
ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.4

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ И ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭПОХУ БРОНЗЫ ДЛЯ СТЕПИ КУБАНО-ПРИАЗОВСКОЙ РАВНИНЫ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КРУПНОГО КУРГАНА

© 2021 г. А. Э. Сверчкова^а, *, О. С. Хохлова^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

*e-mail: acha3107@gmail.com

Поступила в редакцию 22.04.2020 г.

После доработки 19.09.2020 г.

Принята к публикации 30.10.2020 г.

Исследованы почвы, погребенные под археологическим памятником — курганом эпохи бронзы, на Кубано-Приазовской равнине. Курган имел три разновременных конструкции, сооруженные за интервал времени от 4500 до 3600 л.н., под которыми были захоронены почвы, образовавшие педохроноряд. Проведен сравнительный анализ морфологических, физико-химических и магнитных свойств погребенных и современных почв хроноряда, а также анализ палинологических спектров из верхних горизонтов этих почв. Реконструкция палеоклиматических условий на основе изучения свойств палеопочв выявленного хроноряда позволила установить, что за время строительства кургана климат региона постепенно изменялся в сторону увеличения аридности. Во время сооружения третьей конструкции в кургане (катакомбная культура эпохи средней бронзы, XXI–XVI (XV) вв. до н. э.) климатические условия были максимально аридными. Палинологический анализ подтвердил выводы палеопочвенного исследования. В растительной ассоциации, охарактеризованной в целом как южная лесостепь, в катакомбное время заметно увеличилось процентное содержание травянистых растений, появились виды, типичные для степных участков.

Ключевые слова: палеопочвы, курганы, степная зона России, морфологический анализ, химические анализы, магнитная восприимчивость, палинологические спектры, черноземы

DOI: 10.31857/S2587556621010143

ВВЕДЕНИЕ

Исследования палеопочв, погребенных под земляными археологическими памятниками (курганами), с целью реконструкции условий палеосреды для прежних эпох широко проводятся как в России, так и за рубежом, начиная с 60-х годов XX в., но особенно активно в XXI в. [19–21, 23, 24, 26, 30, 32–34]. В современной геоархеологии по-прежнему велик интерес к исследованию погребенных почв под курганными и другими насыпями [10, 22, 25, 31, 35]. При этом имеются регионы, в которых такие исследования проведены пока на ограниченном числе памятников, и далеко не все временные интервалы охвачены. К таким регионам, в частности, относится Краснодарский край. Кроме этого, довольно редко проводятся исследования крупных курганов, включающих несколько разновременных конструкций, под которыми погребены разновременные палеопочвы [7, 18, 28]. Изучение палеопочв, погребенных под такими разновременными конструкциями в одном кургане, имеет ряд преимуществ по

сравнению с ситуацией, когда под одним курганом в могильнике изучается одна палеопочва. В больших курганах разновременные палеопочвы располагаются компактно, на расстоянии не более нескольких десятков метров друг от друга, а также имеют определенный порядок погребения: раньше погребены палеопочвы в центре кургана и позже — на его периферии. Это позволяет изучить хроноряд палеопочв, сформированных в заведомо одинаковых литолого-мезогеоморфологических условиях с известным хронологическим порядком погребения.

Цель данной работы — выявление направленных изменений свойств почв коротковременного педохроноряда, погребенного под курганом, и реконструкция изменений климата за время строительства археологического памятника. Для достижения поставленной цели были изучены и сопоставлены свойства палеопочв под разновременными конструкциями кургана и современные почвы, а также проведен палинологический анализ.

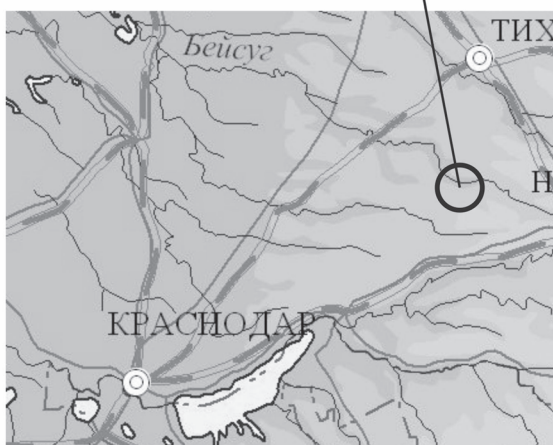
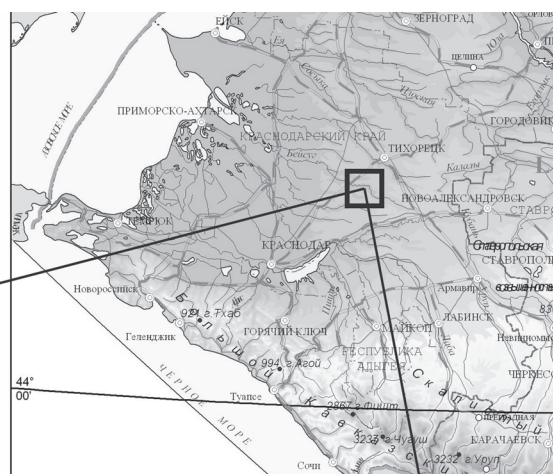
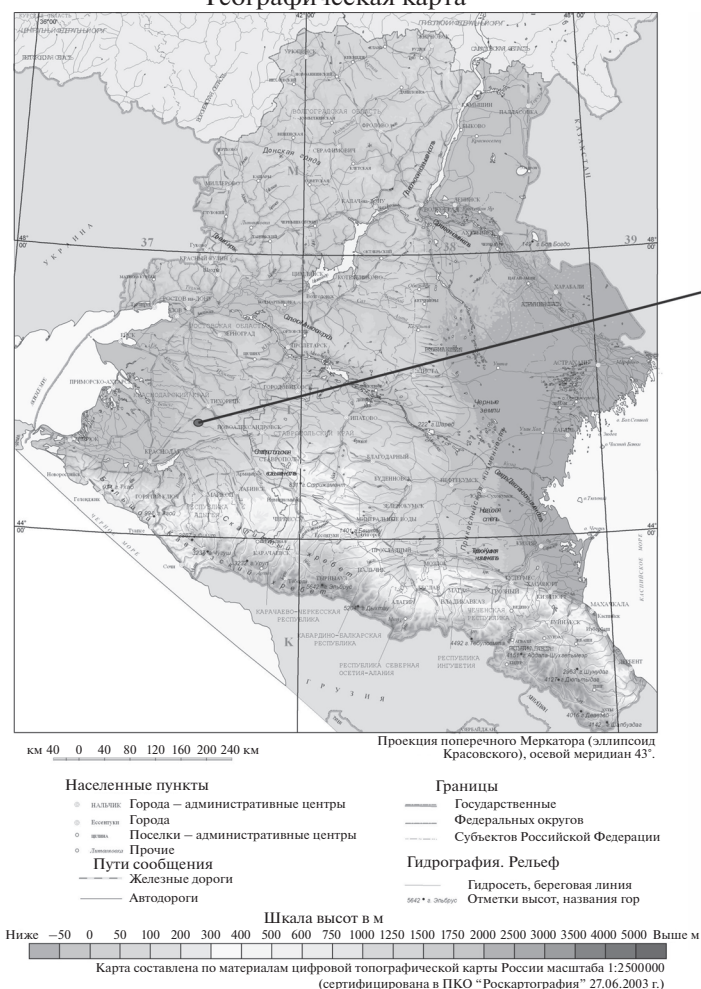
Северо-Кавказский и Южный федеральные округа
Географическая карта

Рис. 1. Физико-географическое положение кургана 1 в курганной группе "Бейсузбек-9" (<http://hge.spbu.ru/>).

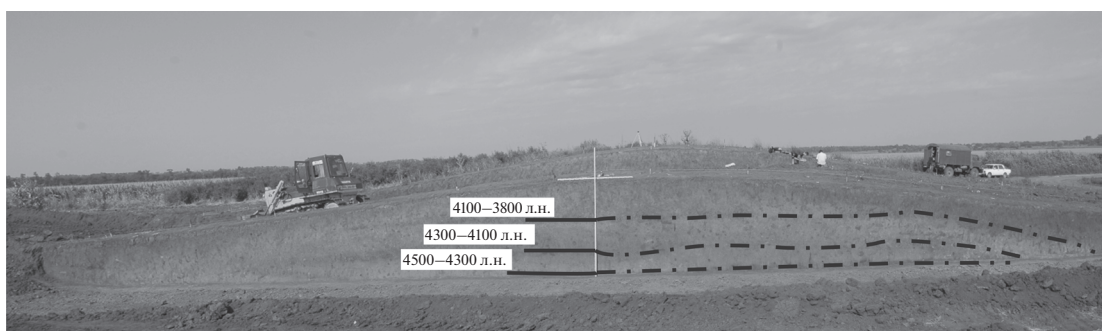
ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследуемый объект, курган 1 в курганной группе Бейсузбек-9, расположен в границах Кореновского района Краснодарского края (45°28'47" N, 39°20'44" E) (рис. 1). Курган попал в зону строительства железнодорожной ветки через Краснодарский край в сторону Крыма (пунктир на рис. 1) и раскапывался археологами Научно-исследовательского центра по сохранению культурного наследия, г. Саратов, в ходе охранно-спасательных работ под руководством Ю.В. Половинкиной, А.Б. Белинского. Высота кургана составляла более 4 м, диаметр — около 100 м.

В геоморфологическом отношении это Кубано-Приазовская низменность, для которой характерен равнинный рельеф и сглаженные междуречья. Курган 1 расположен на первой либо второй надпойменной террасе р. Левый Бейсузбек. Четвертичные отложения представлены песчано-галечниковыми, глинистыми и суглини-

стыми породами мощностью от 100 до 200 м. Сверху залегает слой лёссовидных карбонатных суглинков, которые выступают в роли почвообразующей породы.

В кургане 1 археологами были выделены три этапа строительства и совершения захоронений в кургане (рис. 2). Первый и второй этапы по археологическим данным относятся к новотиторовской культуре, конец раннего — начало среднего бронзового века, XXVII (XVI)—XXII (XXI) вв. до н. э. Третья конструкция сооружена представителями катакомбной культуры, XXI—XVI (XV) вв. до н. э., в эпоху средней бронзы. Датирование погребений и сооруженных над ними курганных конструкций было проведено в соответствии с разработками хронологии археологических культур для Краснодарского края [6]. Каждая из последующих конструкций перекрывала и выходила за границы предыдущей: вторая перекрывала первую и также нетронутую почву рядом с первой; и третья пере-



— · — · — Границы курганных конструкций

Рис. 2. Курган 1 курганного могильника Бейсужек-9, восточная бровка, восточный фас. Нижняя пунктирная линия проведена по дневной поверхности погребенной почвы Бсж1п-17.

крывала вторую полностью и также не перекрывала ранее почву рядом со второй конструкцией.

Климат исследуемой территории характеризуется как степной: умеренно континентальный полусухой, с неустойчивым увлажнением. Годовая амплитуда температур 25–28°C. Лето очень теплое (средняя температура июля 21–24°C), зима умеренно холодная (средняя январская температура от –2 до –5°C). Снежный покров большей части территории маломощный и часто неустойчивый. Осадков за год выпадает 450–600 мм. Максимум приходится на май месяц, а минимум на август (<http://russia.pogoda360.ru>).

Исследуемая территория относится к зоне разнотравно-типчаково-ковыльной степи. В настоящее время почти вся она распаханна и превращена в сельскохозяйственные поля. Почвы классифицируются как миграционно-мицеллярные или сегрегационные черноземы, *Haplic Chernozems Loamic* или *Calcic Chernozems Loamic* по [11] и [27] соответственно. С учетом того, что все почвы вокруг кургана были распаханы, они классифицированы как агрочерноземы миграционно-мицеллярные, *Haplic Chernozems Agric Loamic*.

Проведен сравнительный анализ погребенных и фоновой почв на основе полевых и лабораторных работ. От центра к периферии кургана было заложено три разреза (Бсж1п-17, Бсж2п-17 и Бсж3п-17), все они были четко отделены от курганных конструкций материалом из глубоких горизонтов почв, перемещенным наверх при копке могил. Разрез Бсж1п-17 был заложен в центре кургана, таким образом он перекрыт наибольшей по мощности насыпью — около 4 м. Разрез Бсж2п-17 был заложен около центральной бровки, западный фас, 16 м к югу от центра кургана. Мощность насыпи в месте заложения разреза — около 2 м. Разрез Бсж3п-17 заложен у западной бровки, восточный фас, южное окончание бровки — более 20 м к югу от центра кургана. Мощность бровки в месте заложения разреза — около 180

см. Фоновый разрез получил номер Бсж4ф-17 (буква “п” в номере разреза указывает, что почва погребенная, буква “ф” — фоновая/современная). В силу разновременности сооружения курганных конструкций и погребения под ними почв мы получили горизонтальный хроноряд почв, погребенных под одним курганом (см. рис. 2). Палеопочвы Бсж1п-17 и Бсж2п-17 погребены в первой трети суббореального периода в интервале 4700 (4600)–4200 (4100) л.н., а палеопочва Бсж3п-17 — в середине суббореального периода, в интервале 4100–3600 (3500) л.н.

Проведено полевое морфологическое описание почвенных профилей, цвет горизонтов определяли по шкале Манселла, индекс горизонтов — по [27]. В каждом изученном разрезе были отобраны образцы с интервалом 10 см из верхнего метра и 20 см — из второго метра профиля. Также были отобраны образцы для спорово-пыльцевого (палинологического) анализа с глубины 0–5 см из профилей погребенных почв.

В лаборатории были выполнены следующие анализы: содержание органического углерода — метод Тюрина в модификации Антоновой и др., [14], при этом содержание выделившегося при окислении CO₂ определяли на хроматографе; CO₂ карбонатов — манометрически по разнице давлений в контроле и образце в герметичных сосудах с резиновыми пробками, в которых образцы реагировали с 10%-ной соляной кислотой, результаты затем пересчитаны на С [4]; рН водной вытяжки; гигроскопическая влага; SO₄ гипса — весовым методом; сумма обменных оснований — методом вытеснения раствором ацетата аммония, с последующим определением К и Na пламенно-фотометрическим методом, а Са и Mg — комплексометрически [2]; гранулометрический состав — методом пипетки с использованием пирофосфата натрия для диспергирования, фракции рассчитаны на абсолютно сухую навеску с учетом определения гигроскопической влаги [3]. Измерения

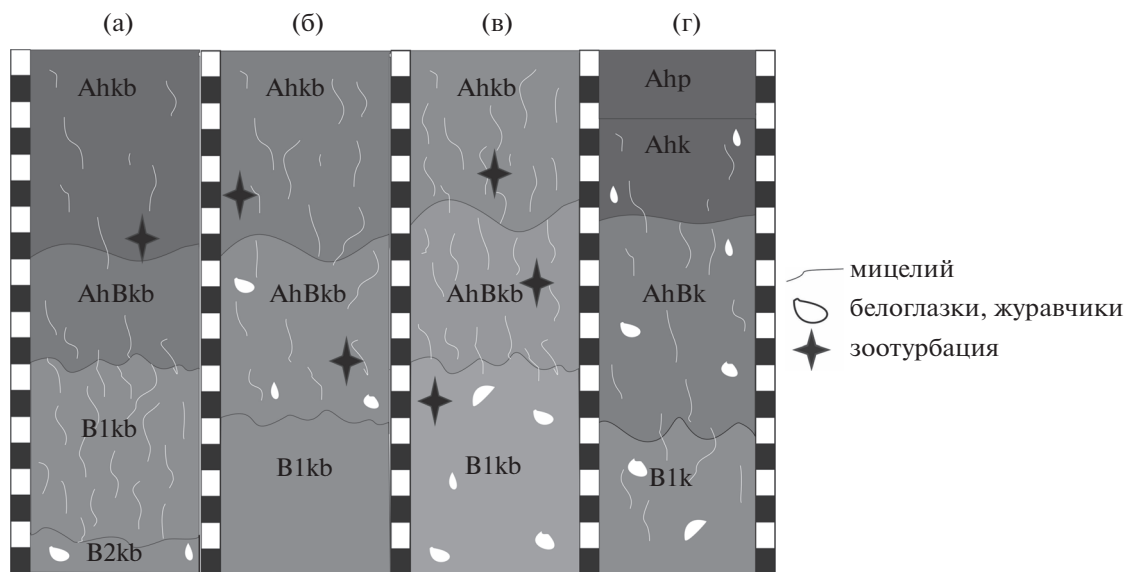


Рис. 3. Схематическое изображение изученных профилей почв.

показателя магнитной восприимчивости проводились в лабораторных условиях с помощью прибора “КАРРАBRIDGE KLY-2”. Величина магнитной восприимчивости зависит от факторов почвообразования. Как показали исследования последних лет [17], существует прямая связь между приростом магнитной восприимчивости в почвенном профиле и среднегодовыми атмосферными осадками: чем больше осадков, тем больше магнитная восприимчивость в автоморфных почвах степной зоны. Это объясняется реакцией железоредуцирующих бактерий, находящихся в гумусовом горизонте, которая меняется в ответ на климатические изменения [9].

Из основных горизонтов изученных почв отобраны образцы с ненарушенным строением, из которых изготовлены шлифы. Микроморфологический анализ шлифов проведен на микроскопе AxioScope A1 Carl Zeiss. Микроскоп и магнитометр принадлежат Центру коллективного пользования ИФХиБПП РАН, г. Пушкино.

Спорово-пыльцевой анализ проведен Т.Ф. Трегуб (Воронежский государственный университет) по модифицированной методике, разработанной В. П. Гричуком [8]. Модификации позволяют утилизировать в процессе обработки образцов нежелательные примеси: 1) железоалюмосиликатную пленку, которая может снижать выход органической фракции после мацерации; 2) сильно набухающие глинистые минералы, которые могут прилипать к спорным и пыльцевым зернам и мешать разделению минеральной и органической фракций. Применяемая методика способствовала насыщению образцов спорами

и пылью даже в условиях однократного обогащения обрабатываемых отложений [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологический анализ показал, что погребенные почвы имели следующее строение профиля: Ahkb (глубина до 70 см), AhBkb (до 130 см), B1kb (до 180 см), B2kb (до 200 см), вскипали от HCl с поверхности.

Гумусовый горизонт разр. Бсж1п-17 характеризуется серо-коричневой окраской (7.5 YR 5/3) и ореховато-зернистой структурой, карбонатный мицелий выражен слабо. Карбонатный мицелий хорошо виден в средней части профиля, а в нижней, глубже 150 см, мицелий сменяется небольшими белоглазками (рис. 3).

В разр. Бсж2п-17 цвет гумусового горизонта почти такой же, 7.5 YR 5/2 – коричневый, карбонатный мицелий виден более отчетливо; встречается также редкая и мелкая белоглазка. В средней части белоглазка и мицелий наиболее выражены; в нижней части карбонатных скоплений не выявлено. В гор. AhBkb появляются единичные кротовины и вертикальные ходы корней, заполненные материалом темно-серого цвета, они протягиваются вплоть до нижней части почвенного профиля.

В разр. Бсж3п-17 гумусовый горизонт резко осветляется, 7.5 YR 6/3 – светло-коричневый, карбонатный мицелий занимает до 40% среза горизонта, в целом верхняя и средняя часть профиля этой почвы имеет седоватый оттенок. Хорошо видна трещинная сеть на вертикальной высохшей стенке в верхней части профиля. В нижней части

отмечены мягкие и твердые карбонатные конкреции. Только в этой палеопочве в верхней части профиля имеются следы активной зоотурбации, а вертикальные ходы корней, заполненные материалом темно-серого цвета, распространены на глубину всего профиля.

В профиле современной почвы (разр. Бсж4ф-17) пахотный горизонт имеет мощность 25 см, а ниже начинают встречаться мицелий и белоглазка, при сильном просыхании в профиле ниже пахотного горизонта хорошо выражена трещинная сеть, следы зоотурбации отсутствуют.

Микроморфологический анализ позволил выявить в гумусово-аккумулятивном горизонте разр. Бсж1п-17 и Бсж2п-17 следы деятельности мезофауны, для отдельных микрозон характерна губчатая микроструктура, поры каналовидные и сложные, из-за длительного погребения гумусовые агрегаты четко не видны, хотя в порах и можно заметить отдельные мелкие зернистые агрегаты (рис. 4а, 4б). В разр. Бсж3п-17 в этом горизонте масштабы биотурбации поменьше, почвенная масса уплотнена (рис. 4в, 4г), появляются поры-камеры и в отдельных порах — карбонатные кутаны (см. рис. 4в, 4г, желтые стрелки), которые на макроуровне были видны как карбонатный мицелий. Почвенная масса обогащена удлиненными крупными (см. рис. 4в, 4г, белые стрелки) и округлыми сравнительно мелкими зернами литогенного кальцита, внедренного в тонкодисперсный материал.

В средней части профиля в разр. Бсж1п-17 тонкодисперсная масса слабо пропитана карбонатами, отчетливы зерна литогенного кальцита (рис. 4д). В разр. Бсж2п-17 в порах и в почвенной массе вокруг пор заметна аккумуляция карбонатов, но эти аккумуляции имеют нечеткие очертания и границы с вмещающей почвенной массой (рис. 4е). Тогда как в разр. Бсж3п-17 в порах видны четко очерченные и довольно большого размера (0.5 мм в ширину и до 1 мм в длину) скрытокристаллические карбонатные нодулы (рис. 4ж). Почвенная масса существенно больше пропитана карбонатами. В этой почве в средней части профиля отчетливы следы деятельности мезофауны, хорошо заметные и на макроуровне.

В современной почве, разр. Бсж4ф-17, поры лишены карбонатных аккумуляций, карбонаты пропитывают тонкодисперсную массу и встречаются в виде редких обособленных раскристаллизованных (микроспарит) нодул (рис. 4з, желтая стрелка), а также отмечаются крупные удлиненные обломки литогенного кальцита (см. рис. 4з, белая стрелка).

Анализ *гранулометрического состава* показывает, что в исследуемых почвах физическая глина (размер частиц <0.01 мм) составляет от 60 до 70%,

а илистая фракция (размер частиц <0.001 мм) — до 40% (рис. 5а, 5б).

Распределение этих фракций по профилям изученных почв позволяет сделать вывод о том, что рассмотренные профили однородны по гранулометрическому составу и относятся к легкой глине. Следовательно, мы можем сравнивать остальные измеренные свойства наших почв напрямую, без расчета их относительных величин.

По величинам pH_{H_2O} выделяются разр. Бсж3п-17 и Бсж2п-17 самыми большими значениями по всему профилю — 8.5–8.9 единиц, тогда как в современной почве значения по профилю колеблются от 8.2 до 8.4 единиц, а в разр. Бсж1п-17 от 8.0 до 8.2 единиц (рис. 5в). При этом до глубины 60–70 см разр. Бсж3п-17 показывает самые щелочные значения pH среди всех изученных почв хронорядя.

В верхнем горизонте погребенных почв *содержание органического углерода* ($C_{орг}$) от 1.3% в разр. Бсж1п-17 уменьшается до 0.7% в разр. Бсж3п-17, тогда как в фоновой пахотной почве достигает 2% (рис. 6а). На глубине 60 см в погребенных почвах величины $C_{орг}$ уменьшаются до 0.4–0.6%, в современной — до 0.9–1.1%. Наименьшие значения $C_{орг}$ в первом полуметре почвенного профиля приурочены к погребенной почве разр. Бсж3п-17 (см. рис. 6а). На глубине около 140 см значения $C_{орг}$ выравниваются во всех погребенных почвах и не превышают 0.3–0.4%.

Учитывая, что в связи с длительностью погребения (почти 5000 лет) в верхних горизонтах погребенных почв остается от 50 до 30% (в среднем убывает на 60%) от исходного содержания органического вещества [5], пересчет полученных данных показывает, что в верхнем горизонте погребенных почв с меньшим содержанием $C_{орг}$ (разр. Бсж3п-17) реконструированные значения составляют 1.8–1.9%, а с большим содержанием $C_{орг}$ (разр. Бсж1п-17, Бсж2п-17) — 3.0–3.1%.

В распределении *углерода карбонатов* ($C_{карб}$) по профилям изученных палеопочв (рис. 6б) отмечается ясная тенденция увеличения его содержания в нижней части профиля: от 0.2–0.5% вверху до 1.4% внизу. В верхних 60 см профиля содержание $C_{карб}$ в палеопочвах варьирует от 0.2 до 1.0%. В фоновых почвах содержание $C_{карб}$ по профилю увеличивается с 0.1% в верхней части до 0.8% в средней и нижней частях профиля. По профилям всех палеопочв до глубины 100–120 см $C_{карб}$ имеет схожий характер распределения. В разр. Бсж3п-17 отмечаются самые высокие значения процентного содержания $C_{карб}$ по всему профилю, и лишь в этой почве на глубине 120 см фиксируется выраженный максимум аккумуляции. В остальных профилях, разр. Бсж1п-17 и

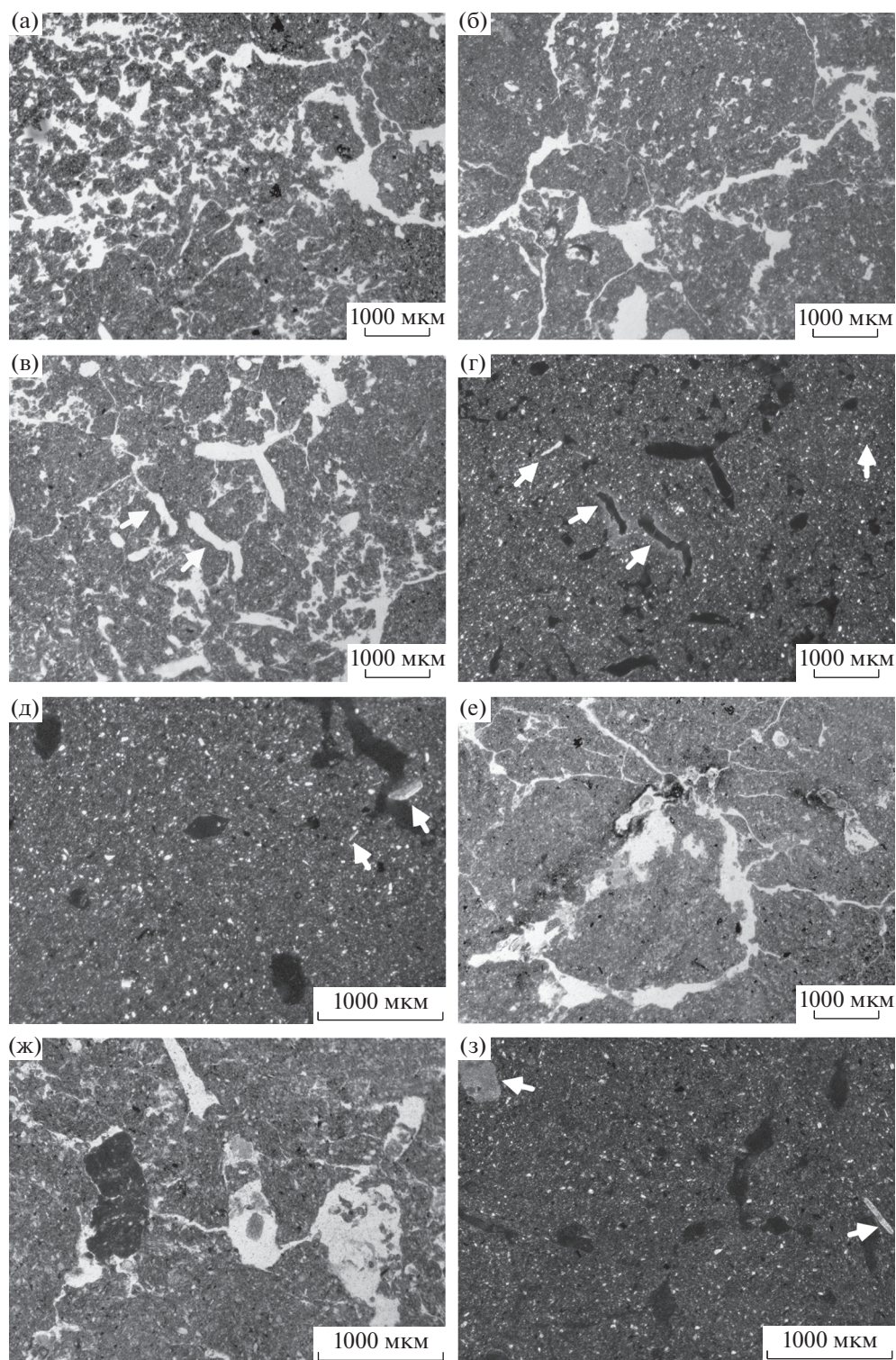


Рис. 4. Микростроение верхних и срединных горизонтов почв изученного хроноряд: (а) разр. Бсж1п-17, 20–30 см; (б) разр. Бсж2п-17, 20–30 см; (в, г) разр. Бсж3п-17, 20–30 см; (д) разр. Бсж1п-17, 100–110 см; (е) разр. Бсж2п-17, 100–110 см; (ж) разр. Бсж3п-17, 100–110 см; (з) разр. Бсж4ф-17, 100–110 см. Автор фото – О.С. Хохлова.

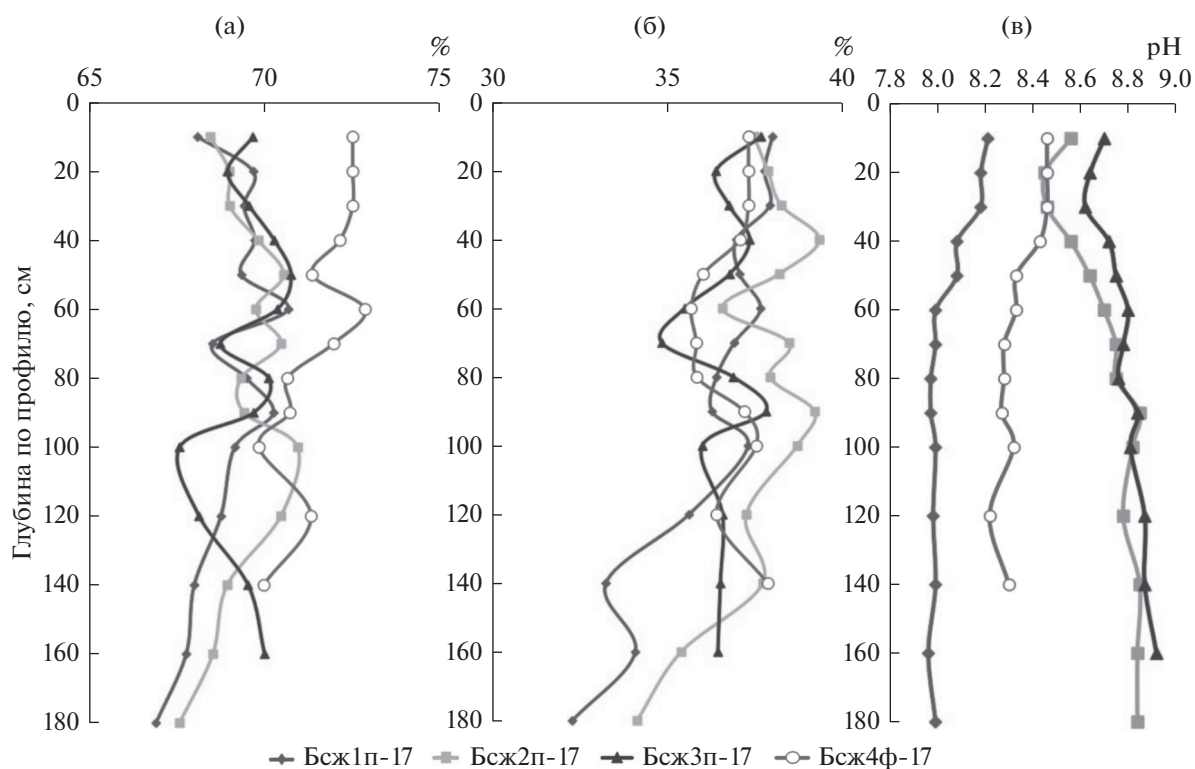


Рис. 5. Профильное распределение (а) физической глины (<0.01 мм); (б) иллитной фракции (<0.001 мм); (в) pH водный по профилям почв хроноряда.

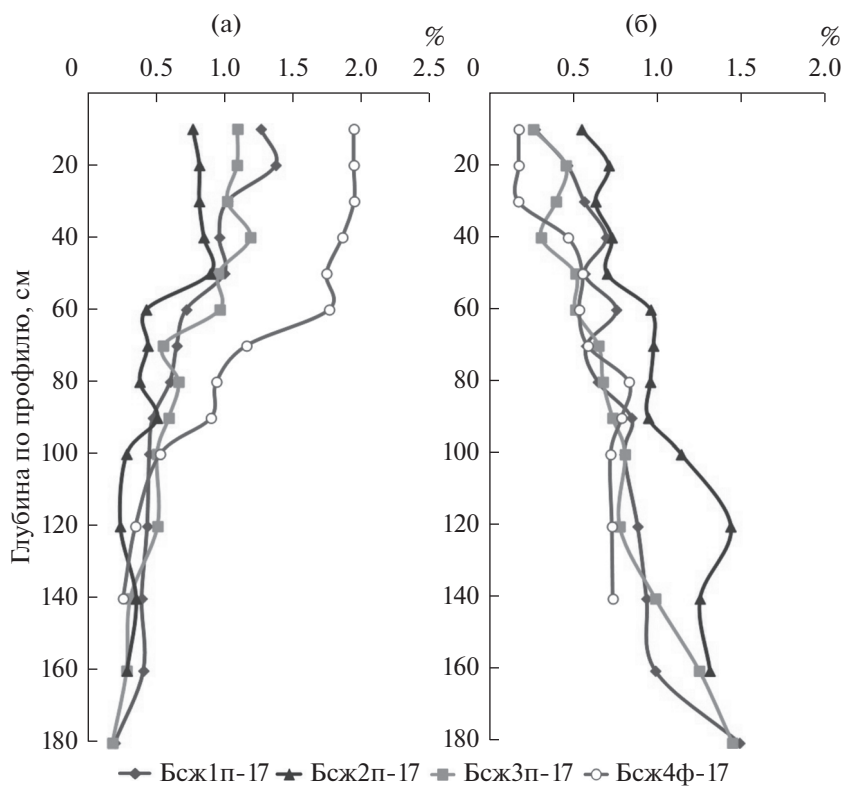


Рис. 6. Содержание (а) органического углерода и (б) углерода карбонатов по профилям изученных почв.

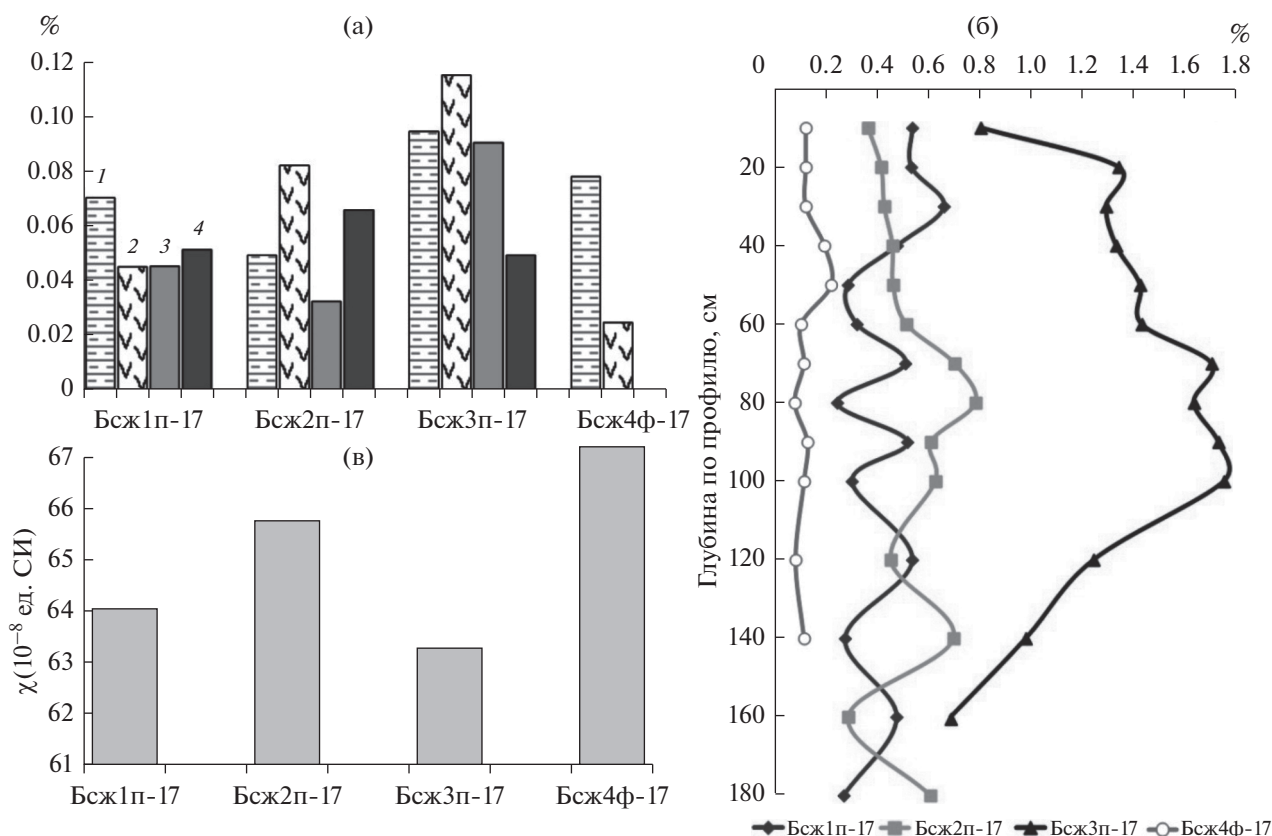


Рис. 7. Содержание SO_4 гипса (а) в слоях 100–120 см (1), 120–140 см (2), 140–160 см (3), 160–180 см (4); обменного натрия (б) и магнитной восприимчивости в слое 0–10 см (в) в профилях исследуемых почв.

Бсж2п-17, отмечается постепенное увеличение содержания $\text{C}_{\text{карб}}$ книзу, а максимум содержания располагается на глубине 180 см, т.е. практически за пределами профиля. При этом фоновая почва в самом верху содержит меньше карбонатов, чем любая из палеопочв, а в средней и нижней частях профиля значения не отличаются от палеопочв разр. Бсж1п-17 и Бсж2п-17.

По содержанию гипса почва разр. Бсж3п-17 демонстрирует максимальные величины на глубине 100–160 см, достигающие 0.12%. В двух других погребенных и современной почвах значения не превышают 0.08%, в среднем составляют 0.05% (рис. 7а).

В составе обменных оснований во всех изученных почвах безусловно преобладает кальций, составляя более 80% от суммы катионов. Магний колеблется в пределах 4–10% и не показывает никакой дифференциации по профилям изученных почв. Вместе с тем, обменный натрий заметно различается в почвах хроноряда.

В палеопочве разр. Бсж3п-17 отмечается наиболее высокое содержание обменного натрия в составе обменных оснований, до 1.8% в средней части профиля (рис. 7б). В палеопочвах разр. Бсж2п-17 и Бсж1п-17 содержание обменно-

го натрия колеблется в пределах 0.2–0.8% по всему профилю. Современные почвы характеризуются наименьшим содержанием обменного натрия в составе обменных оснований, от 0.07 до 0.2%, по всему профилю.

По величине магнитной восприимчивости, измеренной в верхних 0–10 см профилей, наименьшим значением χ ($\leq 63 \times 10^{-8}$ ед. СИ) характеризуется разр. Бсж3п-17 (рис. 7в). Для разрезов Бсж1п-17 и Бсж2п-17 характерны величины в интервале $64–66 \times 10^{-8}$ ед. СИ, и самые большие величины, $>66 \times 10^{-8}$ ед. СИ, отмечаются в современных почвах. Эти данные также подтверждают, что наиболее аридные условия для почвообразования складывались в период формирования почвы разр. Бсж3п-17.

Спорово-пыльцевые данные свидетельствуют о том, что исследуемая территория имела довольно сложный и разнообразный растительный покров в эпоху бронзы. В целом палинологические спектры соответствуют южному лесостепному типу [12] (рис. 8).

Состав пыльцы лиственных пород в почве Бсж1п-17 свидетельствует о том, что до постройки кургана растительный покров состоял в основном

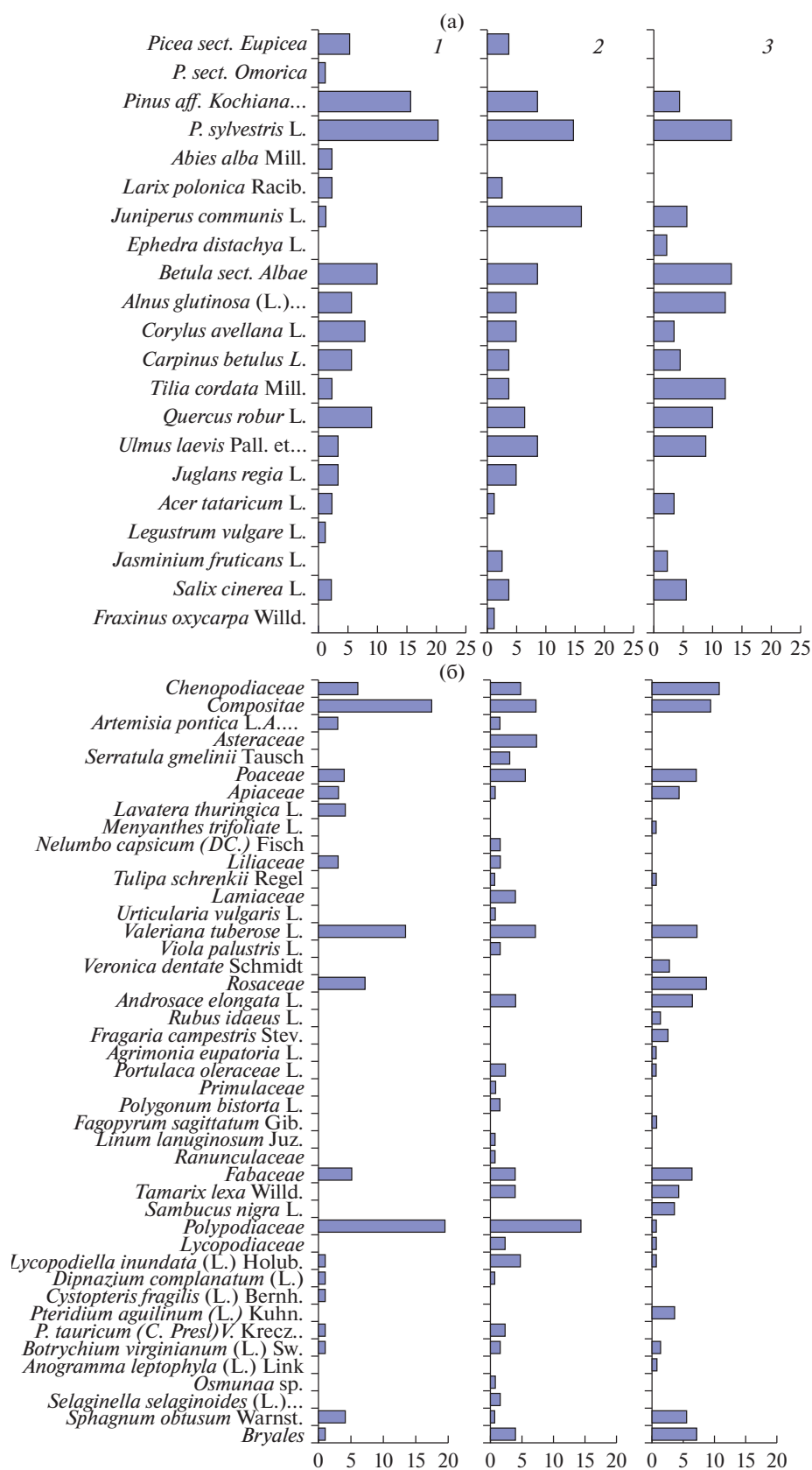


Рис. 8. Спорово-пыльцевые диаграммы общего вегетационного состава исследуемых почвенных образцов: (а) пыльца древесной растительности, (б) пыльца травянистой растительности; 1, 2, 3 – образцы из 0–5 см погребенных почв разрезов Бсж1п-17, Бсж2п-17 и Бсж3п-17 соответственно.

из грабово-дубовых ценозов с участием липы, клена и грецкого ореха. Почва Бсж2п-17 формировалась под дубово-вязовыми лесами. Вероятно, климат на этой стадии становился все суше. На это указывает уменьшение доли пыльцы ели, а также граба. В составе подлеска преобладали лесной орех (*Corylus avellana*), а также бирючина обыкновенная (*Legustrum vulgare*), жасмин кустарниковый (*Jasminum fruticans*). Березовые леса (*Betula*) преобладали на пониженных участках рельефа, а ивы (*Salix*) образовывали прибрежные заросли.

Количество и состав спектра в почве Бсж3п-17 отличается преобладанием пыльцы покрытосеменных древесных растений над голосеменными в 3 раза, а также увеличением количества пыльцы травянистой растительности (см. рис. 8). Пыльца *Picea* полностью исчезла из спектра этой почвы. Пыльца березы и липы (*Betula sect. Albae*, *Tilia cordata* Mill.) преобладает в спектре древесных пород, в то время как процент пыльцы граба заметно снижается. Пыльца эфедры двухколосковой (*Ephedra distachya* L.), наблюдаемая только в почве Бсж3п-17, указывает на наличие степных участков [12].

В целом сравнение пыльцевых спектров погребенных почв хроноряды Бсж1п-17—Бсж2п-17—Бсж3п-17 показывает увеличение доли травянистых растений и видов, характерных для степи, а также уменьшение доли (или исчезновение) мезофильных деревьев.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сопоставление свойств палеопочв в изученном хроноряду позволяют отметить, что за время функционирования кургана произошла деградация гумусового профиля, что отражается в его осветлении и уменьшении мощности в почве под третьей конструкцией. В этой почве соли карбонатов и гипса подтянулись к дневной поверхности почвы. В карбонатном профиле увеличилось количество новообразований и изменились их формы. Это заметно уже в поверхностных горизонтах появлением более густой сети карбонатного мицелия, зафиксированного как на макро-, так и микроуровнях наблюдения. По данным химического анализа и инструментальных измерений в верхней части профиля уменьшилось содержание органического вещества, величины магнитной восприимчивости, а содержание углерода карбонатов, гипса и обменного натрия в составе обменных оснований увеличилось. Следы деятельности мезофауны хорошо заметны не в поверхностных, а, главным образом, в срединных горизонтах профиля, что четко зафиксировано при микроморфологических наблюдениях. Поэтому почва, погребенная последней в изученном хроноряду при сооружении третьей курганной конструкции представителями катакомбной

культуры (XXI—XVI (XV) вв. до н. э.), имеет наиболее “засушливый” облик.

Почвы под первой и второй конструкциями в кургане классифицируются по [11] и [27], соответственно, как мицеллярно-миграционные черноземы или *Haplic Chernozems Loamic*, тогда как палеопочва под третьей — как сегрегационные черноземы или *Calcic Chernozems Loamic*. То есть можно констатировать, что за время от сооружения первой до третьей конструкции в кургане почвы эволюционировали в сторону более южного подтипа чернозема.

Спектр пыльцы в почвах, погребенных под первой и второй конструкциями, сходен, что свидетельствует об устойчивости растительного покрова в период распространения новотиторской археологической культуры. Напротив, пыльцевой спектр в палеопочве, погребенной под третьей конструкцией, показывает значительное количество пыльцы широколиственных деревьев, уменьшение или исчезновение видов мезофильных деревьев, большую долю пыльцы трав и травянистых растений и появление между ними степных видов. Эти изменения в составе пыльцевых спектров отражают переход от теплого и довольно влажного климата к более засушливому. В целом растительный покров за весь период строительства кургана можно было определить, как лесостепной, а состав травянистых растений — как луговое разнотравье. Среднеголоценовая структура растительности Приазовья и Причерноморья была ранее определена как “южная лесостепь” [12].

Исследования палеопочв ключевого участка Бейсужек 9 позволяют сделать вывод о том, что курган начал строиться в благоприятный биоклиматический период с преобладанием мицеллярно-миграционных черноземов, сформированных под разнообразным растительным покровом. В проведенных исследованиях палеопочв для соседних Ростовской, Волгоградской, Оренбургской областей и республики Калмыкия, временной интервал с XXVII по XXIII в. до н. э. характеризовался как благоприятный для биопродуктивности ценозов с влажными климатическими условиями, а также отмечалось смягчение засушливости и континентальности климата [7, 13, 29].

В то же время на рубеже третьего и второго тысячелетий до н. э. многие исследователи почв степной зоны России отмечают экологический кризис, связанный с резким усилением аридизации климата [1, 10, 16]. Этот кризис имел широкое территориальное распространение и отмечался по палеопочвенным данным далеко на юг вплоть до Аравийского полуострова [36]. И по палеоботаническим данным в исследуемом интервале времени обозначилась тенденция аридизации климата, которая проявилась в снижении до-

Таблица 1. Средние значения физико-химических свойств палеопочв в хроноряду и современной почве (значения рассчитывались как среднеарифметические для каждого профиля по всей глубине)

	Бсж1п-17	Бсж2п-17	Бсж3п-17	Бсж4ф-17
pH водный	8.0	8.7	8.8	8.3
C _{орг} , %	0.7	0.7	0.5	1.3
C _{орг} реконструированный, %*	1.4	1.4	1.0	—
C _{карб} , %	0.75	0.7	1.0	0.6
Гипс, %	0.06	0.05	0.09	—
Обменный Na, %	0.4	0.5	1.3	0.1
Магнитная восприимчивость, $\times 10^{-8}$ ед. СИ	64	66	63	67

* Реконструированное содержание органического углерода при расчете его убывания на 50% в связи с длительностью погребения около 5000 лет.

ли луговой растительности и в доминировании степной аридной флоры в пыльцевых и фитолинтных спектрах на плакорах лесостепной зоны центра Восточно-Европейской равнины. Свойства почвы катакомбной культуры (XXI–XVI (XV) вв. до н. э.), погребенные под курганом 1 в курганном могильнике Бейсужек 9, а также палинологические спектры, полученные из палеопочв изучаемого хроноряда, подтвердили эти выводы.

При совокупном анализе всех свойств палеопочв можно наблюдать “ухудшение” свойств палеочерноземов в изученном хроноряду (табл. 1). Сопоставление свойств палеопочв с изученной современной почвой позволяет предполагать, что во время формирования почв новотиторской культуры палеоклиматические условия были схожи с современным периодом, тогда как палеопочва катакомбного времени формировалась в условиях большей аридизации климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение коротковременного педохроноряда кургана 1 в курганной группе Бейсужек-9 позволяет сделать следующие выводы.

1. Курган 1 начали строить в период благоприятного климата и доминирования миграционно-мицеллярных черноземов, сформировавшихся под разнообразным растительным покровом южной лесостепи, в первую треть суббореального периода. Благоприятный климат отразился на гумусовом и карбонатном профилях: почвы характеризовались заметной аккумуляцией гумуса и расположением верхней границы сегрегированных карбонатов довольно глубоко в профиле, уменьшением общего количества карбонатных новообразований; в почвах отсутствуют растворимые соли и поглощенный Na.

2. Резкое увеличение засушливости климата зафиксировано на рубеже 3-го и 2-го тысячелетий до н. э. — в середине суббореального периода. Почвы под третьей конструкцией в кургане 1 от-

вечают требованиям к кальциевым черноземам, характеризуются низким содержанием органического углерода и высоким содержанием карбонатов. Карбонаты отмечаются в поверхностных горизонтах и представлены карбонатным псевдомицелием, зафиксированным как на макро-, так и на микроуровне. Биотурбации, в основном, приурочены к средней части почвенного профиля. Кроме того, палеопочва разр. Бсж3п-17 отличается наибольшим содержанием обменного Na и гипса во втором метре профиля. Верхний горизонт показывает самую низкую магнитную восприимчивость.

3. Независимое доказательство и еще более глубокое понимание динамики окружающей среды во время строительства кургана 1 дает палинологический анализ. В конце раннего — начале среднего бронзового века (новотиторская культура) в этом районе преобладали открытые широколиственные леса с богатым видовым травянистым покровом и редким присутствием хвойных деревьев. В среднем бронзовом веке (катакомбная культура) доля широколиственных видов заметно возрастает вместе с травами и злаками за счет голосеменных и споровых растений; уменьшается доля или исчезают виды мезофильных деревьев, степные виды появляются в составе травянистого покрова на последнем этапе строительства кургана.

4. В результате анализа как палеопочвенных, так и палинологических данных можно утверждать, что временной интервал конца ранней — начала средней бронзы (новотиторская культура, XXVII–XXIII вв. до н. э.) характеризовался мягкими и благоприятными для биопродуктивности климатическими условиями. В эпоху средней бронзы (катакомбная культура, XXI–XVI (XV) вв. до н. э.) отмечается смена климата с повышением среднегодовых температур и уменьшением количества осадков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда, проект № 16-17-10280 и в рамках выполнения темы Государственного задания № 0191-2019-0046.

FUNDING

The work was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 16-17-10280, and within the framework of the state-ordered research theme, no. 0191-2019-0046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
5. Гей А.Н. Новотиторовская культура. М.: Изд-во "Старый сад", 2000. 224 с.
6. Глазовская М.А. Педолитогенез и континентальные циклы углерода. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. 336 с.
7. Гольева А.А., Хохлова О.С. Реконструкция этапов создания Большого Синташтинского кургана (Челябинская область) на основе палеогеографических данных // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 6. С. 67–76.
8. Гричук В.П. О пыльцевой флоре четвертичных отложений юга Европейской части СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1940. № 8. С. 53–58.
9. Заварзина Д.Г., Алексеев А.О., Алексеева Т.В. Роль железоредуцирующих бактерий в формировании магнитных свойств степных почв // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1218–1227.
10. Иванов И.В., Александровский А.Л., Макеев А.О. и др. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.
11. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
12. Маркова А.К., Симакова А.Н., Пузаченко А.Ю. Экосистемы Восточной Европы в эпоху оптимума атлантического потепления голоцена по флористическим и териологическим данным // ДАН. Т. 391. № 4. 2003. С. 545–549.
13. Моргунова Н.Л., Салугина Н.П., Турецкий М.А. Крупнотарные сосуды бронзового века Турганинского поселения в Оренбургской области // Самарский науч. вестн. 2016. Т. 17. № 4. С. 91–97.
14. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 273 с.
15. Трегуб Т.Ф. Этапы развития растительности в голоцене на территории Воронежской области // Вестн. ВГУ. Геология. 2012. № 1. С. 29–33.
16. Шишлина Н.И. Северо-западный Прикаспий в эпоху бронзы (V–III тыс. до н. э.) // Тр. Гос. исторического музея. 2007. № 165. 400 с.
17. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols // PALAEO. 2007. V. 249. P. 103–132.
18. Alexandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., Khokhlova O.S. Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3rd millennium BC // Radiocarbon. 2001. V. 43. № 2B. P. 629–635.
19. Andrews P., Fernandez-Jalvo Y. Bronze age barrows at longstone edge: taphonomy and site formation // Quat. Int. 2012. V. 275. P. 43–54.
20. Barczy A., Joó K., Petó Á., Bucsi T. Survey of the buried paleosol under the Lyukas mound in Hungary // Eurasian Soil Sci. 2006. V. 39. P. S133–S140.
21. Breuning-Madsen H., Dalsgaard K. Soil Processes in the Skelhøj Mound. In: Skelhøj and the Bronze Age Barrows of Southern Scandinavia. Vol. 1: The Bronze Age Barrow Tradition and the Excavation of Skelhøj / Holst M.K., Rasmussen M. (Eds.). Jutland Archaeological Society Publ. V. 78. Moesgård: Jysk Arkæologisk Selskab, 2013. P. 217–230.
22. Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain // Eurasian Soil Sci. V. 43. № 7. 2010. P. 728–736. <https://doi.org/10.1134/S1064229310070021>
23. Courty M.A., Fedoroff N. Micromorphology of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India // Geoderma. 1985. V. 35. № 4. P. 287–332.
24. Darlington J.P. Lenticular soil mounds in the Kenya highlands // Oecologia. 1985. V. 66. № 1. P. 116–121.
25. Dreibrodt S. Investigations on paleosols and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhöved (northern Germany): an approach to test the hypothesis of "landscape openness" by the incidence of colluviation // The Holocene. 2009. V. 19. № 3. P. 487–497.
26. Hejzman M., Soucková K., Kristuf P., Peska J. What questions can be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500–2200 BC), Central Moravia, Czech Republic // Quat. Int. 2013. V. 316. P. 179–189.
27. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. Rome: FAO. 2015. 192 p.
28. Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Morgunova, N.L., Yustus A.A. Short chronosequences of paleosols from the Skvortsova kurgans in the Buzuluk River valley of Orenburg oblast // Eurasian Soil Sci. 2010. V. 43. № 9. P. 965–976. <https://doi.org/10.1134/S1064229310090036>
29. Khokhlova O., Morgunova N., Khokhlov A., Golyeva A. Dynamics of paleoenvironments in the Cis-Ural steppes during the mid- to late Holocene // Quat. Res.

2019. V. 91. № 1. P. 96–110.
<https://doi.org/10.1017/qua.2018.23>
30. Kristiansen S.M., Dalsgaard K., Holst M.K., Aaby B., Heinemeier J. Dating of prehistoric burial mounds by ¹⁴C analysis of soil organic matter fractions // Radiocarbon. 2003. V. 45. № 1. P. 101–112.
 31. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V. Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology // Eurasian Soil Sci. 2016. V. 49. № 8. P. 846–858.
<https://doi.org/10.1134/S1064229316080056>
 32. Molnár M., Joó K., Barczy A., Szántó Z., Futó I., Palcsu L., Rinyu L. Dating of total soil organic matter used in kurgan studies // Radiocarbon. 2004. V. 46. № 1. P. 413–419.
 33. Parsons R.B., Scholtes W.H., Riecken F.F. Soils of Indian mounds in northeastern Iowa as benchmarks for studies of soil genesis // Soil Sci. Society of America J. 1962. V. 26. № 5. P. 491–496.
 34. Runia L.T., Buurman P. The so-called “Sekundärpodsolierung” in burial mounds: chemical data from Dutch barrows // J. Archaeol. Sci. 1987. V. 14. № 1. P. 97–105.
 35. Tóth C., Prónay Z., Braun M., Nagy P., Pethe M., Tildy P., Molnár M. Geoarchaeological study of Szálka and Vajda Kurgans (Great Hungarian Plain) based on radiocarbon and geophysical analyses // Radiocarbon. 2018. V. 60. № 5. P. 1425–1437.
<https://doi.org/10.1017/RDC.2018.102>
 36. Weiss H., Courty M.A., Wetterstrom W., Guichard F., Senior L., Meadow R., Curnow A. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization // Science. 1993. V. 261. № 5124. P. 995–1004.

Soil Evolution and Landscape-Climatic Changes in the Bronze Age for the Steppe Zone of the Kuban-Azov Plain Based on the Study of a Large Mound

A. E. Sverchkova^{1,*} and O. S. Khokhlova¹

¹*Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino, Russia*

*e-mail: acha3107@gmail.com

Studies of paleosols buried under earthen archaeological monuments (mounds/kurgans) for the purpose of reconstructing the paleoecological conditions of previous epochs are of great interest. This work aims to study soil evolution and climate dynamics during the Bronze Age based on the study of soils buried during several stages of earthen mound construction within one large kurgan in the southern steppes of the Kuban-Azov Plain, Russia. The kurgan-1 in the Beysuzhek-9 kurgan cemetery of the Bronze Age, situated in the Korenovsky municipal district, Krasnodar krai, consists of three earthen mounds made at different times. The soils buried under three mounds of the kurgan are in close vicinity from each other and have similar lithology and geomorphic position. They form a chronosequence representing three time slices. The paleosols were buried sequentially from the center to the periphery of the kurgan. The height of the kurgan is about 4 m that ensures good preservation of the buried soils. The research is based on the comparative analysis of morphology, micromorphology, and analytical properties of three paleosols buried under different constructions in the kurgan and surface soil. Also, the palynological analysis was performed for the uppermost layers (0–5 cm) of three paleosols. Reconstruction of paleoclimatic conditions based on paleopedological study showed that during the construction of the kurgan the region's climate gradually changed towards an aridity increase. During the construction of the third kurgan structure (the Catacomb culture of the Middle Bronze Age, the 21st–16th centuries BC) the climate was mostly arid. Palynological analysis confirmed this conclusion. During the construction of the kurgan, in plant community, which was described as the southern forest-steppe overall, the percentage of grass plants increased markedly, and typical steppe species appeared in the Catacomb culture time only.

Keywords: paleosols, mounds, steppe zone of Russia, morphological analysis, chemical analysis, magnetic susceptibility, palynological spectra, Chernozems

REFERENCES

1. Aleksandrovskii A.L., Aleksandrovskaya E.I. *Evolutsiya pochv i geograficheskaya sreda* [Evolution of Soils and Geographic Environment]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 223 p.
2. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Handbook on the Chemical Analyses of Soils]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970. 488 p.
3. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for Studying Physical Properties of Soils]. Agropromizdat Publ., 1986. 416 p.
4. Vorob'eva L.A. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 400 p.
5. Gei A.N. *Novotitorovskaya kul'tura* [Novotitarovskaya Culture]. Moscow: Staryi Sad Publ., 2000. 224 p.
6. Glazovskaya M.A. *Pedolitogenez i kontinental'nye tsikly ugleroda* [Pedolithogenesis and Continental Carbon Cycles]. Moscow: LIBROKOM Publ., 2009. 332 p.
7. Gol'eva A.A., Khokhlova O.S. Reconstruction of the stages of creation of the Large Syntaktische Kurgan (Chelyabinsk oblast), based on paleogeographic data. *Izv. Akad. Ser. Geogr.*, 2010, no. 6, pp. 67–76. (In Russ.).

8. Grichuk V.P. On pollen flora of Quaternary deposits of the south of European part of the USSR. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1940, no. 8, pp. 53–58. (In Russ.).
9. Zavarzina D.G., Alekseev A.O., Alekseeva T.V. The role of iron-reducing bacteria in the formation of magnetic properties of steppe soils. *Eurasian Soil Sci.*, 2003, vol. 36, no. 10, pp. 1085–1094.
10. Ivanov I.V., Aleksandrovskii A.L., Makeev A.O. et al. *Evolutsiya pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochv* [Evolution of Soils and Soil Cover. Theory, Diversity of Natural Evolution and Anthropogenic Transformations of Soils]. Moscow: GEOS Publ., 2015. 925 p.
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., Eds. Smolensk: Oikumena Publ., 2004. 342 p.
12. Markova A.K., Simakova A.N., Puzachenko A.Yu. Ecosystems of Eastern Europe in the Holocene Atlantic Optimum based on floristic and theriologic data. *Dokl. Earth Sci.*, 2003, vol. 391, no. 4, pp. 883–887.
13. Morgunova N.L., Salugina N.P., Turetskii M.A. Large vessels of the Bronze Age from the Turganik settlement, Orenburg oblast. *Samar. Nauchn. Vestn.*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 91–97. (In Russ.).
14. Orlov D.S., Grishina L.A. *Praktikum po khimii gumusa* [Handbook on Chemistry of Humus]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1981. 273 p.
15. Tregub T.F. Stages of vegetation development in the Holocene in the Voronezh oblast. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ., Geol.*, 2012, no. 1, pp. 29–33. (In Russ.).
16. Shishlina N.I. *Severo-zapadnyi Prikspii v epokhu bronzy (V–III tys. do n.e.)*. [North-Western Caspian Region at the Bronze Age (5 to 3 ka BP)]. Tr. Gos. Ist. Muzeya, vol. 165. Moscow, 2007. 400 p.
17. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2007, vol. 249, nos. 1–2, pp. 103–127. doi 10.1016/j.palaeo.2007.01.006
18. Alexandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., Khokhlova O.S. Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3rd millennium BC. *Radiocarbon*, 2001, vol. 43, no. 2B, pp. 629–635.
19. Andrews P., Fernandez-Jalvo Y. Bronze Age barrows at Longstone Edge: Taphonomy and site formation. *Quat. Int.*, 2012, vol. 275, pp. 43–54.
20. Barczy A., Joó K., Petó Á., Bucsi T. Survey of the buried paleosol under the Lyukas mound in Hungary. *Eurasian Soil Sci.*, 2006, vol. 39, pp. S133–S140. doi 10.1134/S1064229306130217
21. Breuning-Madsen H., Dalsgaard K. Soil processes in the Skelhoj Mound. In *Skelhoj and the Bronze Age Barrows of Southern Scandinavia*. Vol. 1: *The Bronze Age Barrow Tradition and the Excavation of Skelhoj*. Holst M.K., Rasmussen M., Eds. Jutland Archaeological Society Publications, vol. 78. Moesgård: Jysk Arkæologisk Selskab, 2013, pp. 217–230.
22. Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain. *Eurasian Soil Sci.*, 2010, vol. 43, no. 7, pp. 728–736. doi 10.1134/S1064229310070021
23. Courty M.A., Fedoroff N. Micromorphology of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India. *Geoderma*, 1985, vol. 35, no. 4, pp. 287–332.
24. Darlington J.P. Lenticular soil mounds in the Kenya highlands. *Oecologia*, 1985, vol. 66, no. 1, pp. 116–121.
25. Dreibrodt S., Nelle O., Lütjens I., Mitusov A., Clausen I., Bork H.-R. Investigations on buried soils and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhöved (Northern Germany): An approach to test the hypothesis of “landscape openness” by the incidence of colluviation. *The Holocene*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 487–497.
26. Hejerman M., Soucková K., Kristuf P., Peska J. What questions can be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500–2200 BC), Central Moravia, Czech Republic. *Quat. Int.*, 2013, vol. 316, pp. 179–189.
27. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015*. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports, no. 106. Rome: FAO, 2015. 192 p.
28. Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Morgunova N.L., Yustus A.A. Short chronosequences of paleosols from the Skvortsovka kurgans in the Buzuluk River valley of Orenburg oblast. *Eurasian Soil Sci.*, 2010, vol. 43, no. 9, pp. 965–976. doi 10.1134/S1064229310090036
29. Khokhlova O., Morgunova N., Khokhlov A., Golyeva A. Dynamics of paleoenvironments in the Cis-Ural steppes during the mid- to late Holocene. *Quat. Res.*, 2019, vol. 91, no. 1, pp. 96–110. doi 10.1017/qua.2018.23
30. Kristiansen S.M., Dalsgaard K., Holst M.K., Aaby B., Heinemeier J. Dating of prehistoric burial mounds by ¹⁴C analysis of soil organic matter fractions. *Radiocarbon*, vol. 45, no. 1, pp. 101–112.
31. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V. Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. *Eurasian Soil Sci.*, 2016, vol. 49, no. 8, pp. 846–858. doi 10.1134/S1064229316080056
32. Molnár M., Joó K., Barczy A., Szántó Z., Futó I., Pálcsu L., Rinyu L. Dating of total soil organic matter used in kurgan studies. *Radiocarbon*, 2004, vol. 46, no. 1, pp. 413–419.
33. Parsons R.B., Scholtes W.H., Riecken F.F. Soils of Indian mounds in northeastern Iowa as benchmarks for studies of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1962, vol. 26, no. 5, pp. 491–496.
34. Runia L.T., Buurman P. The so-called “Sekundärpodsolierung” in burial mounds: chemical data from Dutch barrows. *J. Archaeol. Sci.*, 1987, vol. 14, no. 1, pp. 97–105.
35. Tóth C., Prónay Z., Braun M., Nagy P., Pethe M., Tildy P., Molnár M. Geoarchaeological study of Szálka and Vajda Kurgans (Great Hungarian Plain) based on radiocarbon and geophysical analyses. *Radiocarbon*, 2018, vol. 60, no. 5, pp. 1425–1437. doi 10.1017/RDC.2018.102
36. Weiss H., Courty M.A., Wetterstrom W., Guichard F., Senior L., Meadow R., Curnow A. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science*, 1993, vol. 261, no. 5124, pp. 995–1004.