

УДК 631.417

doi: 10.17223/19988591/24/3

О.А. Некрасова¹, М.И. Дергачева²

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск),
Томский государственный университет (г. Томск)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГУМИНОВЫХ КИСЛОТАХ И ПОЧВАХ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА СТЕПНОЕ 7 (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Данные исследования в Уральском федеральном университете поддержаны грантом
Правительства РФ, договор № 11.G34.31.0064.

Изучено содержание в гумусовых горизонтах современных почв, палеопочв и культурных слоях редкоземельных элементов лантана, церия, неодима, самария, европия, тербия, иттербия и лютеция. Убывающий ряд среднего содержания элементов един для современных почв и почв и культурных слоев археологического объекта Степное 7 и выглядит следующим образом: $Ce > Nd > La > Sm > Yb > Eu > Tb > Li$. Выявлена тенденция их накопления в ряду погребенные палеопочвы → культурные слои → современные фоновые почвы. В препаратах гуминовых кислот (ГК) наибольшее содержание приходится на элементы, аналогичные для почвы. С целью установления вклада ГК в связывание редкоземельных элементов почвами содержание элементов в препаратах было пересчитано на их количество в почве, приходящееся на гуминовые кислоты, с учетом содержания общего органического углерода в почве, доли гуминовых кислот в составе гумуса и содержания углерода в препаратах ГК. Доля микроэлементов, связанных гуминовыми кислотами палеопочв и культурных слоев эпохи средней бронзы, в общем пуле редкоземельных элементов в 3 и более раз ниже, чем в современных выщелоченных черноземах.

Ключевые слова: редкоземельные элементы; гуминовые кислоты; черноземы; палеопочвы; культурные слои; Южный Урал.

Введение

Рост масштабов использования в современном промышленном производстве редких элементов, влияние которых на живые организмы недостаточно изучено и может быть непредсказуемым, требует активизации исследований с целью мониторинга их содержания в окружающей среде. Редкоземельные элементы относятся к группе элементов, геохимический статус которых в последнее время начал меняться ввиду их использования в нанотехнологиях, попадания в окружающую среду в составе отходов промышленного производства, тепловой энергетики, а также непосредственно в почву в составе

гуминовых препаратов, применение которых с каждым годом существенно увеличивается [1–5]. Вышесказанное позволяет отметить, что в настоящее время для оценки содержания и динамики накопления редкоземельных металлов в почвах и почвенных компонентах требуется сбор данных, характеризующих региональные или локальные территории. Оценке накопления элементов в почвах может способствовать сопоставление данных по их количественному содержанию в современных почвах и в древних аналогах, изъятых из активного функционирования, тем более что по содержанию редкоземельных элементов между разными типами почв отсутствуют резкие различия [6].

Таким образом, состояние изученности проблемы определяет цель настоящей работы: оценить содержание редкоземельных элементов в современных почвах, палеопочвах и культурных слоях эпохи средней бронзы южной лесостепи Зауралья (на примере территории расположения археологического памятника Степное-7) и выявить тенденцию их изменения во времени в последние 4 тыс. лет.

Материалы и методики исследования

Объектами исследования послужили современные фоновые почвы, а также палеопочвы и культурные слои (КС) археологического объекта Степное 7, расположенного на Южном Урале в Челябинской области в Пластовском районе, северо-западнее села Степное. Территория местонахождения памятника Степное 7 приурочена к первой надпойменной террасе левого берега реки Уй, которая в настоящее время является условной границей раздела лесостепной и степной зон Южного Урала [7]. По климатическому районированию местоположение ключевого участка относится к континентальной Западно-Сибирской южной теплой, недостаточно влажной области [8]. Она характеризуется среднегодовой температурой воздуха около $+1^{\circ}\text{C}$, суммой температур выше 10°C в пределах $1950\text{--}2000^{\circ}\text{C}$, годовым количеством осадков около 450 мм и превышением над последними испаряемости более чем на 100 мм. Растительный покров южной лесостепи Зауралья, на территории которой расположен археологический памятник, представлен сочетанием березовых, осиново-березовых колков и островных сосновых боров с луговыми и настоящими злаково-разнотравными и петрофитными степями, а также остепненными и пойменными лугами [9]. В целом экологическая ситуация в районе расположения объектов исследования благоприятная из-за отсутствия вредных производств и предприятий, имеющих сверхнормативные выбросы загрязняющих веществ.

Археологические раскопки памятника Степное 7, содержащего различные археологические объекты эпохи средней бронзы, велись Д.Г. Здановичем и Е.В. Куприяновой. Одним из объектов является крупный курганный могильник, состоящий из 56 курганов, другим – укрепленное поселение.

Подкурганные палеопочвы имеют мощность гумусового горизонта, варьирующую в пределах 20–27 см, магнитная восприимчивость почвенной массы которых не превышает $3,3 \times 10^{-6}$ СГСЕ/г, реакция среды лежит в слабощелочной области значений. Содержание общего органического углерода в горизонте [A] составляет в среднем 0,7%, на долю гуминовых кислот приходится 40–45%, фульвокислот – 17–20%, соотношение гуминовых и фульвокислот превышает 2,5, гумус имеет гуматный состав [10], гуминовые кислоты содержат в среднем 52,4% углерода от массы, характеристики их элементного состава соответствуют степным условиям формирования [11].

Укрепленное поселение, в котором в период проживания людей происходило преобразование верхних горизонтов почв в культурный слой, отличается следующими характеристиками: магнитная восприимчивость погребенных культурных слоев поселения мощностью около 10 см изменяется от $2,4 \times 10^{-6}$ до $4,4 \times 10^{-6}$ СГСЕ/г, pH среды варьирует от 6,7 до 7,3, содержание углерода не превышает 0,7%, доля гуминовых кислот составляет около 50%, величина $C_{ГК}:C_{ФК}$ имеет значения 2,6–2,7, определяя гуматный состав гумуса. Характеристики состава гуминовых кислот отвечают степному типу почвообразования: содержание углерода составляет в среднем 53,5 масс. %, величина Н:С лежит в пределах 0,7–0,8 [Там же].

Поскольку укрепленное поселение в его поздней фазе было связано с петровским комплексом могильника Степное 7 [12], гумусовые горизонты палеопочвы кургана и культурные слои поселения относятся к близкому времени (3700–3600 л.н.). Культурные слои представляет собой органо-минеральные горизонты степных почв, которые в период функционирования укрепленного поселения испытывали антропогенное воздействие. Впоследствии они, как и палеопочвы, были изолированы и вышли из активного биологического круговорота.

Таким образом, в характеристиках состава погребенных почв и культурных слоев обнаружено много общего: содержание гумуса составляет около 1%, доля гуминовых кислот в нем превышает долю фульвокислот, определяя его гуматный состав, гуминовые кислоты имеют близкий элементный состав, отвечающий степным условиям функционирования.

Профиль современных фоновых почв отмыт от легкорастворимых солей, гипса и карбонатов и по морфологическим признакам соответствует черноземам выщелоченным, имеющим слабощелочную среду и магнитную восприимчивость органо-минерального горизонта, изменяющуюся от $2,3 \times 10^{-6}$ до $3,5 \times 10^{-6}$ СГСЕ на 1 г осадка. В гумусовом горизонте в среднем содержится 3,2% органического углерода, около 50% от него приходится на гуминовые кислоты, что превышает количество фульвокислот более чем в 2 раза и обуславливает гуматный тип гумуса. Гуминовые кислоты верхней толщи горизонта [A] почвенного профиля содержат от массы $50,5 \pm 3,4\%$ C, $4,2 \pm 0,3\%$ H, $41,5 \pm 2,87\%$ O и $3,3 \pm 0,3\%$ N.

Почвенные образцы современных фоновых почв (из разреза и прикопок) и органо-аккумулятивных горизонтов палеопочвы и культурных слоев (из зачисток, сделанных на протяжении вскрытого археологического раскопа через каждые 25–50 см) отбирались сплошной колонкой с учетом границ горизонтов каждые 5–10 см. Общий органический углерод определялся методом Тюрина, состав гумуса – по Пономаревой – Плотниковой [13]. Гуминовые кислоты выделялись 0,1н NaOH после предварительного декальцирования почв и осаждением их 2н HCl, с повторным растворением в щелочи и переосаждением [14], т.е. традиционная жесткая очистка препаратов гуминовых кислот 6н HCl или смесью HF и HCl не проводилась. Элементный состав гуминовых кислот определялся в аналитической лаборатории НИОХ СО РАН на автоматических элементных CHN-анализаторах «Hewlett Packard» mod.185 (США) и «Carlo Erba» mod.1106 (Италия) и дублировался классическим методом по Преглю.

Валовое содержание редкоземельных элементов La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb и Lu в гуминовых кислотах и почвах определялось методом многоэлементного нейтронно-активационного анализа в лаборатории Томского политехнического университета по аттестованным методикам. Достоверность анализа оценивалась по использованию стандартов, в том числе международного стандарта морских отложений ST. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы StatSoft STATISTICA.

Содержание отдельных редкоземельных элементов в препаратах гуминовых кислот было пересчитано с учетом массовых процентов в них углерода, доли их в составе гумуса и содержания в почве общего органического углерода на содержание связанных с гуминовыми кислотами элементов в почве (в мг/кг почвы). Далее этот показатель был соотнесен с содержанием соответствующего элемента во всей почве для определения доли гуминовых кислот в его валовом количестве.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ данных (табл. 1) позволяет отметить, что гумусовые горизонты современных выщелоченных черноземов и палеопочв, а также культурные слои поселения в наибольших количествах, превышающих 7–10 мг/кг, содержат лантан, церий и неодим. В меньших количествах (округленно не превышающих 3 мг/кг) все изученные объекты содержат самарий, европий, тербий, иттербий и лютеций. Следует отметить, что несмотря на принадлежность к редкоземельным элементам, содержание некоторых из них сопоставимо с содержанием в черноземах этого же региона кобальта (La, Nd) и даже меди и свинца (Ce) [15], которые, в отличие от лантаноидов, имеют нормативы содержания в почвах.

Для редкоземельных элементов ПДК в почвах не разработаны. В этом случае при нормировании содержания валовых форм элементов обычно за

норму принимается концентрация, не превышающая удвоенный кларк. Сопоставление полученных данных с кларками в литосфере, предложенными А.П. Виноградовым [16] и S.R. Taylor [17], позволяет считать, что изученные современные почвы, палеопочвы и культурные слои лантаноидами не загрязнены (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Содержание редкоземельных элементов в палеопочвах, современных почвах и культурных слоях, мг/кг

Элемент	Палеопочвы (n = 12)	Культурные слои (n = 6)	Фоновые почвы (n = 3)	Кларк по Виногра- дову	Кларк по Taylor
La	$9,0 \pm 1,5$ 7,1–11,2	$10,3 \pm 3,3$ 8,4–16,9	$11,7 \pm 2,0$ 9,7–13,6	29	30
Ce	$22,7 \pm 4,0$ 16,9–27,9	$26,3 \pm 6,3$ 20,8–37,3	$40,7 \pm 24,0$ 24,9–68,4	70	60
Nd	$11,3 \pm 1,9$ 8,4–15,1	$12,1 \pm 2,3$ 10,2–16,1	$13,9 \pm 1,8$ 12,1–15,6	37	28
Sm	$1,8 \pm 0,4$ 1,25–2,76	$1,8 \pm 0,3$ 1,48–2,18	$2,3 \pm 0,7$ 1,58–2,99	8	6
Eu	$0,55 \pm 0,06$ 0,47–0,66	$0,57 \pm 0,09$ 0,49–0,73	$0,61 \pm 0,01$ 0,51–0,71	1,3	1,2
Tb	$0,22 \pm 0,04$ 0,16–0,29	$0,24 \pm 0,06$ 0,17–0,33	$0,26 \pm 0,06$ 0,20–0,32	4,3	0,9
Yb	$1,06 \pm 0,10$ 0,89–1,22	$1,08 \pm 0,08$ 1,00–1,22	$1,24 \pm 0,09$ 1,09–1,45	0,33	3
Lu	$0,14 \pm 0,02$ 0,12–0,17	$0,14 \pm 0,01$ 0,12–0,15	$0,15 \pm 0,01$ 0,15–0,16	0,80	0,5

Примечание. В числителе – среднее содержание и стандартное отклонение; в знаменателе – пределы варьирования.

Ряд содержания элементов, составленный по средним данным по мере убывания их количества, для современных почв, палеопочв и культурных слоев совпадает и выглядит следующим образом:

$$\text{Ce} > \text{Nd} > \text{La} > \text{Sm} > \text{Yb} > \text{Eu} > \text{Tb} > \text{Lu}.$$

Последовательность из первых четырех элементов соответствует ряду убывания их кларкового числа по Виноградову, а порядок последних четырех элементов совпадает с рядом уменьшения кларков по Тэйлору.

Практически для всех элементов среднее содержание в современной фоновой почве значительно выше, чем в погребенных почвах и культурных слоях, хотя значимые различия с помощью t-критерия Стьюдента для сравниваемых объектов не выявлены ни для одного металла. Тем не менее совершенно четко просматривается тенденция увеличения содержания лантаноидов в современной почве по сравнению с другими объектами (рис. 1).

Как следует из данных анализа содержания лантаноидов в препаратах гуминовых кислот (рис. 2), в наибольших количествах в них, так же как и

в почве, представлены церий и лантан, а для ГК культурного слоя и современной почвы ещё и неодим. Среднее содержание самария, европия, тербия, иттербия и лютеция в гуминовых кислотах не превышает 0,5 мг/кг, для палеопочвы это касается и неодима.

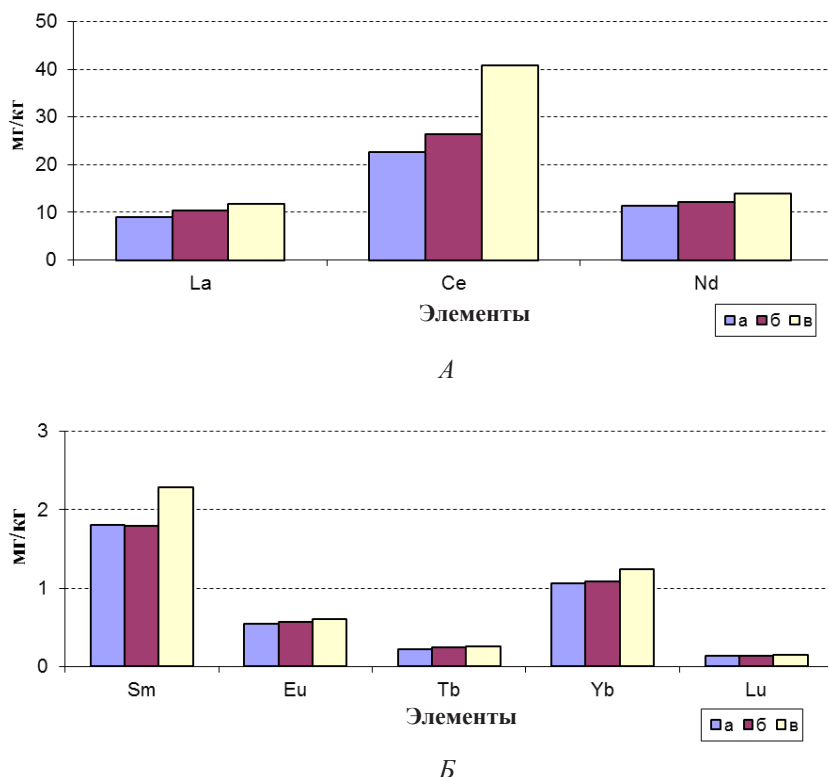


Рис. 1. Среднее содержание редкоземельных элементов в горизонтах [А] подкурганных почв (а), культурных слоях (б) и гумусовых горизонтов фоновых черноземов выщелоченных (в). А – для лантана, церия, неодима; Б – для самария, европия, тербия, иттербия и лютеция

Изученные элементы в современной почве имеют по степени накопления в препаратах гуминовых кислот ряд:

$$\text{Ce} > \text{Nd} > \text{La} > \text{Sm} > \text{Yb} > \text{Eu} > \text{Tb} > \text{Lu}.$$

В культурном слое они образуют следующую последовательность: $\text{Ce} > \text{Nd} > \text{La} > \text{Yb} > \text{Sm} > \text{Eu} > \text{Lu} > \text{Tb}$, в палеопочве практически отсутствует неодим, остальные элементы располагаются в таком же порядке. Таким образом, в современной почве изученные редкоземельные элементы имеют отличающийся от других объектов ряд накопления в препаратах гуминовых кислот.

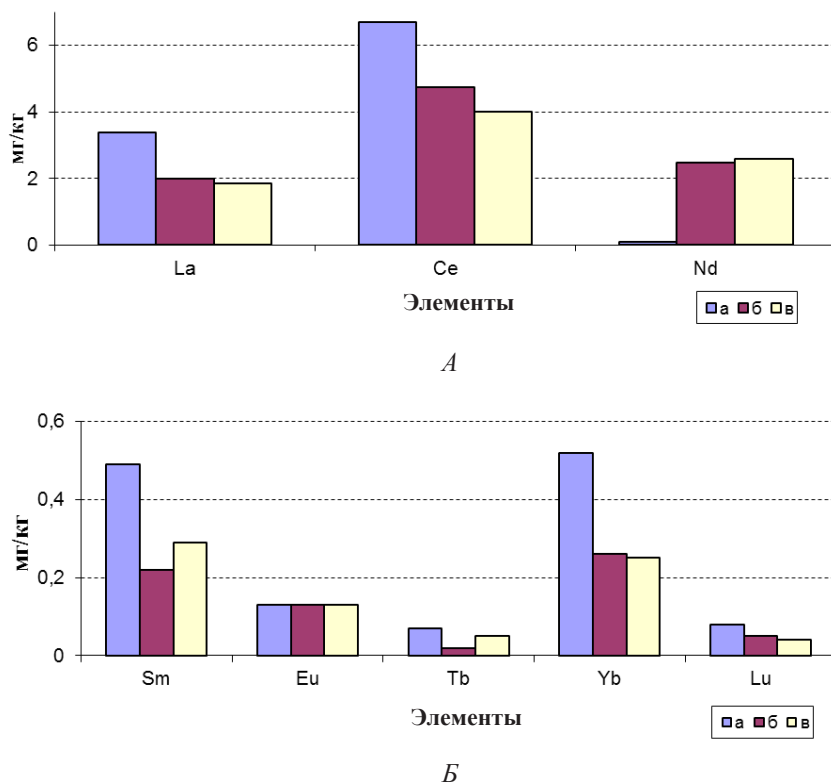


Рис. 2. Содержание элементов в гуминовых кислотах подкуранных почв (а), культурных слоев (б) и фоновых черноземов выщелоченных (в).

А – для лантана, церия, неодима; Б – для самария, европия, тербия, иттербия и лютеция

Как было указано выше, содержание элементов в препаратах было пересчитано на их количество в почве, приходящееся на гуминовые кислоты, с целью установления вклада последних в их связывание почвами (табл. 2).

Результаты показали (рис. 3), что наиболее высокие доли всех элементов обнаружены в современных фоновых почвах, наименьшие – в почвах, погребенных под курганами. Суммарный процент всех изученных редкоземельных металлов в гуминовых кислотах составляет по отношению к их содержанию в современной почве 4,03%, в культурном слое – 1,56% и в погребенной палеопочве – 1,28%.

Таким образом, вклад гуминовых кислот современных выщелоченных черноземов в пул редкоземельных элементов в 3–3,5 раза выше по сравнению с таковым для ГК почв и культурных слоев эпохи средней бронзы. Ввиду близости элементного состава гуминовых кислот изучаемых объектов и, следовательно, схожести в соотношении ароматической и алифатической

частей (компоновки макромолекулы), потенциальные возможности связывания металлов у них должны быть тоже близки. Это указывает на то, что вклад гуминовых кислот в связывание редкоземельных элементов в последние 3,6–3,7 тыс. лет изменился в сторону увеличения, наблюдается тенденция их накопления гуминовыми кислотами в процессе функционирования системы гумусовых веществ.

Т а б л и ц а 2

Содержание редкоземельных элементов в гуминовых кислотах почв

C _{общ.} , %	% ГК	масс. % C в ГК*	Содержание элементов, пересчитанное на углерод ГК почвы**							
			La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
Палеопочва (n = 16)										
0,58	50,68	52,44	<u>0,018</u> 0,20	<u>0,037</u> 0,16	<u>≤ 0,0027</u> <0,02	<u>0,0029</u> 0,16	<u>0,00072</u> 0,13	<u>0,00016</u> 0,07	<u>0,0027</u> 0,25	<u>0,00044</u> 0,31
Культурный слой поселения (n = 6)										
0,74	55,08	54,57	<u>0,017</u> 0,17	<u>0,040</u> 0,15	<u>0,021</u> 0,17	<u>0,0018</u> 0,32	<u>0,0011</u> 0,19	<u>0,00016</u> 0,07	<u>0,0021</u> 0,19	<u>0,00042</u> 0,30
Фоновая почва (n = 5)										
3,18	44,55	50,50	<u>0,052</u> 0,45	<u>0,111</u> 0,27	<u>0,073</u> 0,53	<u>0,0081</u> 0,36	<u>0,0036</u> 0,59	<u>0,0014</u> 0,54	<u>0,007</u> 0,56	<u>0,0011</u> 0,73

* Среднее значение из 2–5 повторностей.

** В числителе – мг/кг, в знаменателе – % от валового содержания.

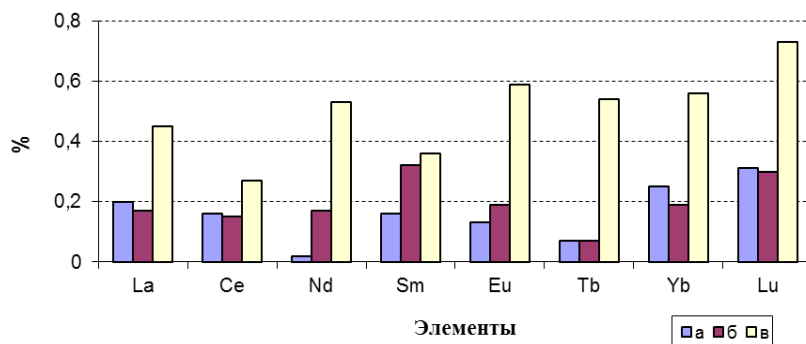


Рис. 3. Доля элементов, связанных с гуминовыми кислотами подкурганных почв (а), культурных слоев (б) и фоновых черноземов выщелоченных (в)

Выводы

Выявлен тренд увеличения содержания большинства редкоземельных элементов в ряду погребенные палеопочвы → культурные слои → современные фоновые почвы, хотя значимые количественные различия

между сравниваемыми объектами пока отсутствуют. Изучаемым объектам присущи одинаковые качественные ряды среднего содержания этих элементов.

Наибольшее содержание в препаратах гуминовых кислот имеют те же элементы, что и в почве. Доля микроэлементов, связанных гуминовыми кислотами палеопочв и культурных слоев, в общем пуле редкоземельных элементов в 3 и более раз ниже, чем в современных почвах.

Представленные данные валового содержания лантаноидов в почвах локальной территории, расположенной в лесостепной зоне Южного Урала, могут быть в дальнейшем использованы для мониторинговых исследований на данной территории.

Дальнейшее получение статистически значимых массивов данных для других локальных территорий разных по природным условиям регионов даст возможность оценить вклад гуминовых кислот разных условий формирования в биогеоценотические и глобальные экологические функции почв.

Литература

1. *Алексеев В.А.* Редкие химические элементы в почвах ландшафтов юга европейской части России // Современные проблемы загрязнения почв : материалы III Междунар. научн. конф. (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 24–28 мая 2010 года). М. : МГУ, 2010. С. 20–21.
2. *Алексеев В.А.* Редкие химические элементы в почвах населенных пунктов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде : материалы VII Междунар. научно-практ. конф. (Семипалатинский гос. педагогический институт, 4–8 октября 2012 года). Семипалатинск : Семей, 2012. Т. 1. С. 28–34.
3. *Водяницкий Ю.Н.* Геохимическое фракционирование лантанидов в почвах и горных породах (обзор литературы) // Почвоведение. 2012. № 1. С. 69–81.
4. *Безуглова О.С.* Удобрения и стимуляторы роста. Ростов н/Д : Феникс, 2002. 320 с.
5. *Безуглова О.С.* Гуминовые вещества в биосфере. Ростов н/Д : Феникс, 2009. 121 с.
6. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
7. *Макунина А.А.* Ландшафты Урала. М. : МГУ, 1974. 159 с.
8. *Национальный атлас России. Природа и экология.* М. : АСТ, Астрель, Роскартография. Т. 2. 496 с.
9. *Куликов П.В.* Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург : УрО РАН, 2010. 969 с.
10. *Некрасова О.А.* Состав гумуса погребенных почв археологического памятника Степное-7 (Южный Урал) // Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В.В. Докучаева, 18–23 августа 2008 г. Ростов н/Д : Ростиздат, 2008. С. 333.
11. *Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешикова М.В. и др.* Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сибирский экологический журнал. 2012. № 5. С. 667–676.
12. *Зданович Г.Б., Батанина И.М.* Аркаим – Страна городов: Пространство и образы (Аркаим: горизонты исследований). Челябинск : Изд-во Крокус ; Юж.-Урал. кн. изд-во. 2007. 260 с.

13. Пономарева В.В., Плотнокова Т.А. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // Почвоведение. 1968. № 11. С. 104–117.
14. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Лаврик Н.Л. Гуминовые кислоты современных почв Южного Урала. Препринт. Новосибирск. 2002. 24 с.
15. Некрасова О.А., Дергачева М.И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2011. № 4 (16). С. 7–16.
16. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
17. Taylor S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust – a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964. Vol. 28. P. 1273–1285.

Поступила в редакцию 15.04.2013 г.

Tomsk State University Journal of Biology. 2013. № 4 (24). P. 36–46

doi: 10.17223/19988591/24/3

Olga A. Nekrasova¹, Maria I. Dergacheva^{2,3}

¹ *Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia*

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

³ *Tomsk State University, Tomsk, Russia*

RARE EARTH ELEMENTS IN HUMIC ACIDS AND SOILS OF THE ARCHAEOLOGICAL SITE STEPNOE 7 (SOUTHERN URALS)

The growth of rare elements used in modern industrial production requires research activation with a view to their monitoring and regulation. The comparison of trace elements content in modern soils with ancient analogues withdrawn from active functioning, can help to assess the accumulation of elements in soils of the date hereof. Modern background soil, as well as paleosols and cultural layers of the archaeological site Stepnoe 7 of Bronze epoch, located in the Southern Urals in Chelyabinsk region are the objects of the study. Profile of modern soil background in morphology corresponds to leached chernozems, has a slightly alkaline environment and the magnetic susceptibility of organic-horizon $2.3\text{--}3.5 \times 10^{-6}$ CGSE per/g of sediment. The humus horizon contains on average 3.2% of organic carbon, about 50% of it is humic acids, which exceeds the number of fulvic acids in more than 2 times and causes humate type of humus. Humic acids of the A horizons upper thickness of the soil profile contains $50.5 \pm 3.4\%$ C, $4.2 \pm 0.3\%$ H, $41.5 \pm 2.87\%$ O and $3.3 \pm 0.3\%$ N from mass. Buried soils and cultural layers have similar characteristics: the humus content is about 1%, it is characterized by humate composition, and the elemental composition of humic acids corresponds to steppe conditions of their functioning. Humic acids were allocated from 0.1n NaOH extracts after preliminary decalcification by their sedimentation 2n HCl, with the subsequent dissolution in alkali and resedimentation. The total content of rare earth elements in humic acids and soils was determined by multi-element neutron activation analysis in the laboratory of Tomsk Polytechnic University.

A comparison of the content of rare earth elements in modern soils, paleosols and cultural layers with Clark in the lithosphere allows us to consider them non-contaminated lanthanides. Waning row of average element content is the same for all objects

under study and looks as follows: Ce > Nd > La > Sm > Yb > Eu > Tb > Lu. However, for almost all of the elements the average content in the modern background soil is much higher than in the buried soils and cultural layers, although significant differences using the Student's t-test for the objects being compared are not identified for any metal. In order to establish the contribution of HA in the binding of rare earth element content of soils, the contents of elements in the preparations were recalculated to their number in the soil, per humic acid. The content of total organic carbon in the soil, the share of humic acids in the humus composition and carbon content in HA preparations were taken into account. The total percentage of all studied rare-earth metals in humic acids in relation to their content is 4/03% in the modern soil, 1.56% in the cultural layers and 1.28% in the buried paleosols.

Thus, it clearly shows a tendency of increasing the content of rare earth elements in modern southern forest-steppe soil of Zauralye in the last four thousand years. The share of trace elements associated with humic acids of modern soils in the total pool of rare earth elements of more than 3 times higher than in paleosols and cultural layers.

Keywords: rare earth elements; humic acids; chernozems; paleosols; cultural layers; Southern Urals.

Received April 15, 2013