



УДК 631.48
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-2-192-204

Применение геохимических коэффициентов для диагностики изменений условий формирования чернозема типичного в Воронежской области

Соляной А.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Email: solyanoy96@mail.ru

Аннотация. Проанализированы профили автоморфных черноземов типичных лесостепи Среднерусской возвышенности Воронежской области в погребенном состоянии (под насыпью кургана возрастом 4200–4300 лет) и на фоновом участке рядом с курганом. Почвообразующие породы – карбонатные лессовидные глины. Применены геохимические коэффициенты для идентификации изменений во времени ряда почвенных свойств. Сравнение признаков погребенной и фоновых почв свидетельствует об эволюционной трансформации почв за время между моментом создания кургана и современностью. По геохимическим показателям реконструируются более гумидные климатические условия времени, предшествовавшего созданию кургана, по сравнению с современной обстановкой. Об этом свидетельствуют различия между погребенным и фоновым черноземами по таким характеристикам, как содержание натрия, величина коэффициентов CIA и $Al_2O_3 / (CaO + MgO + NaO + K_2O)$. Исследования подтверждают зависимость индекса CIA от степени гумидности климата, выявленную более ранними исследованиями. Более высокие значения коэффициента CIA являются свидетельством фазы более влажного климата, предшествовавшей времени создания кургана, когда интенсивность выветривания минеральной матрицы почв могла возрастать. Вместе с тем установлен рост мощности гумусированной части профиля чернозема на протяжении последних 4200–4300 лет, что было обусловлено общим позднеголоценовым трендом развития почв.

Ключевые слова: Среднерусская возвышенность, черноземы, эволюция почв, химические элементы, геохимические коэффициенты

Благодарности: Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 19-29-05012 мк, полевые и лабораторные исследования почв). Название проекта: «Региональные и локальные реконструкции изменения почв и природной среды под влиянием голоценовой динамики климата и антропогенных воздействий: лесостепь центра Восточной Европы».

Для цитирования: Соляной А.В. 2023. Применение геохимических коэффициентов для диагностики изменений условий формирования чернозема типичного в Воронежской области. Региональные геосистемы, 47(2): 192–204. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-2-192-204

Application of Geochemical Coefficients for Diagnostics of Changes in the Conditions of Formation of Chernozem Typical in the Voronezh Region

Anton V. Solyanoi

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia,
E-mail: solyanoy96@mail.ru

Abstract. The profiles of automorphic chernozems typical of the forest-steppe of the Central Russian upland of the Voronezh region in the buried state (under the mound of the 4200–4300-year-old mound) and

in the background area next to the mound are analyzed. The soil-forming rocks are carbonate loess-like clays. Geochemical coefficients were applied to identify changes in a number of soil properties over time. Comparison of the features of the buried and background soils indicates the evolutionary transformation of soils during the time between the creation of the mound and modernity. According to geochemical indicators, the more humid climatic conditions of the time preceding the creation of the mound are reconstructed in comparison with modern conditions. This is evidenced by the differences between the buried and background chernozems in such characteristics as the sodium content, the value of the coefficients CIA and $Al_2O_3 / (CaO + MgO + NaO + K_2O)$. Studies confirm the dependence of the CIA index on the degree of climate humidity, revealed by earlier studies. It is likely that the higher values of the CIA coefficient are evidence of a phase of a wetter climate preceding the time of the creation of the mound, when the intensity of weathering could increase. At the same time, an increase in the capacity of the humusized part of the chernozem profile has been established over the past 4200–4300 years, which was due to the general Late Holocene trend in soil development.

Keywords: Central Russian upland, chernozems, soil evolution, chemical elements, geochemical coefficients

Acknowledgements: This work was supported by grants of Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-29-05012 mk, field and laboratory analyses of soil). Project title: «Regional and local reconstructions of soil and natural environment changes under the influence of Holocene climate dynamics and anthropogenic impacts: forest-steppe of the center of Eastern Europe».

For citation: Solyanoi A.V. 2023. Application of Geochemical Coefficients for Diagnostics of Changes in the Conditions of Formation of Chernozem Typical in the Voronezh Region. *Regional Geosystems*, 47(2): 192–204. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-2-192-204

Введение

Исследования почв археологических памятников – это сравнительно новое направление в почвоведении, которое также известно под названием «почвенно-археологические исследования». Данные исследования проводятся в рамках научного направления «Археологическое почвоведение» (термин ввели В.А. Демкин и И.В. Иванов [Иванов, 1992; Демкин, 1997; и др.]). Почвенно-археологические исследования направлены на изучение погребенных почв и их сравнение с современными почвами рядом с памятниками археологии. Погребенные почвы изучаются под датированными земляными насыпями искусственного происхождения (курганы, оборонительные валы и др.). Почвенно-археологические исследования позволяют получить информацию об изменении во времени почв и почвенного покрова, а также реконструировать среду обитания древних и средневековых обществ с помощью почв, сопряженных с памятниками археологии. Этими исследованиями охвачены различные природные регионы: центр Русской (Восточно-Европейской) равнины [Александровский, 1983], Нижнее Поволжье [Иванов, 1984, 1992; Демкин, 1997; Борисов и др., 2006], Южный Урал [Рысков, Демкин, 1995; Плеханова, 2017] и другие.

Благодаря исследованиям, проводимым палеопочвововедами, были сформулированы выводы о тенденциях природно-климатических изменений на территории Воронежской области и других регионов Центрального Черноземья [Ахтырцев, 1990; Чендев, 2005; Зиньковская, Чендев, 2009; Иванов, 2015; Чендев и др., 2016; и др.].

В 2000-е гг. годы в рамках археологического почвоведения возрос интерес к изучению процессов взаимодействия древнего человека и природы, освоению человеком природных ресурсов, реконструкции древних промышленных технологий, к анализу негативного воздействия на природу в древности и исследованию устойчивости древних биогеоценозов к техногенному воздействию [Каздым, 2003; 2006]. В этот период исследования погребенных почв стали переходить на принципиально новый уровень – было обосновано важное



значение анализа содержания в разновозрастных почвах тяжелых металлов, а также возможность применения геохимических коэффициентов для реконструкции природной среды и древних условий почвообразования [Калинин, Алексеев, 2008]. На основании анализа геохимических показателей выявлялись циклические изменения почв, обусловленные вековой динамикой климата. Вместе с тем следует отметить, что сведений об исследованиях содержания потенциальных загрязнителей окружающей среды, тяжелых металлов, в погребенных почвах существует все еще мало. Одна из первых работ в этом направлении была подготовлена в 1997 году М.И. Дергачевой [Иванов и др., 1997]. Также следует отметить региональную неоднородность изученности вопроса. Так европейская часть России [Бронникова и др., 2007; Калинин, Алексеев, 2009; Гольева, 2009; Долгих, 2010; Дружинина, 2012] изучается довольно плотно, а в Западной Сибири подобные работы часто носят эпизодический характер.

Таким образом, метод геохимического исследования разновозрастных почв характеризуется сравнительной молодостью; он до настоящего времени имеет пространственную неоднородность применения и фрагментарность использования.

Как показали исследования, геохимический анализ почв представляет собой довольно сложную задачу. Необходимо учитывать большое количество факторов и условий, которые могут влиять на миграцию химических элементов: природная зона, тип водного режима, гранулометрический состав, почвообразующие породы и др. Степень загрязнения почв относительно естественного фона определяется не только уровнем атмосферных выпадений, но также исходным содержанием металла в почве. Уровень загрязнения зависит также от скорости миграции химического элемента в почвенном профиле [Пампура и др., 2019].

По совокупности условий наиболее удачными районами геохимических исследований почв являются степная и лесостепная зоны с черноземными почвами. Эти почвы в наиболее полной мере отвечают основным условиям исследования: полупромывной или непромывной тип водного режима, большие запасы органического вещества, способствующие закреплению химических элементов в гумусовых горизонтах почв.

В данной статье рассматривается один из примеров изучения современных и погребенных почв с геохимической точки зрения на примере разновозрастных черноземов лесостепи.

Целью работы является сравнительный анализ морфометрических и геохимических показателей современных черноземов типичных и их аналогов, сформировавшихся в суббореальном периоде голоцена на территории Среднерусской возвышенности.

Объекты и методы исследований

Участок исследования находится на территории юга лесостепной зоны в пределах восточной части Среднерусской возвышенности. Исследованный курган и курганный могильник расположены в Острогжском районе Воронежской области на ровном распаханном водоразделе между долинами рек Девицы (к востоку) и Потудани (к югу). Почвообразующими породами являются легкие карбонатные лессовидные глины с содержанием физической глины в слое 160–200 см почв – 71–75 %.

Раскопки кургана проводились в 2022 году археологической экспедицией Института археологии РАН (г. Москва) под руководством А.А. Шевченко. Особенности погребальной обрядности, а также керамический материал, изученные в центральном погребении кургана, позволяют датировать курган XXVI в. до н. э. в калиброванном летоисчислении (4200–4300 некалиброванных лет назад).

Главными объектами исследования являются почвенные профили, изученные в 2 разрезах: на фоновом участке рядом с курганом (в 25 метрах от его основания) и под центральной частью курганной насыпи, мощность которой на момент исследований составляла

95 см. Выбор места исследования фоновых почв на некотором удалении от кургана определялся вероятностью существования кольцевого ровика вокруг кургана, из которого извлекался грунт для создания его насыпи. Фоновые почвы изучались за пределами этого ровика, имевшего срезку верхних слоев почвы.

Описания почв и названия давались в соответствии с отечественной классификацией почв 1977 года [Классификация, 1977]. Фоновый чернозем был идентифицирован как чернозем типичный мощный глинистый (со средней мощностью гумусированной части профиля 87 см), а погребенный чернозем – как чернозем типичный среднечерный глинистый (со средней мощностью гумусированной части профиля 60 см). По глубине залегания карбонатов между сравниваемыми почвами различия оказались незначительными: вскипание фонового чернозема наблюдалось с глубины 20 см, а погребенного – с глубины 25 см.

В полевых условиях главными методами исследования являлись морфологический анализ почвенного профиля и сравнительный метод исследования.

Лабораторные исследования почв выполнялись в НИУ «БелГУ». Они включали измерение содержания макро- и микроэлементов в почвах на аппарате «СПЕКТРОСКАН МАКС – GV» по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах методом рентгенфлуорисцентного анализа. По выявленному содержанию в почвах химических элементов затем проводились расчеты: изменения степени засоленности и карбонатности, выщелачивания почв, интенсивности выветривания почвообразующей породы фоновой почвы по сравнению с погребенной почвой под курганной насыпью.

Использованная нами методика основана на свойстве гумусовых горизонтов почв служить мощным геохимическим барьером для многих веществ и соединений. При этом необходимо иметь в виду, что разные элементы имеют разную способность к накоплению в гумусовых горизонтах; кроме того, необходимо учитывать факторы, которые прямо или косвенно могут влиять на миграцию соединений микроэлементов по профилю. Поэтому для корректных выводов необходимо учитывать не только индивидуальные особенности каждого элемента, но и геохимические особенности природных зон, состав почвообразующих пород, элементы рельефа и т. д. Широко известны 14 геохимических коэффициентов, используемых при палеорекострукциях [Калинин и др., 2009].

Основными геохимическими показателями, которые используют для реконструкции условий почвообразования и осадконакопления, и которые мы использовали в нашем исследовании, являются следующие [Калинин, Алексеев, 2008].

1) CIA – индекс химического выветривания. Рассчитывается по формуле $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + CaO + Na_2O)$ (%) и показывает степень химического выветривания отложений. Данный показатель отражает области самых выветрелых отложений – аттракторов накопления органического вещества и соединений фосфора. Эти зоны могут быть связаны с антропогенной активностью, например, с наиболее часто используемыми и вытоптанными местами стоянок – жилыми зонами, местами разделки туш животных и др.

2) Коэффициент выветривания $(Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O + MgO))$. Отношение Al_2O_3 (глинистая составляющая) к содержанию основных катионов, выносимых в почвенные растворы [Retallack, 2003]. Данный показатель также отражает зоны самых выветрелых отложений, в которых накапливается органическое вещество и соединения фосфора (данные зоны могут быть связаны с антропогенной деятельностью) [Дружинина, 2017].

3) $(Fe_2O_3 + MnO) / Al_2O_3$. Характеризует степень окисления почвенного материала [Retallack, 2003].

4) $(CaO + MgO) / Al_2O_3$. Отражает накопление почвенного кальцита и (в более редких случаях) доломита [Retallack, 2003].

5) $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$. Характеризует поведение легкорастворимых солей в профиле почвы.

6) TiO_2 / Al_2O_3 . Позволяют оценить степень однородности изучаемых пород, определить наличие привноса вторичного материала и двучленность пород и отложений.

Результаты и их обсуждение

Средние (по результатам 15-кратных замеров вдоль боковых и передней стенок разреза) морфометрические признаки профиля фоновой почвы (рис. 1 а) следующие: Апах 0–31 см; А1к 31–55 см; А1Вк 55–71 см; Вк 71–109 см; ВСк 109–141 см; глубина вскипания – 20 см.

По результатам 10 замеров вдоль стенки разреза, средние морфометрические признаки погребенного чернозема (рис. 2 б) оказались следующими: [А1] 0–24 см; [А1Вк] 24–37 см; [Вк] 37–78 см; [ВСк] 78–95 см; вскипание – 25 см.

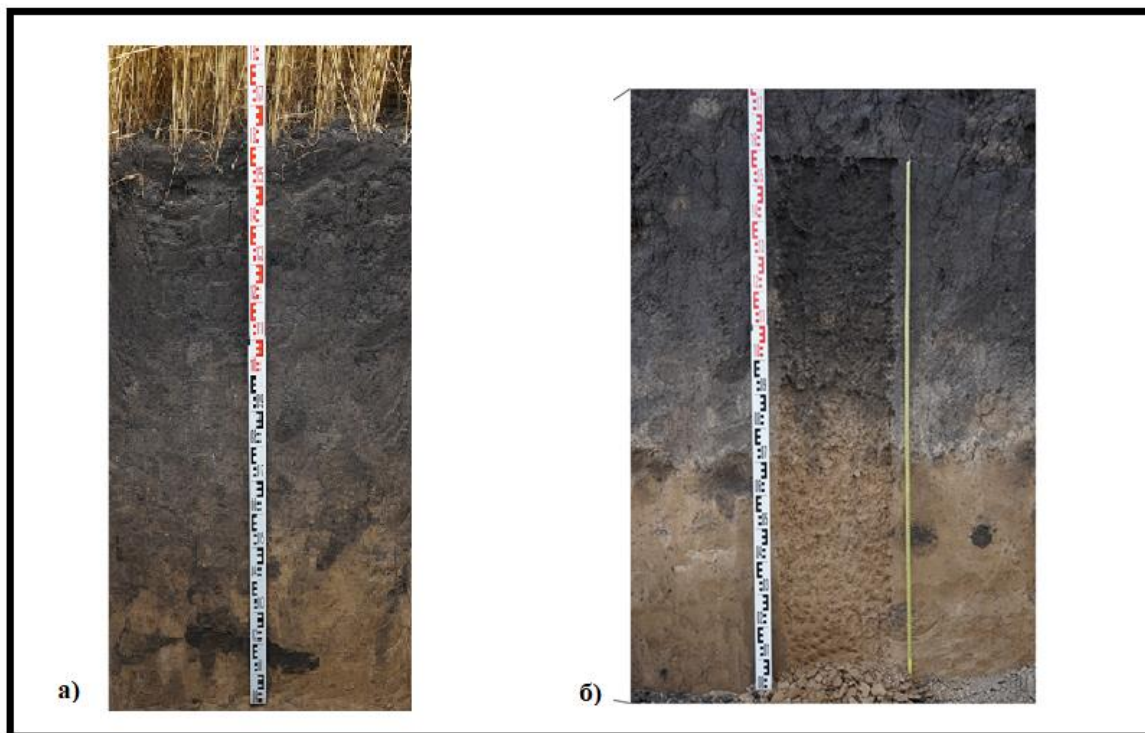


Рис. 1. Общий вид профилей фоновой (а) и погребенной (б) почвы
Fig. 1. General view of the profiles of the background (a) and buried (b) soil

Сравнение признаков погребенной и фоновых почв свидетельствует об эволюционных изменениях, произошедших в почвах за время между моментом создания кургана и современностью. Мощность гумусовых горизонтов возросла в 2,2 раза, гумусированной части профилей – в 1,4 раза, почвенных профилей – в 1,5 раза. В современных почвах стало заметно больше слепышин.

Данные по валовому химическому составу изученных фоновой и подкурганной почв, а также по профильному распределению ряда геохимических коэффициентов представлены в табл. 1–4.

Отношение TiO_2 / Al_2O_3 (табл. 2, 4) свидетельствует об однородности породного состава фоновых и погребенных черноземов и об отсутствии литологических двучленов в почвенных профилях.

Валовой химический состав фоновых почв характеризуется невысокими концентрациями SiO_2 – от 49 до 62 %, что характерно для глинистого состава почвы.

Al_2O_3 , который является основным компонентом глинистой составляющей, распределяется довольно равномерно по профилю (от 12,21 в верхней части до 11,49 в нижней части (табл. 1)). Соотношение SiO_2 / Al_2O_3 (табл. 2) подтверждает эту особенность.

Таблица 1
Table 1Валовой химический состав современного чернозема рядом с курганом
(% от массы прокаленной навески)
Gross chemical composition of modern chernozem near the mound
(% of the mass of calcined suspension)

Слой, см	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO
0–10	2,45	1,68	12,21	61,70	0,20	2,30	1,87	0,75	4,57	0,085
10–20	2,92	1,70	12,18	61,82	0,20	2,24	1,78	0,76	4,63	0,084
20–30	2,75	1,69	12,22	62,03	0,19	2,27	2,11	0,76	4,72	0,084
30–40	1,95	1,59	11,22	58,98	0,19	2,22	2,42	0,76	4,61	0,078
40–60	2,46	1,57	11,54	58,85	0,19	2,17	4,40	0,74	4,45	0,079
60–80	2,10	1,66	11,29	57,10	0,18	2,00	8,99	0,71	4,19	0,074
80–100	2,48	1,70	11,14	55,90	0,18	1,78	11,33	0,68	4,02	0,072
100–120	2,69	1,80	11,01	52,09	0,14	1,78	9,82	0,71	4,12	0,063
120–140	2,52	1,99	11,21	50,05	0,11	1,75	10,58	0,69	4,24	0,064
140–160	2,11	1,91	11,09	49,96	0,11	1,81	9,02	0,69	4,36	0,070
160–180	2,90	1,98	11,66	54,39	0,12	1,83	8,87	0,72	4,35	0,070
180–200	2,37	1,95	11,49	53,59	0,11	1,88	8,26	0,69	4,52	0,082

Таблица 2
Table 2Профильное распределение геохимических коэффициентов
в современном черноземе рядом курганом
Profile distribution of geochemical coefficients in modern chernozem near kurgan

Слой, см	TiO ₂ / Al ₂ O ₃	(CaO + MgO) / Al ₂ O ₃	(Fe ₂ O ₃ + MnO) / Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /(CaO+Mg O+Na ₂ O+K ₂ O)	CIA	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Fe ₂ O ₃
0-10	0,06	0,34	0,38	1,40	62,31	5,05	13,47
10-20	0,06	0,34	0,38	1,33	60,81	5,07	13,62
20-30	0,06	0,35	0,38	1,35	61,01	5,07	13,62
30-40	0,07	0,54	0,40	1,12	50,92	5,25	13,29
40-60	0,06	0,64	0,39	0,98	45,18	5,10	13,36
60-80	0,06	0,79	0,38	0,87	40,41	5,05	13,41
80-100	0,06	0,91	0,38	0,77	36,62	5,02	13,44
100-120	0,06	1,14	0,37	0,65	31,33	4,73	12,94
120-140	0,06	1,28	0,37	0,60	29,22	4,46	12,25
140-160	0,06	1,29	0,38	0,61	29,24	4,50	12,06
160-180	0,06	0,96	0,37	0,73	35,32	4,66	12,85
180-200	0,06	1,03	0,38	0,71	34,06	4,66	12,40



Таблица 3
Table 3

Валовой химический состав подкурганного чернозема (% от массы прокаленной навески)
Gross chemical composition of the underburned chernozem (% of the mass of the calcined sample)

Слой, см	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO
0–10	1,87	1,65	12,27	61,00	0,22	2,30	1,87	0,75	4,57	0,081
10–20	1,86	1,70	12,31	60,32	0,22	2,24	1,78	0,76	4,63	0,075
20–30	1,58	1,77	12,61	61,49	0,21	2,27	2,11	0,76	4,72	0,072
30–40	2,19	1,68	12,49	60,13	0,21	2,22	2,42	0,76	4,61	0,077
40–60	2,35	1,82	12,45	57,98	0,20	2,17	4,40	0,74	4,45	0,071
60–80	2,56	1,73	11,59	55,32	0,17	2,00	8,99	0,71	4,19	0,068
80–100	2,16	1,73	11,16	51,84	0,13	1,78	11,33	0,68	4,02	0,057
100–120	2,26	1,83	11,51	53,11	0,12	1,78	9,82	0,71	4,12	0,069
120–140	2,40	1,82	11,56	51,87	0,12	1,75	10,58	0,69	4,24	0,059
140–160	3,38	1,81	11,69	54,12	0,12	1,81	9,02	0,69	4,36	0,072
160–180	2,70	2,01	12,01	54,36	0,12	1,83	8,87	0,72	4,35	0,071
180–200	1,97	2,02	12,03	54,36	0,12	1,88	8,26	0,69	4,52	0,062

Таблица 4
Table 4

Профильное распределение геохимических коэффициентов в подкурганном черноземе
Profile distribution of geochemical coefficients in the underground chernozem

Слой, см	TiO ₂ / Al ₂ O ₃	(CaO+MgO)/ Al ₂ O ₃	(Fe ₂ O ₃ +MnO) /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / (CaO+MgO+ Na ₂ O+K ₂ O)	CIA	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Fe ₂ O ₃
0–10	0,06	0,29	0,38	1,60	68,60	4,97	13,34
10–20	0,06	0,28	0,38	1,62	69,45	4,90	13,04
20–30	0,06	0,31	0,38	1,63	68,51	4,87	13,02
30–40	0,06	0,33	0,37	1,47	63,95	4,81	13,05
40–60	0,06	0,50	0,36	1,16	52,73	4,66	13,03
60–80	0,06	0,93	0,37	0,76	36,08	4,77	13,19
80–100	0,06	1,17	0,36	0,66	31,03	4,64	12,91
100–120	0,06	1,01	0,36	0,73	34,46	4,61	12,88
120–140	0,06	1,07	0,37	0,70	32,91	4,49	12,24
140–160	0,06	0,93	0,38	0,73	35,30	4,63	12,40
160–180	0,06	0,91	0,37	0,78	37,01	4,52	12,49
180–200	0,06	0,85	0,38	0,85	39,42	4,52	12,01

Содержание MnO по профилю также распределено достаточно равномерно (от 0,085 в верхней части до 0,063 в слое 100–120 см) с небольшим ростом в нижней части профиля (0,082 в слое 180–200 см.)

Содержание оксидов железа распределено по профилю более неравномерно. До глубины 30 см происходит постепенное увеличение, далее до глубины 100 см – постепенное снижение и потом снова увеличение. Наибольшее значение SiO₂ / Fe₂O₃ характерно для верхних слоев и с глубиной происходит постепенное уменьшение показателя (см. табл. 2).

В соответствии с данными табл. 2, коэффициент CIA, отражающий изменение условий образования вторичных минералов, показывает диапазон варьирования в современной

почве от 62 % в верхних слоях до 34 % в нижних. Одно из объяснений этого видится в том, что верхние горизонты фоновых почв формируются в условиях лучшего промачивания (с большей интенсивностью выветривания первичных минералов) по сравнению с нижними слоями.

Коэффициент $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$ отражает активность миграции химических элементов по почвенному профилю в зависимости от водного режима почв. В фоновых почвах значение данного коэффициента в верхних слоях соответствует 1,35–1,40. Глубже, вплоть до глубины 160 см, показатель снижается, а затем наблюдается его незначительный рост (см. табл. 2).

Динамика содержания почвенного кальцита характеризуется соотношением $(CaO + MgO) / Al_2O_3$. Значение этого коэффициента в верхних слоях фонового чернозема соответствует 0,34–0,35, что значительно ниже, чем в средней и нижней части профиля (0,54–1,29), т. е. там, где содержание карбонатов более высокое.

В погребенных почвах (см. табл. 3, 4) геохимические свойства близки к фоновым значениям за некоторыми, важными с генетической точки зрения, исключениями.

Натрий в профиле погребенного чернозема содержится в менее высоких концентрациях по сравнению с фоновым черноземом (см. табл. 1, 3).

Распределение MnO по профилю не такое равномерное, как в фоновых почвах, а содержание ниже. Марганец является микроэлементом с высокой биофильностью [Калинин, Алексеев, 2008]. В степных ландшафтах щелочная окислительная среда препятствует миграции марганца. Увеличение концентрации данного элемента в фоновых почвах может быть связано с голоценовым трендом накопления марганца в черноземах и активизацией его биогенного накопления в почвах позднего голоцена.

Коэффициент CIA в подкурганном черноземе характеризуется более высокими значениями (68–68 % в слое 0–30 см) по сравнению с фоновым черноземом (61–62 % в слое 0–30 см). Коэффициент отражает глубину химического выветривания минеральной части почвы. Высокие значения CIA указывают на преимущественное удаление в процессе химического выветривания подвижных элементов (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) по сравнению с устойчивыми (Al^{3+} и Ti^{4+}) в условиях относительно гумидного климата позднего голоцена, а низкие значения, напротив, свидетельствуют о почти полном отсутствии химического выветривания и могут служить признаками аридного климата [Приходько и др., 2020]. Зависимость индекса CIA от степени гумидности климата выявлена более ранними исследованиями [Goldberg, Humayun, 2010]. Коэффициент CIA чувствителен к климатическим изменениям, что хорошо отражено процессами преобразования минеральной массы и генезисом почв [Татьянченко и др., 2013]. Также следует отметить, что многие исследователи отмечают зависимость между данным коэффициентом и среднегодовым количеством осадков [Калинин, Алексеев, 2008]. Исследования в пределах Среднего Поволжья [Ломов, Солодков, 2016] выявили такую зависимость. Для Среднерусской возвышенности исследования для выявления указанной зависимости нам неизвестны. В случае нашего исследования, вполне вероятно, что более высокие значения коэффициента CIA, выявляемые до глубины 60 см в подкурганном черноземе, по сравнению с фоновым аналогом (см. табл. 2, 4) являются свидетельством фазы более влажного климата, предшествовавшей времени создания кургана, когда интенсивность выветривания могла возрастать.

Распределение $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$ в погребенных почвах превосходит фоновые значения (табл. 2, 4), что также свидетельствует о более гумидных условиях почвообразования в период формирования погребенных почв.

Коэффициенты $(CaO + MgO) / Al_2O_3$ и $(Fe_2O_3 + MnO) / Al_2O_3$ характеризуются близкими значениями и распределениями в погребенном и фоновом черноземах (см. табл. 2, 4). При этом коэффициент $(CaO + MgO) / Al_2O_3$ имеет несколько более высокие значения в фоновых почвах по сравнению с погребенными, что свидетельствует о накоплении в профилях современных почв карбонатов.



Проведенные исследования позволяют сделать вывод о более гумидных условиях, существовавших на изучаемой территории в период, предшествовавший созданию кургана. Об этом свидетельствуют различия между погребенным и фоновым черноземами по таким характеристикам, как содержание натрия, величина коэффициентов CIA и $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$. Неслучайно Е.А. Спиридонова в интервале 4300–4600 л. н. отмечает рост лесистости в лесостепи и смещение географических зон на территории центра Русской равнины к югу [Спиридонова, 1991]. Исследования Крицкого кургана в Павловском районе Воронежской области [Чендев и др., 2016] также подтверждают более влажные климатические условия, существовавшие ранее 4200 л. н. на севере степной зоны по сравнению с современной обстановкой.

Заключение

Изучение погребенных почв под разновозрастными археологическими памятниками – неотъемлемая часть палеопочвоведения. Оно важно для уточнения существующих представлений о генезисе, этапах формирования и современном состоянии почв. Благодаря исследованиям, проводимым палеопочвоведцами, в том числе и на территории областей Центрального Черноземья, были сформулированы выводы о тенденциях природно-климатических изменений и почв в голоцене.

Исследование подкурганного и фонового черноземов в Острогжском районе Воронежской области показало, что за 4200–4300 лет в почвах произошло возрастание мощности гумусовых горизонтов и в целом гумусированной части профилей. Вместе с тем, по ряду химических свойств, выявляемых при анализе валового химического состава подкурганного и фонового черноземов (содержанию натрия, значениям коэффициентов CIA и $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$), период, предшествовавший созданию кургана, реконструируется как более влажный по сравнению с современной обстановкой. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о более гумидных условиях, существовавших на изучаемой территории в период, предшествовавший созданию кургана (4200–4300 лет назад), по сравнению с современными условиями.

Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору географических наук, профессору Чендеву Ю.Г., за консультации в процессе подготовки статьи.

Список литературы

- Александровский А.Л. 1983. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. М., Наука, 150 с.
- Ахтырцев А.Б. 1990. Палеопочвенный покров юга Окско-Донской равнины и воздействие на него человека в среднем суббореале. В кн.: Археологические исследования в Центральном Черноземье в 12 пятилетке. Тезисы докладов и сообщений II межвузовской научной конференции, Белгород, 01–28 февраля 1990. Белгород, Издательский дом «Белгород»: 9–11.
- Борисов А.В., Демкина Т.С., Демкин В.А. 2006. Палеопочвы и климат Ергеней в эпоху бронзы (IV–II тыс. до н. э.). М., Наука, 210 с.
- Бронникова М.А., Мурашева В.В., Якушев А.И. 2007. Первые данные по пространственной неоднородности элементного состава культурного слоя Гнездовского поселения. В кн.: Гнездово: Результаты комплексных исследований памятника. Москва, Альфарет: 145–149.
- Гольева А.А. 2009. Валовый фосфор как индикатор хозяйственной деятельности древних и средневековых обществ. В кн.: Роль естественнонаучных методов в археологических исследованиях. Барнаул, Издательство Алтайского государственного университета: 56–59.
- Демкин В.А. 1997. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества. Пушкино, Пушкинский Научный центр РАН, 213 с.
- Долгих А.В. 2010. Формирование педолитоседиментов почвенно-геохимической среды древних городов Европейской России. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 24 с.

- Дружинина О.А. 2012. Результаты геохимических исследований культурного слоя археологического памятника Рядино-5. Вестник Балтийского Федерального Университета им. И. Канта, 1: 29–33.
- Зиньковская И.В., Чендев Ю.Г. 2009. Природно-климатическая среда в бассейне р. Оскол в позднезарубинецкое время (по результатам исследования поселения Ездочное-1). Вестник ВГУ. Серия: История. Политология. Социология, 2: 66–72.
- Иванов А.И., Дергачева М.И., Кузнецов П.Ф. 1997. Опыт сравнительного анализа подкуранных современных почв по содержанию элементов тяжелых металлов. Проблемы взаимодействия природы и человека в Среднем Поволжье (методы, задачи, перспективы), 28–31.
- Иванов И.В. 2015. Эволюция почв и почвенного покрова: теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М., ГЕОС, 924 с.
- Иванов И.В. 1992. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М., Наука, 144 с.
- Иванов И.В. 1984. Изменение почв и природных условий степной зоны СССР в голоцене. Пушино, Отдел научно-технической информации Научного центра биологических исследований АН СССР, 30 с.
- Каздым А.А. 2003. Палеэкология древних сообществ – попытка реконструкции древнего техногенного воздействия (на примере «Страны городов»). Вестник Челябинского Государственного Университета, 2(3): 125–141.
- Каздым А.А. 2006. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий (палеоэкологический аспект). М., Наука, 158 с.
- Калинин П.И., Алексеев О.А. 2008. Геохимические характеристики погребенных голоценовых почв степей Приволжской возвышенности. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: География. Геоэкология, 1: 9–15.
- Калинин П.И., Алексеев А.О., Савко А.Д. 2009. Лёссы, палеопочвы и палеогеография квартала юго-востока Русской равнины. Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского Государственного Университета, 58: 1–139 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М., Колос, 224 с.
- Ломов С.П., Солодков Н.Н. 2016. Геохимические условия развития современных и погребенных почв Среднего Поволжья. Известия Саратовского Университета. Новая серия. Серия науки о Земле, 16(1): 10–13. DOI: 10.18500/1819-7663-2016-16-1-10-13
- Пампура Т.В., Мейли М., Холм К., Кандопа Ф., Пробст А. 2019. Погребенные палеопочвы как фоновые объекты для оценки уровня загрязнения свинцом современных почв Нижнего Поволжья. Почвоведение, 1: 43–60. DOI: 10.1134/S0032180X19010118
- Плеханова Л.Н. 2017. Древние почвы археологических объектов как база палеоклиматических реконструкций второй половины голоцена. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 28(3): 33–50. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-3-33-50
- Приходько В.Е., Азаренко Ю.А., Шаяхметов М.Р., Тишкин А.А., Горбунов В.В., Пивоварова Е.Г. 2020. Реконструкция климата Средневековья на основе почвенных и геохимических исследований курганов сrostкинской культуры и ее локализация на юге Западной Сибири. Почвоведение, 3: 261–278. DOI: 10.31857/S0032180X20030053
- Рысков Я.Г., Демкин В.А. 1995. Результаты естественно-научного изучения курганов левобережного Илека. Курганы левобережного Илека, 3: 62–63.
- Спиридонова Е.А. 1991. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене. М., Наука, 220 с.
- Татьянченко Т.В., Алексеева Т.В., Калинин П.И. 2013. Минералогический и химический составы разновозрастных подкуранных палеопочв Южных Ергеней и их палеоклиматическая интерпретация. Почвоведение, 4: 379–392. DOI: 10.7868/S0032180X1304014X
- Чендев Ю.Г. 2005. Естественная и антропогенная эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. Автореф. дис. ... док. геогр. наук. М., 47 с.
- Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Березуцкий В.Д., Долгих А.В., Белеванцев В.Г., Дудин Д.И. 2016. Голоценовые сигналы гумидизации климата в профилях разновозрастных черноземов центра Восточно Европы. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 3(191): 100–109.



- Goldberg K., Humayun M. 2010. The Applicability of the Chemical Index of Alteration as a Paleoclimatic Indicator: An Example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeog, Palaeocli, Palaeoecol*, 293(1–2): 175–183. DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.05.015
- Retallack G.J. 2003. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time. *Treatise on Geochemistry*, 5: 581–605.

References

- Alexandrovsky A.L. 1983. Evolyutsiya pochv Vostochno-Evropeyskoy ravniny v golotsene [Evolution of Soils of the East European Plain in the Holocene]. Moscow, Publ. Nauka, 150 p.
- Akhtyrtsev A.B. 1990. Paleopochvennyy pokrov yuga Oksko-Donskoy ravniny i vozdeystvie na nego cheloveka v srednem subboreale [Paleosurface Cover of the South of the Oka-Don Plain and Human Impact on It in the Middle Subboreal]. In: *Arkheologicheskie issledovaniya v Tsentral'nom Chernozem'e v 12 pyatiletke* [Archaeological Research in the Central Chernozem Region in the 12th Five-Year Plan]. Abstracts of reports and reports of the II interuniversity scientific conference, Belgorod, 01–28 February 1990. Belgorod, Publ. Belgorod: 9–11.
- Borisov A.V., Demkina T.S., Demkin V.A. 2006. Paleopochvy i klimat Ergeney v epokhu bronzy (IV–II tys. do n. e.) [Paleosoils and Climate of the Ergeni in the Bronze Age (IV–II thousand BC)]. Moscow, Publ. Nauka, 210 p.
- Bronnikova M.A., Murasheva V.V., Yakushev A.I. 2007. Pervye dannye po prostranstvennoy neodnorodnosti elementnogo sostava kul'turnogo sloya Gnezdovskogo poseleniya [The First Data on the Spatial Heterogeneity of the Elemental Composition of the Cultural Layer of the Gnezdovsky Settlement]. In: *Gnezdovo: Rezultaty kompleksnykh issledovaniy pamyatnika* [Gnezdovo: Results of complex studies of the monument]. Moscow, Publ. Alfaret: 145–149.
- Goleva A.A. 2009. Valovyy fosfor kak indikator khozyaystvennoy deyatel'nosti drevnikh i srednevekovykh obshchestv [Gross Phosphorus as an Indicator of Economic Activity of Ancient and Medieval Societies]. In: *Rol estestvennonauchnykh metodov v arkheologicheskikh issledovaniyakh* [The Role of Natural Science Methods in Archaeological Research]. Barnaul, Publ. Altai State University: 56–59.
- Demkin V.A. 1997. Paleopochvovedenie i archeologia: integratsia v izuchenii prirody i obshchestva [Paleosol Science and Archeology: Integration in Study of Environment and Humanity]. Pushchino, Publ. Pushchinskiy Nauchnyy tsentr, 212 p.
- Dolgikh A.V. 2010. Formirovanie pedolitosedimentov pochvenno-geokhimicheskoy sredy drevnikh gorodov Evropeyskoy Rossii [Formation of Pedolithosediments of the Soil-Geochemical Environment of Ancient Cities of European Russia]. Abstract. diss. ... cand. geogr. sciences. Moscow, 24 p.
- Druzhinina O.A. 2012. The Results of Geochemical Study of Occupation Earth of the Ryadino 5 Archaeological Site. *IKBFU's Vestnik*, 1: 29–33 (in Russian).
- Zinkovskaya I.V., Chendev Yu.G. 2009. Prirodno-klimaticheskaya sreda v bassejne r. Oskol v pozdnezarubinskoe vremya (po rezul'tatam issledovaniya poseleniya Ezdochnoe-1) [Natural and Climatic Environment in the Basin of the Oskol in the Late Zarubinets Time (According to the Results of the Study of the Settlement of Ezdochnoye-1)]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: History. Political science. Sociology*, 2: 66–72.
- Ivanov A.I., Dergacheva M.I., Kuznetsov P.F. 1997. Opyt sravnitel'nogo analiza podkurgannykh sovremennykh pochv po sodержaniyu jelementov tjazhelyh metallov [The Experience of Comparative Analysis of Modern Soils by the Content of Elements of Heavy Metals]. *Problemy vzaimodeystviya prirody i cheloveka v Srednem Povolzhye (metody. zadachi. perspektivy)*, 28–31.
- Ivanov I.V. 2015. Evolution of Soils and Soil Cover: Theory, Diversity of Natural Evolution and Anthropogenic Soil Transformations. Moscow, Publ. GEOS, 925p. (in Russian).
- Ivanov I.V. 1992. Evolyutsia pochv stepnoi zony v golotsene [Evolution of Soils of the Steppe Zone During the Holocene]. Moscow, Publ. Nauka, 143 p.
- Ivanov I.V. 1984. Izmenenie pochv i prirodnykh usloviy stepnoy zony SSSR v golotsene [Change of Soils and Natural Conditions of the Steppe Zone of the USSR in the Holocene]. Pushchino, Publ. Otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii Nauchnogo tsentra biologicheskikh issledovaniy AN SSSR, 30 p.
- Kazdym A.A. 2003. Paleekologiya drevnikh soobshchestv – popytka rekonstruktsii drevnego tekhnogennoho vozdeystviya (na primere «Strany gorodov») [Paleecology of Ancient Communities – an Attempt to Reconstruct an Ancient Technogenic Impact (on the Example of the «Country of Cities»)]. *Vestnik Chelyabinskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2(3): 125–141.

- Kazdym A.A. 2006. Tekhnogennyye otlozheniya drevnikh i sovremennykh urbanizirovannykh territoriy (paleoekologicheskiy aspekt) [Technogenic Deposits of Ancient and Modern Urbanized Territories (Paleoecological Aspect)]. Moscow, Publ. Nauka, 158 p.
- Kalinin P.I., Alekseev O.A. 2008. Geochemical Characteristics of the Holocene Layer Soils of the Privolzhskaya Hills Steppes. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geocology, 1: 9–15 (in Russian).
- Kalinin P.I., Alekseev A.O., Savko A.D. 2009. Lessy, paleopochvy i paleogeografiya kvartera yugovostoka Russkoy ravniny [Loess, Paleosols and Paleogeography of the Quarterland of the South-East of the Russian Plain]. Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta, 58: 1–139.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR [Classification and Diagnostics of Soils of the USSR]. 1977. Moscow, Publ. Kolos, 223 p.
- Lomov S.P., Solodkov N.N. 2016. Geochemical Conditions of the Development of Modern and Buried Soils of the Middle Volga Region. Izvestiya Saratov University. Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 16(1): 10–13 (in Russian).
- Pampura T.V., Meili M., Holm K., Kandodap F., Probst A. 2019. Buried Paleosols as Reference Objects for Assessing the Current Level of Soil Pollution with Lead in the Lower Volga Steppes. Eurasian Soil Science, 52(1): 34–49 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229319010113
- Plekhanova L.N. 2017. Buried Soils of Archaeological Objects as the Base of Paleoclimatic Reconstructions Second Half of the Holocene. Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems, 28(3): 33–50 (in Russian). DOI: 10.21513/0207-2564-2017-3-33-50
- Pochvy i rastitel'nost' yuga Srednerusskoy vozvyshennosti v usloviyakh menyayushchegosya klimata: monografiya [Soils and vegetation of the south of the Central Russian upland in a changing climate: a monograph] / Yu. G. Chendev [et al.] – Belgorod: Constant, 2016. – 326 p. (in Russian).
- Prikhodko V.E., Azarenko Y.A., Shayakhmetov M.R., Tishkin A.A., Gorbunov V.V., Pivovarova E.G. 2020. Reconstruction of the Climate of the Medieval Epoch Based on Soil and Geochemical Studies of Kurgans of the Srostki Culture in the South of Western Siberia. Eurasian Soil Science, 53(3): 267–282 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229320030059
- Ryskov Ya.G., Demkin V.A. 1995. Rezul'taty estestvenno-nauchnogo izucheniya kurganov levoberezhnogo Iлека [The Results of the Natural Science Study of the Mounds of the Left-Bank Ilek]. Kurgany levoberezhnogo Iлека, 3: 62–63.
- Spiridonova E.A. 1991. Evolyutsiya rastitel'nogo pokrova basseyna Dona v verkhnem pleystotsene – golotsene [Evolution of the Vegetation Cover of the Don Basin in the Upper Pleistocene – Holocene]. Moscow, Publ. Nauka, 220 p.
- Tatianchenko T.V., Alekseeva T.V., Kalinin P.I. 2013. Mineralogical and Chemical Compositions of the Paleosols of Different Ages Buried Under Kurgans in the Southern Ergeni Region and Their Paleoclimatic Interpretation. Eurasian Soil Science, 46(4): 341–354 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229313040145
- Chendev Yu.G. 2005. Estestvennaya i antropogennaya evolyutsiya lesostepnykh pochv Srednerusskoy vozvyshennosti v golotsene [Natural and Anthropogenic Evolution of Forest-Steppe Soils of the Central Russian Upland in the Holocene]. Abstract. diss. ... doc. geogr. sciences. Moscow, 47 p.
- Chendev Yu.G., Petin A.N., Berezutsky V.D., Dolgikh A.V., Belevantsev V.G., Dudin D.I. Holocene Signals of Climatic Humidity in Chernozem Soils of Different Historical Periods within Center of Eastern Europe. News of higher educational institutions. North Caucasian region. Series: Natural Sciences, 3(191): 100–109 (in Russian).
- Goldberg K., Humayun M. 2010. The Applicability of the Chemical Index of Alteration as a Paleoclimatic Indicator: An Example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil. Palaeogeog, Palaeocli, Palaeocol, 293(1–2): 175–183. DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.05.015
- Retallack G.J. 2003. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time. Treatise on Geochemistry, 5: 581–605.

*Поступила в редакцию 13.03.2023;
поступила после рецензирования 11.04.2023;
принята к публикации 01.06.2023*

*Received March 13, 2023;
Revised April 11, 2023;
Accepted June 01, 2023*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Соляной Антон Васильевич, аспирант кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anton V. Solyanoi, Post-graduate Student of the Department of Environmental Management and Land Cadastre of Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia