-18. In Russian
21. Dergacheva MI, Nekrasova OA, Vasil'eva DI, Fadeeva VP. Humic acid elemental composition of different formation condition virgin chernozems. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2012;10(146):90-96. In Russian
22. Dergacheva MI, Nekrasova OA, Okoneshnikova MV, Vasil'eva DI, Gavrilov DA, Ochur KO, Ondar EE. Ratio of elements in humic acids as a source of information on the environment of soil formation. *Contemporary Problems of Ecology*. 2012;5:497-504. doi: [10.1134/S1995425512050022](https://doi.org/10.1134/S1995425512050022)
23. Nekrasova OA. The humic acid element composition of Central Ural south taiga soils and adjacent territories. *The Bulletin of KrasGAU*. 2013;3:23-28. In Russian
24. Stefanovskiy VV. Pliotsen i kvarter Vostochnogo sklona Urala i Zaural'ya [The Pliocene and Quarter of the Eastern slope of the Urals and Trans-Urals]. Yekaterinburg: UrO RAN Publ.; 2006. 223 p. In Russian
25. Dergacheva M, Nekrasova O, Uchaev A, Bazhina N. Sarykul paleosol in Southern Urals sediments (Russia). *Quaternary International*. 2015;420:90-100. doi: [10.1016/j.quaint.2015.10.075](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.075)

26. Kulikov PV. Opredeletel' sosudistyykh rasteniy Chelyabinskoy oblasti [The Vascular plants of the Chelyabinsk region]. Yekaterinburg: UrO RAN Publ.; 2010. 969 p. In Russian
27. CLIMATE-DATE. ORG. Climate: Miass [Electronic resource]. <http://ru.climate-data.org/location/1843/> Date of the application: 20.09.2016
28. Kaczynski NA. Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody ego izucheniya [Mechanical and microaggregational soil composition, methods of its study]. Moscow: AN SSSR Publ.; 1958. 192 p. In Russian
29. Arinushkina EV. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [A Guide to Chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1970. 487 p. In Russian
30. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of soil chemical analysis]. Vorob'eva LA, editor. Moscow: GEOS Publ.; 2006. 400 p. In Russian
31. Ponomareva VV, Plotnikova TA. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu soderzhaniya i sostava gumusa v pochvakh (mineral'nykh i torfyanykh) [Methodical instructions for determining the content and composition of humus in soils (mineral and peat)]. Leningrad: Nauka Publ.; 1975. 106 p. In Russian
32. Welte E. Neuere Ergebnisse der Humusforschung. *Angev. Chem.* 1955;67(5):153-155. In German
33. Mullins CE. Magnetic susceptibility of soil and its significance in soil science - A Review. *Journal of Soil Science.* 1977;28:223-246.
34. Babanin VF, Trukhin VI, Karpachevskiy LO, Ivanov AV, Morozov VV. Magnetizm pochv [Soil magnetism]. Moscow: Yaroslavl' Publ.; 1995. 223 p. In Russian
35. Dergacheva MI. Archaeological pedology. Novosibirsk: SB RAS Publ.; 1997. 228 p. In Russian, English summary
36. Dergacheva MI. Metody pochvovedeniya v arkheologicheskikh issledovaniyakh [Methods of soil science in archaeological research]. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ.; 2007. 97 p. In Russian
37. Zonn SV. Zhelezo v pochvakh (geneticheskie i geograficheskie aspekty) [Iron in soils: Genetic and geographical aspects]. Moscow: Nauka Publ.; 1982. 208 p. In Russian

Received 29 October 2016; Revised 15 November 2016;

Accepted 18 November 2016; Published 13 December 2016.

Author info:

Nekrasova Olga A, Cand. Sci. (Biol.), Ass. Prof., Department of Ecology, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the First President of Russia BN Yeltsin, 19 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation.

E-mail: o_nekr@mail.ru

Dergacheva Maria I, Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Lavrentieva Ave, Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: mid555@yandex.com

Uchaev Anton P, Assistant, Department of Ecology, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University named after the First President of Russia BN Yeltsin, 19 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation.

E-mail: uchaev89@inbox.ru

Bazina Natalia L, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Lavrentieva Ave, Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: natasha-bazhina@mail.ru