

ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.481:631.41

**ПОЧВЕННО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СРЕДНЕВЕКОВОГО ВОТИКЕЕВСКОГО КОМПЛЕКСА
В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

© 2020 г. Р. Р. Сулейманов^{a, b, *}, В. В. Овсянников^c, А. Г. Колонских^d,
Е. В. Абакумов^e, А. Я. Кунгурцев^{b, f}, А. Р. Сулейманов^a

^aУфимский институт биологии УФИЦ РАН, пр. Октября, 69, Уфа, 450054 Россия

^bБашкирский государственный университет, ул. Заки Валиди, 32, Уфа, 450076 Россия

^cОрдена Знак Почета Институт истории, языка и литературы УФИЦ РАН, пр. Октября, 71, Уфа, 450054 Россия

^dИнститут этнологических исследований имени Р.Г. Кузеева УФИЦ РАН, ул. Аксакова, 7, Уфа, 450077 Россия

^eСанкт-Петербургский государственный университет, 16-я линия ВО, 29, Санкт-Петербург, 199178 Россия

^fУральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002 Россия

*e-mail: soils@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2019 г.

После доработки 26.07.2019 г.

Принята к публикации 27.10.2019 г.

Почвенно-археологические исследования проведены на территории памятника “Вотикеевский археологический комплекс” (бахмутинская культура эпохи раннего средневековья V–VII вв. н. э.), расположенного в 30 км севернее г. Уфы (подзона северной лесостепи Республики Башкортостан, Южный Урал). Определены общие и морфологические свойства почв, установлены параметры структурного состояния молекул гуминовых кислот с использованием ¹³C ЯМР-спектроскопии. Показано, что на территории памятника распространены легкоглинистые темно-серые почвы (Phaeozems). Их гумусовые горизонты (мощностью до 51 см) характеризуются содержанием органического углерода 1.5–3.6%, нейтральной реакцией среды; величиной емкости катионного обмена от 35 до 29 смоль(экв)/кг почвы с преобладанием обменного кальция. Отмечается повышенное содержание валового фосфора с максимумом 4631 мг/кг почвы в слое 0–50 см, что обусловлено жизнедеятельностью древнего человека и не оказывает существенного влияния на содержание подвижных форм фосфора и калия, а также щелочногидролизующего азота. На глубине 30–42 см обнаружены линзы более светлой окраски с примесью мелкого песка и фрагментами керамики и костей, что позволяет отнести их к материалу, перемещенному древним человеком. Эти линзы характеризуются большим содержанием валового фосфора (7295 мг/кг почвы) и величиной электрического сопротивления (1130 Ом · м) по сравнению с вмещающим их горизонтом. Анализ методом ¹³C ЯМР-спектроскопии показал, что в гумусовом горизонте почвы и в материале, перемещенном человеком, преобладают гуминовые вещества с сильновыраженным пиком ароматических соединений замещенного и незамещенного типа, связанные с полимеризованными структурами макромолекул гуминовых веществ, что характерно для черноземов. Время функционирования археологического комплекса приходится на период раннесубатлантического потепления.

Ключевые слова: темно-серая почва (Phaeozems), археологический памятник, физические и химические свойства, гумусовые вещества, ¹³C ЯМР-спектроскопия

DOI: 10.31857/S0032180X20030089

ВВЕДЕНИЕ

Изучению почвенного покрова археологических памятников уделяется особое внимание. Такие исследования позволяют проводить реконструкцию климатических условий, устанавливая закономерности эволюции почв во времени и пространстве, выявлять особенности взаимодействия древнего человека с окружающей средой [8,

11, 38–43, 53, 56, 61]. Изучая жизнедеятельность прошлых сообществ можно прогнозировать их развитие в условиях современных глобальных социально-климатических изменений [50, 57].

Палеопочвенные и почвенно-археологические исследования на территории Республики Башкортостан проводили в подзоне южной лесостепи в пределах левой части водосбора бассейна р. Белая, почвенный покров которого в основном пред-

ставлен черноземами [16, 26, 31–33, 52]. На примере Мурадымовского поселения (Аургазинский район Республики Башкортостан) бронзового века показано, что в культурных отложениях происходило выщелачивание солей во влажные сезоны, которое сопровождалось процессом миграции вверх и осаждения солей во время летних засух и сильных заморозков [52]. При изучении курганов срубной культуры бронзового века (Стерлибашевский и Стерлитамакский районы Республики Башкортостан) с использованием почвенных и палинологических методов отмечено, что в период их возведения климат был более влажным, чем в настоящее время, при этом фоновые современные и древние легкосуглинистые маломощные черноземы типичные карбонатные по морфологическим и физико-химическим свойствам имеют большое сходство [26].

В обобщающей работе [43] по вопросу позднего голоценового этапа лесного почвообразования в придолинных частях водоразделов на территории лесостепи Среднерусской возвышенности показано, что на северной половине лесостепи уже существовали ареалы серых лесных почв, сформированные под широколиственными лесами. В то же время на южной половине продолжали формироваться черноземы под травянистой растительностью.

В настоящей работе предпринята попытка провести почвенно-археологическое обследование территории памятника Вотикеевский археологический комплекс (бахмутинская археологическая культура эпохи раннего средневековья), расположенного в северной лесостепной зоне Южного Предуралья (Республика Башкортостан).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

“Вотикеевский археологический комплекс” располагается примерно в 30 км на север от г. Уфы и 0.5 км восточнее с. Вотикеево (входит в состав Орджоникидзевского района городского округа г. Уфа, 54°52'27" N, 56°13'11" E) на правом коренном берегу р. Уфы. Он состоит из двух поселений разного типа: Вотикеево-1, селище и Вотикеево-2, городище. Поселение Вотикеево-1, селище выявлено Е.В. Руслановым в 2016 г. [29]. Площадь территории объекта Вотикеево-1, селище ~3500 м², протяженность периметра – 390 м. В 2017 г. селище осматривались В.В. Овсянниковым и А.Г. Колонских, ими выявлено Вотикеево-2, городище, которое расположено примерно в 1 км северо-восточнее селища. Площадь территории объекта Вотикеево-2, городище ~4600 м², протяженность периметра – 340 м (рис. 1). В ходе изучения собран археологический материал, а также заложено два рекогносцировочных разреза на площадках селища и городища [14].

В ходе осмотра площадок “Вотикеевского археологического комплекса” обнаружено большое количество фрагментов лепных сосудов. Орнамент представлен ямочными вдавлениями, редко в сочетании с насечками в виде “елочки”. Цвет от светло-желтого и светло-серого до коричневого и темно-серого. Примеси в формовочных массах представлены крупным песком, галькой и дресвой. Данная керамика имеет аналогии в посуде чандарского типа, относящегося к бахмутинской культуре эпохи раннего средневековья V–VII вв. н. э. Аналогичные керамические изделия обнаружены в обоих разрезах. Что позволяет констатировать синхронность и однокультурность селища и городища. Концентрация находок составила для Вотикеево-1, селище – 0.071 шт./дм и Вотикеево-2, городище – 0.059 шт./дм².

Индивидуальные находки представлены фрагментами глиняного биконического пряслица, а также металлическими изделиями. Хронологическими маркерами служат находки подвески в виде фигурки медведя и фрагментов бронзовой бабочковидной фибулы, которые позволяют сузить дату существования комплекса поселений V вв. н. э. [22, 34]. Кроме собственно вещей бахмутинского типа, на городище встречены предметы раннего железного века. Две бронзовых накладки, зооморфная пряжка с неподвижным язычком, 12 трехлопастных наконечников стрел и фрагмент зеркала аналогичны предметам из некрополей кара-абызской археологической культуры [20, 27]. Эти вещи датируются в пределах IV–II вв. до н. э. Также на площадке городища обнаружены две подвески более позднего, возможно, X–XII вв. н. э.

Основное время функционирования исследованных поселений относится к эпохе раннего средневековья и датируется V в. н. э. Обнаруженные на городище поздние вещи, вероятно, являются случайными находками и не образуют слоя поселения, существовавшего на месте бахмутинского. То же можно сказать и о более ранних находках. Предметы кара-абызской культуры сконцентрированы лишь на одном участке площадки городища, наряду с фрагментами бронзовых слитков и “всплесков” (пролитых случайно фрагментов жидкого металла), металлического лома и шлаков. Они являются следами цветной металлообработки эпохи раннего средневековья. Сырьем для литейщиков в данном случае служили вещи более ранней эпохи. Подтверждением данного предположения является отсутствие в материалах городища керамики раннего железного века. Аналогичный археологический материал, близкое расположение, а также различное функциональное назначение площадок изученных поселений позволяют объектам Вотикеево-1, селище и Вотикеево-2, городище объединить в рамках синхронного археологического комплекса.

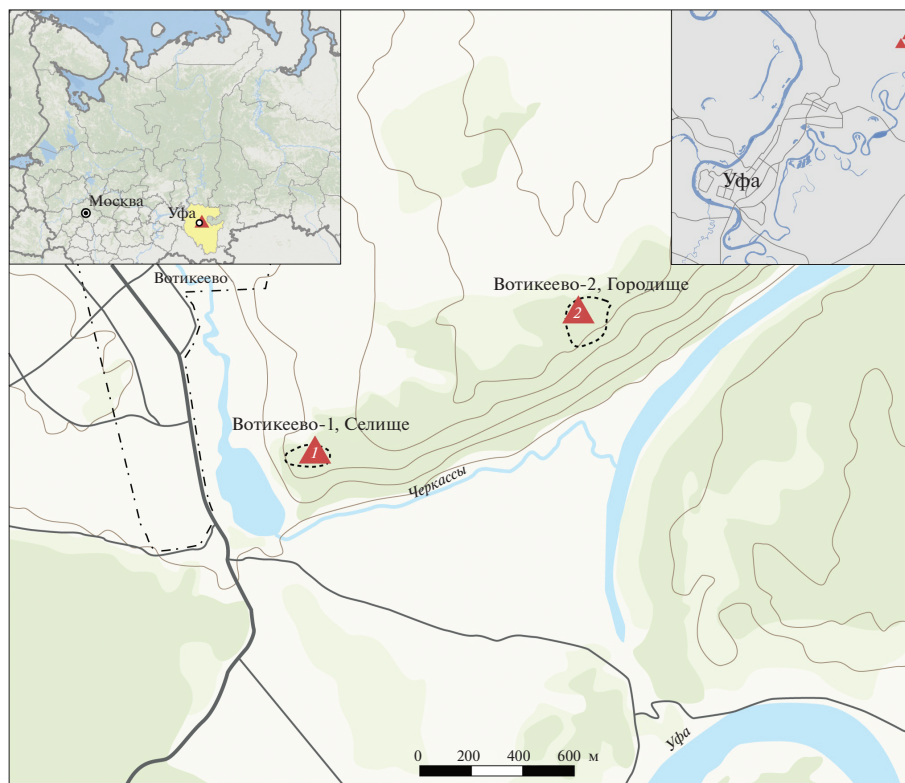


Рис. 1. Карта местоположения памятника “Воткиевский археологический комплекс”: 1 – разрез 1-2017; 2 – разрез 2-2017.

Согласно физико-географическому районированию Республики Башкортостан, территория археологического памятника находится в пределах Правобережного Прибельского округа в подзоне северной лесостепи. Округ характеризуется развитием увалистых и холмистых равнин. Наиболее древними образованиями, выходящими на дневную поверхность, являются отложения кунгурского яруса пермской системы, представленные гипсами, ангидритами, известняками и доломитами. Они наиболее распространены в восточной части округа [36]. В западной части округа преобладают уфимские (верхнепермские) красноцветные породы – песчаники, глины, мергели с прослоями известняков и гипса. Климат отличается умеренной континентальностью и средней увлажненностью. Средняя годовая температура воздуха колеблется в пределах 1.7–2.8°C. Средняя температура января – в пределах от –14.3 до –16.2°C. Зима характеризуется устойчивой морозной погодой, снегопадами и редкими оттепелями. Средняя температура июля – 18–19.3°C. Лето теплое и ясное, с редкими ливнями. Среднее годовое количество осадков составляет 450–550 мм [25, 36].

Повсеместное распространение в округе получили серые в различной степени оподзоленные почвы, сформированные на делювиальных отложениях глинистого гранулометрического состава,

в них вкраплены черноземы оподзоленные. Отдельными пятнами встречаются подзолистые и своеобразные коричневые лесные почвы, развитые на элювии мергелей. Растительность представлена широколиственными лесами, которые располагаются по крутым склонам, вершинам водоразделов, балкам и карстовым воронкам. Они в основном состоят из липы (*Tilia cordata* Mill.) с примесью дуба (*Quercus robur* L.), клена (*Acer platanoides* L.), ильма (*Ulmus glabra* Huds.), вяза (*Ulmus laevis* Pall.), березы (*Betula pendula* Roth) и осины (*Populus tremula* L.). В подлеске – черемуха (*Padus avium* Mill.), бересклет (*Euonymus verrucosa* Scop.), лещина (*Corylus avellana* L.). В травянистом покрове – сныть (*Aegopodium podagraria* L.), папоротники (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth), копытень (*Asarum europaeum* L.), звездчатка (*Stellaria holostea* L.), борец (*Aconitum septentrionale* Koelle), вороний глаз (*Paris quadrifolia* L.) Естественный травянистый покров безлесных пространств представлен злаково-разнотравными степями лугового типа. На склонах южной экспозиции имеются участки злаковых степей с присутствием ковылей и овсяниц [25, 36].

Морфологическое описание почвенных разрезов, заложенных на территории археологического памятника:

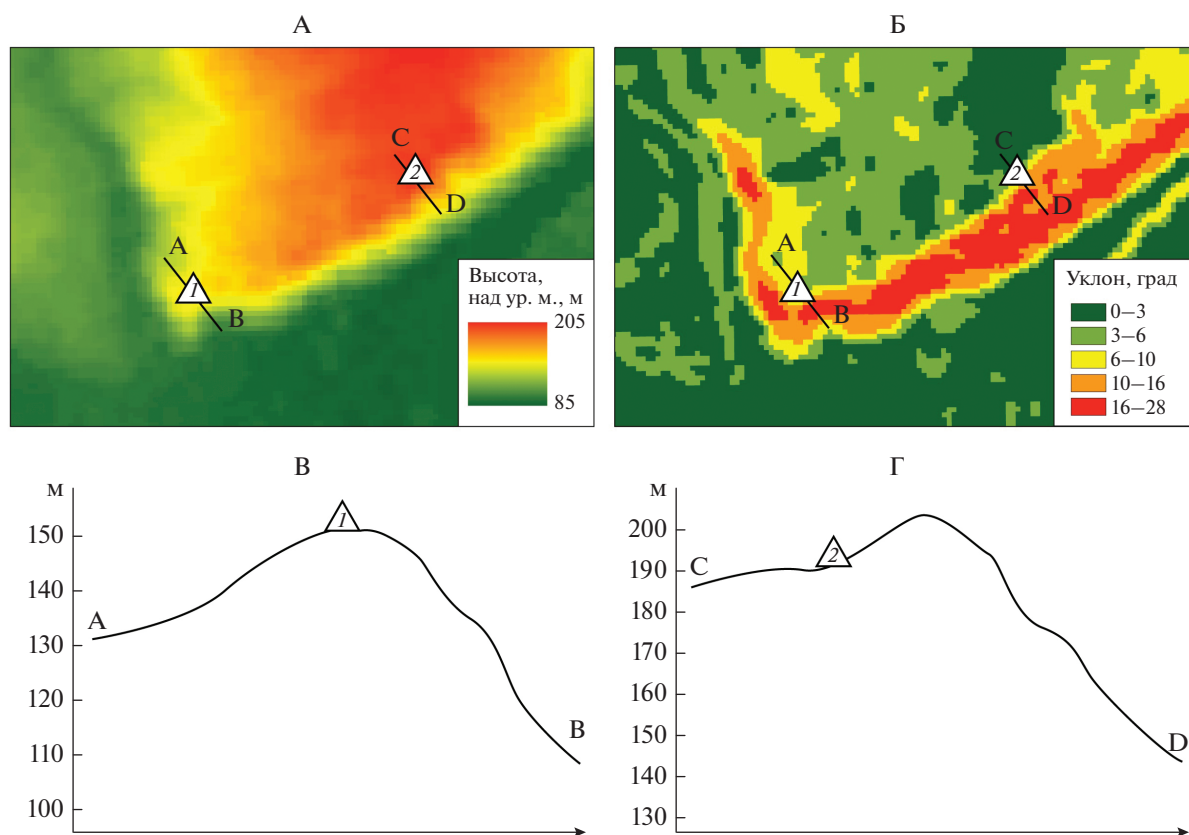


Рис. 2. Геоморфометрический анализ территории памятника “Вотикеевский археологический комплекс”: А – цифровая модель рельефа (NASA’s Shuttle Radar Topography Mission); Б – карта уклонов; В – профиль рельефа (А–В) через разрез 1–2017; Г – профиль рельефа (С–D) через разрез 2–2017.

Разрез 1–2017 (Вотикеево-1, селище; 54°52′12″ N, 56°13′46″ E). Правый коренной берег р. Уфа, широколиственный лес (дуб, клен, липа, осина), верхняя часть покатого склона северо-западной экспозиции, высота 151 м над ур. м. (рис. 1, 2).

АУ, 0–51 см. Темно-серый, влажноватый, пылеватый суглинок, мелкоореховатый, переплетен корнями, единичные включения щебенки гипса, на глубине в пределах 30–42 см встречаются прослойки бесструктурных линз¹ буровато-серого цвета, с примесью песка и включениями археологических артефактов, граница волнистая, переход постепенный.

ВЕЛ, 51–64 см. Буровато-темно-серый, влажноватый, средний суглинок, ореховатый, кутаны,

¹ В горизонте АУ (0–51 см) встречаются линзы с включениями осколков лепных сосудов и мелких фрагментов костей (верхняя граница распространения линз составляет 30 см, нижняя – 42 см от дневной поверхности). Наличие артефактов в линзах позволяет предположить, что они образовались в результате хозяйственной деятельности древнего человека, поэтому, согласно [28], в дальнейшем будем называть их “материал, перемещенный человеком” (англ. НТМ, 30–42 см).

осветленные зоны, скелетаны, граница карманная, переход ясный.

ВТ, 64–77 см. Бурый, влажный, тяжелый суглинок, призматический, гумусовые затеки, лакировка по граням структурных отдельностей, граница ровная, переход постепенный.

С, 77–90 см. Бурый, сырой, бесструктурный, вязкий, делювиальная пылеватая глина.

Почва – темно-серая (*Phaeozems*) с включениями материала, перемещенного человеком (НТМ).

Разрез 2–2017 (Вотикеево-2, городище; 54°52′29″ N, 56°14′44″ E). Правый коренной берег р. Уфа, широколиственный лес (клен, ольха), поверхность покрыта ветками, травянистая растительность практически отсутствует, нижняя часть сильно покатого склона западной экспозиции, высота 192 м над ур. м.

АУ, 0–20 см. Темно-серый, влажноватый, легкий суглинок, мелкоореховатый, переплетен корнями, включения фрагментов керамики и костей, граница ровная, переход резкий.

ВЕЛ, 20–34 см. Рыжевато-бурый, влажный, средний суглинок, в основном – бесструктурный, местами имеются агрегаты мелкоореховатого ти-

па, кутаны, осветленные участки, включения керамики и угля, граница ровная, переход резкий.

AУhh, 34–46 см². Буровато-серый, сырой, мелкокомковатый, средний суглинок, включения фрагментов керамики и костей.

Почва – темно-серая урбистратифицированная.

В почвенных образцах, отобранных по генетическим горизонтам, аналитические исследования проводили общепринятыми методами: гранулометрический и микроагрегатный состав определяли по Качинскому [6, 12]; содержание углерода – по Тюрину с окончанием по Орлову и Гриндель; щелочногидролизующего азота – по Корнфилду; валового фосфора – по Гинзбургу; подвижного фосфора и калия – по Чирикову; кальция и магния – трилонометрическим методом; реакцию среды – потенциометрически [1, 3]; измерения удельного электрического сопротивления проводили при помощи портативного прибора Landmarker [35].

Экстракцию гуминовых кислот (ГК) для анализа методом ¹³C ЯМР-спектроскопии проводили из воздушно-сухих образцов почв путем двукратной обработки 0.1 М раствором NaOH (соотношение почва раствор 1 : 10) после декальцирования 0.1 М раствором соляной кислоты. Далее к щелочному экстракту добавляли насыщенный раствор Na₂SO₄ (20% от объема экстракта) для коагуляции коллоидных частиц и центрифугировали в течение 1 ч при 13000 об./мин. ГК осаждали в очищенном экстракте, доводя pH раствора до 2. Для очистки препаратов ГК их подвергали диализу, затем переносили в фарфоровые чашки и сушили в сушильном шкафу при температуре 40°C [44]. Исследования образцов методом ЯМР проводили на спектрометре Bruker Avance III WB 400. Твердофазные образцы помещали в ротор внешним диаметром 4 мм, изготовленный из оксида циркона, и вращали с частотой 12.5 кГц под “магическим углом” к направлению постоянного магнитного поля. Для регистрации спектров на ядрах ¹³C использована кросс-поляризация последовательность возбуждающих импульсов (методика CP MAS). Время контакта составило 2 мс, время задержки – 1 с, число накоплений – 50000 [15]. Степень ароматичности ГК рассчитывали по [44]

² В районе разреза 2-2017, расположенного в нижней части сильнопокатого склона, отмечается проявление водной эрозии, которая могла быть обусловлена как развитием деградационных процессов верхнего слоя почвы вследствие жизнедеятельности древнего человека, так и отсутствием травянистого покрова под пологом леса, что привело к педрическому переносу, перетолжению эрозийного материала и формированию погребенного гумусово-аккумулятивного горизонта AУhh. По литературным данным имеются сведения о возможности развития водной эрозии вследствие хозяйственной деятельности древнего человека (ведение сельского хозяйства, вырубка лесов) [51, 58].

Геоморфометрический анализ территории выполняли с использованием геоинформационной системы QGIS на основе цифровой модели рельефа с разрешением 30 м – NASA’s Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические и химические свойства

Почвенный покров территории в районе разреза 1-2017 представлен темно-серой почвой. Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта составляет примерно 50 см, при этом среднее содержание органического углерода в этом горизонте находится на уровне 3.6% и постепенно плавно снижается с глубиной к почвообразующей породе до ~1%. С поверхности реакция среды нейтральная (pH_{H₂O} 6.0–5.8), которая подкисляется до 5.7 ед. в субэлювиальном горизонте BEL, и далее с глубиной увеличивается до 6.0 ед. pH. Сумма обменных катионов в профиле почвы изменяется от 35.5 до 29.5 смоль(экв)/кг почвы, среди которых преобладает кальций (табл. 1).

Темно-серая почва характеризуется очень высоким содержанием валового фосфора, если у зональных почв этот показатель составляет 1600–2100 мг/кг почвы в гумусовом горизонте [25], то у почвы поселения он увеличивается до 4631 и 3934 мг/кг почвы. Следует отметить, что фосфор является уникальным элементом в качестве чувствительного и постоянного индикатора человеческой деятельности. Источниками его поступления являются человеческие отходы, захоронения, продукты животноводства, внесение удобрений [55, 60]. При этом содержание подвижных форм фосфора и калия, а также щелочногидролизующего азота остается в пределах зональных показателей [25].

НТМ (30–42 см) отличается от генетических горизонтов темно-серой почвы физико-химическими, химическими и физическими свойствами. Реакция среды НТМ составляет 6.4 ед. pH при 5.9 в горизонте AУ на глубине 30–50 см, в толще которого и располагается НТМ, также значительные превышения отмечаются по содержанию валового фосфора (7295.1 мг/кг почвы) и величины удельного электрического сопротивления (1130 Ом · м). Кроме того, отмечается некоторое увеличение содержания органического углерода и обменного Са²⁺ в составе почвенно-поглощающего комплекса. Содержание подвижного калия и щелочногидролизующего азота находится примерно на одном уровне с вмещающим его горизонтом AУ, при некотором превышении концентрации подвижного фосфора.

По химическим свойствам почва разреза 2-2017 близка к показателям почвы разреза 1-2017, за ис-

Таблица 1. Химические свойства почв памятника “Вотикеевский археологический комплекс”

Горизонт, глубина, см	рН		C _{орг}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	P ₂ O ₅		N*	K ₂ O _{обм}
	H ₂ O	KCl	%	смоль(экв)/кг почвы			подв	вал		
								мг/кг почвы		
Разрез 1-2017										
AY, 0–20	6.0	5.4	3.64	26	10	36	116	4631	224	900
AY, 30–50	5.9	5.2	3.21	25	10	35	20	3934	147	1100
VEL, 51–64	5.8	4.8	2.22	23	7	30	53	1455	105	900
BT, 64–77	5.8	4.7	1.33	25	5	30	72	942.6	35	900
C, 77–90	6.1	4.8	0.99	24	5	29	60	840.2	49	800
НТМ, 30–42	6.4	5.7	3.45	29	8	37	72	7295	161	800
Разрез 2-2017										
AY, 0–20	5.5	4.6	1.53	24	6	30	66	2193	210	900
VEL, 20–34	5.4	4.0	1.11	18	6	24	56	984	42	900
AYhh, 34–46	5.6	4.4	2.17	21	8	29	70	1537	112	900

* Азот щелочногидролизуемый.

Таблица 2. Гранулометрический состав гумусового горизонта почвы памятника “Вотикеевский археологический комплекс” (разрез 1-2017)

Горизонт, глубина, см	Содержание фракций, %; размер фракции, мм								K
	>0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01	>0.01	
AY, 0–20	<u>0.2</u>	<u>2</u>	<u>26</u>	<u>14</u>	<u>39</u>	<u>18.8</u>	<u>71.8</u>	<u>28.2</u>	29
	19	29	29	9	9	5	23	77	
AY, 30–50	<u>0.2</u>	<u>0.9</u>	<u>27</u>	<u>13</u>	<u>41</u>	<u>17.9</u>	<u>71.9</u>	<u>28.1</u>	50
	15	26	30	8	12	9	29	71	
НТМ, 30–42	<u>0.4</u>	<u>4</u>	<u>26</u>	<u>11</u>	<u>38</u>	<u>20.6</u>	<u>69.6</u>	<u>30.4</u>	33
	7	25	37	11	14	6	31	69	

Примечание. Над чертой – гранулометрический; под чертой – микроагрегатный состав; K – коэффициент дисперсности по Качинскому.

ключением содержания органического углерода, которое примерно в два раза ниже: для горизонта AY (0–20) – 1.53, погребенного горизонта AYhh (34–46 см) – 2.17%, что, вероятно, объясняется развитием эрозионных процессов на этом участке. В горизонтах AY и AYhh отмечается повышенное содержание валового фосфора, которое, возможно, также имеет антропогенное происхождение и составляет 2192.6 и 1536.9 мг/кг почвы соответственно.

Физические свойства. Анализ гранулометрического состава показал, что и гумусово-аккумулятивный горизонт темно-серой лесной почвы и НТМ, расположенный в нем, классифицируются по Н.А. Качинскому как легкоглинистый, преобладающими являются фракции мелкой и крупной пыли (табл. 2). Следует отметить, что в НТМ отмечается повышение содержание фракции песка мелкого до 4%, вероятно, это связано с его

привносом в результате жизнедеятельности древнего человека.

В микроагрегатном составе слоя 0–20 см почв преобладают агрегаты размером 0.25–0.05 и 0.05–0.01 мм, и доля каждой фракции составляет ~29%. На глубине 30–50 см заметно некоторое изменение содержания микроагрегатов всех фракций, но преобладают размерности 0.05–0.01 мм (содержание ~30%), что отобразилось на изменении коэффициента дисперсности по Качинскому с 29 до 50. Следует отметить, что в целом коэффициент дисперсности соответствует типу темно-серых лесных почв, представленных в регионе [25]. В составе НТМ также преобладают микроагрегаты размером 0.05–0.01 мм, но их доля уже достигает примерно 37%, а коэффициент дисперсности – 33.

В профиле изученных почв максимальные значения удельного электрического сопротивления отмечаются в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте (802–881 Ом · м) и постепенно

снижаются к почвообразующей породе (332 Ом · м). В то же время этот показатель был максимальным 1130 Ом · м в НТМ разреза 1–2017 (рис. 3). Следует отметить, что на величину удельного электрического сопротивления оказывает влияние как протекание различных процессов почвообразования, так и широкий комплекс свойств почв [23, 24]. В данном случае можно предположить, что на увеличение величины удельного электрического сопротивления в линзе повлияло изменение гранулометрического состава, состава гуминовых кислот и повышенное содержание валового фосфора.

Характеристика гуминовых кислот

Известно, что гумусовые вещества представляют собой гетерогенную, полидисперсную систему высокомолекулярных, азотсодержащих, ароматических органических соединений кислотной природы, а гумусообразование – процесс формирования динамичной системы органико-минеральных соединений в профиле почв, соответствующей экологическим условиям ее функционирования [21]. Поэтому в археологическом почвоведении большое внимание уделяется изучению гуминовых кислот как древних погребенных почв, так и современных, поскольку они являются источником информации о природной среде их формирования [4, 9]. Для этих целей в последнее время все чаще используются точные инструментальные методы, в частности спектроскопия ядерного магнитного резонанса для твердофазного вещества [2, 10, 49]. Этот метод позволяет оценивать степень стабилизации органического вещества в почвах различных природных зон [37, 45–47] и в различных вариантах землепользования [54, 59].

На рис. 4 приведены спектры ¹³C-ЯМР для препаратов гуминовых кислот, выделенных из почвенных образцов горизонта АУ (разрез 1-2017): АУ (0–20 см), АУ (30–50 см) и погребенного НТМ (30–42 см), а в табл. 3 приводится содержание углерода различных структурных фрагментов молекул гуминовых кислот в этих же образцах. Спектры выделенных препаратов гуминовых кислот являются в

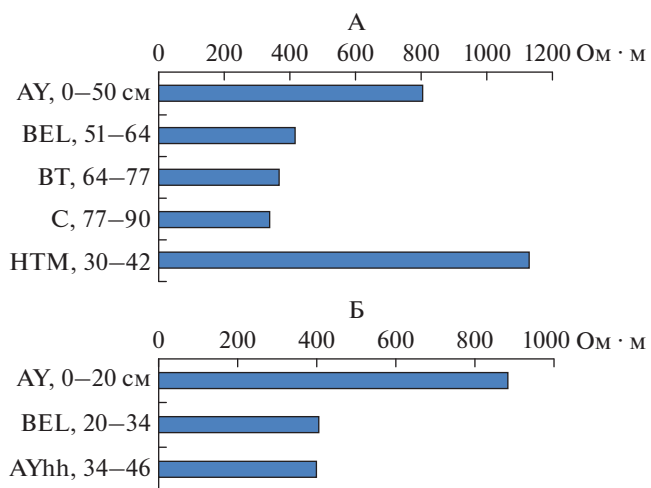


Рис. 3. Величина удельного электрического сопротивления в профиле почв памятника “Вотикеевский археологический комплекс”: А – разрез 1-2017, Б – разрез 2-2017.

целом однотипными, однако при детальном рассмотрении наблюдаются небольшие отличия. Например, в спектральной области 0–47 ppm в препарате ГК из горизонта АУ на глубинах 0–20 и 30–50 см обнаружен сигнал 33 ppm, соответствующий незамещенным алифатическим фрагментам метиленовых атомов углерода, появляющимся в результате накопления воско-смоля, липидов и субериновых структур растений [47]. В НТМ (30–42 см) с включениями антропогенного материала сигнал в данной спектральной области не обнаружен, что свидетельствует о специфике гумификации в условиях антропогенного почвообразования.

В препарате ГК из гумусово-аккумулятивного горизонта АУ с глубины 0–20 см в диапазоне 47–60 ppm, обусловленном присутствием лигнинных фрагментов [47], обнаружен сигнал 52 ppm, тогда как в горизонте АУ, расположенном ниже, на глубине 30–50 см в диапазоне 47–60 ppm сигнал не выражен. Это может быть связано с недостаточным количеством метоксильных групп, связанных с присутствием лигнинных фенол-

Таблица 3. Содержание углерода в структурных фрагментах молекул гуминовых кислот темно-серой почвы (по данным ¹³C-ЯМР спектроскопии, разрез 1-2017)

Горизонт, глубина, см	Величина химического сдвига, ppm				Ароматичность, %
	0–45	45–110	110–160	160–220	
	C _{Alk}	C _{AlkO}	C _{Ar} + C _{ArO}	C _{COOH} + C _{C=O}	
АУ, 0–20	12.5	29.1	48.0	10.4	0.54
АУ, 30–50	10.0	14.2	48.9	26.9	0.66
НТМ, 30–42	13.6	16.2	60.8	9.4	0.67

Примечание. C_{Alk} – углерод алкильных групп, C_{AlkO} – алифатический углерод, связанный с кислородом, C_{Ar} + C_{ArO} – незамещенный или C-замещенный ароматический углерод, C_{COOH} + C_{C=O} – карбоксильный и карбонильный углерод.

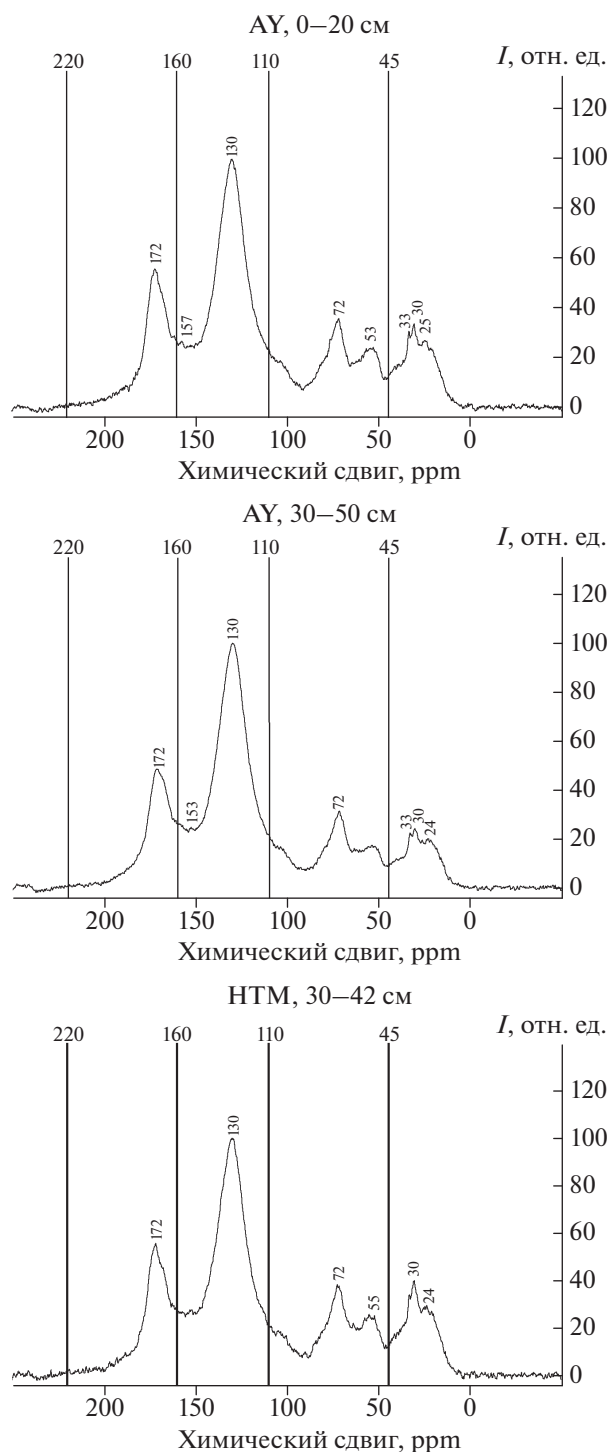


Рис. 4. ^{13}C ЯМР-спектры гумусовых кислот темно-серой почвы (разрез 1-2017).

пропановых фрагментов [47]. В погребенном НТМ (30–42 см) в диапазоне 47–60 ppm присутствует сигнал 55 ppm, аналогичный гумусово-аккумулятивному горизонту АУ с глубины 0–20 см. Поскольку лигнин, как сложное полимерное соединение, входит в состав стенок клеток растений [48],

то основным его поставщиком в почву являются постморральные фрагменты высших сосудистых растений [13]. Так как слой АУ (30–50 см) отделен от источников растительного материала вышележащим слоем АУ (0–20 см), то метоксильные группы лигниновых фрагментов в большей степени представлены в вышележащем горизонте АУ (0–20 см), соприкасающемся с материалом растительных остатков. Сигнал метоксильных групп лигниновых фрагментов в препаратах ГК НТМ (30–42 см) 55 ppm может быть результатом перемешивания, в момент отсыпки, материала погребенной линзы (НТМ) с материалом горизонтов непосредственно соприкасающимися с растительными остатками.

В спектральных областях 60–105 ppm (алифатических фрагментов, дважды замещенных гетероатомами (в том числе углеводными)) и 105–144 ppm (углерод и водород замещенных ароматических фрагментов), в карбоксильных группах 164–183 ppm, хинонных группах 183–190 ppm и в группах альдегидов 190–204 ppm [5] кривые спектров ^{13}C -ЯМР всех изученных образцов не показали заметных различий, что свидетельствует об общей направленности процессов гумификации и стабилизации органического вещества.

В спектральной области 144–164 ppm, соответствующей кислород- и азотзамещенным ароматическим фрагментам [5], для препаратов ГК, выделенных из образцов горизонта АУ с глубин 0–20 и 30–50 см, получены сигналы 157 и 152 ppm соответственно. При этом аналогичный сигнал из погребенного НТМ (30–42 см) не выделяется. Такая особенность отмечена ранее. Выявлено значительное уменьшение интенсивности сигнала в области кислород- и азотзамещенных ароматических фрагментов, сигнал исчезал в препаратах ГК, выделенных из палеопочв, что, вероятно, связано с их трансформацией в процессе диагенеза [10].

По степени ароматичности исследуемые образцы близки к степным черноземам (табл. 3, рис. 4) [37, 47].

Оценка палеоклимата “Вотикеевского археологического комплекса” предпринята с использованием литературных источников. Согласно полученным данным при реконструкции палеоклимата споро-пыльцевым методом и радиоуглеродной датировкой (для территории долины р. Белая севернее широты г. Уфы) показано, что время функционирования археологического памятника приходится на период раннесубатлантического потепления, спад которого отмечен абсолютной датой 1920 ± 170 лет назад. В максимум этого периода средняя температура июля была выше современной примерно на 0.5°C , января – на 1°C , количество осадков соответствовало современному уровню [18]. В целом эти данные согласуются с результатами палеоклиматического анализа гео-

термических (метод реконструкции изменений климата по измерению температуры в геологических скважинах) данных по среднему и южному Уралу [7], палинологических и биоархеологических исследований культурных слоев бахмутинской культуры археологических памятников, расположенных в долине р. Белая [17, 19, 30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные почвенно-археологические исследования на территории “Вотикеевского археологического комплекса” показали следующее:

Вотикеевский комплекс относится к бахмутинской культуре эпохи раннего средневековья V–VII вв. н. э. (датировка проведена по археологическим артефактам – фрагментам лепных сосудов, украшениям, предметам быта).

Почвенный покров представлен легкоглинистыми темно-серыми почвами с содержанием $C_{орг}$ – 1.5–3.6% в гумусово-аккумулятивном горизонте АУ, мощность которого в верхней части покатого склона достигает 51 см, в нижней части склона уменьшается до 20 см, но с глубины 34 см появляется погребенный горизонт АУhh (34–46 см; $C_{орг}$ – 2.2%). Образование погребенного горизонта было обусловлено развитием склоновых эрозионных процессов. Почва характеризуется нейтральной реакцией среды и преобладанием обменного кальция. Отмечается повышенное содержание валового фосфора в горизонтах АУ, АУhh и ВЕL, что связано с жизнедеятельностью древнего человека, при этом количество подвижных форм фосфора и калия, а также щелочногидролизующего азота находятся в пределах, характерных для фоновых почв района исследований.

В профиле почвы, расположенной в верхней части покатого склона, на глубине 30–42 см обнаруживается материал, перемещенный древним человеком (НТМ) в виде линз с включениями фрагментов керамики и костей, в котором отмечается повышенное содержание песчаной фракции, валового фосфора и выше величина кажущегося электрического сопротивления по сравнению с вмещающим их горизонтом АУ.

Анализ органического вещества изученных почвенных образцов разреза 1-2017 горизонта АУ с глубин 0–20, 30–50 см и материала, перемещенного древним человеком с глубины 30–42 см, методом ^{13}C ЯМР-спектроскопии показал, что на характер спектров оказали влияние природно-климатические условия, поступление растительных остатков, глубина залегания, антропогенное воздействие, погребение горизонтов и процессы диагенеза.

В образцах горизонта АУ в отличие от НТМ преобладают сигналы в спектральной области 0–47 ppm появляющиеся в результате накопления воско-смоля, липидов и субериновых структур

растений. Однако активность в спектральной области 47–60 ppm, обусловленной присутствием постмортальных лигниновых фрагментов высших сосудистых растений, проявляется во всех образцах. Что может свидетельствовать о перемещении НТМ с материалом гумусово-аккумулятивного горизонта, содержащего растительные остатки.

В спектральных областях 60–105, 105–144, 164–183, 183–190, 190–204 ppm различия отсутствовали, что говорит об общей направленности процессов гумификации. В области 144–164 ppm, соответствующей кислород- и азотзамещенным ароматическим фрагментам, отмечается уменьшение интенсивности сигнала в НТМ, что обусловлено проявлением процесса диагенеза. По степени ароматичности исследуемые образцы близки почвам черноземного типа, которые формируются в степных природно-климатических условиях.

Оценка палеоклимата с использованием литературных данных [18] показала, что время функционирования археологического комплекса приходится на период раннесубатлантического потепления, при этом средняя температура июля была выше современной примерно на 0.5°C, января – на 1°C, количество осадков соответствовало современному уровню.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190102-3 и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-11-02001-ОГН ОГН-Р УРАЛ-А. ^{13}C ЯМР-спектроскопия проведена в Научном парке СПбГУ (грант СПбГУ № 1.40.541.201).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1976. 656 с.
2. Алексеева Т.В., Золотарева Б.Н., Колягин Ю.Г. Фракционирование гуминовых кислот при взаимодействии с глинистыми минералами по данным ^{13}C -ЯМР спектроскопии // Доклады Академии наук. 2010. Т. 434. № 5. С. 712–717.
3. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск ун-та, 1970. 488.
4. Багаутдинова Л.В., Рюмин А.Г., Кечайкина И.О., Чуков С.Н. Трансформация гуминовых кислот погребенных почв // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 3, биология. 2012. Вып. 2. С. 92–108.
5. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Высокомолекулярные органические соединения в почвах // Известия Коми научного центра УрО РАН. Биологические науки. 2010. Вып. 1. С. 24–30.

6. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
7. *Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Демежко Д.Ю.* Реконструкции климата на Урале по геотермическим данным // *Геология и геофизика*. 2012. Т. 53. № 12. С. 1776–1785.
8. *Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А., Хомутова Т.Э., Кузнецова Т.В., Ельцов М.В., Удальцов С.Н.* Палеоэкологический кризис в степях нижнего Поволжья в эпоху средней бронзы (рубеж III–II тыс. до н. э.) // *Почвоведение*. 2017. № 7. С. 799–813.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17070012>
9. *Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Гаврилов Д.А., Васильева Д.И., Очур К.О., Ондар Е.Э.О.* Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // *Сибирский экологический журнал*. 2012. Т. 19. № 5. С. 667–676.
10. *Золотарева Б.Н., Демкин В.А.* Гумус палеопочв археологических памятников сухих степей Волго-Донского междуречья // *Почвоведение*. 2013. № 3. С. 291–301.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X13030143>
11. *Иванов И.В., Приходько В.Е., Замотаев И.В., Маняхов Д.В., Новенко Е.Ю., Калинин П.И., Маркова Л.М., Плаксина А.Н.* Синлитогенная эволюция пойменных почв в долинах малых рек степного Зауралья // *Почвоведение*. 2019. № 6. С. 645–662.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19060066>
12. *Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 193 с.
13. *Ковалева Н.О., Ковалев И.В.* Лигниновые фенолы в почвах как биомаркеры палеорастворимости // *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1073–1086.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15090063>
14. *Колонских А.Г.* Научный отчет об итогах археологической разведки на территории Бураевского, Татышлинского, Калтасинского, Янаульского, Краснокамского, Благовещенского районов, ГО город Уфа Республики Башкортостан в 2017 г. Т. 1. Уфа, 2018. 125 с.
15. *Костенко И.В., Абакумов Е.В.* Характеристика гуминовых кислот горно-луговых и буроземных почв Крыма методом ¹³C-ЯМР // *Почвоведение*. 2018. № 12. С. 1446–1454.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X18120067>
16. *Кунгурцев А.Я., Сулейманов Р.Р.* Разновозрастные почвы археологических памятников лесостепного Зауралья // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2017. Т. 19. № 2. С. 133–139.
17. *Курманов Р.Г.* Изучение сукцессий растительных сообществ городища Уфа II методом споропыльцевого анализа // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2015. № 4(31). С. 175–184.
18. *Немкова В.К., Климанов В.А.* Характеристики климата Башкирского Предуралья в голоцене // *Некоторые вопросы биостратиграфии, палеомагнетизма и тектоники кайнозоя Предуралья*. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. С. 65–71.
19. *Овсянников В.В., Курманов Р.Г.* Палинологическое исследование культурного слоя Бирского поселения // *Поволжская археология*. 2018. № 3(25). С. 88–102.
<https://doi.org/10.24852/2018.3.25.88.102>
20. *Овсянников В.В., Савельев Н.С., Акбулатов И.М., Васильев В.Н.* Шиповский могильник в лесостепном Приуралье. Уфа: Гилем, 2007. 166 с.
21. *Орлов Д.С.* Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
22. *Останина Т.И.* Население Среднего Прикамья в III–V вв. Ижевск: Удмуртский институт истории, языка и литературы УрО РАН, 1997. 328 с.
23. *Поздняков А.И.* Электрические параметры почв и почвообразование // *Почвоведение*. 2008. № 10. С. 1188–1197.
24. *Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д.* Стационарные электрические поля в почвах. М.: КМК Scientific Press Ltd., 1996. 360 с.
25. *Почвы Башкортостана Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Под ред. Хазиева Ф.Х.* Уфа: Гилем, 1995. 384 с.
26. *Приходько В.Е., Rogozin E.П., Чаплыгин М.С.* Реконструкция климата, почв и растительности срубного времени на основании исследования курганов Предуральской лесостепи республики Башкортостан // *Почвоведение*. 2016. № 9. С. 1052–1067.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X16090112>
27. *Пшеничнюк А.Х.* Охлебининский могильник // *Археология и этнография Башкирии*. Т. 3. Уфа: БФ АН СССР. 1968. С. 59–104.
28. *Руководство по описанию почв*. Рим: ФАО, 2012. 101 с.
29. *Русланов Е.В.* Новое средневековое городище на р. Уфа // *Этносы и культуры Урало-Поволжья: история и современность: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых / Отв. ред. Камалеев Э.В.* Уфа: ИЭИ УНЦ РАН, 2017. С. 93–98.
30. *Сатаев Р.М., Сатаева Л.В., Куфтерин В.В., Гимранов Д.О., Султанов Р.Р.* Особенности природопользования средневекового населения Уфимского полуострова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13. № 5(3). С. 101–105.
31. *Сулейманов Р.Р., Обьденнова Г.Т.* Почвенно-археологическое исследование поселения бронзового века в пойме р. Уршак (Башкирия) // *Почвоведение*. 2006. № 8. С. 914–920.
32. *Сулейманов Р.Р.* Почвенные исследования археологического памятника в долине р. Стерля // *Вестник Оренбургского гос. ун-та*. 2007. № 9. С. 189–194.
33. *Сулейманов Р.Р., Овсянников В.В.* Почвенно-экологическая характеристика археологического памятника “Биктимировское городище” // *Вестник Оренбургского гос. ун-та*. 2011. № 12. С. 151–153.
34. *Султанова А.Н.* Бирский могильник: историко-археологическое исследование: дис. канд. ист. наук. Уфа, 2000. 203 с.
35. *Теории и методы физики почв / Под ред. Шеина Е.В. и Карпачевского Л.О.* М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
36. *Физико-географическое районирование Башкирской АССР / Под ред. Кадильникова И.П.* Уфа, 1964. 210 с.

37. Холодов В.А., Константинов А.И., Кудрявцев А.В., Перминова И.В. Строение гуминовых кислот почв зонального ряда по данным спектроскопии ЯМР ^{13}C // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1064–1073.
38. Хохлова О.С., Кузнецова А.М., Хохлов А.А., Моргунова Н.Л., Чичагова О.А. Палеопочвы курганов ямной культуры степной зоны Приуралья // Почвоведение. 2008. № 5. С. 545–555.
39. Хохлова О.С., Хохлов А.А., Моргунова Н.Л., Юстус А.А. Короткие хроноряды палеопочв Скворцовского курганного могильника в долине р. Бузулук (Оренбургская область) // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1038–1050.
40. Хохлова О.С., Хохлов А.А., Кузнецова А.М., Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г. Изменение свойств почв при разнонаправленных климатических колебаниях позднего голоцена в полупустынной зоне (на примере курганного могильника Паласа-Сырт, Дагестан) // Почвоведение. 2015. № 1. С. 31–48. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15010104>
41. Хохлова О.С., Моргунова Н.Л., Хохлов А.А., Гольева А.А. Изменения климата и растительности за последние 7000 лет в степном Предуралье // Почвоведение. 2018. № 5. С. 538–550. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050039>
42. Чендев Ю.Г., Лупо Э.Р., Лебедева М.Г., Борбукова Д.А. Региональные особенности климатической эволюции почв южной части восточной Европы во второй половине голоцена // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1411–1423. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15120047>
43. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Дергачева М.И., Петин А.Н., Голотвин А.Н., Саранулкин В.А., Земцов Г.Л., Уваркин С.В. Эволюция лесного почвообразования на юге лесостепи Среднерусской возвышенности в позднем голоцене // Почвоведение. 2017. № 1. С. 3–16. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010038>
44. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб., 2001, 216 с.
45. Чуков С.Н., Абакумов Е.В., Томашунас В.М. Характеристика гуминовых кислот почв Антарктики методом ядерного магнитного резонанса // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1330–1334. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15110040>
46. Чуков С.Н., Ехаркью Е., Абакумов Е.В. Характеристика гуминовых кислот почв тундровой зоны севера Западной Сибири методом спектроскопии электронного парамагнитного резонанса // Почвоведение. 2017. № 1. С. 35–39. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010051>
47. Чуков С.Н., Лодыгин Е.Д., Абакумов Е.В. Использование ^{13}C ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. 2018. № 8. С. 952–964. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18080026>
48. Эсау К. Анатомия растений. М.: Мир, 1969. 564 с.
49. Baldock J.A., Oades J.M., Waters A.G., Peng X., Vassallo A.M., Wilson M.A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy // Biogeochemistry. 1992. V. 16. № 1. P. 1–42. <https://doi.org/10.1007/BF02402261>
50. Catlin K.A. Archaeology for the Anthropocene: Scale, soil, and the settlement of Iceland // Anthropocene. 2016. V. 15. P. 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.12.005>
51. Cremaschi M., Zerboni A., Nicosia C., Negrino F., Rodnight H., Spotti C. Age, soil-forming processes, and archaeology of the loess deposits at the Apennine margin of the Po plain (northern Italy): New insights from the Ghiardo area // Quaternary Int. 2015. V. 376. P. 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.044>
52. Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shutteleva I. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region, Russia) // Geosciences. 2018. V. 8. P. 313–325. <https://doi.org/10.3390/geosciences8090313>
53. Grund B.S., Williams S.E., Surovell T.A. Viable paleosol microorganisms, paleoclimatic reconstruction, and relative dating in archaeology: a test case from Hell Gap, Wyoming, USA // J. Archaeol. Sci. 2014. V. 46. P. 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.010>
54. Guggenberger G., Zech W., Haumaier L., Christensen B.T. Land-use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soils: II. CPMAS and solution ^{13}C NMR analysis // Eur. J. Soil Sci. 1995. V. 46. P. 147–158. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01821.x>
55. Holliday V.T., Gartner W.G. Methods of soil P analysis in archaeology // J. Archaeol. Sci. 2007. V. 34. P. 301–333.
56. Itkin D., Crouvi O., Monger H.C., Shaanan U., Goldfus H. Pedology of archaeological soils in tells of the Judean foothills, Israel // Catena. 2018. V. 168. P. 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.014>
57. Mayle F.E., Iriarte J. Integrated palaeoecology and archaeology – a powerful approach for understanding pre-Columbian Amazonia // J. Archaeol. Sci. 2014. V. 51. P. 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.08.038>
58. Porat N., Lopez G.I., Lensky N., Elinson R., Avni Y., Elgart-Sharon Y., Faershtein G., Gadot Y. Using portable OSL reader to obtain a time scale for soil accumulation and erosion in archaeological terraces, the Judean Highlands, Israel // Quaternary Geochronology. 2019. V. 49. P. 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.04.001>
59. Quideau S.A., Anderson M.A., Graham R.C., Chadwick O.A., Trumbore S.E. Soil organic matter processes: characterization by ^{13}C NMR and ^{14}C measurements // Forest Ecology and Management. 2000. V. 138. P. 19–27. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00409-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00409-6)
60. Sullivan K.A., Kealhofer L. Identifying activity areas in archaeological soils from a colonial Virginia house lot using phytolith analysis and soil chemistry // J. Archaeol. Sci. 2004. V. 31. P. 1659–1673.
61. Wu L., Li F., Zhu C., Li L., Li B. Holocene environmental change and archaeology, Yangtze River Valley, China: Review and prospects // Geoscience Frontiers. 2012. V. 3. P. 875–892. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.02.006>

Soil-Archaeological Study of the Votikeevsk Medieval Archeological Site in the Northern Forest-Steppe Zone of the Southern Cis-Ural Region

R. R. Suleymanov^{1,2,*}, V. V. Ovsyannikov³, A. G. Kolonskih⁴, E. V. Abakumov⁵,
A. Ya. Kungurtsev^{2,6}, and A. R. Suleymanov¹

¹*Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, 450054 Russia*

²*Bashkir State University, Ufa, 450076 Russia*

³*Institute of History, Language, and Literature, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, 450054 Russia*

⁴*Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, 450077 Russia*

⁵*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, 199178 Russia*

⁶*Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg, 620002 Russia*

**e-mail: soils@mail.ru*

Soil-archaeological studies were performed in the area of the Votikeev archaeological site dating back to the Bakmutin culture of the early Middle Ages (5th–7th centuries AD) and located 30 km north of Ufa (Bashkortostan Republic), in the northern forest-steppe subzone of the southern Cis-Ural region. Soil morphology and properties were examined, parameters of the structural state of humic acid molecules were determined using C-NMR spectroscopy, and the major elementary pedogenic processes were identified. Light clayey dark gray soils (Phaeozems) predominate in the studied area. Their humus horizons of up to 51 cm in thickness are characterized by the organic carbon content of 1.5–3.6%, neutral reaction, cation exchange capacity of 29–35 cmol₍₊₎/kg soil, and a predominance of exchangeable calcium. The soils of the archeological site are rich in total phosphorus in the upper 50 cm (up to 4631 mg/kg), which is related to the living activity of ancient humans, but does not have a significant impact on the contents of available phosphorus and potassium and alkaline-hydrolyzable nitrogen. Lenses of a lighter color with an admixture of fine sand, fragments of pottery, and bones were found at the depth of 30–42 cm. They represent the material transported by ancient humans and are characterized by an increased total phosphorus content (up to 7295 mg/kg soil) and higher values of electrical resistance (1130 Ω m) in comparison with the enclosing mass. The analysis of C-NMR spectroscopy demonstrated the presence of humic acids with a strong peak of aromatic compounds of substituted and unsubstituted types in the humus horizon and in the material moved by ancient humans. These compounds are associated with the polymerized structures of macromolecules of humic substances, which is typical of chernozems. The functioning of this archaeological site coincided with the period of climate warming in the Early Subatlantic period.

Keywords: dark gray soils (Phaeozems), archaeological site, physical and chemical properties, humic substances, ¹³C-NMR spectroscopy