

АРХЕОЛОГИЯ

DOI: <https://doi.org/10.32653/CH184993-1013>



Исследовательская статья

Чернышева Елена Владиславовна,
к.б.н., старший научный сотрудник
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия
e.chernyusheva@yandex.ru

Амирян Мариам Арменовна,
аспирант, младший научный сотрудник
Институт археологии и этнографии НАН, Ереван, Армения
amiryanm@yandex.com

Ельцов Максим Витальевич,
к.б.н., старший научный сотрудник
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия
m.v.eltsov@gmail.com

Петросян Ануш Андрониковна,
аспирант, младший научный сотрудник
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия
alisa_mayakovskaya@bk.ru

Потапова Анастасия Владимировна,
младший научный сотрудник
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия
anastassia4272@gmail.com

РЕКОНСТРУКЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДРЕВНЕГО ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ПОЧВЕННО- МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАМЯТНИКА СОТК-2 (РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ)

Для цитирования: Чернышева Е.В., Амирян М.А., Ельцов М.В., Петросян А.А., Потапова А.В. Реконструкция особенностей хозяйственной деятельности древнего человека на основе геохимического и почвенно-микробиологического исследования памятника Сотк-2 (Республика Армения) // История, археология и этнография Кавказа. 2022. Т. 18. № 4. С. 993-1013. doi: 10.32653/CH184993-1013

© Чернышева Е.В., Амирян М.А., Ельцов М.В., Петросян А.А., Потапова А.В., 2022
© Сефербеков М.Р., перевод, 2022
© Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, 2022

ARCHEOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.32653/CH184993-1013>



Research paper

Elena V. Chernysheva
Cand. Sci. (Biology), Senior researcher
Institute of physicochemical and biological problems in soil science, Pushchino, Russia
e.chernyysheva@yandex.ru

Mariam A. Amiryan
Postgraduate student, Junior researcher
Institute of Archaeology and Ethnography of NAS, Yerevan, Armenia
amiryanm@ymail.com

Maxim V. Eltsov
Cand. Sci. (Biology), Senior researcher
Institute of physicochemical and biological problems in soil science, Pushchino, Russia
m.v.eltsov@gmail.com

Anush A. Petrosyan
Postgraduate student, Junior researcher
Institute of physicochemical and biological problems in soil science, Pushchino, Russia
alisa_mayakovskaya@bk.ru

Anastasia V. Potapova
Junior researcher
Institute of physicochemical and biological problems in soil science, Pushchino, Russia
anastassia4272@gmail.com

RECONSTRUCTION OF PARTICULARITIES OF ANCIENT HUMAN ACTIVITY BASED ON GEOCHEMICAL AND SOIL MICROBIOLOGICAL INVESTIGATION OF SOTK-2 SITE (REPUBLIC OF ARMENIA)

For citation: Chernysheva E.V., Amiryan M.A., Eltsov M.V., Petrosyan A.A., Potapova A.V.
Reconstruction of particularities of ancient human activity based on geochemical and soil
microbiological investigation of Sotk-2 site (Republic of Armenia). History, Archeology and
Ethnography of the Caucasus. 2022. Vol. 18. N. 4. P. 993-1013. doi: 10.32653/CH184993-1013

© Chernysheva E.V., Amiryan M.A., Eltsov M.V., Petrosyan A.A., Potapova A.V., 2022
© Seferbekov M.R., translation, 2022
© Daghestan Federal Research Centre of RAS, 2022

Аннотация. В статье представлены результаты первых совместных почвенно-археологических исследований на территории Республики Армения. В качестве объекта исследования были выбраны культурные слои поселения Сотк-2, расположенного на юго-восточном побережье оз. Севан. Поселение играло особую роль в системе расселения в регионе, поскольку оно расположено на пути по направлению к золотым приискам, которые активно разрабатывались в бронзовом веке. Поселение Сотк-2 представляет собой многослойный памятник, который функционировал с раннего бронзового века вплоть до раннего железного века (с определенными перерывами). Однако только для бронзового века было характерно наличие культурных отложений, тогда как другие периоды заселения выявлены только по рассеянным артефактам. В рамках совместных исследований из археологических раскопов на поселении в августе 2021 г. были отобраны образцы для лабораторных анализов. Анализ химических и микробиологических свойств культурных отложений позволил впервые на памятниках такого типа выявить периоды с наименьшей и наибольшей интенсивностью хозяйственной деятельности, а также установить инфраструктурные особенности поселения. Наиболее сильное антропогенное воздействие имело место при формировании слоя среднего – позднего бронзового века. Были локализованы места приготовления пищи и хозяйственные ямы, где наблюдалась повышенная концентрация органического фосфора, меди, марганца, лантана, а также высокая микробная биомасса и липазная активность. На другом участке поселения, в слое среднего – позднего бронзового века, выявлена повышенная концентрация кальция, стронция и магния, что указывает на возможность разделки рыбы в этом месте. Наименьшая селитебная нагрузка на поселение Сотк-2, по данным почвенного анализа, имела место в раннем бронзовом веке.

Ключевые слова: биологическая память почв; археологическая микробиология; фосфор; микроэлементы; культурные слои.

Abstract. The article presents the results of the first joint soil-archaeological investigations on the territory of the Republic of Armenia. The cultural layers of the Sotk-2 site, located on the southeastern coast of Lake Sevan, were chosen as the object of study. The Sotk-2 played a special role in the settlement system in the region, as it is located on the way to the Bronze Age gold mine. A multi-layered settlement has been recorded here, which settled from the early Bronze Age until the early Iron Age (with certain interruptions). However, only the Bronze Age layer was characterized by the presence of anthropogenic deposits, while only scattered artifacts identified other periods of occupation. As part of joint research, samples were taken from the previous excavated trenches at the archaeological site in August 2021 for laboratory analysis. Analysis of the chemical and microbiological properties of cultural layers made it possible, for the first time on the archaeological monuments of this type, to identify periods with the lowest and highest intensity of human activity, as well as to establish the infrastructural features of the settlement. The strongest anthropogenic impact took place during the formation of the Middle – Late Bronze Age layer. Places for cooking and household pits were localized, where an increased concentration of organic phosphorus, copper, manganese, lanthanum was observed, as well as high microbial biomass and lipase activity. In another site of the settlement in the layer of the Middle – Late Bronze Age, an increased concentration of calcium, strontium and magnesium was revealed, which indicates the possibility of butchering fish in this place. The lowest residential load on the Sotk-2 site, according to soil analysis, took place in the early Bronze Age.

Keywords: soil biological memory; archaeological microbiology; phosphorus; cultural layers.

Концепция «памяти почв» возникла в 70–80 гг. XX в., и представляет собой развитие идеи В.В. Докучаева – «почва – зеркало ландшафта» [1]. Память почв рассматривается как способности почвы в своих физико-химических и биологических свойствах сохранять информацию о различных событиях, так или иначе происходивших в ее толще или на ее поверхности. На различных уровнях организации педосферы Земли носители почвенной памяти весьма разнообразны. Иерархия носителей почвенной памяти включает все уровни организации твердой фазы почвенной системы, начиная с молекулярно-кристаллического, затем агрегатные и горизонтальные уровни и заканчивая уровнем почвенного тела и почвенного покрова. На разных уровнях организации твердой фазы почвы информация о различных событиях в прошлом может быть записана в качестве различных слоев памяти, различающихся по содержанию и объему, по скорости записи и устойчивости к стиранию. Выделяют гранулометрическую, геохимическую, минералогическую, гумусовую, педно-агрегатную, кутанную и другие виды почвенной памяти [1].

Одной из сторон почвенной памяти является ее биологический компонент [2]. Концепция биологической памяти почв впервые получила развитие в работах О.Е. Марфениной и А.Е. Ивановой при изучении сообщества почвенных микроскопических грибов культурных слоев средневековых поселений [3]. В некотором смысле почву или грунт археологического объекта можно назвать специфическим экотопом, в составе которого микробные сообщества становятся так называемыми экофактами [4], которые, как и археологические артефакты, несут информацию о прошлом. Поэтому археологические контексты можно рассматривать как своеобразные экологические ниши, обладающие специфическими в различной мере микробными сообществами, имеющими свое биоразнообразие и пул ферментов. Даже в случае отмирания микробных сообществ, следы их активной деятельности остаются в виде закрепленных в почве ферментов, а также остаточном разнообразии микробных сообществ [5]. Особенности изменения почвенного микробного сообщества длительно сохраняются благодаря способности микроорганизмов переходить в покоящиеся формы и возвращаться в активное состояние при наступлении благоприятных условий [6]. Что касается ферментов, то они могут сохраняться в почве неопределенно долгое время, вступая в сложные органоминеральные комплексы с почвенными частицами и гуминовыми веществами [7]. Информация о поступлении органических субстратов, связанных с деятельностью человека, сохраняется в биологической почвенной памяти в виде увеличения численности микроорганизмов, специализирующихся на разложении данного субстрата (микробная память), а также в увеличении активности ферментов, участвующих в процессе минерализации (ферментативная память почв). Почвенные биологические характеристики используются для изучения границ поселений и их инфраструктуры, определения мест содержания скота [8], а также выявления внесения органических удобрений в почвы древних полей [9]. Показана возможность применения микробной и ферментативной памяти для реконструкции погребального обряда [10] и исходного содержимого ритуальных сосудов [11]. На сегодняшний день применение методов микробиологии в археологических исследованиях наиболее детально описано в статьях «Microbiology Meets Archaeology» [4] и «Археологическая микробиология: теоретические основы, методы и результаты» [12], где показана возможность сохранения в микробном сообществе почвы информации об антропогенном воздействии в древности.

Не менее значимым является химический компонент почвенной памяти. Определение валового содержания химических элементов – один из классических подходов

к изучению культурных слоев археологических памятников. Исследования особенностей накопления различных химических элементов были начаты с определения содержания фосфатов еще в 20-х годах прошлого века О. Аррениусом [13]. Фосфор, поступающий в почву вместе с остатками пищи, мусором и золой, может оставаться стабильным на протяжении весьма длительного периода времени, что и дает основание делать выводы о характере хозяйственного использования территории в древности [14]. Позже было показано, что в местах длительного проживания людей, в почвах и культурных слоях, может увеличиваться содержание целого спектра химических элементов [15]. При этом состав и варьирование макро- и микроэлементов на различных участках памятника может нести в себе информацию о характере поступающих субстратов, существование различных функциональных зон в пределах археологического памятника: производственных, селитебных и т.д. [16–18].

В данной работе представлены результаты почвенно-археологических исследований археологического памятника Сотк-2, расположенного на окраине села Сотк, Республика Армения, на юго-восточном побережье оз. Севан. Сотк – это уникальный микрорайон, расположенный возле самых больших золотых копий в Передней Азии. Кроме того, уникальность поселения заключается в его центральном положении, соединяющем между собой южный и восточный Кавказ. Археологические работы, начатые армяно-немецкой экспедицией в 2011 г., открыли несколько поселений и могильников эпохи ранней, средней и поздней бронзы, а также раннего железного века. Всего был исследован 41 памятник. Большинство классифицировались как фортификационные поселения с циклопической архитектурой [19].

Нами впервые были применены возможности естественных наук для осмысления культурно-исторических и экономических явлений в исследуемом регионе. Были скоординированы традиционные историко-археологические методы и новый почвенно-археологический микробиологический подход, суть которого заключается в совместном использовании потенциала биологической и геохимической памяти почв для раскрытия особенностей хозяйственных моделей древнего населения Армении.

Описание ключевого участка

Поселение Сотк-2 расположено в пределах Масрикской равнины, на юго-восточном побережье оз. Севан. Границами исследуемой территории являются: с севера – Севанский, с востока – Восточно-Севанский, с юга – Варденисский хребты, с запада – оз. Севан. Среднегодовая температура в регионе составляет +4°C, среднегодовое количество осадков – 430–440 мм [20]. Поселение Сотк-2 расположено на абсолютной высоте 2100 метров, на вершине овального холма площадью 6500 м², на северо-восточной окраине села Сотк (Гехаркуникская область, Республика Армения, координаты – N 40°20'35", E 45°88'59").

Поселение играло особую роль в системе поселений в регионе, поскольку оно расположено на пути по направлению к золотодобывающему месторождению. Проведенные раскопки показали, что территория была заселена на протяжении раннего бронзового века (куро-аракская культура), среднего бронзового века (севан-арцахская культура), позднего бронзового века и раннего железного века (лчашен-мецаморская культура), а также среднего железного века и Средневековья. Однако только для бронзового века было характерно наличие культурных отложений, тогда как другие

периоды заселения выявлены по рассеянным артефактам. В среднем и позднем бронзовом веке поселение занимало центральное положение внутри фортификационных стен [19].

Культурные отложения исследованного участка поселения Сотк-2 включают слои раннего бронзового века (29–27 вв. до н.э., культурный слой 3), среднего – позднего бронзового века (XVIII–XVI вв. до н.э., культурный слой 2) и раннего железного века (XI/X–IX вв. до н.э., культурный слой 1). Ранний бронзовый век представлен остатками глинобитных построек, однородной типичной керамикой, типичными каменными и обсидиановыми орудиями, мышьяковистой бронзой. Для средней и поздней бронзы характерны каменные постройки с многочисленными ямами и весьма разнообразным керамическим материалом. На среднем этапе позднего бронзового века поселение некоторое время не функционировало и вновь было заселено в раннем железном веке. Несмотря на определенные перерывы, в стратиграфическом профиле памятника хиатус не зафиксирован. На поселение Сотк-2 погребенная почва не сохранилась, и культурные слои подстилаются скальной плитой [21].

Из археологических раскопок на поселении Сотк-2 в августе 2021 г. отобраны образцы из нескольких участков культурных слоев Раскопов Е (Разрез 1, 2) и К (Разрез 3) (рис. 1, 2).

Раскоп Е расположен в западной части плоской вершины холма. В раскопе выявлено два стратиграфических уровня культурного слоя.

Слой 1, залегающий непосредственно под дерниной, представлен скоплениями камней неправильной формы и диахронической керамикой.

Слой 2, залегающий ниже, более однородный, с меньшей долей камней. Керамика представляется переходным периодом от среднего к позднему бронзовому веку и является типичной для севан-арцахской культуры. С этим слоем связаны четыре скальные ямы и каменный фундамент, построенный на скале. Дно и стены ям глинобитные. В этих объектах выявлено очень большое количество костей животных и керамики. Одна из ям разделена на две части, которые различаются по форме. Можно предполагать, что ямы имели хозяйственную функцию.

Слой 3, соответствующий раннему бронзовому веку, в этой части памятника не сохранился и выявляется только в слое 1 по фрагментам керамики.

В пределах раскопа Е были обследованы два стратиграфических разреза.

Разрез 1. Отбор образцов осуществлялся на северной стенке раскопа послойно через каждые 10 см. На этом участке толща культурных отложений имеет следующее строение. С поверхности и до глубины 10 см гумусированный слой темно-серого цвета, комковато-ореховатой структуры (культурный слой 0). Слой 10–50 см менее гумусирован, обладает крупноореховатой структурой (культурный слой 1, ранний железный век). Ниже (до глубины 110 см) расположен слабо затронутый почвообразованием культурный слой 2 (средний бронзовый – поздний бронзовый век), пепельно-серого цвета, порошистой структуры), подстилаемый скальной породой. Во всех слоях в большом количестве встречаются артефакты (кости животных, обломки керамики, камни). Разрез заложен на краю хозяйственной ямы. Культурный слой 1 представлен скоплениями камней неправильной формы. В культурном слое 2 встречается множество фрагментов керамики, костей животных и семена злаковых культур [22].

Разрез 2. Разрез на южной стенке раскопа, в пяти метрах от разреза 1. Расположен также вблизи большой хозяйственной ямы. Почвенно-грунтовая толща разделяется на следующие горизонты. Гумусированный слой с большим количеством корней,

темно-серого цвета, комковато-ореховатой структуры (0–10 см, культурный слой 0). Слой 10–20 см представляет собой скопление камней размером 1–5 см (культурный слой 1, ранний железный век, встречается диахроническая керамика). Ниже, до глубины 70 см, залегает слабо преобразованный современным почвообразованием культурный слой палево-серого цвета, порошистой структуры (культурный слой 2, средний бронзовый – поздний бронзовый век). Толща подстилается скальной породой. Во всех слоях профиля в большом количестве встречаются артефакты.

Раскоп К приурочен к западному склону холма. На этом участке культурный слой 2 имеет плохую сохранность, в значительной мере переотложен, включает более поздние артефакты. Относительно не поврежден слой 3; лучшая его сохранность отмечена в северной части раскопа. Здесь зафиксировано захоронение ребенка.

Разрез 3. Разрез заложен на северной стенке раскопа, в 12 м от разреза 1. Толща имеет следующее строение. Верхние 10–15 см гумусированы, темно-серого цвета, комковато-ореховатой структуры, в большом количестве встречаются корни травянистой растительности (культурный слой 0). Ниже (до глубины 30 см) залегает культурный слой 3 эпохи раннего бронзового века (белесо-серый, порошистой структуры), он подстилается серо-бурым слоем, с глыбисто-порошистой структурой (глинобитный пол, культурный слой 3а). С глубины 60 см залегает скальная порода. Во всех слоях (кроме 3а) в большом количестве встречаются артефакты (кости животных, обломки керамики, камни). Артефакты в основном датируются ранним бронзовым веком. Разрез заложен вблизи детского захоронения.

Методы

Для анализа почв и культурных слоев археологических памятников с целью реконструкции изменений природной среды в прошлом использовались следующие методы: определение рН водной вытяжки потенциометрическим методом, содержание органического углерода по Тюрину, содержание карбонатов ацидиметрическим методом [23]. Содержание валового, минерального и органического фосфора определялось по методу Сандерса и Вильемса [24], валовое содержание химических элементов с помощью рентген-флуоресцентного метода на анализаторе МАКС-GV (Россия). Определение химических элементов проведено в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН. Микробную биомассу определяли по содержанию фосфолипидов [25], уреазную активность модифицированным индофенольным методом [26]. Кроме того, ферментативную активность (кислая и щелочная фосфатаза, бутират-эстераза и пальмитат-липаза, лейцин-аминопептидаза и глицин-аминопептидаза) определяли микропланшетным методом с использованием хромогенно меченных субстратов на основе п-нитрофенола и процедуры гетеромолекулярного обмена [27–28].

Результаты и обсуждение

Химические свойства культурного слоя

В культурных слоях поселения Сотк-2 на исследованных его участках отмечено существенное накопление некоторых химических элементов (рис. 3), а именно

магния (Mg), марганца (Mn), калия (K), фосфора (P), бария (Ba), меди (Cu), лантана (La), олова (Sn) и цинка (Zn), элементов, которые традиционно связывают с антропогенной деятельностью древнего человека [29–31]. В изученных культурных отложениях максимальное обогащение химическими элементами было характерно для слоя средней – поздней бронзы (культурный слой 2), в особенности для разреза 1, заложенного на северной стенке Раскопа Е. Данный разрез был заложен на границе хозяйственной ямы, поэтому существенное возрастание лантана, марганца, кальция, фосфора непосредственно указывает на значительное попадание в культурный слой пищевых отходов [30]. В отличие от других элементов, марганец имел несколько пиков возрастания, что может говорить о различном объеме поступающих в культурный слой растительных материалов в момент его формирования [15–16]. Максимальная концентрация марганца выявлена в слое раннего железного века. Можно заключить, что формирование культурного слоя раннего железного века было связано с попаданием растительных остатков и золы, тогда как при формировании слоя средней – поздней бронзы попадало больше кухонных отходов животного происхождения. В культурных отложениях на участке заложения разреза 2, в слое средней – поздней бронзы, в целом, также выявлена максимальная концентрация макро- и микроэлементов. Однако содержание антропогенных элементов на этом участке была ниже, чем в культурных слоях на участке заложения разреза 1. Вероятно, данный участок раскопа являлся жилой зоной поселения или имел другое хозяйственное значение. В разрезе 3, заложенного на северной стенке Раскопа К, выделялся лишь наиболее древний слой, относящийся к периоду раннего бронзового века, и здесь выявлена наименьшая концентрация химических элементов. По-видимому, на данном этапе освоения территории численность населения была не столь высока, и антропогенная нагрузка не привела к существенному изменению почвы. Возможно, на начальном этапе освоения территории памятника основная деятельность человека была связана с выловом рыбы, на что указывает повышенная концентрация кальция, стронция и магния [31].

Содержание органического углерода на изученных участках раскопа равномерно уменьшалось с глубиной (рис. 4). Однако в культурном слое 1 и 2 разреза 1, заложенного на северной стенке Раскопа Е, рядом с хозяйственной ямой, эти значения были выше, чем в аналогичных слоях разрезов 2 и 3. Это также указывает на то, что при формировании культурных отложений на этом участке в слой попадало больше органических отходов, так как внесение органических материалов обычно приводит к увеличению содержания органического углерода в почвах [32].

С целью установления природы происхождения фосфатов в культурном слое было проведено отдельное определение минеральных и органических фосфатов, и рассчитана доля органического фосфора от валового (рис. 5). В культурных отложениях разреза 1 выявлена максимальная доля органических фосфатов, здесь она достигала 62% в слое среднего – позднего бронзового века. Высокая доля органических фосфатов в этом слое также подтверждает ранее высказанное предположение, что в момент его формирования в него попадало значительное количество остатков пищи и других органических отходов. На участках заложения разрезов 2 и 3 доля органического фосфора не превышала 25%, исключение составил лишь слой современной почвы (0–10 см) разреза 3, что обусловлено естественными причинами.

Биологические свойства культурного слоя

Наибольшая биологическая активность наблюдалась в слое современной почвы на всех участках раскопа, что связано с естественной биогенностью почвы (рис. 4, 6). Микробная биомасса, как правило, равномерно уменьшалась с глубиной. Исключением были антропогенные отложения в разрезе 1, заложенном на северной стенке Раскопа Е, на границе хозяйственной ямы, причем в слое среднего – позднего бронзового века, на глубине 70–80 см и 100–110 микробная биомасса была существенно выше, чем в верхнем современном слое почвы, что обусловлено значительным попаданием органических материалов в толщу культурного слоя в момент функционирования памятника. Возможно, данный участок был местом приготовления пищи. На попадание именно остатков пищи также указывает увеличение содержания органического фосфора и некоторых химических элементов (La, Mn, Ca) в толще среднего – позднего бронзового века.

К наиболее информативным ферментам для археологических реконструкций относятся ферменты класса фосфатаз, липаз, протеаз и уреазы [11; 33]. Фосфатазы участвуют в разложении фосфорорганических соединений, строгой специфичностью также не обладают. В зависимости от реакции почвенной среды микроорганизмами будет выделяться преимущественно либо кислая, либо щелочная фосфатаза. Липаза участвует в разложении жировых субстратов животного и растительного происхождения. Протеазы участвуют в разложении белковых молекул, которые поступают в почву из всех мертвых организмов, как животных, так и растений. Продуцентами протеаз в почве являются многие бактерии и грибы. Они не обладают строгой специфичностью, а могут разлагать любые белоксодержащие органические компоненты. Уреазы участвуют в разложении мочевины, которая попадает в почву в составе растительных остатков и навоза [34].

Ферментативная активность (рис. 6), как правило, равномерно уменьшалась с глубиной во всех изученных разрезах, ее значения были достаточно близки во всех изученных почвах. Равномерное распределение ферментативной активности было характерно для фосфатазы и уреазы. Профильная динамика уреазной активности и уменьшение этого показателя с глубиной не дает оснований говорить о содержании скота на поселении на всех этапах его существования. Для ферментов, участвующих в разложении жиров и белков (липазы и протеазы соответственно), отмечалось несколько пиков возрастания их активности. Выявлено существенное увеличение активности липаз и пептидаз в слое среднего – позднего бронзового века в разрезе 1, расположенного на границе хозяйственной ямы, что, в совокупности с другими почвенными характеристиками, подтверждает вероятность использования данного участка в качестве места приготовления пищи. Небольшое возрастание активности липаз и протеаз наблюдалось также в слое среднего – позднего бронзового века в разрезе 2, заложенного на южной стенке раскопа Е. В слое раннего бронзового века, в разрезе 3, отмечалось только незначительное возрастание активности фермента глицин-аминопептидазы. Это указывает на минимальную антропогенную нагрузку на начальных этапах освоения территории памятника.

Определение фосфатазной активности совместно с отдельным определением минерального и органического фосфора может пролить свет на природу происхождения фосфора в культурном слое. Фосфатазы являются непосредственными участниками фосфорного цикла в почве, отвечают за вклад органического фосфора в фосфатный

пул культурного слоя. При этом степень фосфатазной активности отражает интенсивность поступления в почву фосфорсодержащих органических соединений [35]. Корреляционный анализ показал, что для разрезов 1 и 2 была характерна обратная взаимосвязь содержания минерального фосфора и активности фосфатаз (коэффициент корреляции -0,71 и -0,79 соответственно), тогда как в разрезе 3, напротив, выявлена положительная корреляция как с минеральным, так и с органическим фосфором (коэффициент корреляции 0,83). Принимая во внимание невысокое содержание как минеральных, так и органических фосфатов при высокой фосфатазной активности, можно предположить, что данный участок испытал наименьшую антропогенную нагрузку. На участках заложения разрезов 1 и 2, напротив, значительное поступление материалов антропогенной природы стимулировало микробиологическую активность, что приводило к их усиленной минерализации и накоплению именно минеральной формы фосфора, а по мере исчерпания субстрата фосфатазная активность уменьшалась. Но, с другой стороны, высокое содержание минеральных фосфатов при пониженной фосфатазной активности может говорить о минеральной природе фосфора в культурном слое.

Статистическая обработка данных

Метод главных компонент, выполненный с микробиологическими и химическими данными, показал, что 70,5% общей вариации объяснялось первыми двумя факторами, и образцы антропогенных отложений достаточно четко группировались по периодам освоения территории памятника (рис. 7). Ось 1 объясняла 51,1% общей вариации и с ней были связаны следующие параметры: химические – органический углерод (C_{org}), стронций (Sr), железо (Fe), хром (Cr), барий (Ba), кальций (Ca), медь (Cu), магний (Mg), валовый фосфор (P_{bulk}), марганец (Mn), а также микробиологические – активность фосфатазы (PhA), уреазы (UA), липаз (LA), пептидаз (PA) и микробная биомасса (MB). Ось 2 объясняла 19,4% общей вариации, и с ней были связаны такие параметры, как калий (K), минеральный (P_{min}) и органический фосфор (P_{org}). С повышенными значениями всех параметров биологической активности и органического углерода были связаны верхние современные слои изученных разрезов (TS 1-3). Слой раннего железного века (OL1-1, разрез 1) выделялся повышенными концентрациями магния, бария, хрома, меди и лантана. Как было сказано выше, формирование этого слоя связано с попаданием золы. В слое раннего железного века разреза 2 (OL1-2) не наблюдалось накопление данных элементов, что указывает на иной характер использования территории поселения в этот период, например, в качестве жилой зоны или же производственной зоны, связанной с незначительным попаданием органики. Слой средней – поздней бронзы на северной стенке раскопа E (OL2-1, разрез 1) характеризовался высокой концентрацией таких элементов как кальций, фосфор (все формы) и лантан, что указывает на попадание органических остатков, связанных с приготовлением пищи в культурных слоях [30]. На южной стенке раскопа E (OL2-2, разрез 2) наблюдалось повышение концентрации таких элементов как магний, стронций, кальций и сера. Для слоя раннего бронзового века (OL-3, разрез 3) также было характерно повышенное содержание кальция и стронция, а также серы. Повышение концентрации таких элементов как кальций, магний и стронций связывают с разделкой рыбы [31]. Поэтому можно предположить, что в раннем бронзовом веке основная деятельность человека могла

быть связана с выловом рыбы, а участок на южной стенке раскопа Е в среднем – позднем бронзовом веке мог представлять собой зону разделки рыбы.

Заключение

Морфологические, химические и микробиологические особенности культурного слоя на различных участках поселения Сотк-2 позволяют выявить различия в бытовой и производственной деятельности на территории поселения в раннем бронзовом веке и в переходный период от среднего – позднего бронзовому веку к раннему железному веку, а также реконструировать инфраструктурные особенности памятника.

Принимая во внимание полученные результаты почвенного изучения культурных слоев, можно заключить, что формирование слоя раннего железного века обусловлено попаданием растительных остатков в виде золы, тогда как слой среднего – позднего бронзового века на северной стенке раскопа Е сформировался при значительном попадании органических (пищевых) отходов в почву, и данная территория могла быть зоной приготовления пищи. Это согласуется с археологическими данными, так как на данном участке раскопа выявлена максимальная концентрация археологического материала (кости, керамика, камни). Противоположный участок раскопа (на южной стенке раскопа, на удалении пяти метров) в этот период мог быть производственной зоной, например, для разделки рыбы. Данный вид хозяйственной деятельности не связан со значительным попаданием органических материалов в почву, поэтому здесь и не наблюдалось значительное возрастание биологической активности, но отмечено увеличение концентрации таких элементов как кальций, магний и стронций, то есть химических элементов, накопление которых связывают с разделкой рыбы. Слой раннего бронзового века, выявленный только на исследованном участке раскопа К, связан с начальным этапом освоения территории и минимальной антропогенной нагрузкой, которая не привела к существенному изменению почвы и ее свойств.

Таким образом, совместное применение геохимического анализа и методов почвенной микробиологии повышает надежность археологических реконструкций особенностей хозяйственной деятельности древнего человека. Традиционный геохимический анализ не может с большой точностью установить органический или неорганический материал попадал в культурный слой в момент его формирования. Но, если при значительном повышении концентрации определенных химических элементов (например, фосфор, марганец, сера, цинк, стронций, лантан) будет также наблюдаться повышение биологической активности, то можно говорить о поступлении именно органических материалов в культурный слой. В связи с этим, для повышения надежности почвенных реконструкций, мы рекомендуем совместное использование геохимического анализа и методов почвенной микробиологии для изучения антропогенных отложений разновозрастных археологических памятников.

Благодарность. Полевые исследования выполнены в рамках гранта РФФИ № 20-59-05001 и гранта комитета по науке Республики Армении № SC 20RF-141. Геохимические исследования осуществлены за счет средств гранта РНФ № 19-18-00406-П.

Acknowledgements. The fieldworks were carried out within the framework of RFBR grant No. 20-59-05001 and the grant of the Committee for Science of the Republic of Armenia No. SC 20RF-141. Geochemical studies were conducted with the financial support of the RNF grant No. 19-18-00406-P.

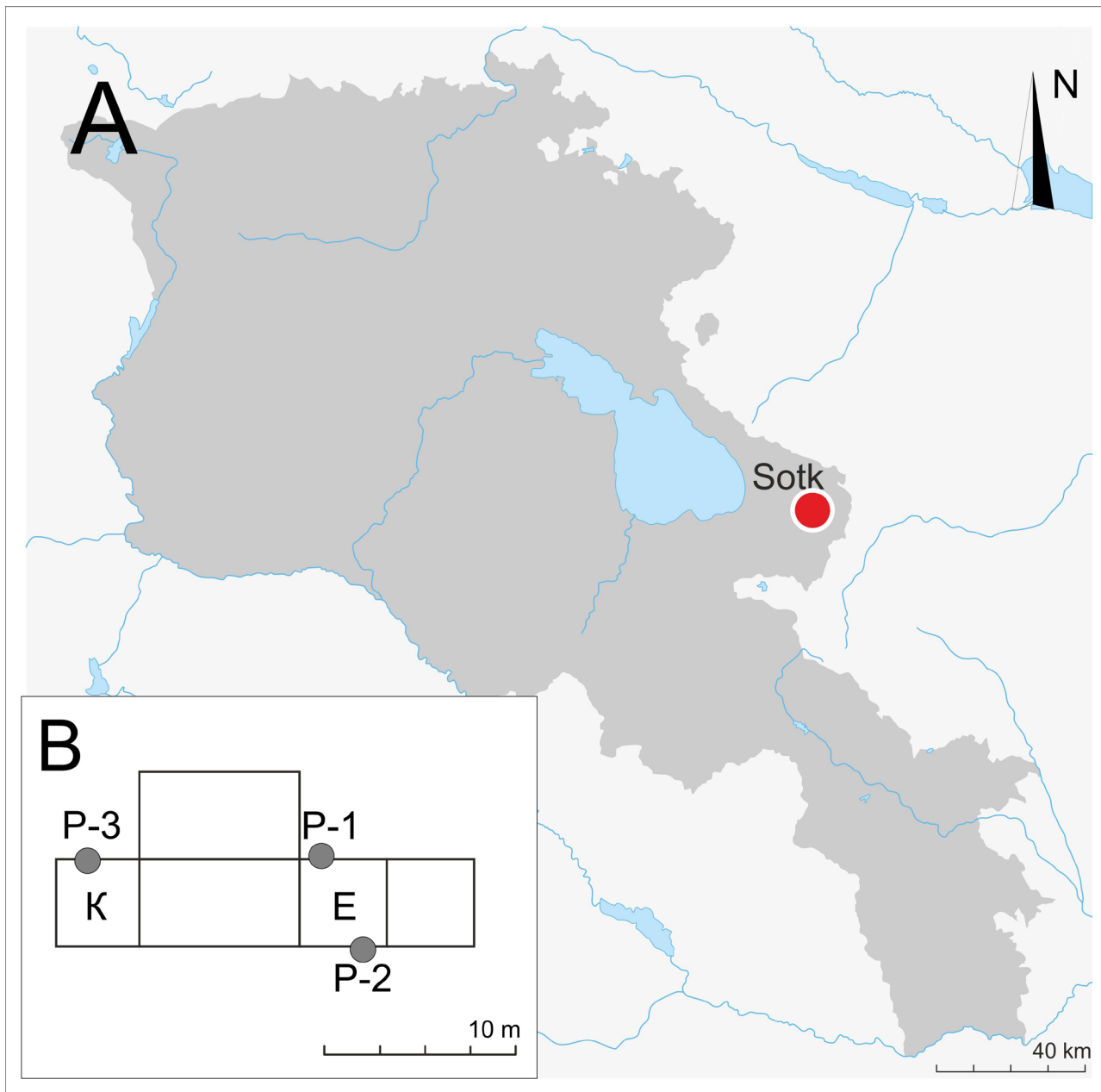
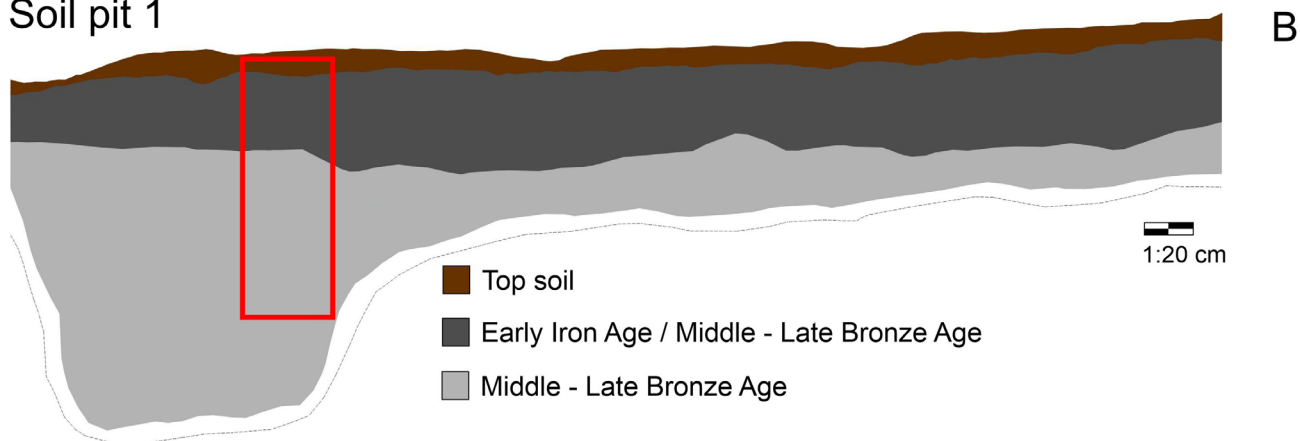


Рис. 1. Регион исследования.
А – Расположение поселения Сотк-2,
Б – схема расположения почвенных разрезов (P-1 – разрез, E – раскоп)

Fig. 1. Study area.
A – Location of the Sotk-2 site,
B – location of soil pits (P-1 – soil pit, E – trench)



Trench E
Northern profile
Soil pit 1



Trench K
Northern profile
Soil pit 3

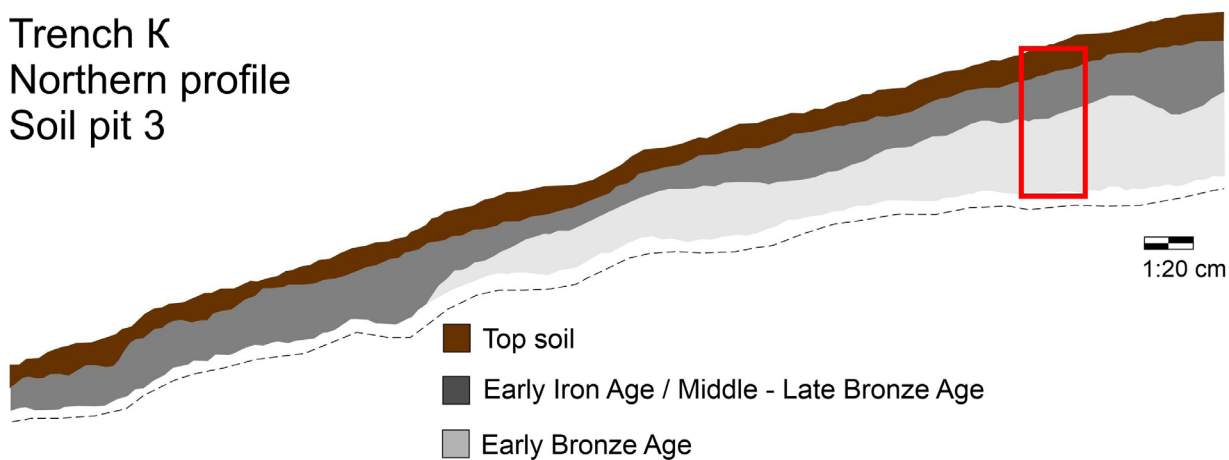


Рис. 2. Общий вид на раскоп Е поселения Сотк-2 (А) и схема профиля в местах заложения разреза 1 и 3 (Б)

Fig. 2. General view on Trench E of the Sotk-2 site (A) and profile diagram at the locations of Soil Pits 1 and 3 (B)

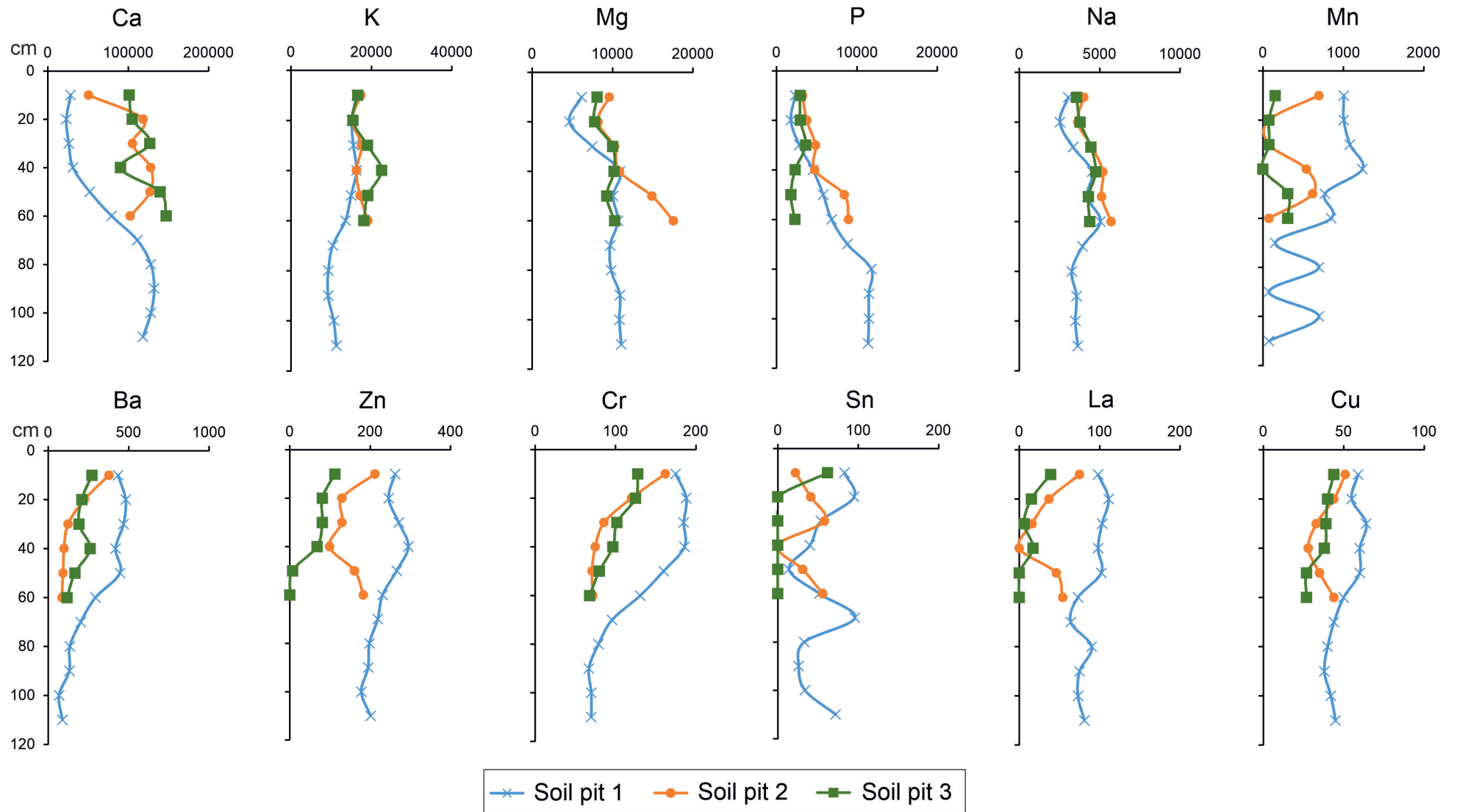


Рис. 3. Содержание некоторых химических элементов в культурных слоях поселения Сотк-2
 Fig. 3. The content of some chemical elements (mg g⁻¹ soil) in the occupation layers of the Sotk-2 site

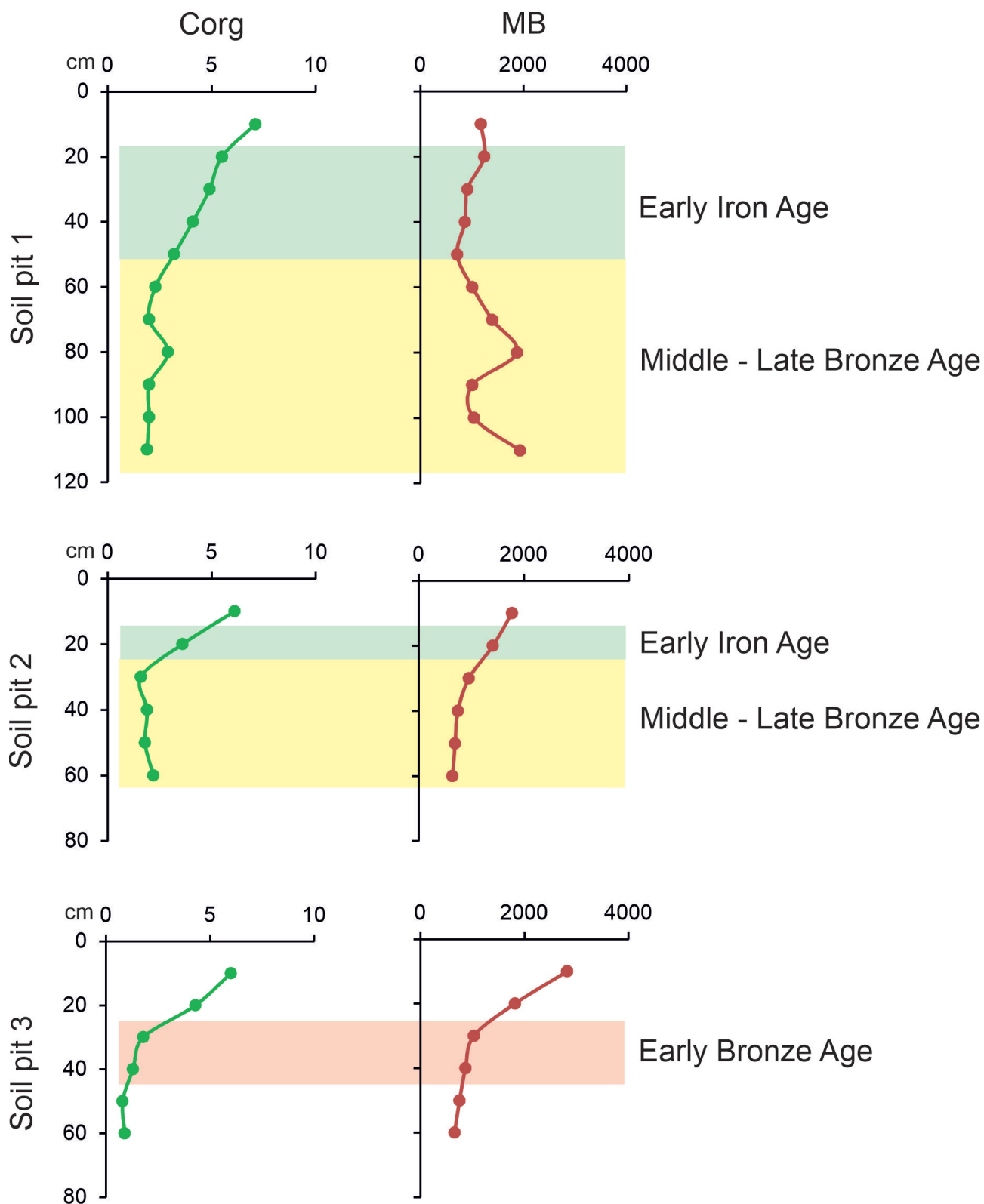


Рис. 4. Содержание органического углерода (Сорг, %) и микробная биомасса (МБ, мкг С/г почвы) в культурных слоях поселения Сотк-2

Fig. 4. The content of organic carbon (Corg, %) and microbial biomass (MB, µg g⁻¹ soil) in the cultural layers of the Sotk-2 site

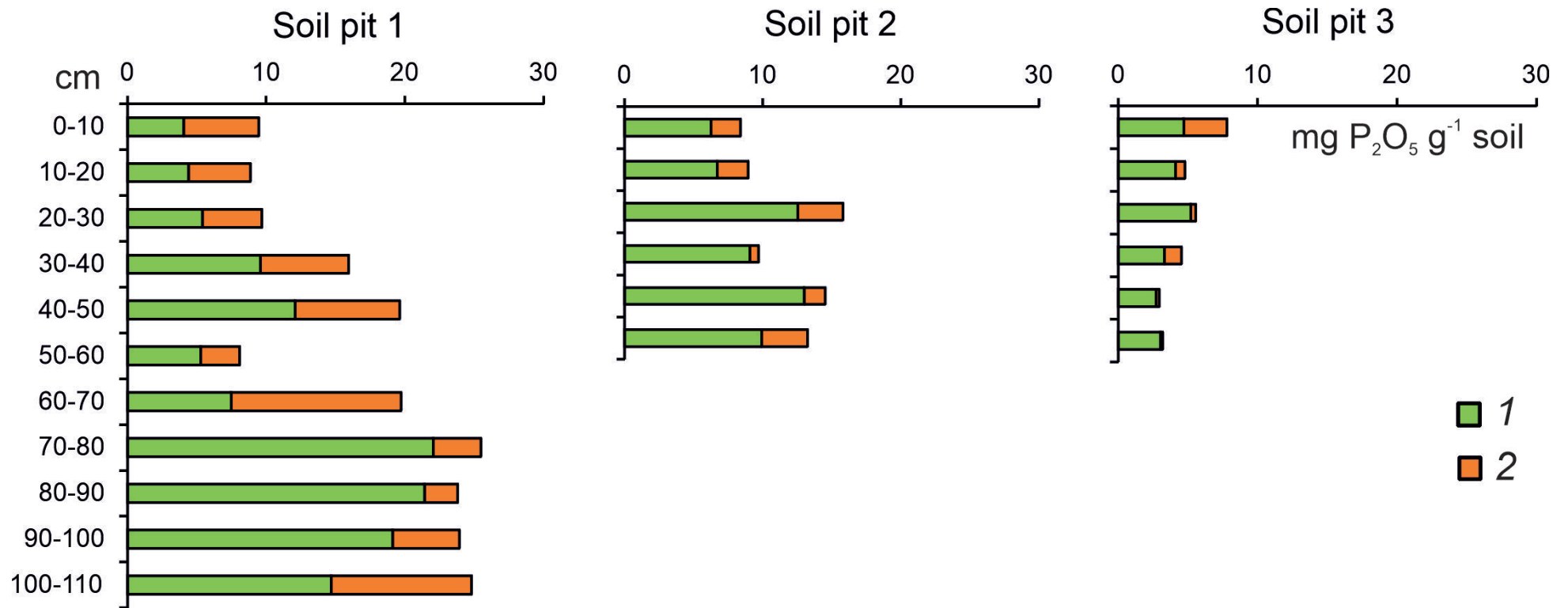


Рис. 5. Содержание фосфатов в толще культурных отложений поселения Сотк-2.
1 – минеральный фосфор; 2 – органический фосфор

Fig. 5 The content of phosphates in cultural layers of the Sotk-2 site.
1 – mineral phosphorus; 2 – organic phosphorus

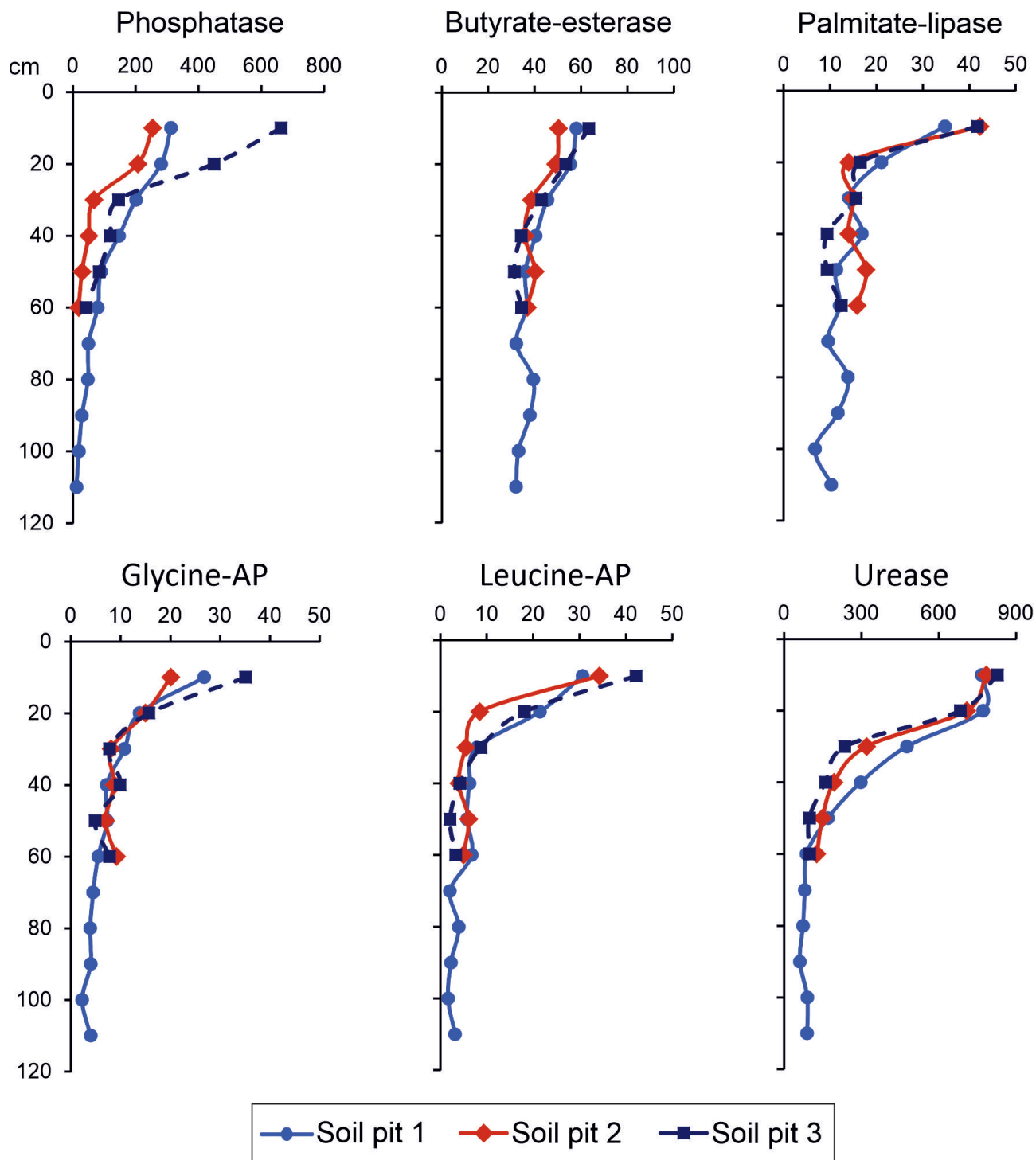


Рис. 6. Ферментативная активность в толще культурных отложений поселения Сотк-2 (фосфатаза, бутират-эстераза, пальмитат-липаза, глицин-аминопептидаза и лейцин-аминопептидаза – нмоль пНФ/г почвы в час, уреазы – мкг NH₄⁺/г почвы в час)

Fig. 6. Enzymatic activity in the cultural layers of the Sotk-2 site (phosphatase, butyrate-esterase, palmitate-lipase; glycine-aminopeptidase, leucine-aminopeptidase – nmol pNP g⁻¹ soil hour⁻¹, urease – µg NH₄⁺ g⁻¹ soil hour⁻¹)

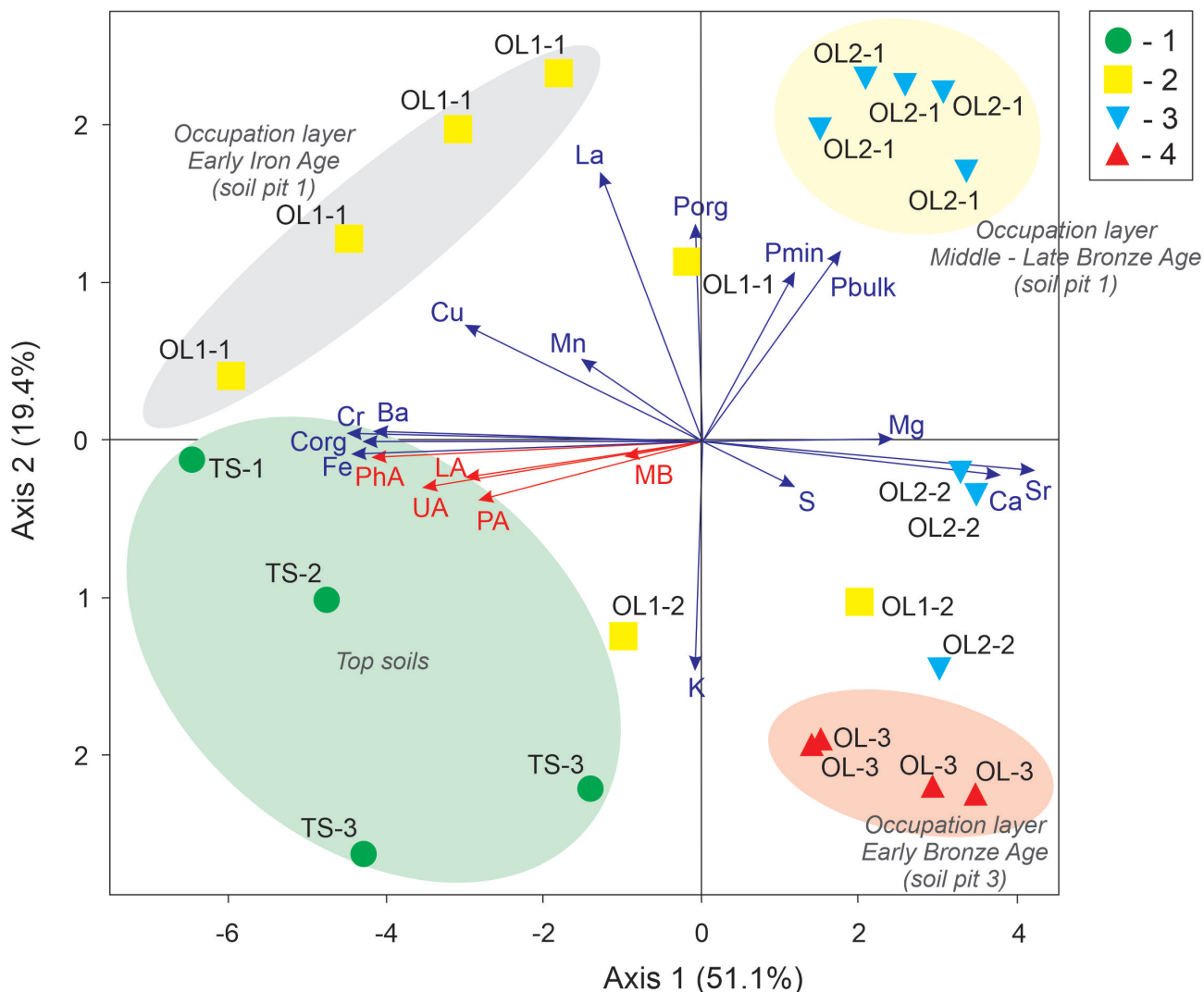


Рис. 7. Метод главных компонент для химических и микробиологических параметров.
 1 – верхние горизонты (TS), 2 – культурный слой раннего железного века (OL1),
 3 – культурный слой среднего – позднего бронзового века (OL2), 4 – культурный слой раннего бронзового века (OL3). Corg. – органический углерод, Pbulk – валовый фосфор; Pmin. – минеральный фосфор,
 Porg. – органический фосфор, MB – микробная биомасса, PhA – фосфатазная активность,
 UA – уреазная активность, LA – липазная активность, PA – протеазная активность

Fig. 7. Principal component analysis for chemical and microbiological parameters.
 1 – topsoil (TS), 2 – occupation layer of early Iron Age (OL1),
 3 – occupation layer of Middle – Late Bronze Age (OL2), 4 – occupation layer of early Bronze Age (OL3).
 Corg. – organic carbon; Pbulk – total phosphorus, Pmin. – mineral phosphorus,
 Porg. – organic phosphorus, MB – microbial biomass; PhA – phosphatase activity,
 UA – urease activity, LA – lipase activity, PA – protease activity

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 692 с.
2. Борисов А.В., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Чернышева Е.В. Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие // Почвоведение. 2021. № 7. С. 849–861. DOI: 10.31857/S0032180X21070029
3. Ivanova A., Marfenina O. Soil fungal communities as bioindicators of ancient human impacts in medieval settlements in different geographic regions of Russia and southwestern Kazakhstan // *Quaternary International*. 2015. V. 365. P. 212–222. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.10.016.
4. Margesin R., Siles J., Cajthaml T., Öhlinger B., Kistler E. Microbiology Meets Archaeology. Soil Microbial Communities Reveal Different Human Activities at Archaic Monte Iato (Sixth Century BC) // *Microbial Ecology*. 2016. V. 73. P. 925–938.
5. Khomutova T.E., Borisov A.V. Estimation of microbial diversity in the desert steppe surface soil and buried palaeosol (IV mil. BC) using the TRFLP method // *Journal of arid environments*. V. 171. P. 104004. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104004
6. Бухарин О.В., Гинцбург А.Л., Романова Ю.М., Эль-Регистан Г.И. Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. 367 с.
7. Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // *Soil biochem.* 2013. V. 58. P. 216–234. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009
8. Peters S., Borisov A., Reinhold S., Korobov D., Thiemeyer H. Microbial characteristics of soils depending on the human impact on archaeological sites in the Northern Caucasus // *Quaternary International*. V. 324. 2014. P. 162–171. DOI: 10.1016/j.quaint.2013.11.020
9. Chernysheva E., Korobov D., Borisov A. Thermophilic microorganisms in arable land around medieval archaeological sites in Northern Caucasus, Russia: novel evidence of past manuring practices // *Geoarchaeology*. 2017. V. 32. P. 494–501. DOI: 10.1002/gea.21613
10. Kashirskaya N., Kleshchenko A., Mimokhod R., Borisov A. Microbiological approach for identification of wool clothes in ancient burials // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2020. V. 31. P. 102296. DOI: 10.1016/j.jasrep.2020.102296
11. Чернышева Е.В., Борисов А.В., Малашев В.Ю. Микробиологический подход к реконструкции исходного присутствия жиров в сосудах из погребений аланской культуры // *Краткие сообщения Института археологии РАН*. 2021. Вып. 263. С. 105–116. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.105-116
12. Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Хомутова Т.Э., Душчанова К.С., Потапова А.В., Борисов А.В. Археологическая микробиология: теоретические основы, методы и результаты // *Российская археология*. 2021.
1. *Soil memory: soil as a memory of biosphere-geosphere-anthroposphere interactions* [*Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий*]. Targulyan VO, Goryachkin SV (eds.). Moscow: LKI Publ., 2008. (In Russ.)
2. Borisov AV, Demkina TS, Kashirskaya NN, Khomutova TE, Chernysheva EV. Changes in the past soil-forming conditions and human activity in soil biological memory: microbial and enzyme components. *Eurasian Soil Science*. 2021, 54(7): 1078–1088. DOI: 10.1134/S1064229321070024
3. Ivanova A, Marfenina O. Soil fungal communities as bioindicators of ancient human impacts in medieval settlements in different geographic regions of Russia and southwestern Kazakhstan. *Quaternary International*. 2015, 365: 212–222. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.10.016
4. Margesin R, Siles J, Cajthaml T, Öhlinger B, Kistler E. Microbiology Meets Archaeology. Soil Microbial Communities Reveal Different Human Activities at Archaic Monte Iato (6th Century BC). *Microbial Ecology*. 2016, 73: 925–938. DOI: 10.1007/s00248-016-0904-8
5. Khomutova TE, Borisov AV. Estimation of microbial diversity in the desert steppe surface soil and buried palaeosol (IV mil. BC) using the TRFLP method. *Journal of arid environments*. 2019, 171: 104004. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104004
6. Bukharin OV, Gintsburg AL, Romanova YuM, El-Registan GI. *Survival mechanisms of bacteria* [*Mekhanizmy vyzhivaniya bakteriy*]. Moscow: Medicine, 2005.
7. Burns RG, DeForest JL, Marxsen J, Sinsabaugh RL, Stromberger ME, Wallenstein MD, Weintraub MN, Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil biochem.* 2013, 58: 216–234. DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.11.009
8. Peters S, Borisov A, Reinhold S, Korobov D, Thiemeyer H. Microbial characteristics of soils depending on the human impact on archaeological sites in the Northern Caucasus. *Quaternary International*. 2014, 324: 162–171. DOI: 10.1016/j.quaint.2013.11.020
9. Chernysheva E, Korobov D, Borisov A. Thermophilic microorganisms in arable land around medieval archaeological sites in Northern Caucasus, Russia: novel evidence of past manuring practices. *Geoarchaeology*. 2017, 32: 494–501. DOI: 10.1002/gea.21613
10. Kashirskaya N, Kleshchenko A, Mimokhod R, Borisov A. Microbiological approach for identification of wool clothes in ancient burials. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2020, 31: 102296. DOI: 10.1016/j.jasrep.2020.102296
11. Chernysheva EV, Borisov AV, Malashev VYu. Microbiological approach to the reconstruction of the initial presence of fats in vessels from the burials of the Alanian culture [*Mikrobiologicheskiy podkhod k rekonstruktsii iskhodnogo prisutstviya zhirov v sosudakh iz pogrebeniy alanskoy kul'tury*]. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii RAN*. 2021, 263: 105–116. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.105-116
12. Kashirskaya NN, Chernysheva EV, Khomutova TE, Dushchanova KS, Potapova AV, Borisov AV. Archaeological microbiology: Theoretical foundations, methods

№ 2. С. 7–18. DOI: 10.31857/So86960630010975-1

13. Holliday V.T., Gartner W.G. Methods of soil P analysis in archaeology // *Journal of Archaeological Science*. 2007. V. 34. P. 301–333. DOI: 10.1016/j.jas.2006.05.004

14. Weihrauch C., Soder U., Stoddart S. The identification of archaeologically interesting depths from vertical soil phosphorus prospecting in geoarchaeology // *Geoderma*. 2022. V. 418. P. 115850 DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115850

15. Oonk S., Slomp C.P., Huisman D.J. Geochemistry as an aid in archaeological prospection and site interpretation: current issues and research directions // *Archaeological Prospection*. 2009. V. 16. P. 35–51. DOI: 10.1002/arp.344

16. Wilson C.A., Davidson D.A., Cresser M.S. An evaluation of the site specificity of soil elemental signatures for identifying and interpreting former functional areas // *Journal of Archaeological Science*. 2009. V. 36. P. 2327–2334. DOI: 10.1016/j.jas.2009.06.022

17. Smejda L., Hejzman M., Horak J., Shai I. Multi-element mapping of anthropogenically modified soils and sediments at the Bronze to Iron Ages site of Tel Burna in the southern Levant // *Quaternary International*. 2018. V. 483. P. 111–123. DOI: 10.1016/j.quaint.2017.11.005

18. Рябогина Н.Е., Борисов А.В., Иванов С.Н., Занина О.Г., Савицкий Н.М. Природные условия на юге Среднерусской возвышенности в Хазарское время (IX–X вв.) // *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2013. №3 (22). С. 182–194.

19. Bobokhyan A., Kunze R. Ushkiani-Project: Preliminary archaeological investigations in the Lake Sevan Region/Armenia // *Praehistorische Zeitschrift*. 2021. V. 96. № 2. P. 500–510. DOI: 10.1515/pz-2021-0012

20. Багдасарян А.Б. Климат Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1958. 138 с.

21. Kunze R., Bobokhyan A., Pernicka E., Meliksetian K. Projekt Ushkiani. Untersuchungen der Kulturlandschaft um das prähistorische Goldrevier von Sotk // *Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen Anhalt-Landesmuseum für Vorgeschichte*. 2013. V. 67. P. 49–88.

22. Hovsepian R. First Archaeobotanical Data from the Basin of Lake Sevan (Armenia) // *Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen Anhalt-Landesmuseum für Vorgeschichte*. 2013. V. 67. P. 93–105.

23. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.

24. Агрохимические методы исследования почв / Отв. ред. А.В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с.

25. Хомутова Т.Э., Демкин В.А. Оценка биомассы микробных сообществ почв сухих степей по содержанию в них фосфолипидов // *Почвоведение*. 2011. № 6. С. 748–754.

26. Kandeler E., Gerber H. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // *Biol Fertil Soils*. 1988. V. 6. P. 68–72. DOI: 10.1007/BF00257924

27. Cowie A., Lonergan, V.E., Rabbi F.S.M., Fornasier F., Macdonald C., Harden S., Kawasaki A., Brajesh K., Singh B.K. The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales // *Soil Research*. 2013. V. 51. P. 707–718. DOI: 10.1071/SR13043

28. Margenot A.J., Nakayama Y., Parikh S.J.

and results. *Rossijskaja Arheologija*. 2021, 2: 7–18. DOI: 10.31857/So86960630010975-1

13. Holliday VT, Gartner WG. Methods of soil P analysis in archaeology. *Journal of Archaeological Science*. 2007, 34: 301–333. DOI: 10.1016/j.jas.2006.05.004

14. Weihrauch C, Soder U, Stoddart S. The identification of archaeologically interesting depths from vertical soil phosphorus prospecting in geoarchaeology. *Geoderma*. 2022, 418: 115850. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115850

15. Oonk S, Slomp CP, Huisman DJ. Geochemistry as an aid in archaeological prospection and site interpretation: current issues and research directions. *Archaeological Prospection*. 2009, 16: 35–51. DOI: 10.1002/arp.344

16. Wilson CA, Davidson DA, Cresser MS. An evaluation of the site specificity of soil elemental signatures for identifying and interpreting former functional areas. *Journal of Archaeological Science*. 2009, 36: 2327–2334. DOI: 10.1016/j.jas.2009.06.022

17. Smejda L, Hejzman M, Horak J, Shai I. Multi-element mapping of anthropogenically modified soils and sediments at the Bronze to Iron Ages site of Tel Burna in the southern Levant. *Quaternary International*. 2018, 483: 111–123. DOI: 10.1016/j.quaint.2017.11.005

18. Ryabogina NE, Borisov AV, Ivanov SN, Zanina OG, Savitsky NM. Natural conditions in the south of the Central Russian Upland in the Khazar time (IX–X centuries) [*Prirodnyye usloviya na yuge Srednerusskoy vozvyshennosti v Khazarskoye vremya (IX–X vv.)*]. *Bulletin of archaeology, anthropology and ethnography*. 2013, 3(22): 182–194.

19. Bobokhyan A, Kunze R. Ushkiani-Project: Preliminary archaeological investigations in the Lake Sevan Region/Armenia. *Praehistorische Zeitschrift*. 2021, 96(2): 500–510. DOI: 10.1515/pz-2021-0012

20. Bagdasaryan AB. *Climate of the Armenian SSR*. Yerevan: Publishing House of the Academy of Sciences of the ArmSSR, 1958.

21. Kunze R, Bobokhyan A, Pernicka E, Meliksetian K. Projekt Ushkiani. Untersuchungen der Kulturlandschaft um das prähistorische Goldrevier von Sotk. *Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen Anhalt-Landesmuseum für Vorgeschichte*. 2013, 67: 49–88. (in German).

22. Hovsepian R. First Archaeobotanical Data from the Basin of Lake Sevan (Armenia). *Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen Anhalt-Landesmuseum für Vorgeschichte*. 2013, 67: 93–105.

23. Vorobieva LA. *Chemical analysis of soils [Khimicheskij analiz pochv]*. Moscow: MSU Publ., 1998.

24. *Agrochemical methods of soil research [Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv]*. AV Sokolov (ed.). Moscow: Nauka, 1975.

25. Khomutova TE, Demkin VA. Assessment of the microbial biomass using the content of phospholipids in soils of the dry steppe. *Eurasian soil science*. 2011, 44:686–692. DOI: 10.1134/S1064229311060081

26. Kandeler E, Gerber H. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol Fertil Soils*. 1988, 6: 68–72. DOI:10.1007/BF00257924

27. Cowie A, Lonergan VE, Rabbi FSM, Fornasier F, Macdonald C, Harden S, Kawasaki A, Brajesh K, Singh BK.

- Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples // *Soil Biol Biochem*. 2018. V. 125. P. 350–360. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.11.006
29. Gallelo G., Pastor A., Diez A., La Roca N., Bernabeu J. Anthropogenic units fingerprinted by REE in archaeological stratigraphy: Mas d'Is (Spain) case // *Journal of Archaeological Science*. 2013. V. 40. P. 799–809. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.005
30. Pastor A., Gallelo G., Cervera M.L., de la Guardia M. Mineral soil composition interfacing archaeology and chemistry // *Trends in Analytical Chemistry*. 2016. V. 78. P. 48–59. DOI: 10.1016/j.trac.2015.07.019
31. Salisbury R.B. Interpolating geochemical patterning of activity zones at Late Neolithic and Early Copper Age settlements in eastern Hungary // *Journal of Archaeological Science*. 2013. V. 40. P. 926–934. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.009
32. Homburg J.A., Sandor J.A. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agriculture systems of the American Southwest // *Catena*. 2011. V. 85. P. 144–154. DOI: 10.1016/j.catena.2010.08.005
33. Chernysheva E., Korobov D., Khomutova T., Fornasier F., Borisov A. Soil microbiological properties in livestock corrals: An additional new line of evidence to identify livestock dung // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021. V. 37. P. 103012. DOI: 10.1016/j.jasrep.2021.103012.
34. Schinner F., Kandeler E., Ohlinger R., Margesin R. *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1996.
35. Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Чернышева Е.В., Ельцов М.В., Удальцов С.Н., Борисов А.В. Пространственно-временные особенности фосфатазной активности естественных и антропогенно-преобразованных почв // *Почвоведение*. 2020. № 1. С. 89–101. DOI: 10.31857/S0032180X20010098
- The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales. *Soil Research*. 2013, 51: 707–718. DOI: 10.1071/SR13043
28. Margenot AJ, Nakayama Y, Parikh SJ. Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples. *Soil Biol Biochem*. 2018, 125: 350–360. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.11.006
29. Gallelo G, Pastor A, Diez A, La Roca N, Bernabeu J. Anthropogenic units fingerprinted by REE in archaeological stratigraphy: Mas d'Is (Spain) case. *Journal of Archaeological Science*. 2013, 40:799-809. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.005
30. Pastor A, Gallelo G, Cervera ML, de la Guardia M. Mineral soil composition interfacing archaeology and chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*. 2016, 78: 48–59. DOI: 10.1016/j.trac.2015.07.019
31. Salisbury RB. Interpolating geochemical patterning of activity zones at Late Neolithic and Early Copper Age settlements in eastern Hungary. *Journal of Archaeological Science*. 2013, 40: 926–934. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.009
32. Homburg JA, Sandor JA. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agriculture systems of the American Southwest. *Catena*. 2011, 85: 144–154. DOI: 10.1016/j.catena.2010.08.005
33. Chernysheva E, Korobov D., Khomutova T, Fornasier F, Borisov A. Soil microbiological properties in livestock corrals: An additional new line of evidence to identify livestock dung. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021, 37:103012. DOI: 10.1016/j.jasrep.2021.103012.
34. Schinner F, Kandeler E, Ohlinger R, Margesin R. *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1996.
35. Kashirskaya NN, Plekhanova LN, Chernysheva EV, Eltsov MV, Udaltsov SN, Borisov AV. Temporal and spatial features of phosphatase activity in natural and human-transformed soils. *Eurasian Soil Science*. 2020, 53(1): 97–109. DOI: 10.1134/S1064229320010093

Поступила в редакцию 15.07.2022

Принята в печать 12.09.2022

Опубликована 25.12.2022

Received 15.07.2022

Accepted 12.09.2022

Published 25.12.2022