

УДК 631.48:930.26

## СЛЕДЫ ДРЕВНЕЙ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОЧВАХ (НА ПРИМЕРЕ ПОСЕЛЕНИЯ ЭПОХИ БРОНЗЫ АРБАКОЛ-1 В КИСЛОВОДСКОЙ КОТЛОВИНЕ)

© 2022 г. А. А. Петросян<sup>1</sup>, \*, Т. Э. Хомутова<sup>1</sup>, Н. Н. Каширская<sup>1</sup>, Д. С. Коробов<sup>2</sup>, А. В. Борисов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, ФИЦ “Пушкинский научный центр биологических исследований РАН”, Пушкино, Московская обл., Россия

<sup>2</sup>Институт археологии РАН, Москва, Россия

\*e-mail: Alisa\_mayakovskaya@bk.ru

Поступила в редакцию 14.03.2022 г.

После доработки 01.04.2022 г.

Принята к публикации 04.04.2022 г.

Выявление следов древнего антропогенного преобразования почв и ландшафтов проводится путем оценки химических свойств и биологической активности почв в пределах потенциальной экономической зоны поселения. Объектом исследования явилось поселение эпохи поздней бронзы Арбакол-1 (кобанская культура, IX–VI вв. до н.э.) в окрестностях г. Кисловодск. Изучались почвы на территории поселения и почвы прилегающей к поселению хозяйственной зоны. Разрезы почвы заложены в катенарном сопряжении на верхней, средней и нижней частях склона. Проведено определение магнитной восприимчивости, содержания органического углерода, органических и минеральных форм фосфора, субстрат-индуцированного дыхания, микробной биомассы по присутствию фосфолипидов. Особый акцент сделан на изучении микробиологических свидетельств древней хозяйственной деятельности, которые могут накапливаться и храниться в микробной и ферментативной памяти почв. Показано, что микробиологические свойства почв сельскохозяйственных угодий вблизи древних поселений служат надежными индикаторами сельскохозяйственного освоения территории. Максимальные величины всех индикаторов древней антропогенной деятельности наблюдались на территории поселения. На участках потенциальной экономической зоны в средней и нижней частях склона в древних пахотных горизонтах, содержащих керамику, выявлено увеличение показателей биологической активности и магнитной восприимчивости, а также повышенные значения содержания фосфатов. Показана перспективность использования микробиологических методов в исследовании археологических памятников и реконструкции антропогенного преобразования почв в древности и средневековье.

*Ключевые слова:* почвы, антропогенное воздействие, микробная биомасса, ферментативная активность

DOI: 10.31857/S0042132422040081

### ВВЕДЕНИЕ

Вопросы устойчивого функционирования почв в горной зоне в условиях повсеместного распространения склонов неизменно привлекают внимание исследователей (Аличаев, Казиев, 2016; Абду-саламова, Баламирзоева, 2020; Татаринцев и др., 2020; Воскова и др., 2021; Zuazo et al., 2006). В первую очередь это связано с опасностью эрозионных процессов в условиях антропогенной нагрузки (Караваев и др., 2020; Mohammed et al., 2020).

Следует отметить, что многие экологические проблемы имеют унаследованный характер и ведут начало с первых этапов освоения горных регионов (Фетисов, 2014). Изменения в почве в большей степени связаны с поселениями, когда прилегающая территория вовлекается в сельско-

хозяйственный оборот. Этой тематике посвящены многие работы, в их числе (Лисецкий, 2008; Sandor, Eash, 1995; Wilson et al., 2005). Однако особенности агрогенной трансформации почв в условиях горной зоны остаются недостаточно исследованными.

Современные методы позволяют оценить масштабы нарушений почвенного покрова на протяжении прошлых эпох (Heckmann, 2011). С древности человек использовал эффективные способы освоения горных территорий – террасирование склонов и сохранение естественного растительного покрова между террасами, что позволяло успешно бороться с почвенной эрозией (Аличаев, Казиев, 2016). Чем более благоприятными для земледельческого освоения были исходные почвы, тем бо-

лее длительному и сильному антропогенному преобразованию они подвергались (Коробов, Борисов, 2020; Борисов и др., 2021б). При этом запустение освоенных территорий также могло приводить к усилению эрозионных процессов, особенно в первые годы, что влекло за собой значительные потери почвы (Cerdà et al., 2018). Накопление отложений на нижележащих участках в некоторой степени компенсировало потери плодородия на склонах (van Loo et al., 2017).

Известно, что территория, расположенная в радиусе 500–1000 м вокруг поселений, потенциально может входить в экономическую зону памятника, что нашло отражение в известной off-site-концепции (Bintliff, 2000). Маркером древнего земледельческого освоения территории служит керамика, которая попадала на поля при внесении удобрений (Wilkinson, 1982). Границы потенциальных экономических зон древних поселений можно установить путем сопоставления наличия керамики в почвах (Wilkinson, 1982), следов межевания (Lisetskii et al., 2013), урезной активности (УА) (Chernysheva et al., 2015) и содержания фосфатов (Борисов, Коробов, 2013). Так, в частности, в окрестностях средневекового поселения Подкумское-3 в Кисловодской котловине было показано увеличение содержания подвижных фосфатов, общего фосфора, органического углерода и существенное увеличение микробной биомассы (Chernysheva et al., 2018).

В горной зоне признаками земледельческого освоения территории могут служить террасы, однако почвы пологих склонов вблизи поселений, то есть в пределах потенциальных экономических зон, могут обрабатываться без террасирования, либо следы террас не сохраняются (Борисов, Коробов, 2013). Здесь свидетельства древнего земледелия определяются, прежде всего, по наличию керамики, которая попадала в почву вместе с удобрениями. При этом почвы эпохи бронзы, как правило, не сохраняют следов распашки и оборота пласта в профиле, и информацию о древнем земледелии можно получить благодаря присутствию керамики, обугленных микроостатков культурных злаков и другим морфологическим и химическим признакам (Borisov et al., 2020).

Для выявления особенностей антропогенного освоения ландшафтов в древности используется широкий ряд методов почвоведения и смежных дисциплин (Каширская и др., 2021), а в последние годы – и методы почвенной микробиологии (Борисов и др., 2021б; Каширская и др., 2021; Ivanova, Marfenina, 2015; Margesin et al., 2017). Многочисленные исследования показали, что практически все характеристики микробного сообщества демонстрируют существенные различия между почвами поселений и фоновыми почвами, не подвергавшимися антропогенному воздействию

(Чернышева и др., 2016). В культурных слоях увеличивается содержание органического углерода и фосфатов, доля активно метаболизирующих клеток, биомасса грибного мицелия и количество ксерофильных грибов на фоне стабильного уровня суммарной микробной биомассы (Peters et al., 2014). При этом микробиологический анализ существенным образом расширяет информационный потенциал геофизических методов изучения археологических памятников (Peters et al., 2014; Smekalova et al., 2020; Zhurbin, Borisov, 2020). Так, информативным показателем антропогенного преобразования почв является магнитная восприимчивость. Повышение ее уровня может указывать на пирогенное воздействие на почву (Fassbinder, Stanjek, 1993) либо на оптимизацию условий для функционирования почвенных бактерий – железоредукторов (Алексеев и др., 2020).

Обогащение почв органическим веществом антропогенного происхождения приводит к росту численности биомассы микробных сообществ. В качестве надежных биомаркеров древнего антропогенного влияния используются фосфолипиды жирных кислот в культурных слоях (Zhang et al., 2020), которые дают информацию о живом сообществе почвенных микроорганизмов. Принадлежность этих соединений только живым микробным клеткам обусловлена их высокой скоростью разложения в почве (Zhang et al., 2019). Предполагается, что большая часть интактных полярных липидов в органическом веществе почвы (45–80%) принадлежит бактериальному сообществу (Ding et al., 2020). Показано, что величины содержания органического углерода и валового фосфора, а также УА в культурном слое внутренней части поселения существенно выше, чем в культурном слое внешней части поселения (Kashirskaia et al., 2021).

Информация об антропогенной деятельности в прошлом может накапливаться и храниться в микробной и ферментной памяти почв и культурных слоев. Микробная память – это способность почвенного микробного сообщества изменять структуру, функциональное разнообразие и биологическую активность в результате воздействия антропогенных факторов и сохранять эти изменения в течение веков и тысячелетий (Борисов и др., 2021а). Возрастание численности почвенных микроорганизмов в результате поступления органических веществ с бытовым мусором на территории поселения или с удобрениями на территории сельскохозяйственной зоны поселения приводит к увеличению ферментативной активности. Способность ферментов накапливаться и сохраняться в почве на протяжении длительного времени понимается как ферментная память почв (Борисов и др., 2021б). Ферменты выделяются в почву в процессе разложения органических остатков микроорганизмами. Сохранение ферментов без потери их активности возможно в почвах на протя-

жении длительных периодов времени (Хомутова и др., 2012; Skujins, 1976; Nannipieri et al., 2002; Chernysheva et al., 2017).

Увеличение биомассы микроорганизмов приводит к росту ферментативной активности в почвах и культурных слоях поселений. Рост фосфатазной активности (ФА) связан с поступлением в почвы соединений фосфора вместе с органическими отходами, а также может свидетельствовать о внесении удобрений в почвы пахотной зоны, что согласуется с присутствием керамики в окрестностях археологических памятников (Каширская и др., 2021; Holliday, Gartner, 2007). Присутствие навоза в качестве удобрения выявляется по увеличению активности различных ферментов, участвующих в его разложении (Chernysheva et al., 2021). Высокая УА и обилие термофильных микроорганизмов в почвах сельскохозяйственных угодий вблизи археологических памятников служат надежными показателями сельскохозяйственного освоения территории (Каширская и др., 2021).

Показано, что в почве древней земледельческой террасы (около 1500 л. н.) сохранялся высокий уровень ФА, превышающий ферментативную активность современных целинных и пахотных почв (Dick et al., 1995). Увеличение уровня ФА наблюдалось в почвах на территории поселений возрастом более 4000 лет – в культурных слоях, формирование которых было связано с антропогенной деятельностью в различные периоды функционирования поселений (Каширская и др., 2020; Потапова и др., 2020).

Показана возможность длительного сохранения УА в почвах, подвергшихся антропогенному воздействию более 3000 лет назад. Значительное увеличение активности ферментов выявлено в почвах потенциальной экономической зоны средневекового поселения (Чернышева и др., 2014; Chernysheva et al., 2015).

Цель данной работы – выявление следов антропогенной деятельности в древности путем оценки биологической активности почв катенарного сопряжения на пологом склоне, не подвергавшемся террасированию в потенциальной экономической зоне поселения эпохи бронзы Арбакол-1 в окрестностях г. Кисловодск.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

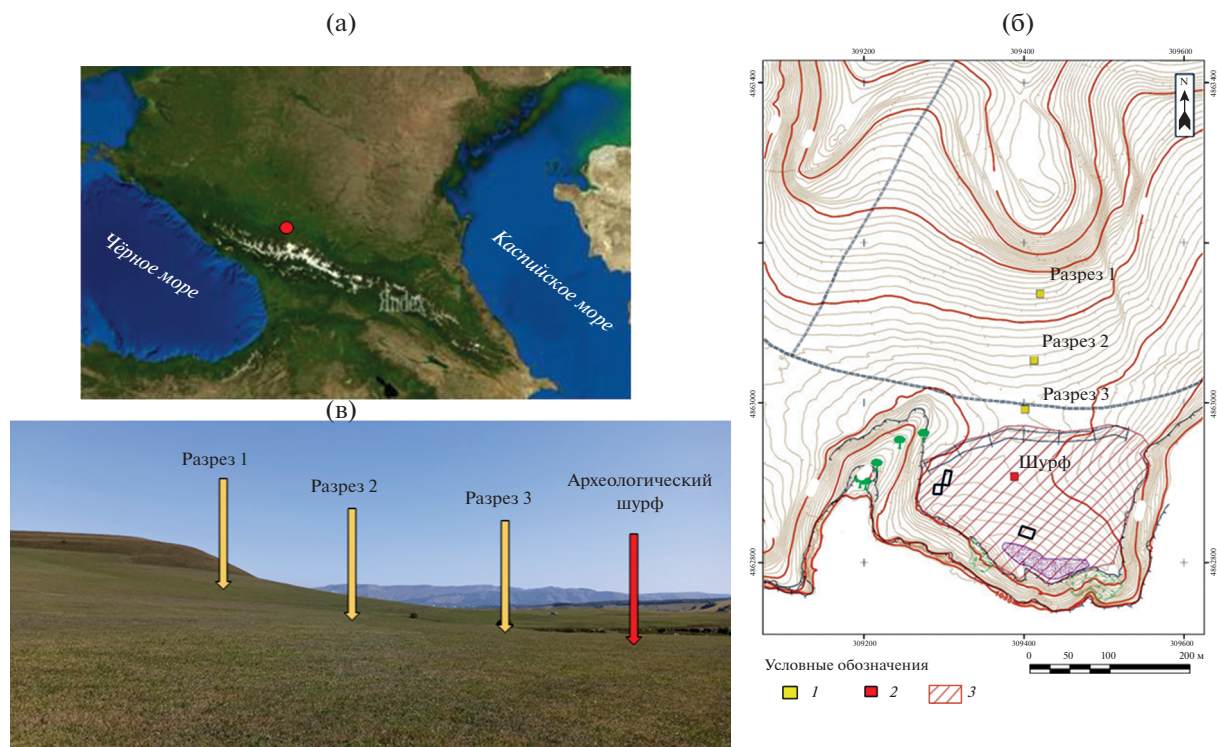
Палеопочвенные исследования проводились на территории Кисловодской котловины. Объекты исследования – поселение Арбакол-1 кобанской культуры (IX–VI вв. до н.э.) и потенциальная экономическая зона вокруг поселения, которое располагается на склоне юго-восточной экспозиции на левом берегу р. Аликоновка (Малокарачаевский р-н Карачаево-Черкесской Республики). Кисловодская котловина по высотным отметкам явля-

ется горной зоной, по климатическим характеристикам относится к предгорной макроне. Климат региона умеренно-континентальный. Осадки за год составляют примерно 600 мм. Среднегодовая температура +8°C (Русеева, 1971; Шеуджен и др., 2001). В целом для территории Кисловодской котловины характерно несколько этапов хозяйственного освоения в прошлом. Наиболее интенсивная распашка территории имела место во время существования кобанской культуры (IX–VI вв. до н.э.). Второй этап земледельческого освоения связан с аланской культурой раннего Средневековья (V–VIII вв. н.э.). После этого на территории Кисловодской котловины не было распашки, что обеспечило уникальные условия для сохранности археологических объектов.

Поселение Арбакол-1 – типичный объект для данного региона, где хорошо доказано наличие высокоразвитого сельскохозяйственного освоения этой территории в кобанское время. Ранее показано, что территории вокруг поселения распахивались в этот период, и следы распашки частично сохранились до наших дней на крутых склонах. На пологих склонах террасы заплыли и не выделяются в рельефе. В почвах обнаружено значительное возрастание встречаемости керамики, в сравнении с фоновыми показателями, что доказывает факт внесения органических удобрений в культивируемые почвы поселения (Коробов, 2017; Коробов, Борисов, 2020).

Поселение Арбакол-1 кобанской культуры располагалось на скальном мысу в нижней части склона, а его потенциальная экономическая зона располагалась на склоне, примыкающем к поселению с севера, и ограничивалась с двух сторон балками (рис. 1). Оставшийся участок около поселения предположительно предназначался для земледельческого освоения. Полевые разведки, проведенные в районе исследования, и анализ подъемного археологического материала, а также анализ керамики из почвенных разрезов позволяют утверждать, что основные антропогенные преобразования почв на данной территории связаны с ее сельскохозяйственным освоением в эпоху позднего бронзового века во время существования кобанской культуры. Материалов других эпох не обнаружено.

Для поиска следов древнего освоения территории исследованы три почвенных разреза по катенарному сопряжению на склоне крутизной 10°–12°. Разрезы заложены: в верхней части склона в эрозионной зоне (разрез 1), в средней части склона в области тылового шва (разрез 2) и в нижней части склона (разрез 3). Также изучался археологический шурф на территории поселения Арбакол-1 (Коробов, 2017), которое располагалось на пологом мысу у подножья склона. Современный почвенный покров представлен темногумусовы-



**Рис. 1.** Регион исследования (а), вид на потенциальную экономическую зону поселения Арбакол-1 (б), расположение почвенных разрезов и археологического шурфа (в). 1 – почвенные разрезы, 2 – археологический шурф, 3 – границы поселения.

ми почвами (UM) на элюво-делювии глин и песчаников нижнего мела.

## МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ

### *Разрез 1*

Заложен в верхней части склона в зоне преимущественной эрозии. В профиле выделяются горизонты:

**AU 0–20 см.** Темно-серый – до черного во влажном состоянии. Легкий суглинок комковато-зернистой структуры. Свежий. Плотный. На поверхности дернина 2–3 см. Присутствуют корни и норы почвенной мезофауны. Без камней. Без керамики. Нижняя граница волнистая, переход ясный по цвету и структуре.

**АС 20–35 см.** Постепенное изменение цвета от буровато-серого до желто-бурого. Тяжелый суглинок призмовидно-глыбистой структуры с вертикальной делимостью. Плотный. Влажно-ват. С глубины 35 см залегает почвообразующая порода – мергель.

### *Разрез 2*

Заложен в центральной части склона в зоне эрозии и транзита эрозионного материала. В профиле выделяются горизонты:

**AU 0–27 см.** Темно-серый – до черного во влажном состоянии (на препарированной и не препарированной стенке). Легкий суглинок комковато-зернистой структуры. Легкие блестящие включения слюды. Свежий. Слабо уплотнен. На поверхности дернина 4–5 см. Присутствуют корни и норы почвенной мезофауны. Без камней. Присутствует керамика кобанской культуры. Нижняя граница затечная, слабоволнистая, зоогенная. Переход ясный по цвету и структуре.

**[P1] 27–47 см.** Серовато-бурый на препарированной и не препарированной стенке. Средний суглинок комковато-призмовидной структуры. Влажно-ват, уплотнен. Единичные корни и норы почвенной мезофауны. Без камней. Присутствует в большом количестве керамика кобанской культуры. Переход постепенный по цвету и сложению.

**[P2] 47–70 см.** Буро-серый до темно-серого. Заметно темнее вышележащего горизонта. Тяжелый суглинок призмовидно-глыбистой структуры. Влажно-ват. Уплотнен. Единичные корни. Карбонатных новообразований нет. Присутствует кера-

мика кобанской культуры. Переход постепенный по цвету и структуре.

**[AB] 70–95 см.** Постепенное изменение цвета от буровато-серого до желто-бурого. Тяжелый суглинок призмовидно-глыбистой структуры. Плотный. Влажноват. С глубины 95 см залегает почвообразующая порода – элюво-делювий известковых песчаников.

### *Разрез 3*

Заложен в нижней части склона в аккумулятивной области. Разрез располагался вблизи стены, ограждающей поселение в зоне наиболее благоприятной для земледелия.

**AU 0–25 см.** Темно-серый до черного. Легкий суглинок комковато-зернистой структуры. Одинаковый на препарированной и не препарированной стенке. Свежий, слабо уплотнен. С поверхности задернован, мощность дернины до 3–4 см. Присутствуют корни и норы почвенной мезофауны. Без камней. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и структуре, хорошо заметен на заглаженной стенке. В горизонте обнаружена керамика кобанской культуры.

**[P1] 25–40 см.** Серо-бурый, на препарированной стенке черный. Средний суглинок непрочно комковато-призмовидной структуры. Плотный. Влажноват. Единичные корни. В нижней части горизонта заметна тенденция к вертикальной делимости. В большом количестве содержится керамика кобанской культуры. Единичные магистральные корни. Нижние границы ровные. Переход ясный по цвету и структуре. Предположительно погребенный пахотный горизонт.

**[AB] 40–70 см.** Черный на препарированной и заглаженной стенке. Средний суглинок призмовидно-глыбистой структуры с хорошо выраженной вертикальной делимостью (в сохранившейся нижней части профиля). Плотный, влажноват. Керамики нет. Нижняя граница слабоволнистая. Переход ясный по цвету и неоднородности материала.

**[BC] 70–85 см.** Неоднородный по цвету с многочисленными включениями мелких карбонатных морфонов. Средний суглинок глыбистой структуры. Переход по цвету от серого до палевого, белесовато-палевого.

С глубины 85 см залегает почвообразующая порода элюво-делювий известковых песчаников с единичными включениями камней.

### *Археологический шурф на территории поселения*

Археологический шурф заложен в области тальвега в зоне с максимально выраженными условиями для накопления мелкозема.

В профиле выделяется горизонт **AU 0–30 см:** темно-серый – до черного во влажном состоянии;

легкий суглинок порошистой структуры. Дернина слабая, до 3 см. Камней нет. Нижняя граница слабоволнистая. Переход заметный по цвету и по появлению камней. С глубины 25–30 см начинается культурный слой поселения.

В культурном слое выделяется восточная часть, где заполнение серое, неоднородное, с многочисленными включениями камней. В западной части заполнение более однородное, с буроватым оттенком, легкосуглинистое, бесструктурное.

В почвенных разрезах проводили морфолого-генетическое описание профилей и отбор образцов на химические и микробиологические анализы с соблюдением условий стерильности. В отобранных образцах магнитную восприимчивость измеряли с помощью каппаметра КТ-5. Оценку содержания органического углерода в сухом веществе проводили методом влажного окисления со спектрофотометрическим окончанием по Тюрину (Воробьева, 1998). Содержание органических и минеральных форм фосфора определялось по методу Сандерса и Вильямса (Saunders, Williams, 1955). Биомассу активных микробных клеток, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, оценивали методом субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, Domsch, 1978). Биомассу живых клеток определяли по содержанию фосфолипидов в почвах (Frostegård et al., 1991; Findlay, 1996) с последующим пересчетом на микробный углерод с использованием коэффициента для пересчета – 190 мкмоль фосфатов фосфолипидов на 1 г органического углерода (Хомутова и др., 2017). УА определяли с помощью индофенольного метода (Kandeler, Gerber, 1988). ФА почв оценивали методом Галстяна–Арутюнян (Хазиев, 2005).

Статистическую обработку данных проводили методом главных компонент в программе Statistica.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории поселения фрагменты керамики найдены во всех слоях археологического шурфа. Встречаемость керамики на поселении на порядок выше, чем в почвах потенциальной экономической зоны (табл. 1).

В почвах на склонах распределение керамики существенно различалось. Так, в верхней части склона, в зоне эрозии, керамики не обнаружено. По-видимому, при распашке в древности эрозия на этом участке была максимальной, что и обусловило полную потерю мелкозема и археологического материала. В средней части склона (область тылового шва склона) шло активное накопление эрозийного материала, в результате чего сформировался мощный профиль почвы с многочисленными включениями археологического материала в слоях до глубины 60 см. В

**Таблица 1.** Содержание керамики в культурном слое и почвах потенциальной экономической зоны поселения Арбакол-1

Глубина, см	Вес керамики, г
Верхняя часть склона	
0–20	0
20–40	0
Средняя часть склона	
0–20	8
20–40	63
40–60	96
60–70	0
70–80	0
80–100	0
100–120	0
Нижняя часть склона	
0–20	64
20–40	58
40–60	0
60–70	0
70–80	0
Культурный слой	
0–20	557
20–40	871
40–60	930

нижней части склона, который приурочен к более пологому участку, аккумуляция эрозионного материала протекала с меньшей скоростью, и керамика обнаружена в слое до 40 см. В целом, присутствие керамики в почвах на склоне выше поселения однозначно указывает на распашку и внесение удобрений в древности.

На рис. 2 представлены физико-химические свойства культурного слоя поселения Арбакол-1 и почв потенциальной экономической зоны вокруг поселения. В верхней части каждого почвенного профиля уровни содержания органиче-

ского углерода ( $C_{орг.}$ ) и органического фосфора ( $P_{орг.}$ ) с глубиной снижались.

На глубине 45–65 см в почвенных профилях средней и нижней части склона выявлено увеличение  $C_{орг.}$ , тогда как показатель  $P_{орг.}$  возрастал на этой глубине только в нижней части склона. Высокий уровень этих параметров в глубоких слоях почв обусловлен сельскохозяйственным использованием территории и внесением органических удобрений в древности, что подтверждается присутствием керамики кобанской культуры в почвенных разрезах. Максимальные уровни и органических, и минеральных форм фосфора отмечены в профиле шурфа на территории поселения. В верхней части профиля шурфа показатель  $P_{орг.}$  в 2–8, а  $P_{мин.}$  (минерального фосфора) в 4–12 раз выше, по сравнению с почвами склона. В нижней части профиля шурфа уменьшение содержания органических форм фосфора сопровождалось увеличением содержания его минеральных форм.

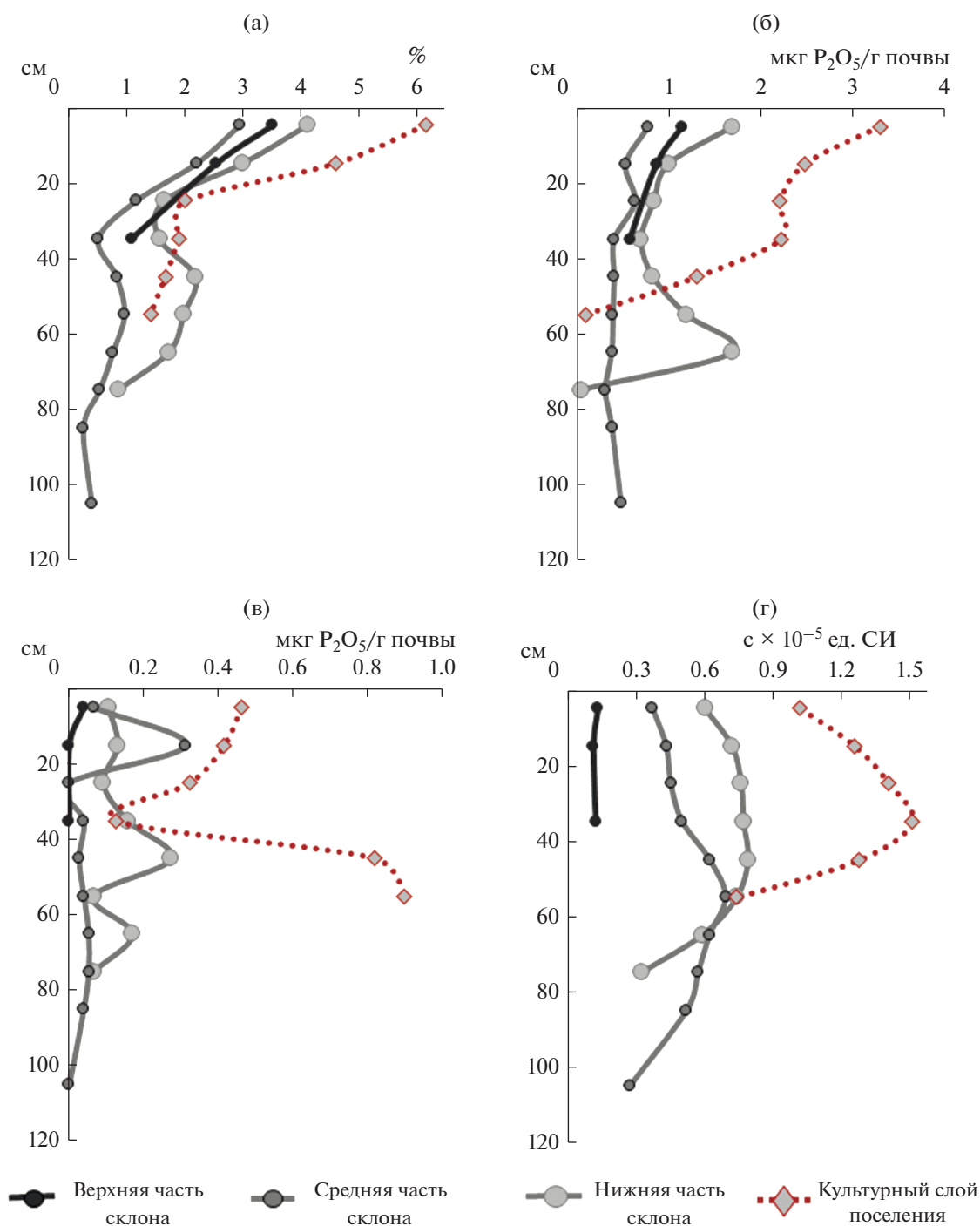
Наибольшие величины магнитной восприимчивости почв выявлены также на территории поселения. В почвах потенциальной экономической зоны значения данного показателя возрастали по мере приближения к поселению так же, как и значения содержания  $P_{мин.}$

На рис. 3 представлена биологическая активность культурного слоя и почв потенциальной экономической зоны поселения Арбакол-1. Максимальные величины содержания углерода микробной биомассы, оцененной по количеству фосфолипидов (С-ФЛ), и углерода биомассы микробных клеток, дающих дыхательный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), отмечены в верхней части профиля шурфа на территории поселения. С глубиной значения С-СИД заметно снижались и выравнивались. Значения С-ФЛ в глубоких слоях почвенных профилей в средней и нижней частях склона демонстрировали пики на глубинах от 60 до 80 см, что связано со следами распашки и внесением удобрений в древности. Особенно высокий пик содержания С-ФЛ наблюдался на территории поселения на глубине 45 см.

Максимальная ФА выявлена в верхнем горизонте почвы в разрезе 1. В нижних горизонтах значения данного показателя на всех участках сходны, кроме наиболее глубокого слоя шурфа, где наблюдалось заметное увеличение ФА.

УА на территории поселения – почти в два раза выше, чем в почвах потенциальной экономической зоны, что сопоставимо с присутствием керамики кобанской культуры. Однако в верхней части склона выявлены достаточно высокие величины УА, что в данном случае, по-видимому, связано с современным выпасом скота.

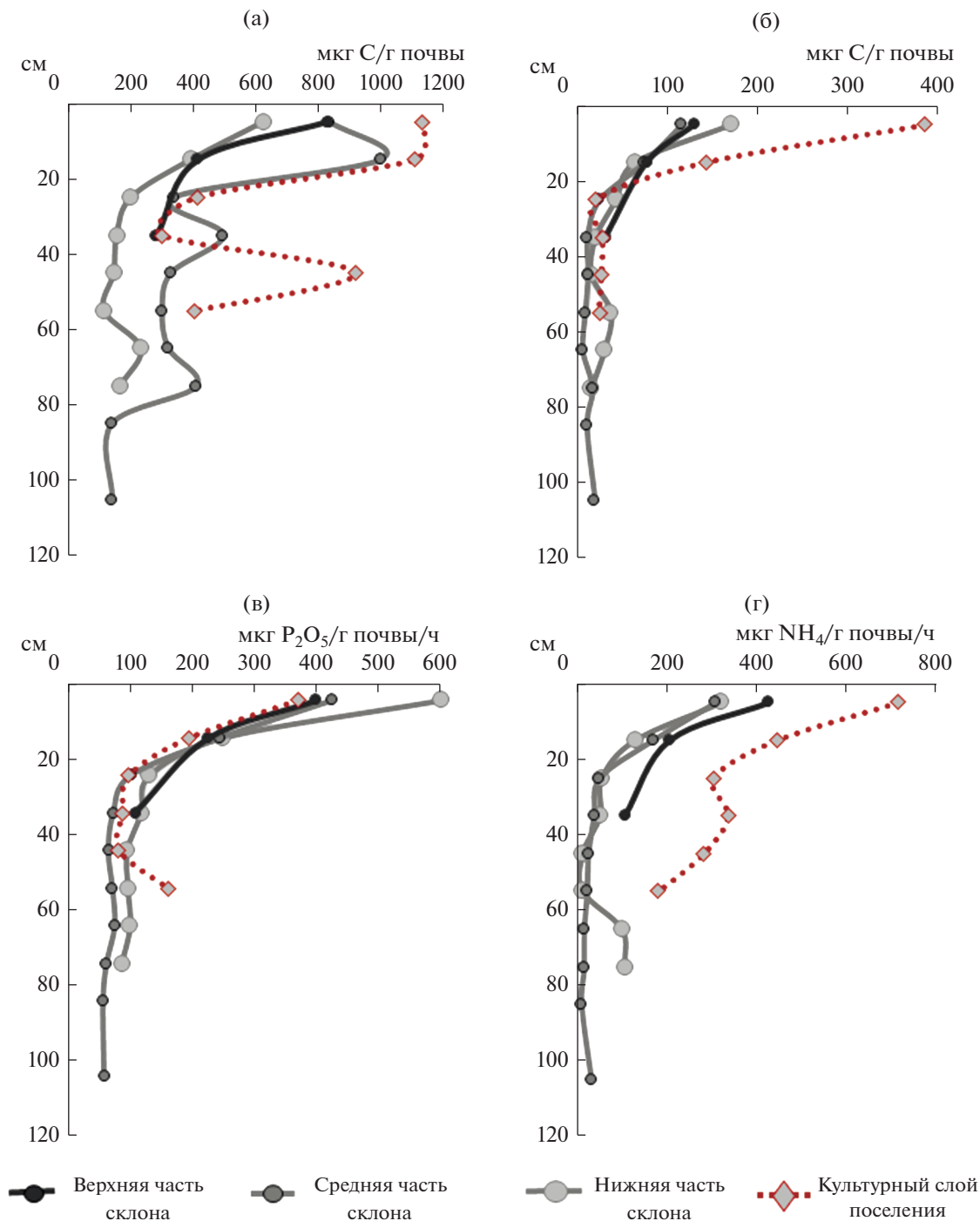
Статистический анализ биологической активности почв в окрестностях поселения Арбакол-1



**Рис. 2.** Физико-химические свойства культурного слоя и почв потенциальной экономической зоны поселения Арбакол-1: (а) – содержание органического углерода ( $C_{орг.}$ ), (б) – содержание органического фосфора ( $P_{орг.}$ ), (в) – содержание минерального фосфора ( $P_{мин.}$ ), (г) – магнитная восприимчивость.

проводился с помощью метода главных компонент (рис. 4). Большая часть показателей биологической активности почв ( $C_{орг.}$ , С-ФЛ, С-СИД, ФА, УА) преимущественно связана с осью 1, смещающая координаты объектов в положительную об-

ласть по оси ОХ (рис. 4). Коэффициенты корреляции между этими характеристиками варьировали от 0.63 до 0.90. Физико-химические показатели антропогенной нагрузки (магнитная восприимчивость,  $P_{мин.}$ , содержание керамики) бы-

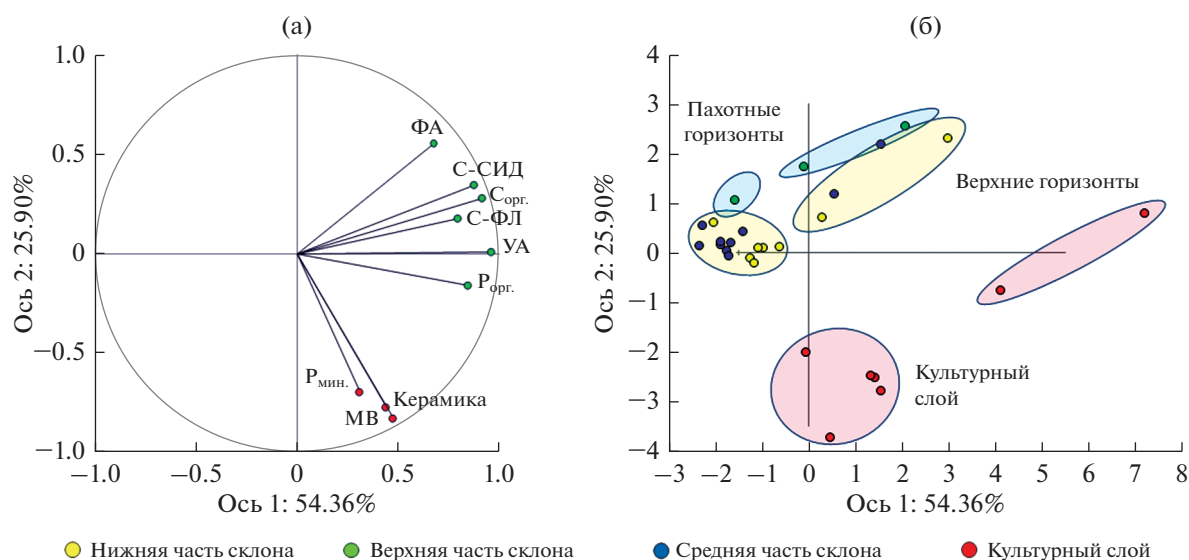


**Рис. 3.** Биологическая активность культурного слоя и почв потенциальной экономической зоны поселения Арбакол-1: (а) – углерод микробной биомассы, рассчитанный по содержанию почвенных фосфолипидов, (б) – углерод микробной биомассы, рассчитанный по скорости субстрат-индуцированного дыхания, (в) – фосфатазная активность, (г) – уреазная активность.

ли преимущественно связаны с осью 2 и смещали координаты объектов в отрицательную область по оси OY. Коэффициенты корреляции между этими характеристиками варьировали от 0.74 до 0.78.

Диаграмма рассеяния (рис. 4б) выявила особенно заметные различия между верхними и нижними почвенными горизонтами на территории поселения. В верхних горизонтах здесь отмечены макси-





**Рис. 4.** Результаты статистического анализа почв катенарного сопряжения в окрестностях поселения Арбакол-1 (а) и культурного слоя этого поселения (б) (факторный анализ, метод главных компонент): Р<sub>орг.</sub> – органический фосфор, Р<sub>мин.</sub> – минеральный фосфор, С<sub>орг.</sub> – органический углерод, С-ФЛ – углерод микробной биомассы, рассчитанный по содержанию почвенных фосфолипидов, С-СИД – углерод микробной биомассы, рассчитанный по скорости субстрат-индуцированного дыхания, ФА – фосфатазная активность, УА – уреазная активность, МВ – магнитная восприимчивость.

мальные величины почти всех показателей биологической активности, тогда как наибольшие величины физико-химических характеристик описывали нижнюю часть профиля археологического шурфа. На склоне в средней и, особенно, в нижней частях уровень физико-химических показателей подповерхностных пахотных горизонтов в большей степени приближен к уровню на территории поселения, по сравнению с верхней частью склона, где основное влияние оказывали микробиологические характеристики почв и их ферментативная активность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участок потенциальной экономической зоны в окрестностях поселения Арбакол-1 в верхней части склона практически не сохранил следов древнего земледелия в силу эрозионных процессов, которые резко активизировались при распашке. Достаточно высокие значения уреазной активности в данном случае связаны с современным выпасом скота.

В средней и нижней частях склона создавались наиболее благоприятные условия для роста почвенного профиля и накопления эрозионного материала. При этом происходила естественная консервация следов земледельческого освоения территории: керамики, живой микробной биомассы, содержания фосфатов и, в меньшей степени, магнитной восприимчивости. Такие биологические показатели, как ферментативная активность и ве-

личина С-СИД, не отражают факта земледельческого освоения территории в эпоху бронзы.

В культурном слое на территории поселения отмечены наиболее высокая встречаемость фрагментов керамики и максимальные значения всех исследованных параметров, за исключением фосфатазной активности, что связано с высоким содержанием минеральных форм фосфора.

В целом, микробиологические исследования содержащих керамику почв поселений и их окрестностей позволяют подтвердить факт антропогенного освоения территории в прошлом.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в соответствии с Госзаданием № 0191-2019-0046 “Развитие почв в условиях меняющейся среды и антропогенных воздействий”. Полевые исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-09-00615. Аналитический блок выполнен при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-18-00406.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов изучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаламова Р.Р., Баламирзоева З.М.* Сравнительный анализ распространения горных почв в России // Вестн. соц. пед. инст. 2020. № 2 (34). С. 19–34.
- Алексеев А.О., Митенко Г.В., Шарый П.А.* Количественные оценки палеоэкологических изменений в позднем голоцене на юге Восточно-Европейской равнины на основе магнитных свойств почв // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1425–1435. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120023>
- Аличаев М.М., Казиев М.Р.А.* Древние террасовые системы земледелия в горах Дагестана и возвращение их в практику современного сельскохозяйственного производства // Эффективное развитие горных территорий России / Мат. междунаrod. науч.-практ. конф., Махачкала, 26–29 июля 2016 г. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 284–288.
- Борисов А.В., Коробов Д.С.* Древнее и средневековое земледелие в Кисловодской котловине: итоги почвенно-археологических исследований. М.: ТАУС, 2013. 272 с.
- Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В. и др.* Почвы древних сельскохозяйственных террас Восточного Кавказа // Почвоведение. 2021а. № 5. С. 542–557. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2105004X>
- Борисов А.В., Демкина Т.С., Каширская Н.Н. и др.* Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие // Почвоведение. 2021б. № 7. С. 849–861. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21070029>
- Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.
- Воскова А.В., Гуня А.Н., Караваев В.А., Марьянских Д.М.* Землепользование и возможности регулирования антропогенной нагрузки на горные ландшафты северного макросклона Большого Кавказа (на примере долины р. Карасу) // Устойч. разв. гор. тер. 2021. Т. 13. № 1. С. 16–24. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-1-16-24>
- Караваев В.А., Опекунова М.Ю., Солодянкина С.В., Вантеева Ю.В.* Количественная оценка антропогенной нарушенности различных участков Приольхонья и ее связь с водной эрозией // Устойч. разв. гор. тер. 2020. Т. 12. № 1. С. 45–54. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-1-45-54>
- Каширская Н.Н., Плеханова Л.Н., Чернышева Е.В. и др.* Пространственно-временные особенности фосфатазной активности естественных и антропогенно-преобразованных почв // Почвоведение. 2020. № 1. С. 89–101.
- Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Хомутова Т.Э. и др.* Археологическая микробиология: теоретические основы, методы и результаты // Рос. археол. 2021. № 2. С. 7–18.
- Коробов Д.С.* Система расселения алан Центрального Предкавказья в I тыс. н.э. Т. 2. Каталог поселений. М., СПб.: Нестор-История, 2017. 312 с.
- Коробов Д.С., Борисов А.В.* Новые данные по изучению ресурсных зон древних и средневековых поселений в Кисловодской котловине // Рос. археол. 2020. № 4. С. 53–69. <https://doi.org/10.31857/S086960630008885-2>
- Лисецкий Ф.Н.* Агрогенная трансформация почв сухостепной зоны под влиянием античного и новейшего землеустройства // Почвоведение. 2008. № 8. С. 913–927.
- Потапова А.В., Пинской В.Н., Гак Е.И. и др.* Изменчивость свойств культурного слоя поселения эпохи бронзы Ксизово-1 в лесостепном Подонье // Рос. археол. 2020. № 1. С. 60–75.
- Русеева З.М.* Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
- Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М., Мацюра А.В., Бондарович А.А.* Организация устойчивого сельскохозяйственного землепользования на основе ландшафтного анализа // Устойч. разв. гор. тер. 2020. Т. 12. № 3. С. 339–348. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-3-339-348>
- Фетисов Д.М.* Развитие землепользования и изменение антропогенной нагрузки на территории российского Приамурья // Устойч. разв. гор. тер. 2014. Т. 6. № 2. С. 69–75.
- Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
- Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Демкин В.А.* Фосфатазная активность современных и погребенных каштановых почв Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2012. № 4. С. 478–483.
- Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Борисов А.В., Шишлина Н.И.* Состояние микробных сообществ подкурганых палеопочв пустынно-степной зоны эпохи средней бронзы (XXVII–XXVI вв. до н. э.) в связи с динамикой увлажненности климата // Почвоведение. 2017. № 2. С. 239–248.
- Чернышева Е.В., Каширская Н.Н., Коробов Д.С., Борисов А.В.* Биологическая активность дерново-карбонатных почв и культурных слоев аланских поселений Кисловодской котловины // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1068–1076.
- Чернышева Е.В., Борисов А.В., Коробов Д.С.* Биологическая память почв и культурных слоев археологических памятников. М.: ГЕОС, 2016. 240 с. ISBN 978-5-89118-729-0. [http://www.benran.ru/rffi\\_exp/izd1\\_v.aspx](http://www.benran.ru/rffi_exp/izd1_v.aspx)
- Шеуджен А.Х., Харитонов Е.М., Галкин Г.А., Тхакушинов А.К.* Зарождение и развитие земледелия на Северном Кавказе / Ред. А.Х. Шеуджен. Майкоп: Адыгея, 2001. 952 с.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215–221.
- Bintliff J.L.* The concepts of “site” and “offsite” archaeology in surface artefact survey // Non-destructive techniques applied to landscape archaeology / Eds M. Pasquinucci, F. Tement. Oxford: Oxbow, 2000. P. 200–215.

- Borisov A., Kashirskaya N., Korobov D., Sergeev A.* Traces of ancient agriculture in the soil around the archaeological sites (a case study from Northern Caucasus, Russia) // *Quat. Internat.* 2020. V. 618. P. 4–13.
- Cerdà A., Rodrigo-Comino J., Novara A. et al.* Long-term impact of rainfed agricultural land abandonment on soil erosion in the Western Mediterranean basin // *Progr. Phys. Geogr. Earth Envir.* 2018. V. 42. № 2. P. 202–219. <https://doi.org/10.1177/0309133318758521>
- Chernysheva E.V., Khomutova T.E., Borisov A.V., Korobov D.S.* Urease activity in cultural layers at archaeological sites // *J. Archaeol. Sci.* 2015. V. 57. P. 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.01.022>
- Chernysheva E., Borisov A., Korobov D.* 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. <https://doi.org/10.1002/gea.21613>
- Chernysheva E., Khomutova T., Kuznetsova T. et al.* Effects of long-term medieval agriculture on soil properties: a case study from the Kislovodsk basin, Northern Caucasus, Russia // *J. Mount. Sci.* 2018. V. 15. № 6. P. 1171–1185. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4666-7>
- Chernysheva E., Khomutova T., Borisov A. et al.* Soil microbiological properties in livestock corrals: an additional new line of evidence to identify livestock dung // *J. Archaeol. Sci. Rep.* 2021. V. 37. P. 103012. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103012>
- Dick R.P., Sandor J.A., Eash N.S.* Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 1995. V. 50. № 2. P. 123–131. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90131-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90131-7)
- Ding S., Lange M., Lipp J. et al.* Characteristics and origin of intact polar lipids in soil organic matter // *Soil Biol. Biochem.* 2020. V. 151. Iss. 108045. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108045>
- Fassbinder J., Stanjek H.* Occurrence of biogenic magnetic bacteria in soils from archaeological sites // *Archaeologia Polona.* 1993. V. 31. P. 117–128.
- Findlay R.H.* The use of phospholipid fatty acids to determine microbial community structure // *Molecular microbial ecology manual.* Ch. 7. / Eds A.D.L. Akkermans, J.D. Elsas, F.J. Bruijn. Dordrecht: Springer Science and Business Media, 1996. P. 77–93. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0215-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0215-2_7)
- Frostegård Å., Tunlid A., Bååth E.* Microbial biomass measured as total lipid phosphate in soils of different organic content // *J. Microbiol. Meth.* 1991. V. 14. № 3. P. 151–163. [https://doi.org/10.1016/0167-7012\(91\)90018-L](https://doi.org/10.1016/0167-7012(91)90018-L)
- Heckmann M.C.* Soil erosion history and past human land use in the North Pare mountains. A geoarchaeological study of slope deposits in NE Tanzania. PhD thesis. Univ. of York, 2011. 270 p.
- Holliday V.T., Gartner W.G.* Methods of soil P analysis in archaeology // *J. Archaeol. Sci.* 2007. V. 34. № 2. P. 301–333. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.05.004>
- 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 // *Quatern. Int.* 2015. V. 365. P. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.016>
- Kashirskaya N., Zhurbin I., Potapova A. et al.* Soil-microbiological approaches to identifying the boundaries of archaeological sites // *Int. Multidiscipl. Sci. GeoConf. “Surveying Geology and Mining Ecology Management”*, SGEM, Sofia, 16–22 August, 2021. Sofia: SGEM, 2021. P. 515–522.
- Kandeler E., Gerber H.* Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // *Biol. Fertil. Soils.* 1988. V. 6. № 1. P. 68–72.
- Lisetskii F.N., Rodionova M.E., Terekhin E.A. et al.* Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, Southwestern Crimea // *The Holocene.* 2013. V. 23. № 4. P. 504–514.
- Margesin R., Siles J., Cajthaml T. et al.* Microbiology meets archaeology: soil microbial communities reveal different human activities at archaic Monte Iato (Sixth Century BC) // *Microb. Ecol.* 2017. V. 73. P. 925–938. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0904-8>
- Mohammed S., Abdo H.G., Szabó S. et al.* Estimating human impacts on soil erosion considering different hillslope inclinations and land uses in the coastal region of Syria // *Water.* 2020. V. 12. № 10. P. 2786. <https://doi.org/10.3390/w12102786>
- Nannipieri P., Kandeler E., Ruggiero P.* Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil // *Enzymes in the environment. Activity, ecology and applications* / Eds R.G. Burns, R.P. Dick. N.Y.: Marcel Dekker, 2002. P. 1–33.
- Peters S., Thiemeyer H., Borisov A. et al.* Microbial characteristics of soils depending on the human impact on archaeological sites in the Northern Caucasus // *Quat. Internat.* 2014. V. 324. P. 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.11.020>
- Saunders W.M.H., Williams E.G.* Observations on the determination of total organic phosphorus in soils // *J. Soil Sci.* 1955. V. 6. № 2. P. 254–267. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1955.tb00849.x>
- Sandor J.A., Eash N.S.* Ancient agricultural soils in the Andes of Southern Peru // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1995. T. 59. № 1. C. 170–179.
- Skujins J.J.* Extracellular enzymes in soil // *Crit. Rev. Microbiol.* 1976. V. 4. P. 383–421.
- Smekalova T., Bevan B., Kashuba M. et al.* Magnetic surveys locate Late Bronze Age corrals // *Archaeol. Prospect.* 2020. V. 28. P. 3–16. <https://doi.org/10.1002/arp.1789>
- van Loo M., Duser B., Verstraeten G. et al.* Human induced soil erosion and the implications on crop yield in a small mountainous Mediterranean catchment (SW-Turkey) // *Catena.* 2017. V. 149. № 14. P. 491–504. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.023>
- Wilkinson T.J.* The definition of ancient manured zones by means of extensive sherd-sampling techniques // *J. Field Archaeol.* 1982. T. 9. № 3. P. 323–333. <https://doi.org/10.1179/009346982791504616>
- Wilson C.A., Davidson D.A., Cresser M.S.* An evaluation of multielement analysis of historic soil contamination to differentiate space use and former function in and

- around abandoned farms // *The Holocene*. 2005. T. 15. № 7. P. 1094–1099.
- Zhang Y., Zheng N., Wang J. et al. High turnover rate of free phospholipids in soil confirms the classic hypothesis of PLFA methodology // *Soil Biol. Biochem.* 2019. V. 135. P. 323–330.  
https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.023
- Zhang Y., Sun G., Yang Y., Wu X. Reconstruction of the use of space at Tianluoshan, China, based on palynological and lipid evidence // *Environ. Archaeol.* 2020. P. 1–13.  
https://doi.org/10.1080/14614103.2020.1829299
- Zhurbin I., Borisov A. Non-destructive approach for studying medieval settlements destroyed by ploughing: combining aerial photography, geophysical and soil surveys // *Archaeol. Prospect.* 2020. V. 27. P. 343–360.  
https://doi.org/10.1002/arp.1778
- Zuazo V.D., Martínez J.F., Pleguezuelo C.R. et al. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (SE Spain): implications for sustainable agriculture // *Environmentalist.* 2006. V. 26. № 4. P. 309–319.  
https://doi.org/10.1007/s10669-006-0160-4

## Traces of Ancient Anthropogenic Activity in the Soils (on the Example of the Bronze Age Settlement Arbakol-1 in the Kislovodsk Basin)

A. A. Petrosyan<sup>a</sup>\*, T. E. Khomutova<sup>a</sup>, N. N. Kashirskaya<sup>a</sup>, D. S. Korobov<sup>b</sup>, and A. V. Borisov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino Scientific Center for Biological Research, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow region, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: Alisa\_mayakovskaya@bk.ru

The purpose of this work was to identify traces of ancient anthropogenic activity by assessing the biological activity of the cultural layers of settlement Arbakol-1 of the Bronze Age in the soil catena vicinity of Kislovodsk. One soil section on the territory of the settlement at the foot of the slope and three soil sections in the potential economic zone of the settlement in the upper, middle and lower part of the slope were studied. In the soil profiles, the content of ceramics in cultural layers was evaluated, the physicochemical properties (magnetic susceptibility, organic carbon content, organic and mineral forms of phosphorus) and biological activity (biomass of active microbial cells that give a respiratory response to the introduction of glucose, the abundance of living microbial cells, phosphatase and urease activity) were evaluated. The site of a potential economic zone near the settlement of Arbakol-1 in the upper part of the slope has practically preserved no traces of ancient agriculture due to erosion processes that have sharply intensified during plowing. Rather high values of urease activity in this case are probably associated with modern cattle grazing. In the middle and lower part of the slope, the most favorable conditions existed for the growth of the soil profile and the accumulation of erosive material. At the same time, there was a natural conservation of traces of agricultural development of the territory: ceramics, living microbial biomass, phosphate content, and, to a lesser extent, magnetic susceptibility. Such biological indicators as the enzymatic activity and the biomass of active microorganisms that give a respiratory response to the introduction of glucose do not reflect the fact of agricultural development of the territory in the Bronze Age. In the cultural layer on the territory of the settlement, the highest occurrence of ceramic fragments and the maximum values of all the studied parameters are shown, with the exception of phosphatase activity what is related to the high content of mineral forms of phosphorus.

*Keywords:* soil, traces of anthropogenic impact, microbial biomass, enzymatic activity