

УДК 631.483: 502.31

<https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290>

Почвенно-геохимическое изучение черноземов и культурных слоев (возрастом от палеолита до средневековья) поселений горнорудного Урала

© 2025 В. Е. Приходько ¹, Н. С. Савельев ², В. Г. Котов ²

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН – обособленное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», ул. Институтская, д. 2, корпус 2, г. Пушкино, Московская обл., 142290, Россия. E-mail: valprikhodko@rambler.ru

²ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Октябрьский проспект, 71, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450054, Россия. E-mail: sns_1971@mail.ru, kslav1@yandex.ru

Цель исследования. Дать характеристику почвенно-геохимических свойств черноземов и культурных слоев (КС) восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья, расположенных на территории горнорудного Южного Урала; расширить информацию о содержании тяжелых металлов в почвах региональной геохимической аномалии на основе детального их определения в профиле в каждом последующем слое 5 см до материнской породы.

Методология. Совместно с археологами изучены почвы и КС восьми разновозрастных поселений (136–2,5 тыс. лет), расположенных вдоль склона гор Южного Урала. Объекты находятся на террасах малых рек бассейна р. Урал, используются как умеренно выпадаемые пастбища, а участок Теляшево-4 (3,9–3,45 тысяч лет назад) (тыс. л. н.) – как пашня. Пробы почв и КС объектов отобраны последовательно из каждого 5-см слоя до почвообразующей породы; в слое 0–30 см образцы взяты в 3-кратной повторности. Характеристики почв и КС получены общепринятыми методами. Микробная биомасса определена методом субстрат-индуцированного дыхания с добавлением глюкозы. Микробное дыхание почв измерено на газовом хроматографе после инкубации влажных почв в течение 7 суток. Общее содержание макро- и микроэлементов определено методом рентген-флуоресцентного анализа на аппарате «Спектроскан Макс-GV».

Основные результаты. Охарактеризованы педологические, геохимические и микробиологические свойства восьми почв и КС разновозрастных поселений. Большинство КС развито на черноземах и находится в слое от 3–25 см до 40–60 см. В слое 0–10 см КС содержится 6–13,7% органического вещества ($C_{орг}$) в результате развития современных процессов (накопления растительных остатков и их гумификации); в КС Ишкульово (14 в.), находящемся ниже 80 см, $C_{орг}$ снижается до 1,3% из-за отсутствия поступления свежего органического материала. КС и почвы характеризуются хорошей структурой, отсутствием засоленности, обогащенностью тонкими гранулометрическими фракциями, антропогенным фосфором (0,2–0,4%) и обменным кальцием, близкой к нейтральной величиной pH (в КС Таштуй-1 (19 в.) – pH щелочной из-за наличия карбонатов). Близость объектов к горам Урала, содержащих месторождения меди, цинка, хрома и марганца, создает природные аномалии накопления этих элементов в почвах региона, отмеченные ранее. В КС могли дополнительно концентрироваться микроэлементы при разрушении бронзовых и железных изделий, фрагментов керамики и сырья для их изготовления, обнаруженных археологами. Близость КС (18–60 км) к Магнитогорскому металлургическому комбинату способствует накоплению в слое 0–10 см серы (коэффициент техногенности – КТ 30–87%), реже цинка, хрома, марганца, свинца, стронция (КТ 30–40%). Все эти причины обуславливают концентрирование ряда загрязнителей 1-го (мышьяка, свинца, цинка, хрома) и 2-го (кобальта, меди, никеля) классов опасности в КС, часто в несколько раз выше кларка (среднего содержания в литосфере) и реже – больше гигиенических нормативов, что могло влиять на здоровье и поведенческие функции населения. Черноземы КС обладают высокой буферной способностью и прочной связью с тяжелыми металлами. Это не препятствует развитию микроорганизмов и обуславливает высокое содержание микробной биомассы – 520–680 мкг С/г почвы в слое 0–10 см, скорость дыхания микробов 0,2–1,0 С–CO₂ мкг/г почвы в час.

Заключение. В черноземах и культурных слоях разновозрастных древних поселений Южного Урала установлено накопление загрязнителей 1-го (мышьяк, свинец, цинк, хром) и 2-го (кобальт, медь, никель) классов опасности в несколько раз выше величины кларка литосферы и реже – больше гигиенических нормативов, допустимых для людей. Это, преимущественно, обусловлено природной аномалией гор Урала и, в меньшей степени, близостью (18–60 км) к металлургическому комбинату г. Магнитогорска. Благоприятные свойства почв и КС – высокое содержание $C_{орг}$, тонких фракций и обменного кальция, отсутствие засоленности, pH близкий к нейтральному – обуславливают прочную адсорбцию тяжелых металлов с органоминеральным комплексом. Поэтому не отмечено угнетения микробов, что подтверждается высоким накоплением микробной биомассы и ее активным базальным дыханием.

Детальные данные о количестве 15 химических элементов в профиле почв и культурных слоях дополнили информацию об их накоплении в геохимической аномалии Южного Урала и соответствующем банке данных, что важно для экологического мониторинга этих элементов.

Ключевые слова: *поллютанты; органическое вещество почв; природное и техногенное накопление элементов; педологические, микробиологические и геохимические свойства; химические элементы; археологические находки.*

Цитирование: *Приходько В.Е., Савельев Н.С., Котов В.Г. Почвенно-геохимическое изучение черноземов и культурных слоев (возрастом от палеолита до средневековья) поселений горнорудного Урала // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 2. e290. DOI: [10.31251/pos.v8i2.290](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290)*

ВВЕДЕНИЕ

Совместно с археологами проведены почвенно-геохимические исследования почв и культурных слоев (КС) восьми разновозрастных поселений Абзелиловского района Республики Башкортостан вдоль восточного склона гор Южного Урала. В регионе находятся всемирно известные археологические памятники: Филипповка 1 – некрополь середины I тыс. до н.э., где найдены прекрасные произведения искусства знати кочевников из драгоценных металлов и предметы быта (всего 3000 единиц) (Яблонский, 2013; Савельев, 2021), пещера Шульганташ (Капова) с палеолитической живописью и стоянкой древних людей (Котов, Румянцев, 2018), крупные медные рудники – Каргалы и Бакр-Узяк, разрабатываемые в эпоху бронзы (Chernikh, 2017), городище Уфа II с культурным слоем мощностью 4 м, функционировавшее с первых веков новой эры (Гарустович и др., 2018).

Археологами изучены несколько сотен памятников региона (Чаплыгин, 2013). Однако они недостаточно исследованы методами естественных наук (Каздым, 2006; Махонина, Валдайских, 2006; Приходько и др., 2014, 2016; Некрасова, Учаев, 2015; Плеханова, 2017; Сулейманов и др., 2020; Приходько, Азаренко, 2021; Lapteva, Korona, 2013; Danukalova et al., 2014; Stobbe et al., 2016; Thiemeyer, Peters, 2016; Golyeva et al., 2018; Suleymanov et al., 2021).

Геохимической особенностью региона вблизи гор Южного Урала служит накопление во всем профиле почв многих элементов, в несколько раз выше кларков (среднего содержания элементов в литосфере), нередко с наибольшим их содержанием в материнских породах. Это свидетельствует, что основное их концентрирование обусловлено нативными запасами, связанными с геологической историей гор Урала (Хабиров и др., 2007; Асылбаев, Хабиров, 2015; Серегина и др., 2013). Также отмечена техногенная аккумуляция тяжелых металлов в пределах 5–10 км от многочисленных промышленных предприятий региона, охватывающая поверхностные слои почв (Хабиров и др., 2007; Водяницкий и др., 2010; Еремченко, Чудинова, 2012; Дубинина и др., 2013; Хасанова и др., 2017; Сомов и др., 2023; Orekunova et al., 2020).

Культурный слой поселений включает две составляющие – антропогенную и нативную, в нем накапливаются артефакты в результате жизнедеятельности населения, которые преобразуют почвенный материал (Сычева и др., 2008; Nowaczinski et al., 2013).

Цель исследования – дать комплексную характеристику свойств черноземов и культурных слоев восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья, расположенных на территории Южного Урала; расширить информацию о содержании тяжелых металлов в почвах региональной геохимической аномалии на основе их определения в профиле в каждом последующем слое 5 см до материнской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены почвенно-археологические исследования восьми разновозрастных поселений Абзелиловского района Республики Башкортостан вдоль восточного края гор Южного Урала (рис. 1). Их возраст от палеолита до позднего средневековья и нового времени. Объекты располагаются в основном на террасах малых рек бассейна р. Урал, используются как пастбища с умеренным выпасом, объект Таштуй-1 – как пашня. Высота над уровнем моря 400–600 м. Регион находится в горно-степной, горно-лесостепной и степной зонах Южного Зауралья. Распространены породы девона, поверх них местами лежат четвертичные аллювиальные отложения. В предгорной части представлены вулканогенные породы, в частности в объекте Елимбетово-7 – диабазы. Леса занимают половину площади региона. Распространены сосновые и берёзово-лиственничные леса и целинные злаково-разнотравные ассоциации, большей частью распаханые. Среднегодовая температура воздуха в регионе составляет 1,4°C, средняя температура: июля +17,6°C, января -15,5°C. Равнинные территории получают 350–400 мм осадков в год, горные – 550 мм (Хазиев и др., 1995; Архив..., 2023).

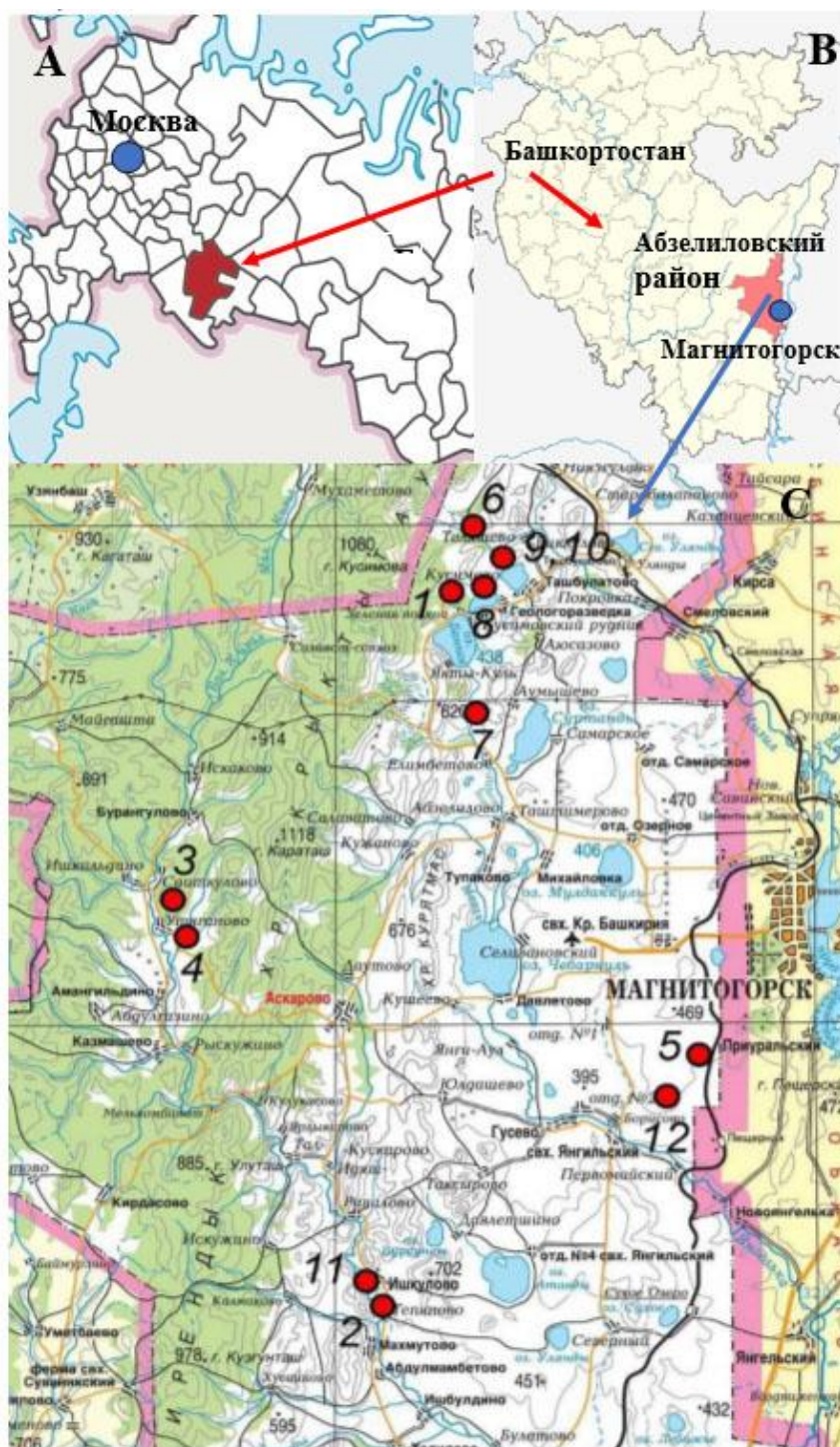


Рисунок 1. Расположение объектов: А – Республика Башкортостан в РФ, В – Абзелиловский район в Башкортостане, С – объекты в этом районе около г. Магнитогорск: 1 – Кусимово-8, 2 – Ишкулово, 3 – Сейткулово, 4 – Амангильдино, 5 – Таштуй-1, 6 – Теляшево-4, 7 – Елимбетово, 8 – Сабакты-1а; <https://opentopomap.org/#map=12/53.6136/58.677>

В регионе сосредоточено много крупных металлургических и обогащательных предприятий; ближайшее из них находится в г. Магнитогорск, на расстоянии 18–60 км от объектов исследования. КС содержат материал разновозрастных археологических культур, залегают на разных глубинах и имеют разную мощность. КС развивались в основном на черноземах выщелоченных, селище Таштуй-1 – на черноземе обыкновенном, Елимбетово-7 – на горно-черноземной почве на диабазе, Ишкуловское селище – на аллювиальной почве (Классификация..., 1977). Краткая характеристика объектов дана в таблице 1. Во всех КС обнаружены, в основном, фрагментов керамики и кости животных, в объектах

Сабакты-1а, Кусимово-8, Елимбетово-7 – много каменных орудий (Котов, Савельев, 2007; Котов, 2009; Савельев, 2018).

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Поселение создано носителями археологической культуры, лет назад	Координаты	Террасы бассейна реки Урал	Слой находок КС, см; их количество, шт.	Легкорастворимые соли, %; слой 90–100 см
Амангильдино алакульская, 3 900–3 450	N 53°23'07,0" E 58°20'02,4"	р. Большая Наязда	3–46; 25	0,04
Елимбетово-7 гамаюнская 2 900–2 400	N 53°31'30,6" E 58°38'20,0"	р. Янгелька 620 м	11–38; 35	нет
Ишкулово, кочевники 800–600	N 53°14'04,7" E 58°55'50,2"	р. Большой Кизил	Ниже 80; 19**	0,004
Кусимово-8* карышкинская, 136 000	N 53°37'08,0" E 58°37'17,0"	озеро Сабакты	25–63; 15	0,08
Сабакты-1а 6 300–5 000 суртандинская	N 53°37'13,4" E 58°38'43,2"	озеро Сабакты	18–140; 32	0,05
Сейткулово, эпохи: мезолит, бронза, средние века	N 53°25'32,7" E 58°18'33,0"	р. Большой Кизил	3–13; 5	0,06***
Таштуй-1*, 200–100	N 53°19'03,6" E 58°52'51,1"	Сухое озеро на сырте	КС1 3–19; 30 КС2 53; 1	0,13
Теляшево-4 алакульская, 3 900–3 450	N 53°39'43,6" E 58°38'42,0"	р. Аналык	11–46; 14	0,10

Примечание.

* – стоянка, ** – кости животных, в других КС артефакты в основном представлены фрагментами керамики и каменными орудиями; *** – слой 40–50 см.

Амангильдино – долговременное поселение создано носителями алакульской культуры 3,9–3,45 тыс. лет назад; датирование дано по суммированию 52 радиоуглеродных дат (Молодин и др., 2014). Расположено между склоном горы и заболоченной заросшей лесом долиной в 65 м от р. Большая Наязда; используется как сенокос, ранее – как пашня. Подъемные сборы представлены 6 фрагментами сосудов и 5 костями животных, на глубине 3–46 см обнаружены 24 фрагмента керамики и отщеп из кремня, их максимум – 3–36 см.

Памятники алакульской культуры локализуются в Южном Зауралье и Северном Казахстане, поселения обнаружены вдоль рек, часть – на водоразделах. В хозяйственном отношении население практиковало придомное скотоводство, вспомогательную роль имело мотыжное земледелие, охота, рыболовство, собирательство (Ткачев, 2018). Морфологическая характеристика почв и КС объектов исследования приведена в таблице 2.

Елимбетовское-7 поселение находится в 190 м от р. Янгелька, все находки принадлежат гамаюнской культуре, существовавшей 2,9–2,4 тыс. лет назад. Найдено 16 керамических фрагментов и 15 каменных орудий на глубине 11–38 см. КС отличается укороченным профилем – 40 см, т. к. глубже залегает слой больших кусков диабаз (рис. 2). Ареал данной культуры охватывал подтаежные районы Западной Сибири, Среднее Зауралье и северную часть Южного Зауралья. В поселениях строились полуземлянки и большие бревенчатые дома, окружённые оборонительными стенами и рвом; жители занимались, в основном охотой, отчасти рыболовством и скотоводством (разводили крупный и мелкий рогатый скот, лошадей), выплавленная медь использовалась для создания украшений (Борзунов, 2019; Савельев, 2018).

Ишкуловское селище кочевников создано 0,8–0,6 тыс. л. н.; изучено в разрезе обнажения берега р.Большой Кизил в широкой пойме высотой 3–3,5 м от уреза воды в реке. На глубине около 80 см прослежена узкая черная полоса прокала с угольками, маркирующая начало КС (рис. 2); обнаружено 13 фрагментов костей животных.

Таблица 2

Морфологическая характеристика объектов

Горизонт, (глубина, см)	Цвет	Цвет по Манселу	Структура	Гранулометрия	Плот- ность
Амангильдино, 3 900–3 450 лет назад					
КC (A1 0–25) КC (AB 25–46) AB 46–60 C 60–70	темно-серый темно-серый и темно-коричневый светло-коричневый	10YR 4/1 10YR 4/1 10YR 3/3 10YR 6/3	комковато-зернистый комковатый комковатый комковатый	Среднесуглинистый (все горизонты)	рыхлый плотный очень плотный (AB и C)
Елимбетово-7, 2 900–2 400 лет назад					
КC (A1 0–40) C 40-50	черный серый	10YR 2/1 10YR 6/1	комковато- зернистый мелко-комковатый	глинистый с диабазом 5–20 см, 50% куски диабазы	рыхлый очень плотный
Ишкулово, 800-600 лет назад					
A1 0–30 A1' 30–50 AB 50–80 80–82 КC 82–120 Cg 120–140	серый серый серо-коричневый черный серо-коричневый и сизо-голубоватый коричневый и сизо-голубоватый	10YR 5/1 10YR 5/2 10YR 2/1 10YR 5/2 5GYR 6/4 10YR 5/3 5GYR 6/4	мелкокомковатый комковатый комковатый бесструктурный бесструктурный	суглинистый глинистый глинистый угольки глинистый глинистый	рыхлый плотный плотный рыхлый очень плотный очень плотный
Кусимово-8, 136 000 лет назад					
A1 0–30 КC (AB 30–70) КC (Cg 70–180)	темно-серый светло-коричневый коричневый с сизыми языками	10YR 4/1 10YR 6/2 10YR 5/3 5GYR 6/4	комковато-зернистый мелкокомковатый комковатый бесструктурный	супесь гравий 5–15 см, 50% суглинистый гравий 1–2 см, 20%	рыхлый очень плотный
Сабакты-1а, 6 300–5 000 лет назад					
КC (A1 0–50) КC (A1' 50–100) КC (B 100–125) [A1] 125–133 D 135–180	черный темно-серый серый темно-серый коричневый	10YR 2/1 10YR 4/1 10YR 6/1 10YR 4/1	мелко-комковатый комковатый бесструктурный	супесь суглинистый суглинистый, гравий 2–5 см, 20%	рыхлый плотный очень плотный
Сейткулово. Находки эпох мезолита, бронзы и средневековья					
КC 3–13, A1 13–30 BC 35–50	темно-серый желтовато-коричневый	10YR 4/1 10YR 6/4	мелкокомковатый комковатый	супесь суглинистый, гравий 5 см, 20%	рыхлый плотный
Таштуй-1, 200-100 лет назад					
КC 3-19, A1 19–27 AB 27–70 BC 70–135 C 105–135	темно-серый серый коричневый светло-коричневый	10YR 4/1 10YR 5/1 10YR 4/3 10YR 6/3	мелкокомковатый комковатый	суглинистый глинистый гравий 1–2 см, 10	рыхлый плотный очень плотный
Теляшево-4, 3 900–3 450 лет назад					
КC 11–46, (A1 0–27) КC (AB 27–47) BC 47–65	темно-серый серый светло-коричневый	10YR 3/1 10YR 5/1 10YR 6/3	мелкокомковатый комковатый крупнокомковатый	суглинистый, гравий 1–2 см, 10% глинистый, гравий 2–5 см, 20%	рыхлый плотный очень плотный



Рисунок 2. Почвы и культурные слои объектов: А – Кусимово-8, Б – Ишкулово, В – Елимбетово-7, Г – Сабакты-1а. Фото В.Е. Приходько

Стоянка-мастерская Кусимово-8 расположена в 20 м от ручья Карамалай и 1,6 км от оз. Сабакты; до 2005 г. пашня, сейчас – слабо используемое пастбище с разнообразным разнотравьем (рис. 3).

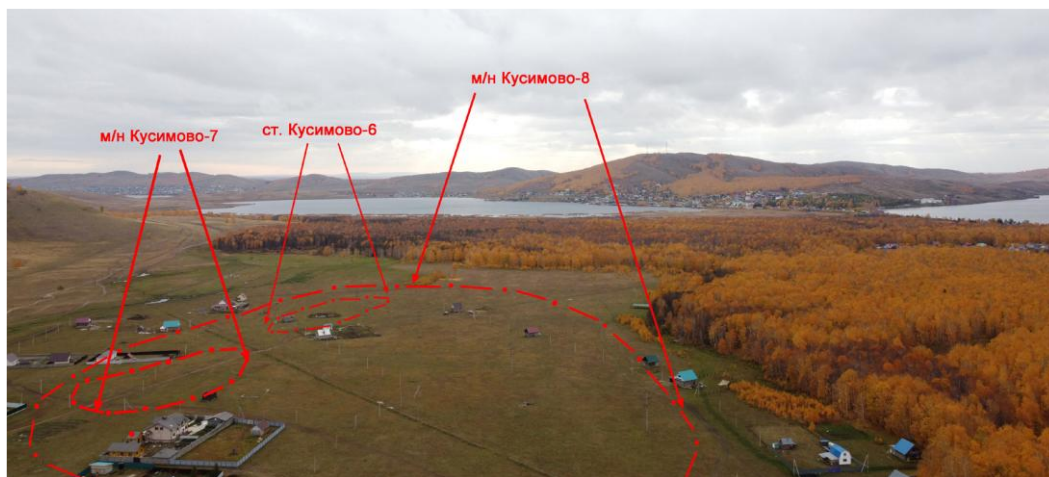


Рисунок 3. Расположение стоянок Кусимово-6, 7, 8. Вид с квадрокоптера. Фото А. Хурмаева.

Стоянка Кусимово-8 функционировала в нижнем палеолите; маркерами служат разные рубящие каменные орудия. Во время изучения объекта осмотрено 4 разреза, найдено 121 каменное изделие. Два культурных слоя обнаружены на глубине 0,4–0,8 м и 0,8–2 м. Для отложений объекта получены датировки методом оптически стимулированной люминесценции: образец с глубины 1,8 м дал возраст 136 ± 9 тыс. лет (RGI-1104, ВСЕГЕИ), образец с глубины 1,0 м – возраст 258 ± 13 тыс. лет (RGI-1103, ВСЕГЕИ); очевидно, что последняя дата завышена. Об этом свидетельствуют формы рубящих орудий, которые являются маркерами эпохи нижнего палеолита (125–200 тыс. л. н.) Южного

Зауралья, обнаруженные в стоянках Мысовая, Карышкино-11 и др. (Котов, 2009; Котов, Румянцев, 2018).

Стоянка **Сабакты-1а** находится вблизи одноименного озера в ложбине, ограниченной каменистыми склонами и береговым валом, используется как пастбище. В разрезе длиной 6 м обнаружено 32 каменных орудия в слое 18–162 см с максимумами в слое 39–45 см – 5 шт. и 94–128 см – 10 шт. Объект относится к суртандинской культуре, развивавшейся в энеолите. На основании анализа 40 радиоуглеродных дат археологических объектов энеолита Зауралья показано, что они укладываются в период 6 300–5 000 или 6 500–4 200 лет назад; калиброванные даты с точностью 1σ (68,2%) и 2σ (95,4%), соответственно (Епимахов, Мосин, 2015).

Неукрепленные поселения этой культуры локализовались вблизи рек и озер. Люди жили в полуземлянках и землянках с очагами, стены укреплялись каменными плитами. Характерно обилие каменного инвентаря, орнаментированной посуды, единичные изделия из самородной меди. Занимались охотой, рыболовством и скотоводством (Матюшин, 1982). Возможно, что находки в шурфе частично перемещены с более высоких местоположений, относящихся к стоянкам Сабакты-1 и Сабакты-8 (Котов, Савельев, 2007).

Сейткуловское поселение располагается на террасе р. Большой Кизил, используется как сенокос. Характер 10 подъемных изделий с поверхности и 5 находок из слоя 3–13 см свидетельствует, что площадка памятника осваивалась трижды в эпохи мезолита, бронзы и позднего средневековья. Также обнаружены кости животных: 8 подъемных с поверхности и 5 из слоя 3–13 см.

Селище Таштуй-1 локализуется на пологой вершине большого степного сырта вблизи пересохшего озера, используется как пашня. Обнаружено по 25 находок с поверхности и в слое 3–20 см. Выделено две части КС; верхняя – 3–20 см – отмечена, как достаточно долговременное поселение 2-й половины XIX–начала XX вв., а нижняя часть – кратковременная стоянка кочевников позднесарматского времени (1,7–1,8 тыс. л. н.). Она выделена на основании одной находки керамики на глубине 53 см. Разрез заложен на не распаханном ареале.

Теляшево-4 долговременное поселение алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.), располагается на бывшей пашне низкой террасы р. Аналык. В его культурном слое на глубине 11–46 см выявлено 14 находок (максимум – 22–38 см).

Методы исследований. В каждом памятнике заложен разрез до материнской породы, взяты пробы на общие почвенные анализы, выкопаны две прикопки до глубины 30 см на микробиологические, $S_{орг}$ и геохимические анализы; проведено морфологическое описание разрезов. Отобраны пробы КС и почв объектов Сабакты-1а, Кусимово-8 и Ишкулово из последовательных слоев мощностью 0–10 см до материнской породы, в остальных участках – каждые 5 см. Выполнены физико-химические, геохимические и микробиологические анализы почв.

Методы определения свойств почв следующие: общий углерод ($C_{общ}$) и общий азот ($N_{общ}$) на автоматическом элементном CHNS-O анализаторе; pH водный – потенциометрическим методом (почва:вода = 1:2,5); обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} – по Шолленбергу в водной вытяжке (почва:вода = 1:5); гранулометрический состав – методом пипетки с обработкой пирофосфатом натрия (Воробьева, 1998). Анализы почв выполнены в ЦКП ИФХиБПП РАН, г. Пущино.

Содержание $C_{общ}$ равно содержанию органического углерода ($C_{орг}$) во всех объектах кроме Тайтуй-1, в котором имеются карбонаты, поэтому для получения $C_{орг}$ из $C_{общ}$ вычли содержание углерода карбонатов. Среди общего фосфора в культурных слоях преимущественно преобладает антропогенный, его содержание значительно больше, чем в почвообразующей породе; биогенный фосфор может составлять до 20% от общего (Водяницкий и др., 2010).

Для микробиологических анализов почву с полевой влажностью просеивали через сито 2 мм и удаляли корни. Навеску 10 г в трехкратной повторности увлажняли до 70–75% ППВ, инкубировали 7 суток при 22°C во флаконах 100 мл. Затем их закрывали, помещали в термостат при 22°C, через 2 суток определяли базальное дыхание (БД) почв на газовом хроматографе и повторно – через 2 суток, затем в этих пробах находили микробную биомассу ($C_{мик}$) методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД) с добавлением глюкозы 1 мг на 1 г почвы. Скорость БД выражали в $C-CO_2$ мкг/г почвы в час. Использовали формулу: $C_{мик} = 40,04 \times V_{СИД} + 0,37$, мкг С/г почвы, где $V_{СИД}$ – скорость СИД (Курганова и др., 2012; Anderson, Domsch, 1978).

Общее содержание макро- и микроэлементов (рассчитано на элемент) определили методом рентген-флуоресцентного анализа на аппарате «Спектроскан Макс-GV» в Белгородском госуниверситете (инженер М.К. Буйа). Количество элементов сопоставили с кларком литосферы, средним содержанием в почвах региона (Асылбаев, Хабиров, 2015). Использовали величины кларков,

рекомендованные в обобщающей статье (Касимов, Власов, 2015), там же даны ссылки на авторов, определивших кларки.

Для КС стоянки Кусимово-8 методом оптически стимулированной люминесценции получено датирование двух проб во ВСЕГЕИ. Данные обработаны с помощью программы Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Физико-химические свойства. Культурные слои большинства объектов имеют средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав с содержанием фракций диаметром <0,01 мм 38–56% и песчаных фракций 1–0,25 мм – меньше 20% (табл. 3).

Таблица 3

Гранулометрический состав почв и культурных слоев

Глубина, см	Размер фракций в мм и содержание фракций, %						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
Амангильдино поселение алакульской культуры, 3,9–3,45 тыс. л. н.							
0–10	17	20	25	8	12	19	38
10–20	23	14	28	4	14	19	36
45–50	20	11	20	9	12	28	49
55–65	19	14	20	7	12	28	47
Елимбетово–5 гамаюнской культуры, 2,9–2,4 тысяч лет назад							
5–10	15	1	19	12	13	39	65
25–35	26	17	27	2	11	17	30
Ишкуловское поселение кочевников, 0,8–0,6 тысяч лет назад							
0–10	11	37	27	3	9	13	25
30–50	2	1	41	12	16	28	56
80–90	1	7	39	10	18	26	54
80–82*	19	17	39	1	9	15	25
Сейткулово поселение эпох: мезолит, бронза, средние века							
2–5	39	5	32	6	3	15	24
10–15	30	15	33	5	0	16	22
40–50	26	11	21	6	9	27	42
Кусимово–8 стоянка, средний Палеолит 136 тысяч лет назад							
0–10	46	13	10	7	12	11	31
10–20	30	23	28	3	7	9	19
55–60	65	10	10	2	8	5	15
100–105	76	3	8	4	4	6	14
130–135	29	8	24	5	18	15	39
140–145	15	27	25	9	9	14	32
160–165	20	21	23	9	14	13	36
Стоянка Сабакты 1а, энеолит 5–6,3 тысяч лет назад							
0–10	46	13	21	4	3	12	20
10–20	42	14	29	3	1	11	15
40–50	28	10	28	11	9	15	34
70–80	23	7	26	10	15	20	45
90–100	35	2	19	8	15	21	45
Таштуй–1 поселение 19 века и кочевническая стоянка первых веков н.э.							
25–30	13	16	31	3	10	26	39
45–50	14	7	23	10	13	33	56
70–75	7	11	24	6	15	36	57
95–100	15	1	25	7	18	33	59
115–125	9	2	23	8	22	37	67
125–135	6	3	20	8	20	43	72
Теляшево поселение алакульской культуры, 3,9–3,45 тысяч лет назад							
5–10	27	13	18	9	15	19	42
10–20	38	13	25	2	11	11	24
45–50	25	7	26	7	12	23	42
55–65	14	4	23	9	15	35	59

Примечание: * – узкая полоска с обилием угольков.

В разрезах Кусимово-8, Сабакты-1а и Сейткулово грансостав верхней части профиля супесчаный, с содержанием фракций <0,01 мм 14–20%, нижней части – среднесуглинистый, 32–45%. По профилю КС выявлен в основном близкий к нейтральному рН, в поселении Таштуй-1 – щелочная реакция среды ниже 30 см (рис. 4).

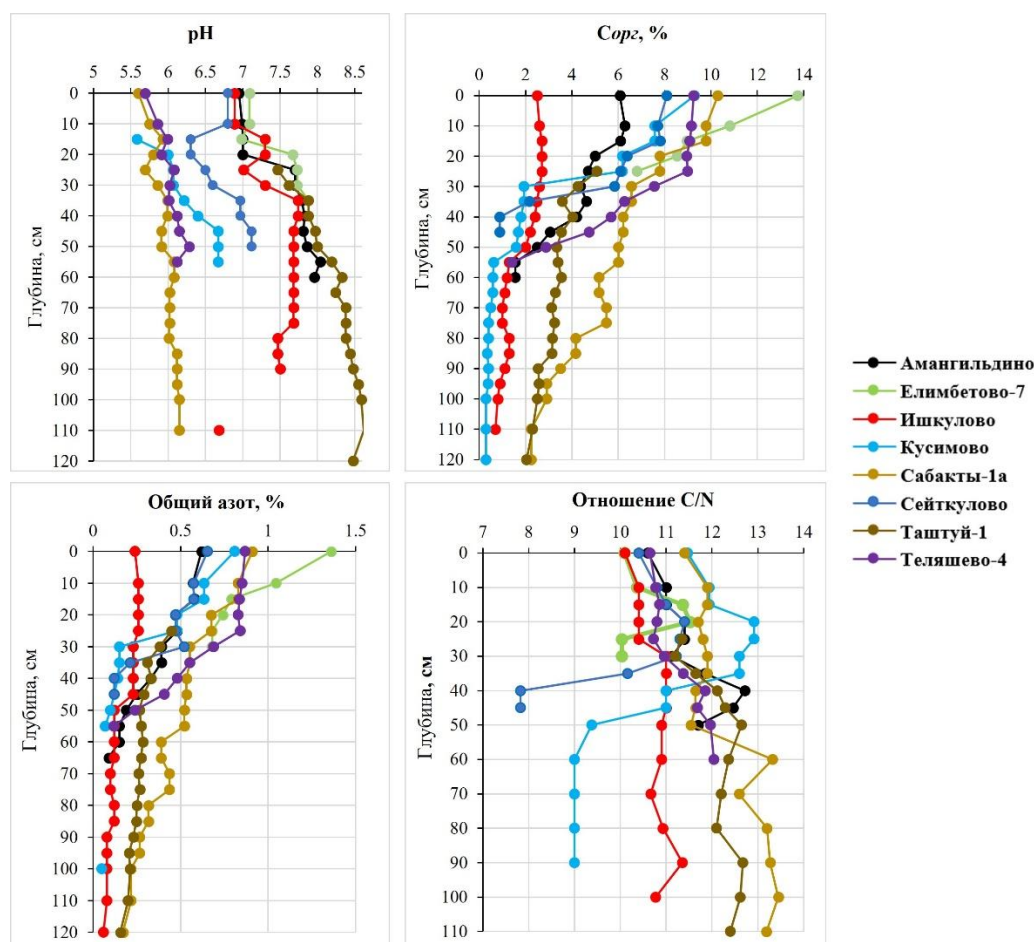


Рисунок 4. Химические свойства почв и культурных слоев.

Почвы и КС по профилю незасоленные, количество легкорастворимых солей составляет менее 0,1%. Обменный комплекс насыщен кальцием до 74–96% от общего количества поглощенных катионов, отмечается хорошая оструктуренность.

Содержание органического вещества ($C_{орг}$) слоя 0–20 см, в котором начинается большинство КС, составляет 6,1–13,7%, кроме КС объекта Ишкулово в обрыве р. Кизил – 1,3%, т. к. КС находится ниже 80 см. Содержание $C_{орг}$ на глубине 40–50 см – 0,9–3,8%; 90–100 см – 0,4–3,6%. Максимальное накопление $C_{орг}$ отмечено в профиле объекта Сабакты-1а в результате миграции органического вещества по склону, т. к. стоянка располагается в ложбине. В слое 0–10 см содержание общего азота варьирует 0,45–1,1%, отношение C/N – 10,3–11,5, в объекте Ишкулово N – 0,12%, C/N – 10,9.

Величина микробной биомассы ($C_{мик}$) слоя 0–10 см КС высокая (520–680 мкг С/г почвы), микробы обуславливают эмиссию 0,2–1 С-СО₂ мкг/г почвы в час, в объекте Ишкулово – $C_{мик}$ – 110 мкг С/г почвы (рис. 5).

Диапазон изменчивости величин $C_{орг}$, $C_{мик}$ и БД максимальный в слое 0–10 см, вниз по профилю он уменьшается. Коэффициенты вариации разных показателей в слое 0–10 см составляли: для $C_{орг}$ 5–12%, БД – 8–19%, $C_{мик}$ – 12–22%; вниз по профилю почв они немного возрастали (табл. 4). Это объясняется большей неоднородностью распределения гумусированных участков слоя 10–50 см, в том числе из-за деятельности животных-землероев. Существенные корреляционные связи выявлены между биологическими показателями; коэффициенты корреляции составляют: БД и $C_{мик}$ – 0,73, $C_{орг}$ и $C_{мик}$ – 0,81, $C_{орг}$ и БД – 0,89.

Отношение $C_{мик} : C_{орг}$ изменяется от 0,4 до 1,6 в слое 0–10 см изученных КС. В Ишкулово КС начинается глубже 80 см и на глубине 80–90 см отношение $C_{мик} : C_{орг}$ составляет 0,9. В объекте

Ишкульово в слое 0–10 см органическое вещество в наибольшей степени обогащено углеродом микробного происхождения.

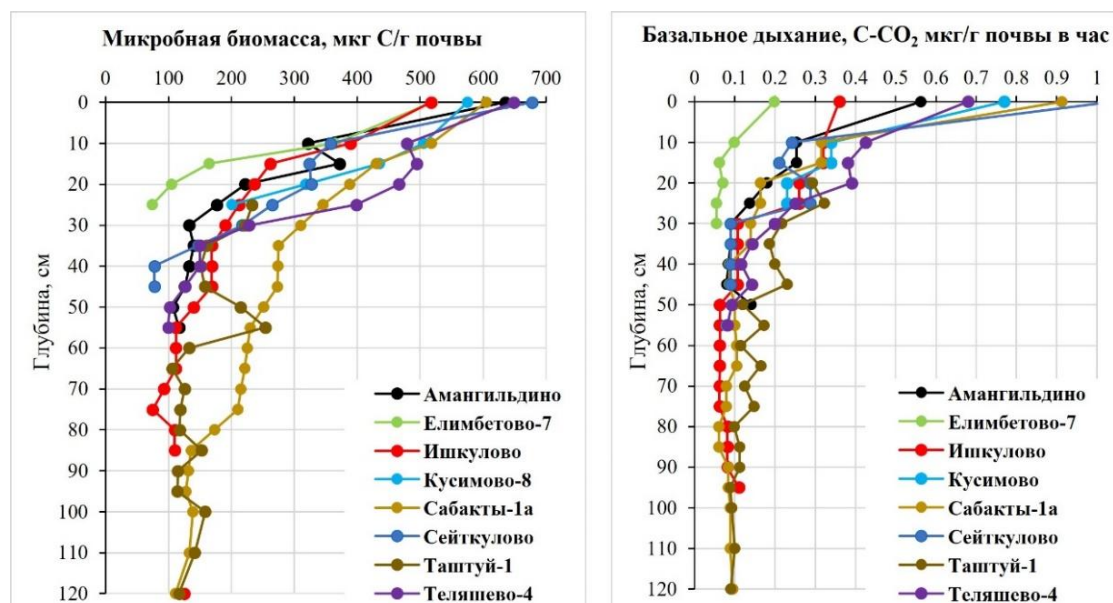


Рисунок 5. Микробиологические свойства почв и культурных слоев.

Таблица 4

Содержание органического вещества и биологические свойства почв и культурных слоев

Поселение	Среднее	Стандартное отклонение	Кв*	Среднее	Стандартное отклонение	Кв	Среднее	Стандартное отклонение	Кв
	0–10 см			10–20 см			20–30 см		
Органическое вещество (C _{орг}), %									
Амангильдино	6,6	0,5	8	6	0,4	6	5,3	0,4	8
Елимбетово-7	13,7	1,2	9	7,7	0,8	10	6,0	0,6	10
Ишкулово	2,7	0,1	5	2,5	0,3	8	2,3	0,2	8
Кусимово	9,3	0,8	9	7,6	0,6	8	6,2	0,6	10
Сабакты-1а	10,3	1,2	12	9,8	0,9	9	7,5	0,8	11
Сейткулово	9,6	1,1	12	8,4	0,5	6	7,2	0,7	10
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	6,9	0,8	11
Теляшево-4	9,3	0,7	8	9,1	0,8	10	9,1	0,9	13
Микробная биомасса, мкг С/г почвы									
Амангильдино	635	108	17	321	58	18	222	44	20
Елимбетово-7	520	62	12	265	61	23	89	19	21
Ишкулово	404	89	22	262	66	25	212	51	24
Кусимово	575	86	15	435	61	14	201	58	29
Сабакты-1а	605	121	20	460	83	18	346	104	30
Сейткулово	678	142	21	341	99	29	327	72	22
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	233	54	23
Теляшево-4	650	124	19	487	47	10	432	86	20
Базальное дыхание, С-СО ₂ мкг/г в час									
Амангильдино	0,56	0,04	8	0,25	0,05	19	0,16	0,02	12
Елимбетово-7	0,20	0,04	19	0,08	0,01	10	0,06	0,02	29
Ишкулово	0,36	0,14	39	0,32	0,06	18	0,26	0,07	25
Кусимово	0,77	0,15	19	0,34	0,10	29	0,23	0,07	29
Сабакты-1а	0,91	0,11	12	0,32	0,08	24	0,16	0,06	40
Сейткулово	1,04	0,16	15	0,23	0,04	16	0,29	0,03	9
Таштуй-1	–	–	–	–	–	–	0,31	0,05	16
Теляшево-4	0,68	0,11	16	0,40	0,08	20	0,32	0,07	21

Примечание.

* – Кв – коэффициент вариации; прочерк – нет данных.

2. Геохимические свойства.

Амангильдино – долговременное поселение эпохи поздней бронзы (алакульской 3,9–3,45 тыс. л. н. культуры), глубина залегания КС 3–46 см. Небольшое концентрирование серы выше кларка и больше, чем в почвообразующей породе, наблюдается в слое 0–10 см этого КС (рис. 6). Отмечается накопление антропогенного фосфора (до 0,2–0,32%) на глубине 30–45 см по сравнению с материнской породой. Он определен по разности между общим Р и биогенным Р, составляющим 20% от общего, и Р почвообразующей породы – 0,07%.

В этом же слое установлена аккумуляция цинка в 1,2–2 раза больше кларка и выше, чем в материнской породе (рис. 7). Мышьяк в количествах выше кларка и выше, чем в почвообразующей породе, отмечен в слоях 10–20, 20–30 и 45–50 см (рис. 8). Во всем профиле величина повышения концентраций марганца, меди, никеля и хрома составила 2–3 кларка.

Елимбетово-7 – стоянка гамаюнской культуры 2,6–2,5 тыс. л. н. В КС выявлена максимальная насыщенность среди всех изученных объектов антропогенным фосфором (0,24–0,36%) на глубине 10–35 см. Здесь же накапливается цинк – в 1,7–2,1 раза больше кларка, а также локально сера на глубине 10–15 см в 2,1 раза выше кларка. Установлено значительное концентрирование в слое 5–10 см меди, кобальта, никеля, хрома, ванадия, превышающее кларковые значения в 1,4–2,3 раза (рис. 7, 8, табл. 7).

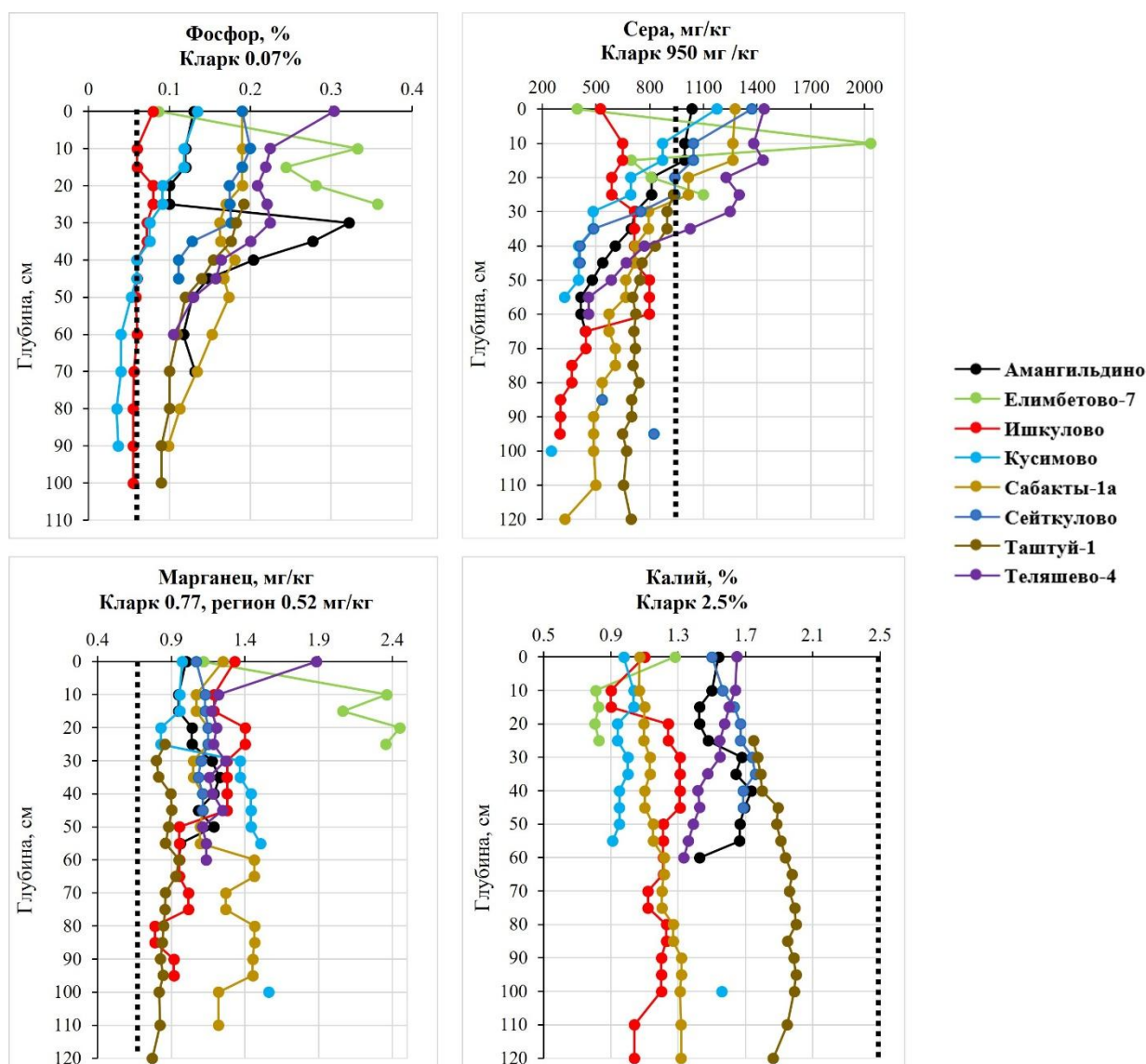


Рисунок 6. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях. Здесь и далее на рис. 7–8 пунктирной линией обозначена величина кларка; региональное содержание элементов приведено по: (Асылбаев, Хабиров, 2015).

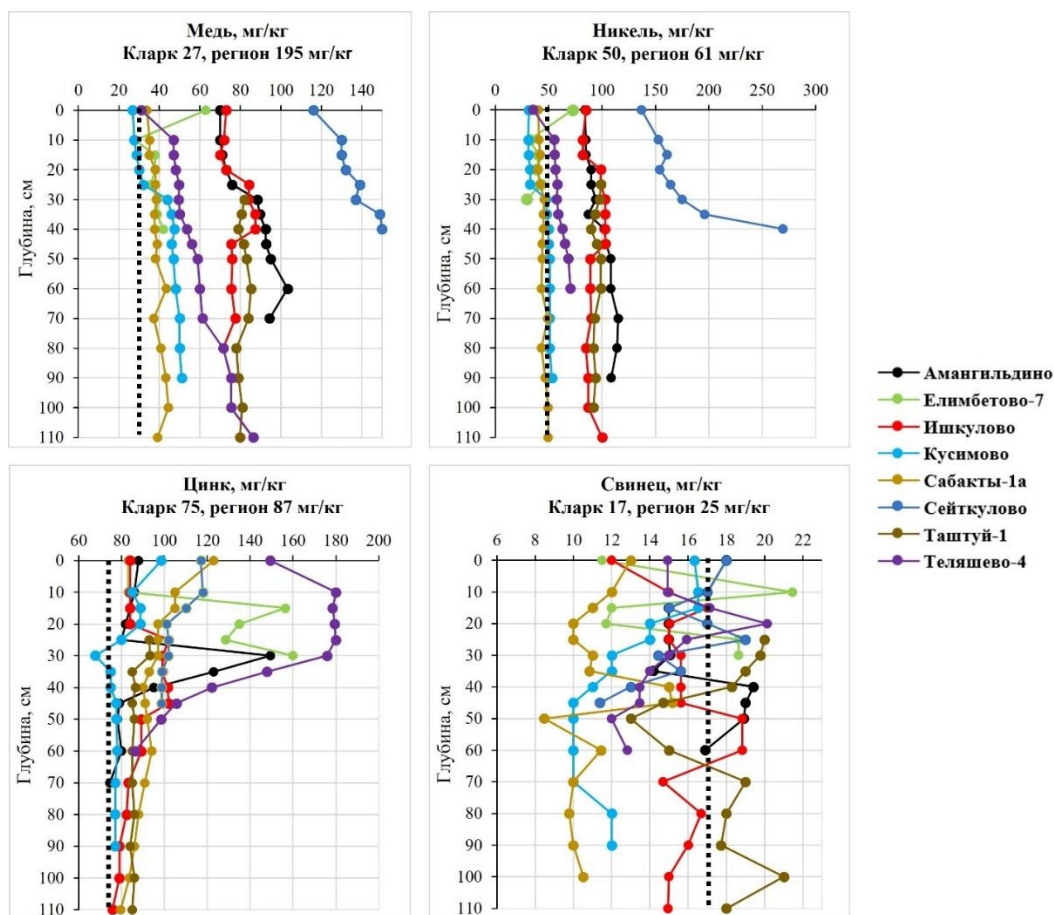


Рисунок 7. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях.

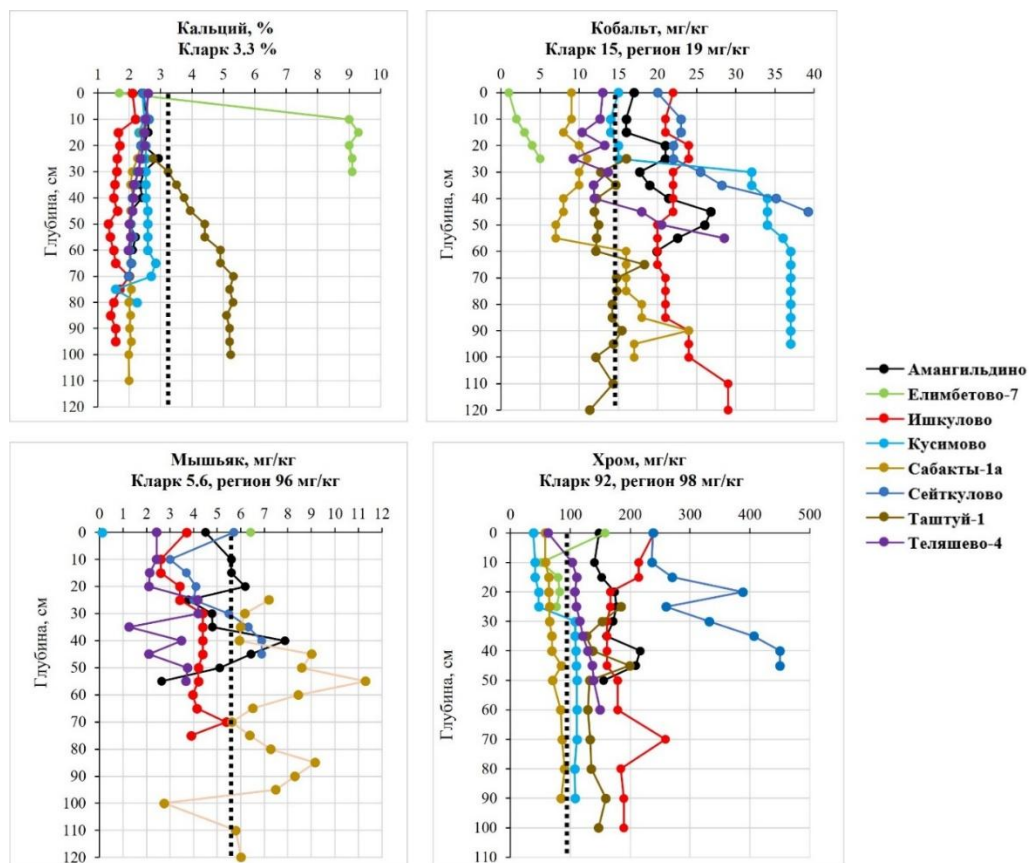


Рисунок 8. Общее содержание элементов в почвах и культурных слоях.

В Ишкуловском селище, созданном 0,5–0,7 тыс. л. н., КС находится ниже 80 см. В КС и во всем профиле почв над КС нет антропогенного накопления фосфора. Во всем профиле современной почвы и КС отмечается повышенное количество (в 2–3 раза больше кларка) меди, никеля и хрома. В почве поверх КС отмечается концентрирование серы по сравнению с более глубокими слоями, не превышающее кларк. Зафиксировано депонирование на глубине 0–50 см марганца – в 1,4–1,8 раза больше кларка литосферы и материнской породы.

Кусимово-8 нижнепалеолитическая стоянка-мастерская. Небольшая антропогенная аккумуляция фосфора выявлена на глубине 0–20 см в количестве 0,13%. Небольшое накопление цинка и серы (в 1,2 раза больше кларка) отмечено в слое 0–20 см. Зафиксировано депонирование кобальта, марганца, меди и хрома на глубине 30–105 см (в 1,4–2,3 раза больше кларка). Найдено увеличение содержания никеля и стронция на этой глубине по сравнению с другими слоями, их количество не превышает кларк.

Стоянка Сабакты-1а суртандинской культуры, возраст 6 300–5 000 лет. КС располагается на глубине 18–162 см. Распределение фосфора равномерное, содержание составляет около 0,2% в слое 0–80 см, ниже – 0,1%. Сера концентрируется в слое 0–30 см, ее содержание превышает кларк в 1,2–1,4 раза. Зафиксирована аккумуляция цинка – элемента 1-го класса токсичности – в слое 0–70 см КС, его содержание в 1,3–1,9 раза больше кларка и материнской породы. Отмечается повышенное количество меди и марганца (в 1,3–1,5 раз больше кларка) по всему профилю, а в слое 60–100 см элемента больше в 1,5 раза, чем в материнской породе.

В Сейткуловском поселении КС охватывает 0–13 см. Распределение фосфора до 35 см равномерное, содержится около 0,20%. Концентрирование серы происходит в слое 0–20 см по сравнению с более глубокими слоями и превышает кларк в 1,2–1,7 раз. Марганец элемент 3-го класса токсичности равномерно распределен по профилю, его в 1,4–1,6 раза больше, чем в материнской породе и чем величина кларка. Меди, хрома в 3–5 раз больше кларка во всем профиле, их содержание увеличивается вниз по профилю.

Селище Таштуй-1, XIX–начало XX вв., КС находится на глубине 3–19 см. Пробы из пахотного слоя не брали. Отмечается небольшое антропогенное накопление фосфора в количестве около 0,2% на глубине 25–55 см, там же депонируется сера в 1,3–1,6 раза выше, чем в почвообразующей породе, но не превышает кларка. Выявлено концентрирование мышьяка – элемента 1-го класса токсичности – в слое 25–65 см (выше кларка в 1,3–2 раза). Отмечено обогащение хромом, медью и никелем всего профиля почвы (в 1,5–2 раза больше кларка).

Теляшево-4 долговременное поселение алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.), КС – 11–46 см. В этом КС отмечается накопление антропогенного фосфора в количестве 0,2–0,3% на глубине 5–40 см. Концентрирование серы выявлено там же, в 1,3–1,5 раз превышающее кларк литосферы и 1,4 раза больше, чем в материнской породе. Распределение марганца по профилю равномерное, в слое 5–10 см выше, чем в породе в 1,6 раз; по всему профилю и в породе содержание Мп выше кларка в 1,5–2,4 раза. Концентрирование свинца обнаружено в большей степени в поверхностных слоях, где оно в 1,3–1,5 раза выше, чем в материнской породе. Накопление меди, цинка и хрома выше кларка в 1,2–2,2 раза отмечается во всем профиле и близко к содержанию в породе. Содержание железа по профилям КС и почв приблизительно равно его кларку (5,1%). В Зауральском регионе концентрирование железа в почвах достигает 8,4%, что объясняется наличием железных руд (Асылбаев, Хабиров, 2015).

Нами был рассчитан **коэффициент техногенной концентрации (КТ)** каждого элемента в слое 0–10 см относительно почвообразующей породы по уравнениям (Водяницкий и др., 2010):

$$K_{ci} = K_i / K_{ip},$$

где K_i – содержание элемента в слое 0–10 см, K_{ip} – в почвообразующей породе.

$$КТ = 100 * (K_{ci} - 1) / K_{ci}$$

Коэффициент техногенной концентрации считается значимым, если его величина больше 20% (Водяницкий и др., 2010). Коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87% (табл. 5). Меньшие величины коэффициентов техногенной аккумуляции 30–40% отмечены для Cr, Mn, Zn, Sr и Pb на участках Ишкулово, Кусимово-8, Сейткулово и Теляшево-4.

Значимые коэффициенты корреляции между расстоянием от Магнитогорского металлургического комбината до объектов и содержанием элементов в слое 0–10 см КС выявлены для марганца и цинка (табл. 6).

Таблица 5

Коэффициенты техногенной аккумуляции (КТ) элементов в слое 0–10 см КС и почв, %

Объект	Км*	S	Mn	Cr	Zn	Sr	Pb
Амангильдино	60	35					
Елимбетово-7	24	46					
Ишкулово	39	42	31	54			
Кусимово-8	33	87	31				
Сабакты-1а	32	56			32		
Сейткулово	44	75			27		27
Таштуй-1	18	36		22		37	
Теляшева-4	36	29	39		21		

Примечание.

* – Расстояние от Магнитогорского металлургического комбината до объектов, км; пустая клетка обозначает, что Кт меньше 20%.

Таблица 6

Коэффициент корреляции (R) между содержанием элементов в слое 0–10 см КС и расстоянием до г. Магнитогорска

Элемент	Mn	Zn	Cr	Ni	Sr	Cu	S	Pb
R	-0,7	-0,6	0,32	0,47	0,6	0,4	-0,3	-0,1

ОБСУЖДЕНИЕ

1. Общие свойства почв и КС. Проведено междисциплинарное изучение культурных слоев и почв восьми поселений возрастом от палеолита (136 тысяч лет назад) до эпохи бронзы (около 4 тыс. л. н.), средневековья и нового времени Южного Зауралья. Изученные КС маркируются по находкам костей животных, каменных и металлических инструментов, фрагментов керамики и др. Верхняя граница КС залегает на глубине от 3 до 25 см, ниже он продолжается до 40–50 см, в стоянке энеолита Сабакты-1а – до 162 см, объекта Ишкулово – глубже 80 см.

КС локализовались на черноземах и аллювиальной почве (Ишкулово), содержание $S_{\text{орг}}$ слоя 0–10 см достигает 7,7–13,7%, вниз по профилю уменьшается постепенно. Это характерно для черноземов (Хазиев и др., 1995; Lisetskii et al., 2023). Большое количество $S_{\text{орг}}$ в почвах региона отмечено ранее (Савельев и др., 2023). В слое 0–20 см современной почвы объекта Ишкулово содержится минимальное количество (2,5%) $S_{\text{орг}}$, что обусловлено сильной дигрессией растительности, вызванной интенсивной пастбищной нагрузкой. В КС Ишкулово $S_{\text{орг}}$ снижается до 1,3%, т. к. поверх КС находится 80 см современной почвы, т.е. отсутствует поступление свежего органического материала и происходит минерализация имеющегося.

Такая высокая насыщенность черноземов $S_{\text{орг}}$ редка в других регионах, это объясняется тем, что изученные почвы используются в основном под пастбища, а не пашню. Плотность населения района в 4 раза меньше, чем в Центрально-Черноземном регионе, где черноземы, в основном, распашаны, а удобрений вносится недостаточно. Также для КС характерно высокое содержание общего азота, обменного кальция, близкий к нейтральному рН, хорошая оструктуренность.

Большинство культурных слоев имеет средне- и тяжелосуглинистый гранулометрический состав с содержанием фракции <0,01 мм 38–56% и количеством песчаных фракций 1–0,25 мм – около 20%. В объектах Кусимово-8, Сабакты-1а, Сейткулово грансостав верхней части профиля супесчаный, с содержанием фракций <0,01 мм 14–20%, а нижней части – среднесуглинистый (32–45%). Это указывает на литологическую неоднородность слоев и возможный застой влаги в верхней части профиля. Почвы и КС не засолены, содержание легкорастворимых солей составляет менее 0,1%.

2. Геохимические особенности почв и культурных слоев. Коэффициенты вариации в слое 0–10 см разных объектов для различных элементов составляли 2–10%, вниз по профилю почв они немного возрастали (табл. 7). В большей степени варьировало содержание мышьяка, коэффициенты вариации достигали 8–26%. Близкие статистические параметры содержания элементов в почвах горнорудного регион Республики Башкортостан установлены ранее (Асылбаев, Хабилов, 2015).

Таблица 7

Общее содержание химических элементов в почвах и культурных слоях

Поселение	Среднее	Стандартное отклонение	Кв*	Среднее	Стандартное отклонение	Кв	Среднее	Стандартное отклонение	Кв
	0–10 см			10–20 см			20–30 см		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сера, мг/кг									
Амангильдино	1408	37	3	985	64	7	812	62	8
Ишкулово	524	109	21	531	42	8	652	89	14
Сабакты-1а	1334	59	4	1225	49	4	818	34	4
Сейткулово	1429	298	21	1059	43	4	878	119	14
Теляшево-4	1410	40	3	1348	108	8	1259	37	3
Фосфор, %									
Амангильдино	0,13	0,005	4	0,12	0,01	5	0,10	0,01	9
Ишкулово	0,08	0,01	9	0,06	0,01	12	0,07	0,003	4
Сабакты-1а	0,19	0,03	14	0,19	0,01	4	0,17	0,01	8
Сейткулово	0,20	0,03	14	0,20	0,03	14	0,17	0,02	12
Теляшево-4	0,22	0,004	2	0,22	0,01	4	0,22	0,01	4
Калий, %									
Амангильдино	1,5	0,1	4	1	0,03	2	1,4	0,02	1
Ишкулово	1,1	0,1	9	1,0	0,2	21	1,3	0,05	4
Сабакты-1а	1,1	0,1	6	1,1	0,05	4	1,2	0,08	7
Сейткулово	1,5	0,1	5	1,6	0,1	5	1,6	0,10	6
Теляшево-4	1,6	0,02	1	1,6	0,01	1	1,6	0,03	2
Кальций, %									
Амангильдино	2,4	0,1	5	2,6	0,2	8	2,9	0,2	7
Ишкулово	2,3	0,3	15	2,1	0,3	17	1,8	0,2	13
Сабакты-1а	2,2	0,3	10	2,5	0,2	6	2,5	0,2	7
Сейткулово	2,2	0,1	3	2,1	0,1	3	2,0	0,2	10
Теляшево-4	2,5	0,0	0	2,5	0,0	0	2,5	0,0	1
Марганец, %									
Амангильдино	1,0	0,0	2	1,0	0,02	2	1,0	0,1	6
Ишкулово	1,3	0,1	4	1,2	0,1	10	1,3	0,1	6
Сабакты-1а	1,2	0,2	19	1,1	0,1	12	1,1	0,1	11
Сейткулово	1,1	0	7	1,1	0,1	8	1,1	0,1	10
Теляшево-4	1,2	0,03	3	1,2	0,02	2	1,2	0,04	3
Стронций, мг/кг									
Амангильдино	161	2	1	167	10	6	175	10	6
Ишкулово	266	36	14	275	92	34	176	11	6
Сабакты-1а	260	13	5	273	11	4	272	12	4
Сейткулово	127	2	2	137	13	10	124	1	1
Теляшево-4	180	0,2	0	182	3	2	183	3	1
Мышьяк, мг/кг									
Амангильдино	4,1	1,1	26	5,4	0,9	16	5,4	1,2	22
Ишкулово	3,4	0,4	13	3,0	0,5	17,9	3,9	0,7	18
Сабакты-1а	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
Сейткулово	3,5	2,4	70	3,7	1,6	43	4,1	1,7	41
Теляшево-4	2,3	0,2	9	2,3	0,2	9	2,5	0,4	16
Цинк, мг/кг									
Амангильдино	88	4	4	85	1	2	80	2	3
Ишкулово	84	9	11	84	21	25	102	0	0
Сабакты-1а	123	20	16	105	12	12	95	8	8
Сейткулово	123	18	15	116	14	12	101	5	5
Теляшево-4	181	22	12	182	3	2	180	3	1

Свинец, мг/кг									
Амангильдино	18	4	21	15	3	22	15	2	13
Ишкулово	12	3	28	17	1	7	14	2	11
Сабакты-1а	13	4	34	12	1	7	9	2	19
Сейткулово	17	6	35	15	3	21	14	4	32
Теляшево-4	19	2	11	18	2	10	18	2	12
Кобальт, мг/кг									
Амангильдино	17	1	3	16	0	3	21	2	8
Ишкулово	23	2	7	21	0	2	23	1	6
Сабакты-1а	9	0,3	3	7	2	28	10	0,4	4
Сейткулово	18	3	16	21	4	18	21	3	15
Теляшево-4	12	2	14	12	2	12	11	2	18
Хром, мг/кг									
Амангильдино	148	8	6	144	8	6	152	12	8
Ишкулово	260	37	14	282	96	34	164	4	2
Сабакты-1а	60	5	8	58	1	2	64	2	3
Сейткулово	261	34	14	244	29	12	250	18	7
Теляшево-4	107	5	5	107	4	3	111	4	4
Медь, мг/кг									
Амангильдино	70	3	4	71	1	2	80	8	10
Ишкулово	73	2	2	71	11	16	86	2	2
Сабакты-1а	34	0,1	0,3	35	1	2	38	2	5
Сейткулово	121	11	9	130	6	5	131	10	7
Теляшево-4	47	2	4	47	1	1	49	1	2
Никель, мг/кг									
Амангильдино	84	3	3	85	2	2	90	5	6
Ишкулово	85	3	3	82	15	18	101	2	2
Сабакты-1а	41	0	1	41	2	4	44	2	4
Сейткулово	143	13	9	154	7	4	155	11	7
Теляшево-4	56	0	1	56	1	1	57	1	2
Барий, мг/кг									
Амангильдино	375	2	1	376	0	0	378	1	0
Ишкулово	305	21	7	315	51	16	362	5	1
Сабакты-1а	361	18	5	357	17	5	348	17	5
Сейткулово	439	2	0,4	431	24	5	428	25	6
Теляшево-4	359	10	3	358	7	2	373	14	4
Ванадий, мг/кг									
Амангильдино	116	3	2	119	2	2	121	3	3
Ишкулово	128	17	13	131	14	11	122	5	4
Сабакты-1а	91	13	15	100	4	4	100	2	2
Сейткулово	105	3	3	109	3	2	114	2	2
Теляшево-4	103	2	2	105	3	3	105	5	5

Примечание.

*Кв – коэффициент вариации

Количество антропогенного фосфора в изученных КС достигает 0,20–0,40% (кроме Ишкулово), в материнской породе он содержится в количестве 0,04–0,10%, кларк литосферы – 0,07%. Показано, что фосфор, марганец, сера могут накапливаться в почве за счет биогенной аккумуляции (до 20% от общего их содержания) (Водяницкий и др., 2010). Фосфор и сера – элементы интенсивного биологического накопления растениями, а Mn – биологического захвата (Перельман, 1989). Они депонируются на поверхности почв после отмирания растений. Показано, что при иссушении климата в степях увеличивается доля полыни и маревых, в почве депонируются K, Ca, P, S, а при гумидизации – распространяются злаки и в почве возрастает содержание всех элементов (Kudrevatykh et al., 2023).

Значительное обогащение КС поселений фосфором обусловлено его поступлением из костей животных, содержащих устойчивые фосфаты кальция–апатит. Он плохо растворим и не выносится почвенными растворами. Также фосфор поступает в КС из древесины, пищевых остатков, бытовых отходов и золы. Накопление фосфора в КС свидетельствует о том, что проживание людей было стационарным и длительным. Депонирование фосфора в КС поселений является отличительной особенностью (Плеханова, 2006; Сулейманов и др., 2020; Ковалева и др., 2021; Nowaczynski et al., 2013; Acksel et al., 2019). Это объясняется тем, что в долговременные КС может приноситься более 50% антропогенного материала, обогащенного органикой, содержащей фосфор, как установлено в отложениях античных городов (Танаис, Фанагория) (Александровский и др., 2015).

Увеличения калия в КС относительно почвообразующей породы и кларка не отмечено. Оно выявлено только в тонком углистом слое на глубине 80–82 см поселения Ишкулово. Источником калия в КС служит древесная зола, которая накапливается вблизи очагов и в зольниках. Зафиксировано, что кроме калия в них аккумулируются Cu, As, Si, Al и Pb (Lisetskii, Stolba, 2022).

Для марганца установлено накопление в КС в 1,3–3,1 раза больше кларка, кроме селища Таштуй-1. В основном это может быть объяснено тем, что регион содержит много марганцевых руд. Так, в войну в 1940-е годы близ одноименных древних поселений добывали марганец на Кусимовском и Елимбетовском рудниках, здесь отмечается наибольшее его концентрирование. На участке Елимбетово-7 концентрация Mn в 1,6 раз больше допустимой нормы. Также Mn может попадать в КС из керамики, отходов выплавки бронзы, зольников, золы очагов и печей. Ранее в КС найден Mn в обломках керамики: 600–700 мг/кг, шлаке от производства бронзы – 200–5 000 мг/кг, золе растений – 700–4800 мг/кг. В местах пожаров накопление марганца может достигать до 6 500 мг/кг, особенно при сжигании деревьев, выросших во влажных условиях (ольха, ива). У людей, которые постоянно находились у очага и с дымом вдыхали Mn, могли выявиться своеобразные поведенческие реакции (Александровская, Александровский, 2003).

Аккумуляция серы выявлена в верхней части всех КС по сравнению с почвообразующей породой, иногда превосходя значение кларка. Это связано, прежде всего, с обогащением почв природной серой, т. к. все разрабатываемые металлы химически связаны с серой (сульфиды). Однако отмечено и антропогенное загрязнение, так коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87%. Сера могла поступать в КС с продуктами жизнедеятельности древних людей, а также при разрушении фрагментов керамики, из руды и шлаков от производства бронзы. Это отмечалось ранее (Александровская, Александровский, 2003; Григорьев, 2009; Приходько и др., 2023).

Аккумуляция серы выявлена в верхней части всех КС по сравнению с почвообразующей породой и иногда превосходила значение кларка. Это связано прежде всего с обогащением почв природной серой, т. к. все разрабатываемые металлы химически связаны с серой (сульфиды). Однако отмечено и антропогенное загрязнение, так коэффициенты техногенной аккумуляции серы в слое 0–10 см всех КС составляют 30–87%. Сера могла также поступать в КС с продуктами жизнедеятельности древних людей, а также при разрушении фрагментов керамики и из руды и шлаков от производства бронзы. Это отмечалось ранее (Александровская, Александровский, 2003; Григорьев, 2009; Приходько и др., 2023).

Мышьяк – элемент 1-го класса токсичности в количествах выше кларка и содержания в почвообразующей породе отмечен в слоях 10–20, 20–30 и 45–50 см поселения Амангильдино алакульской культуры (3,9–3,45 тыс. л. н.). Возможно, мышьяк накопился на этапе некоторой интенсификации активности этого населения. Отмечен прирост мышьяка в объекте Таштуй-1 в почве под КС на глубине 25–30 и 45–100 см в количестве в 1,3–2 раза больше, по сравнению с породой и величиной кларка, в слое 55–60 см даже немного превосходит допустимую величину – 10 мг/кг (СанПин 1.2.3685-21). Содержание As в почвах юга Западной Сибири составляет 13 мг/кг (Сысо, 2007), в северной лесостепи Предуралья – 20 мг/кг, горнорудном регионе Урала – 96 мг/кг (Асылбаев, Хабиров, 2015; Середа и др., 2016). Эти авторы полагают, что допустимая величина для мышьяка занижена. Например, почвы мира считаются незагрязненными при его содержании 50–95 мг/кг (Kabata-Pendias, Pendias, 2010).

Накопление цинка – высоко токсичного поллютанта 1-го класса опасности отмечено в КС по сравнению с почвообразующей породой и кларком литосферы в объектах Амангильдино и Теляшево-4 (3,9–3,45 тыс. л. н.), Сабакты-1а (6,3–5 тыс. л. н.) и разновременном селище Сейткулово. Количество цинка в этих КС выше диапазона его варьирования в почвах горнорудного региона Зауралья (Zn 80–95

мг/кг) (Асылбаев, Хабилов, 2015), но меньше 220 мг/кг – величины опасной для здоровья людей (Kloke, 1980, цит. по: Сысо, 2007).

Содержание элементов 2-го класса токсичности – меди и никеля – в ряде КС постепенно увеличивается вниз по профилю и максимально в почвообразующей породе, но везде больше кларка в 1,2–4 раза. Следовательно, концентрирование этих элементов обусловлено нативной геохимической аномалией горнорудного Урала.

Следует отметить, что микроэлементы необходимы растениям в небольших количествах и используются в качестве микроудобрений при их недостатке в почве. Но при высокой концентрации в почве они становятся загрязнителями воды и растений, вызывая заболевания растений, животных и людей (Александровская, Александровский, 2003; Сысо, 2007; Ильин, 2012).

3. Значение почвенных исследований для реконструкции условий проживания древнего населения. Несмотря на то, что КС залегают близко к поверхности и на них влияют современные почвенные процессы, можно провести реконструкцию климата во время функционирования поселений. Показано, что формирование темноцветных почв, а затем черноземов Сибири началось в раннем голоцене. Почвообразование продолжилось в период 9–5 тыс. л. н. с дальнейшим ростом тепло-влажностности (Дергачева, Очур, 2012, некал. ^{14}C даты: 8430 ± 135 л. н. (СОАН-7446), 4105 ± 80 (СОАН-7139); Бронникова и др., 2018 – калиб. ^{14}C даты: 8265 ± 282 (СОАН-9366-2), 8082 ± 92 кал. лет (СОАН-9369), 7787 ± 209 лет (СОАН-9366-1), 6913 ± 347 (СОАН-9367); Демиденко, Хижняк, 2018; Иванов и др., 2019 – 8063 ± 163 , ИГАН-1581, 4553 ± 100 , ИГАН-1580). В этот период отмечается, в основном, благоприятный климат на основе комплексного изучения (палинологическим, малакологическим, макроботаническим и другими методами) датированных палеопочв, отложений озер и болот лесостепи Южного Урала и сопредельных регионов (Борисова и др., 2005; Danukalova et al., 2014; Lapteva, Korona, 2013; Panova, Antipina, 2016; Maslennikova, Udachin, 2017; Blyakharchuk et al., 2019; Rudaya et al., 2020).

КС поселения Сабакты-1а образовался в интервале 5–6,3 тыс. л. н. К этому времени с начала развития черноземов прошло 2–4 тысячи лет, успела сформироваться значительная часть их профиля и запасов $\text{C}_{\text{орг}}$. Ранее выявлено, что максимальная скорость почвообразования (2–4 мм/год) наблюдается в первые десятилетия развития. Через 1250 лет она замедляется, через 3750 лет отмечается минимальный прирост профиля почв (Лисецкий и др., 2016). В период развития стоянки Сабакты-1а в фазу 6,3–6,1 тыс. л. н. зафиксирована гумидная обстановка, в интервале 6,1–5 тыс. л. н. происходило уменьшение увлажненности климата. Однако близость к одноименному озеру создавала благоприятный микроклимат для людей. Реконструкция климата проведена на основе изучения 20 подкуранных палеопочв и многослойного поселения Турганик степного Предуралья (Хохлова и др., 2018).

В интервале 3,9–3,4 тыс. л. н. (поселения Амангильдино и Теляшево-4) отмечалась теплая и гумидная фаза, в стадию 2,7–2,5 тыс. л. н. (стоянка Елимбетово-7) было прохладно и влажно, судя по палинологическому изучению палеопочв и отложений болот и озер со 150-ю радиоуглеродными датами для юга Западной Сибири (Рябогина и др., 2022; Zah et al., 2010).

Полученные нами результаты свидетельствуют, что в районе наших исследований в период 6300–6100 лет до н. э. климат был влажным и теплым, а в фазу 6 100–5 000 л. н. условия были более сухими и теплыми, чем в настоящее время (стоянка Сабакты-1а). В период 3900–3 450 лет до н. э. (Амангильдино, Теляшево-4) климат был теплым и влажным, а в период 2 700–2 500 лет до н. э. (Елимбетово-7) климат был прохладным и влажным.

4. Увеличения содержания металлов в древних КС. Следует отметить, что начиная с эпохи бронзы, установлено загрязнение КС поселений многими поллютантами в разных регионах мира. Это обусловлено, в основном, выплавкой бронзы. Например, на Южном Урале около 4000 лет назад начали плавить мышьяковистую бронзу в укрепленных поселениях Аркаим, Куйсак, Каменный Амбар, Устье (Зайков и др., 2005). В Китае также выявлено накопление Cu, Ni, Pb, Zn, Cr и As на территории 22 памятников, созданных около 4000 л. н., в коридоре Хэси за счет интенсивной плавки металлов (Zhang et al., 2017). Тогда как в КС неолита и энеолита, например, на территории поселения Кочегарово-1 (Курганская обл., юг Западной Сибири) эти загрязнители не выявлены, а обнаружено накопление P, K, Ca, Mg, Mn и Sr. Они служат маркерами для реконструкции хозяйственной деятельности древнего населения (Якимов и др., 2012; Бикмулина и др., 2017). В многослойном поселении периодов Золотой орды и средневекового Болгара на Средней Волге установлено превышение по сравнению с фоном: Cu и Pb в 10–37 раз, Ni и Zn в 2 раза в результате производства цветных металлов в древности (Прохорова

и др., 2014). В античных городах юга России КС локально обогащены элементами (Zn, Cu, Pb, As), что обусловлено находками в них изделий из цветных металлов, шлаков и руд от их производства. Поллютанты концентрируются в большей степени в органических КС древних городов лесной зоны, чем в КС сухого климата (Александровский и др., 2015).

При изучении подкуранных каштановых почв южного Поволжья показано увеличение подвижной формы свинца и изменение его изотопного состава от эпохи бронзы к современности в результате атмосферного переноса и выпадения техногенного свинца (Пампура и др., 2013). Установлено, что загрязнение свинцом отложений озер Швеции началось 2000 лет назад с развитием промышленности; с 900 г. н. э. выявлено постоянное заметное возрастание атмосферных антропогенных выпадений свинца на пространствах Европы (Branvall et al., 1999). На основании обогащения свинцом и его изотопами шлаков и почв, отобранных на юге Франции, показано, что их накопление происходило 800 лет назад при производстве свинца (Baron et al., 2006).

5. Имеет ли накопление тяжелых металлов в КС современную техногенную причину? В разных странах вблизи современных промышленных центров отмечено загрязнение почв поллютантами (Blaser et al., 2000; Greinert et al., 2013). Так, для всей территории Китая около горнодобывающих и промышленных ареалов отмечена аккумуляция восьми тяжелых металлов (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn) в 4–27 раз больше фоновых; 12% участков продемонстрировали канцерогенный риск, что установлено на основе обобщения результатов 118 статей (Jiang et al., 2023). Проведен обзор источников загрязнения почв и вод тяжелыми металлами и их пагубные последствия для здоровья людей и даны биологические и химические методы их восстановления (Wuana, Okieimen, 2011; Dhaliwal et al., 2020).

В настоящее время вдоль горнорудного Южного Урала построено много металлургических заводов и ТЭЦ. На расстоянии менее 5–10 км от них установлено накопление рудных и сопутствующих элементов (Сембаев и др., 2019), как валового содержания, так и подвижных форм. Так, в слое 0–10 см почв г. Магнитогорска вблизи металлургического комбината превышение предельно допустимого опасного для здоровья человека количества элементов достигает: мышьяка в 3–21 раз, цинка – 2–4, свинца – 1–5, меди – 1,5–2, марганца – в 1,5–2,5 раза. Ветры с пылью и дымом также разносят загрязняющие вещества на большие расстояния (Дубинина и др., 2013). В г. Сибай (90 км на север от г. Магнитогорска), где производится серный колчедан, медный и цинковый концентрат, экологическое состояние слоя 0–30 см почв оценивается как допустимое и умеренно опасное, основываясь на суммарном показателе загрязнения несколькими поллютантами. Отмечено сильное загрязнение почв подвижной формой меди и цинка (Хасанова и др., 2017). Близ хвостохранилища г. Сибай на поверхность поступает пыль, насыщенная Cu, Cd, Pb, Sb и Zn, что резко увеличивает их содержание в верхнем горизонте почв. Около г. Сибай накопление тяжелых металлов в речной воде и донных осадках на два порядка превышает кларк, в почвах оно меньше, при этом величины поглощения данных элементов растительностью поймы и водоразделов сопоставимы с биоценозами незагрязненных ареалов (Опекунова и др., 2017; Orekunova et al., 2020; Сомов и др., 2023).

6. Растительность служит фитобарьером в ареалах, загрязненных тяжелыми металлами. Аналогичные результаты получены для травянистых растений из загрязненной зоны (Зауралье Свердловская обл., 90 км на запад от г. Магнитогорска), в травах накопление тяжелых металлов было близко к незагрязненному фону. Тогда как в слое 0–10 см черноземов этого участка содержание Zn, Pb, Cu, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti превышало региональные содержание в несколько раз, что обусловлено сочетанием геохимических и техногенных факторов (Еремченко, Чудинова, 2012). Растительность служит фитобарьером в круговороте вещества, стабилизирует техногенный поток и уменьшает интенсивность поступления поллютантов в дальнейшие составляющие пищевой цепи (животные, люди). Показано, что естественные ценозы по сравнению с агрокомплексами в значительной степени способны противостоять поглощению элементов в загрязненных ареалах. Растения регулируют и уменьшают передвижение тяжелых металлов из корней в надземную часть (Сысо, 2007; Ильин, 2012).

Изученные микроэлементы необходимы растениям и вносятся как микроудобрения при их недостатке. Но при их обилии, особенно выше санитарных норм, они являются загрязнителями трех классов опасности.

Из-за природных и антропогенных воздействий ряд элементов (As, Cu, Ni, Pb, V) накапливаются в почвах и КС в опасных для людей количествах. Они поглощаются растениями, попадают в воду в значительных количествах, затем усваиваются животными и людьми и могут оказывать отрицательное воздействие на их здоровье и поведенческие функции (Александровская, Александровский, 2003).

7. Восстановление почв, загрязненных тяжелыми металлами. Предложены градации оценки инактивирующей способности почв в отношении поллютантов. Черноземы характеризуются высокой буферной емкостью к металлам за счет большого запаса $S_{орг}$, нейтрального pH, тяжелого гранулометрического состава (Сысо, 2007; Ильин, 2012). Это снижает миграцию элементов в системе почва-вода-растения и общем биогеохимическом цикле. Методом последовательной экстракции несколькими реагентами установлена низкая подвижность ТМ в естественных загрязненных черноземах (Водяницкий и др., 2010; Сомов и др., 2023; Orekuno et al., 2020). Показано, что гуминовые кислоты, основные компоненты $S_{орг}$ почв, могут поглощать микроэлементы. Адсорбция элементов гуминовыми кислотами черноземов Зауралья уменьшалась в ряду: $Cu > Mo > Cr > Zn > Ni > Pb > Ti > V$ (Некрасова, Дергачева, 2011). Zn, Cu и Ni образуют с гуминовыми кислотами прочные комплексы (Ильин, 2012). Разрабатываются новые адсорбенты для очистки территорий, загрязненных поллютантами; например, созданы новые органоглины на основе бентонита и различных поверхностно-активных веществ для сорбции катионов свинца из загрязненных экосистем (Gertsen et al., 2024).

Таким образом, на основании полученных данных показано, что природные условия при функционировании большинства древних культурных слоев были благоприятными. Климат прошлого обуславливал поддержание плодородия черноземов и развитие продуктивных биомов вблизи поселений. Это было важно для осуществления придомного скотоводства; также плодородные почвы способствовали развитию мотыжного земледелия, которое практиковал ряд изученных древних сообществ. О том, что люди долго жили в ряде поселений свидетельствует мощность КС и повышенное содержание в них антропогенного фосфора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Междисциплинарное исследование почв и культурных слоев выполнено для восьми поселений возрастом от палеолита до средневековья и нового времени в горнорудном Южном Зауралье на территории Республики Башкортостан.

Судя по найденным артефактам, культурные слои залегают на стоянке энеолита Сабакты 1а – до 162 см, в объекте Ишкулово КС локализуется ниже 80 см, в других объектах – с 3–25 см до 40–60 см. КС формировались на черноземах и аллювиальной почве (Ишкулово); в них развиваются современные процессы.

В культурных слоях установлены, в основном, близкий к нейтральному pH, хорошая оструктуренность, насыщенность обменным кальцием, обогащенность тонкими гранулометрическими фракциями, отсутствие засоленности; отмечается высокое содержание органического углерода (6,1–13,7% в слое 0–20 см). КС объекта Ишкулово находится глубже 80 см; при отсутствии поступления свежего органического материала происходит минерализация органических веществ, содержание $S_{орг}$ составляет 1,3%. Содержание $S_{орг}$ слоя 40–50 см – 0,9–3,8%; 90–100 см – 0,4–3,6%.

В процессе жизнедеятельности людей отмечается изменение геохимических процессов в культурных слоях поселений. В культурных слоях найдены кости животных, их разрушение и накопление органических продуктов жизнедеятельности животных и людей обусловили депонирование антропогенного фосфора.

Проведенные исследования показали, что накопление многих элементов в КС и почвах обусловлено в основном геологическими древними процессами. Об этом свидетельствует величина их приращения в 2–4 кларка во всем профиле КС и почв, и часто большее их увеличение в материнской породе. Аналогичное накопление тяжелых металлов в почвах на значительной территории близ гор Урала отмечалось ранее рядом вышеуказанных авторов.

Загрязнение марганцем, стронцием, цинком, свинцом, хромом слоя 0–10 см ряда изученных культурных слоев и почв возможно из-за техногенной нагрузки. Так, коэффициент их техногенного накопления в слое 0–10 см ряда КС составляет 30–40%, для серы во всех КС – 30–87%. Это обусловлено тем, что объекты находятся на расстоянии 18–60 км от Магнитогорского металлургического комбината, а Кусимово-8, Сабакты-1а и Елимбетово-7 – рядом с марганцевыми месторождениями. В цитированной выше литературе показано, что элементы As, Cr, Pb и, меньше, Zn могут обогащать культурные слои локально за счет разрушения обилия фрагментов керамики и остатков глины для ее изготовления, материалов жилых и оборонительных сооружений.

Концентрирование в культурных слоях и почвах ряда загрязнителей 1-го (мышьяка, свинца, цинка, хрома) и 2-го (кобальта, меди, никеля) классов опасности часто отмечено в количествах в 2–5 раз выше кларка литосферы и, реже, больше гигиенических нормативов, допустимых для здоровья

людей. Однако черноземы и КС, благодаря вышеотмеченным свойствам, характеризуются высокой буферностью и обуславливает прочную адсорбцию тяжелых металлов, а большинство степных растения обладают слабой поглотительной способностью к этим элементам, как отмечено в научной литературе. О благоприятных условиях в почвах и культурных слоях свидетельствует активное функционирование микробиоты, что подтверждается значительными величинами микробной биомассы (до 520–680 мкг С/г в слое 0–10 см) и ее активности в виде эмиссии 0,2–1,0 С-СО₂ мкг/г почвы в час.

Реконструкция климата на основании цитированных палеопедогенных и палинологических данных показала, что в периоды функционирования древних поселений климат был в основном благоприятным для проживания. Это способствовало развитию биогеоценозов с продуктивными ландшафтами, распространению скотоводства и земледелия у древних сообществ людей.

Данные о количестве 15 химических элементов в профиле почв и культурных слоев региона, характеризующегося геохимической природной аномалией, расширяют банк данных, что важно для целей экологического мониторинга.

БЛАГОДАРНОСТИ

Глубокая благодарность археологам канд. ист. наук Е.В. Русланову; М.М. Румянцеву, С.Ю. Николаеву за помощь в сборе почвенных проб и ценные советы, а также школьникам г. Полевской, Свердловской области, Урала за помощь в полевых работах и подготовке образцов почвы к анализам.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках государственного задания «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России» (проект № 0191-2019-0046) и Российского научного фонда «Комплексная реконструкция заселения степей Южного Урала от каменного века до современности: социокультурные и экологические трансформации» (проект № 22-28-00815).

ЛИТЕРАТУРА

- Александровская Е.И., Александровский А.Л. Историко-географическая антропохимия. Москва: НИИ-Природа, 2003. 204 с.
- Александровский А.Л., Александровская Е.И., Долгих А.В., Замотаев И.В., Курбатова А.Н. Почвы и культурные слои древних городов юга Европейской России // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1291–1301. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15110027>
- Архив климатических данных (Электронный ресурс). <http://climatbase.ru> (дата обращения 11.11.2023).
- Асылбаев И.Г., Хабиров И.К. Содержание тяжелых элементов в почвах Южного Урала // Агрохимия. 2015. № 11. С. 58–67.
- Бикмулина Л.Р., Якимов А.С., Мосин В.С., Баженов А.И. Геохимические особенности почв и культурных слоев поселения неолита – энеолита Кочегарово-1 в лесостепной зоне Западной Сибири и их палеоэкологическая интерпретация // Археология, этнография и антропология Евразии. 2017. Т. 45 № 2. С. 35–44. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2017.45.2.035-044>
- Борисова О.К., Зеликсон Е.М., Кременецкий К.В., Новенко Е.Ю. Ландшафтно-климатические изменения Западной Сибири в позднеледниковье и голоцене в свете новых палинологических данных // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2005. № 6. С. 38–49.
- Борзунов В.А. О культурной принадлежности иткульских и гамаюно-иткульских древностей Зауралья // Российская Археология. 2019. № 3. С. 131–146. <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>
- Бронникова М.А., Агатова А.Р., Лебедева М.П., Непоп Р.К., Конопляникова Ю.В., Турова И.В. Запись голоценовых изменений ландшафтов высокогорий юго-восточного Алтая в почвенно-литологической серии долины р. Богуты // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1413–1430. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18120031>
- Воробьева Л.А. Химический анализ почв. Москва: Издательства МГУ, 1998. 272 с.
- Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Савичев А.Т., Чашин А.Н. Влияние техногенных и природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах среднего Предуралья (г. Чусовой и его окрестности) // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1089–1099.
- Гарустович Г.Н., Овсянников В.В., Русланов Е.В. Городище Уфа-II в золотоордынский период // Oriental Studies. 2018. Vol. 38. Is. 4. P. 32–42. <https://doi.org/10.22162/2619-0990-2018-39-4-32-42>

- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Демиденко Г.А., Хижняк С.В. Корреляционные связи между компонентами палеоландшафтов юга Приенисейской Сибири в голоцене // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 206–210.
- Дергачева М.И., Очур К.О. Реконструкция изменений природной среды в течение голоцена на территории Центрально-Тувинской котловины // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 1. С. 5–17. <https://www.lib.tsu.ru/mininfo000063105bio17image17-005.pdf>
- Дубинина М.В., Елесина В.В., Боброва З.М. Исследование загрязненности почвенного покрова территории г. Магнитогорска // Теория и технология металлургического производства. 2013. №1(13). С. 54–57.
- Зайков В.В., Юминов А.М., Дунаев А.Ю., Зданович Г.Б., Григорьев С.А. Геолого-минералогические исследования древних медных рудников на Южном Урале // Археология, этнография и антропология Евразии. 2005. № 4(24). С. 101–114.
- Епимахов А.В., Мосин В.С. Хронология Зауральского энеолита // Вестник археологии, антропологии этнографии. 2015. № 4(31). С. 27–37.
- Еремченко О.З., Чудинова Л.А. Микроэлементный состав почв и растительности заповедной лесостепи в условиях техногенеза // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 279–285. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7050>
- Иванов И.В., Приходько В.Е., Замотаев И.В., Манахов Д.В., Новенко Е.Ю., Калинин П. И., Маркова Л.М., Плаксина А.Н. Синлитогенная эволюция пойменных почв в долинах малых рек Степного Зауралья // Почвоведение. 2019. № 6. С. 645–662. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19060066>
- Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Ред. А.И. Сысо. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2012. 218 с.
- Каздым А.А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий (палеоэкологический аспект). Москва: Наука, 2006. 157 с.
- Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розова, В.А. Носин, Т.А. Фриев. Москва: Колос, 1977. 224 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Ковалева Н.О., Решетникова Р.А., Ковалев И.В. Фосфор в культурных слоях и почвах урбоэкосистем // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2021. № 4. С. 56–66.
- Котов В.Г. Палеолит. История башкирского народа. М.М. Кулшарипов (ред.). Том 1. Москва: Наука, 2009. С. 23–53.
- Котов В.Г., Румянцев М.М. Феномен использования природных форм в палеолите Евразии: "галечные скульптуры" // Проблемы истории, филологии, культуры. 2018. № 2(60). С. 136–151. <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2018-2-60-136-151>
- Котов В.Г., Савельев Н.С. Энеолитическая стоянка Сабакты-8 в Башкирском Зауралье // Уфимский археологический вестник. 2007. № 6–7. С. 12–18.
- Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Галлардо Ланчо Х.Ф., Ем К.Т. Оценка скорости минерализации органического вещества почв в лесных экосистемах внутриконтинентального умеренного, средиземноморского и тропического муссонного климата // Почвоведение. 2012. № 1. С. 82–94.
- Лисецкий Ф.Н., Столба В.Ф., Голуусов П.В. Моделирование развития черноземов в зоне степи и разработка метода почвенно-генетической хронологии // Почвоведение. 2016. № 8. С. 918–931. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16080050>
- Матюшин Г.Н. Энеолит Южного Урала: лесостепь и степь. Москва: Наука, 1982. 331 с.
- Махонина Г.И., Валдайских В.В. Археологическое почвоведение в системе знаний о взаимоотношении человека и природы // Известия Уральского государственного университета. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2007. Том 50. № 21. С. 220–224.
- Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В. Радиоуглеродная хронология культур эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2014. Т. 13. № 3. С. 136–167.

- Некрасова О.А., Дергачева М.И. Содержание микроэлементов в черноземах обыкновенных и их гуминовых кислотах (на примере Южного Урала) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. Том 16. № 4. С. 7–16.
- Некрасова О.А., Учаев А.П. Палеоэкологические условия в суббореальный и субатлантический периоды лесостепной зоны Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. Том 185. № 10. С. 181–185.
- Опекунова М.Г., Сомов В.В., Папян Э.Э. Загрязнение почв в районе воздействия горнорудных предприятий Башкирского Зауралья // Почвоведение. 2017. № 6. С. 744–758. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17060089>
- Пампура Т.В., Пробст А., Ладонин Д.В., Демкин В.А. Содержание и изотопный состав свинца в подкурганых и современных каштановых почвах Приволжской возвышенности // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1325–1343. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13090062>
- Перельман А.И. Геохимия. Москва: Высшая школа, 1989. 528 с.
- Плеханова Л.Н. Особенности культурных слоев неукрепленных поселений эпохи бронзы Степного Зауралья // Вестник Челябинского государственного университета. 2006. № 3. С. 42–63.
- Плеханова Л.Н. Погребенные почвы археологических объектов как основа палеоклиматических реконструкций второй половины голоцена // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Том 28. № 3. С. 33–50. <https://doi.org/10.215130207-2564-2017-3-33-50>
- Приходько В.Е., Иванов И.В., Зданович Д.Г., Зданович Г.Б., Манахов Д.В., Инубуши К. Аркаим – укрепленное поселение эпохи бронзы степного Зауралья: почвенно-археологические исследования. Ред. А.Л. Александровский. Москва: ФГУП Издательский дом "Типография" Россельхозакадемии, 2014. 264 с.
- Приходько В.Е., Рогозин Е.П., Чаплыгин М.С. Реконструкция климата, почв и растительности срубного времени на основании исследования курганов Предуральской лесостепи Республики Башкортостан // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1052–1067. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16090112>
- Приходько В.Е., Азаренко Ю.А. Использование древних разновозрастных погребенных почв как маркеров загрязнения химическими элементами современных почв и экологических условий прошлого // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В.В. Докучаева (Тула, 16–18 сентября 2021 г.). Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2021. С. 182–186.
- Приходько В.Е., Пивоварова Е.Г., Полянская Л.М., Рогозин Е.П., Тишкин А.А. Комплексное изучение поселения Березовая Лука эпохи бронзы (лесостепной Алтай) // Современные решения актуальных проблем евразийской археологии. Сборник научных статей. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2023. С. 242–246. <https://doi.org/10.14258/msapea.2023.3.50>
- Прохорова Н.В., Головлёв А.А., Прокопенко И.В., Семькин Ю.А., Бочаров С.Г., Ситдилов А.Г. Почвоведение и археология: взаимосвязь в исследовании Болгарского городища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16. №1(4) С. 1105–1110.
- Рябогина Н.Е., Южанина Э.Д., Афонин А.С., Якимов А.С., Новиков И.К. Палеоэкологические исследования приозерных водораздельных поселений Тоболо-Ишимского междуречья (поселение Золотое 1, Курганская область) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 4(59). С. 43–55. <https://doi.org/10.208742071-0437-2022-59-4-4>
- Савельев Н.С. Памятники гамаюнской и курмантауской культур юго-западной оконечности Уральской горной страны // Уфимский археологический вестник. 2018. № 18. С. 24–42. <https://doi.org/10.31833/uav.2018.18.003>
- Савельев Н.С. А.Х. Пшеничнюк и Филипповка: к 35-летию начала исследований // Уфимский археологический вестник. 2021. Том 21. № 1. С. 6–17. <https://doi.org/10.31833/uav/2021.21.1.001>
- Савельев Н.С., Николаев С.Ю., Румянцев М.М., Русланов Е.В., Савельева А.Г., Сулейманов Р.Р., Хурмаев А.А., Кунгурцев А.Я. Комплекс материальной культуры башкир Южного Урала XVIII-XIX вв. (по данным селища Имсяк-Тау-1 в горно-степном Зауралье) // Уфимский археологический вестник. 2023. Том 23. № 2. С. 300–319. <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.009>
- Сембаев Ж.Х., Хантурина Г.Р., Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Загрязнение почвенного покрова горнорудных территорий Республик Казахстан и Башкортостан тяжелыми металлами // Медицина труда и экология человека. 2019. № 1(17). С. 16–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10003>
- СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

- Серегина Ю.Ю., Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. С. 12.
- Середа Н.А., Баязитова Р.И., Нафикова М.В., Баязитова Л.И. Тяжелые металлы в почвах и сельскохозяйственных культурах лесостепи Башкортостана // Агрохимический вестник. 2016. № 4. С. 2–5.
- Сомов В.В., Опекунов, А. Ю., Опекунова, М. Г., Дергилева Е.В., Коршунова Д.В., Кукушкин, С. Ю. Формы нахождения металлов в почвах степных ландшафтов в зоне воздействия горнорудного производства (Южный Урал) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Том 68. № 4. С. 764–782. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.409>
- Сулейманов Р.Р., Овсянников В.В., Колонских А.Г., Абакумов Е.В., Кунгурцев А.Я., Сулейманов А.Р. Почвенно-археологическое исследование средневекового вотикеевского комплекса в северной лесостепной зоне Южного Предуралья // Почвоведение. 2020. № 3. С. 279–290. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20030089>
- Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2007. 277 с.
- Сычева С.А., Леонова Н.Б., Пустовойтов К.Е., Седов С.Н., Чичагова О.А. Культурные слои как память об антропогенном почвообразовании и литогенезе // Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. Москва: Издательство ЛКИ, 2008. С. 651–675.
- Ткачев В.В. Генезис алакульской культуры в контексте горной археологии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Том 20. № 3–2(83). С. 517–526.
- Хабиров И.К., Батанов Б.Н., Габбасова И.М., Асылбаев И.Г., Якупов И.Ж. Влияние горнорудного комплекса Зауралья на химический состав почв // Вестник Оренбургского государственного университета. 2007. № 1(64). С. 111–114.
- Хазиев Ф.Х., Мукатанов А.Х., Хабиров И.К., Кольцова Г.А., Габбасова И.М., Рамазанов Р.Я. Почвы Башкортостана. Том 1. Уфа: Гилем, 1995. 384 с.
- Хасанова Р.Ф., Семенова И.Н., Суюндуков Я.Т., Рафикова Ю.С., Биктимерова Г.Я., Ильбулова Г.Р., Кужина Г.Ш., Ильина И.В. Экологическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв промышленных зон города Сибай // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 12(212). С. 74–77.
- Хохлова О.С., Моргунова Н.Л., Хохлов А.А., Гольева А.А. Изменения климата и растительности за последние 7000 лет в степном Предуралье // Почвоведение. 2018. № 5. С. 538–550. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18050039>
- Чаплыгин М.С. История изучения погребальных памятников срубной культуры на территории Башкирского Приуралья // Уфимский археологический вестник. 2013. № 13. С. 40–62.
- Яблонский Л.Т. Золото сарматских вождей. Элитный некрополь Филипповка 1 (по материалам раскопок 2004–2009 гг.). Каталог коллекции. М.Г. Мошкова (ред.). Книга 1. Москва: ИА РАН, 2013. 232 с.
- Якимов А.С., Кайдалов А.И., Сечко Е.А., Пустовойтов К.Е., Кузяков Я.В. Почвы раннесредневекового (IV–VI вв. н. э.) городища Среднего Притоболья и их палео-географическое значение // Археология, этнография и антропология Евразии. 2012. № 4(52). С. 134–143.
- Acksel A., Baumann K., Hu Y., Leinweber P. A Look into the Past: Tracing Ancient Sustainable Manuring Practices by Thorough P Speciation of Northern European // Soil Systems. 2019. Vol. 3 No. 4. P. 72. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3040072>
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
- Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-years old pollution (Mont-Lozere, France) // Environmental Science & Technology. 2006. Vol. 40. No. 17. P. 5319–5326. <https://doi.org/10.1021/es0606430>
- Branvall M.-L., Bindler P., Renberg I., Emteryd O., Bartniki J., Billstrom K. The Medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in northern Europe // Environmental Science & Technology. 1999. Vol. 33. No. 24. P. 4391–4395. <https://doi.org/10.1021/es990279n>
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils // Science of the Total Environment. 2000. Vol. 249. No. 1–3. P. 257–280. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00522-7)

- Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen records derived from burial mounds soil in Tyva Republic, Cenral Asia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.028>
- Dhaliwal S.S., Singh J., Taneja P.K., Manda A. Remediation Techniques for Removal of Heavy Metals from the Soil Contaminated through Different Sources: A Review // *Environmental Science Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- Danukalova G., Osipova E., Yakovlev A., Yakovleva T. Biostratigraphical characteristic of the Holocene deposits of the Southern Urals // *Quaternary International*. 2014. Vol. 328–329. P. 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.065>
- Gertsen M., Perelomov L., Kharkova A., Burachevskaya M., Hemalatha S., Atroshchenko Y. Removal of Lead Cations by Novel Organoclays Derived from Bentonite and Amphoteric and Nonionic Surfactants // *Toxics*. 2024. Vol. 12. No. 10. P. 713. <https://doi.org/10.3390/toxics12100713>
- Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shuteleva I. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region) // *Geosciences*. 2018. Vol. 8. No. 9. P. 313. <https://doi.org/10.3390/geosciences8090313>
- Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J., Bednarz K. Possibilities of heavy metals available for plants determination in the soil of an industrial zone // *Ecological Chemistry and Engineering*. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 251–260.
- Jiang Y., Hu B., Sh, H., Yi L., Chen S., Zhou Y., Cheng J., Huang M., Yu W., Sh, Z. Pollution and risk assessment of potentially toxic elements in soils from industrial and mining sites across China // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 336. P. 117672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117672>
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. CRC press: Boca Raton, FL, 2010. 548 p.
- Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Mitenko G.V. The effect of changes vegetation cover on the chemical properties of steppe soils during climate aridization // *Plant and Soil*. 2023. Vol. 491. P. 265–484. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05704-x>
- Lapteva E., Korona O. The dynamics of the forest steppe vegetation of the southern Trans-Ural plain in the Holocene: Natural changes and anthropogenic influence, Multidisciplinary Investigations of the Bronze Age Settlements in the Southern Trans-Urals. P. Krause, L.N. Koryakova (eds.). Bonn: Habelt, 2013. P. 327–342.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F. Archaeological ash deposits and soils formed on ash in the south of the East European Plain // *Quaternary International*. 2022. Vol. 618. P. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.030>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Marinina O.A., Ukrainskiy P.A., Goleusov P.V. Features of Soil Organic Carbon Transformations in the Southern Area of the East European Plain // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. No. 9. P. 278. <https://doi.org/10.3390/geosciences13090278>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies // *The Holocene*. 2017. Vol. 27. No. 6. P. 847–859. <https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Nowaczinski E., Schukraft G., Rassmann K., Hecht S., Texier F., Eitel B., Bubenzer O. Geophysical-Geochemical Reconstuction of Ancient Population Size – the Early Bronze Age Settlement of Fidvár (Slovakia) // *Archaeological Prospection*. 2013. Vol. 20. No. 4. P. 267–283. <https://doi.org/10.1002/arp.1460>
- Opekunova M.G., Opekunov A.Y., Somov V.V., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals) // *Catena*. 2020. Vol. 189. P. 104512. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104512>
- Panova N.K., Antipina T.G. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowiński M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // *Quaternary Science Review*. 2020. Vol. 249. P. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>
- Stobbe A., Gumnior M., Ruhl L., Schneider H. Bronze Age human-landscape interactions in the southern Transural steppe – Evidence from high-resolution palaeobotanical studies // *The Holocene*. 2016. Vol. 26. No. 10. P. 1692–1710.
- Suleymanov P., Obydenova G., Kungurtsev A., Atnabaev N., Komissarov M., Gusarov A., Adelmurzina I., Suleymanov, A., Abakumov E. Human-Altered Soils at an Archeological Site of the Bronze Age: The Tyater-Araslanovo-II Settlement, Southern Cis-Ural Region // *Quaternary*. 2021. Vol. 4. No. 4. P. 32. <https://doi.org/10.3390/quat4040032>
- Thiemeyer H., Peters S. Landscape development and soils around the Bronze Age settlement Kamennyi Ambar, southern Trans-Urals // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.026>

Wuana P.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation // International Scholarly Research Notices. 2011. No. 1. P. 402647. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Zhang S., Yang Y., Storozum M. J., Li H., Cui Y., Dong G. Copper smelting and sediment pollution in Bronze Age China: A case study in the Hexi corridor, Northwest China // Catena. 2017. Vol. 156. P. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.001>

Поступила в редакцию 05.12.2024

Принята 17.01.2025

Опубликована 25.05.2025

Сведения об авторах:

Валентина Евгеньевна Приходько – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пушкино, Россия); valprikhodko@rambler.ru

Савельев Никита Сергеевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа, Россия); sns_1971@mail.ru

Котов Вячеслав Георгиевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Отдел археологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа, Россия); kslav1@yandex.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License

Soil and geochemical study of chernozems and settlement cultural layers (dated from Paleolithic to Medieval ages) in the mining Urals region

© 2025 V. E. Prikhodko ¹, N. S. Savelev ², V. G. Kotov ²

¹Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, RAS, Pushchino, Moscow region, Russia. E-mail: valprikhodko@rambler.ru

²Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia. E-mail: sns1971@mail.ru, kslav1@yandex.ru

The aim of the study was to characterize soil and geochemical properties of the cultural layers (CL) and chernozems of eight settlements dated from the Paleolithic to the Medieval Ages in the mining Southern Urals.

Methodology. Together with archeologists we studied pedological, geochemical and microbiological properties of soils and CL of eight settlements, dating 136–2,5 ka BP and located along the slope of the Southern Urals mountains. The sites are located on the terraces of small rivers of the Ural River basin, used as moderately grazed pastures, except for one site (Telyashevo-4, 3,9–3,45 ka BP) used as arable land. Samples were collected sequentially from each 5-cm layer to the parent rock. From the 0–30 cm layer samples were taken in three replicates. The chemical and physical characteristics of soils and cultural layers were determined by conventional methods. Microbial biomass was estimated by substrate-induced respiration with glucose addition; soil basal respiration was measured by gas chromatography after seven days of moist soil incubation. Determination of 15 macro- and trace elements was performed by X-ray fluorescence analysis on the Spectroscan Max-GV device.

Main results. Most of the CL had developed on chernozems, at a depth from 3–25 cm to 40–60 cm. The 0–10 cm CL layer contained 6–13,7% of organic matter (C_{org}) due to current soil processes. In the Ishkulovo CL (0,6–0,8 ka BP), located below 80 cm, C_{org} decreased to 1,3% due to the lack of fresh organic material. The CL and soils were found to have good structure, no salinization, increased anthropogenic phosphorus (0,2–0,4%) and exchangeable calcium, near neutral pH. In the Tashtuy-1 CL (19th century AD) pH was alkaline due to the carbonate presence. The development of ancient settlements took place in periods with a favorable paleoclimate, according to the published data. Such climate facilitated productive landscapes, ensuring the development of husbandry and agriculture. Due to their properties, chernozems have a high buffering capacity, a strong bond with heavy metals, high

content of microbial biomass (520–680 $\mu\text{g C/g}$ of soil in the 0–10 cm layer) and soil respiration rate (0,2–1,0 $\text{C-CO}_2 \mu\text{g/g}$ of soil per hour).

Conclusion. In chernozems and cultural layers of ancient settlements of different ages at the Southern Urals, accumulation of pollutants of the I (arsenic, lead, zinc, chromium) and II (cobalt, copper, nickel) hazard classes was shown to be several times higher than the lithosphere clark value, albeit rarely higher than the permissible content for humans, which is mainly due to the natural anomaly of the Urals Mountains and, to a lesser extent, the proximity (18–60 km) to the Magnitogorsk Metallurgical plant. Favorable properties of soils and CL, namely high content of C_{org} , fine fractions and exchangeable calcium, absence of salinization, near neutral pH cause strong adsorption of heavy metals, not affecting negatively soil microbial biomass and soil basal respiration. The study provided detailed data on the chemical elements content throughout soil profiles and CL, thus supplementing the information about their accumulation in the geochemical anomaly of the Southern Urals in the respective database, which is important for monitoring.

Keywords: pollutants; organic matter; natural and man-made accumulation of elements; pedological, microbiological and geochemical properties; chemical elements; archaeological finds.

How to cite: Prikhodko V.E., Savelev N.S., Kotov V.G. Soil and geochemical study of chernozems and settlements cultural layers (dated from Paleolithic to Medieval Ages) in the mining Urals region. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. 8(2). DOI: [10.31251/pos.v8i2.290](https://doi.org/10.31251/pos.v8i2.290) (in Russian with English abstract).

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our deep gratitude to archaeologists E.V. Ruslanov, Candidate of Historical Sciences, as well as M.M. Rumyantsev and S.Yu. Nikolaev for their help in collecting soil samples and providing valuable advices, and to schoolchildren from Polevskoy, Sverdlovsk Region, for their help in field work and preparing soil samples for analyses.

We would also like to thank two reviewers of the article for their valuable comments.

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 0191-2019-0046: “The influence of climatic fluctuations and anthropogenic activity on the evolution and current state of soils in southern Russia”), and the Russian Science Foundation (project No. 22-28-00815: “Comprehensive reconstruction of the settlement of the steppes of the Southern Urals from the Stone Age to the present: socio-cultural and environmental transformations”).

REFERENCES

- Aleksandrovskaya E.I., Aleksandrovskiy A.L. Historical and geographical anthropochemistry. Moscow: NIA-Priroda Press, 2003. 204 P. (in Russian).
- Aleksandrovsky A.L., Aleksandrovsk Aya E.I., Dolgikh A.V., Zamotaev I.V., Kurbatova A.N. Soils and cultural layers of ancient cities in the south of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 11. P. 1171–1181. <https://doi.org/10.1134/S1064229315110022>
- Archive of Climate Data (Electronic resource). <http://climatbase.ru> (accessed on 11.11.2023). (in Russian).
- Asylbaev I.G., Khabirov I.K. Content of heavy elements in soils of the Southern Urals. *Agrokhemia*. 2015. No. 11. P. 58–67. (in Russian).
- Bikmulina L.R., Yakimov A.S., Bazhenov A.I., Mosin V.S. Geochemical soil analysis and environmental reconstructions at the neolithic and chalcolithic settlement Kochegarovo-1 in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2017. Vol. 45. No. 2. P. 35–44. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2017.45.2.035-044>
- Borisova O.K., Zelikson E.M., Kremenetsky K.V., Novenko E.Yu. Landscape and climatic changes in Western Siberia in the Late Glacial and Holocene in the light of new palynological data. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2005. No. 6. P. 38–49. (in Russian).
- Borzunov V.A. On the cultural attribution of the Itkul and Gamayun-Itkul antiquities of the Trans-Urals. *Russian Archaeology*. 2019. No. 3. P. 131–146. <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>
- Bronnikova M.A., Lebedeva M.P., Konopliankova Y.V., Turova I.V., Agatova A.R., Nepop R.K. Record of Holocene Changes in High-Mountain Landscapes of Southeastern Altai in the Soil–Sediment Sequence of the Boguty River Valley. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. No. 12. P. 1381–1396. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120037>

- Vorobyova L.A. Handbook for Chemical Analysis of Soils. Moscow: Moscow University Press, 1998. 272 p. (in Russian).
- Vodyanitskii Y.N., Vasil'ev A.A., Chashchin A.N., Savichev A.T. The Influence of Technogenic and Natural Factors on the Content of Heavy Metals in Soils of the Middle CisUrals Region: The Town of Chusovoi and Its Suburbs. *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. No. 9. P. 1011–1021. <https://doi.org/10.1134/S1064229310090085>
- Garustovich G.N., Ovsyannikov V.V., Ruslanov E.V. The ancient settlement of Ufa-II during the Golden Horde Period. *Oriental Studies*. 2018. Vol. 38. Is. 4. P. 32–42. (in Russian). <https://doi.org/10.22162/2619-0990-2018-39-4-32-42>
- Grigoriev N.A. Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Ekaterinburg: Ural Branch of the RAS Press, 2009. 382 p. (in Russian).
- Demidenko G.A., Khizhnyak S.V. Correlation relations between paleolandscapes components of the south of Priyeniseyskaya Siberia in the Holocene. *Bulletin of Krasnoyarsk Agrarian University*. 2018. No. 3. P. 206–210. (in Russian).
- Dergacheva M.I., Ochur K.O. Environment changes reconstruction by pedohumic method in the Central Tuva Hollow during Holocene period. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2012. No. 1. P. 5–17. (in Russian). <https://www.lib.tsu.ru/mminfo/000063105/bio/17/image/17-005.pdf>
- Dubinina M.V., Elesina V.V., Bobrova Z.M. Study of soil pollution in the territory of Magnitogorsk. *The Theory and Process Engineering of Metallurgical Production*. 2013. No. 1(13). P. 54–57. (in Russian).
- Zaikov V.V., Yuminov A.M., Dunaev A.Yu., Zdanovich G.B., Grigoriev S.A. Geological and mineralogical studies of ancient copper mines in the Southern Urals. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2005. No. 4(24). P. 101–114. (in Russian).
- Epimakhov A.V., Mosin V.S. Chronology of the Trans-Ural Chalcolithic. *Bulletin of Archaeology, Anthropology & Ethnology*. 2015. No.4(31). P. 27–37. (in Russian).
- Eremchenko O.Z., Chudinova L.A. Microelement composition of soils and vegetation of the protected forest-steppe under technogenesis conditions. *Modern problems of science and education*. 2012. No. 5. P. 279–285. (in Russian). <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7050>
- Ivanov I.V., Prikhodko V.E., Kalinin P.I., Zamotaev I.V., Manakhov D.V., Novenko E.Y., Markova L.M., Plaksina A.L. Synlithogenic Evolution of Floodplain Soils in Valleys of Small Rivers in the Trans-Ural Steppe. *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 6. P. 593–609. <https://doi.org/10.1134/S1064229319060061>
- Ilyin V.B. Heavy metals and non-metals in the soil-plant system. Ed. A.I. Syso. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2012. 220 p. (in Russian).
- Kazdym A.A. Technogenic sediments of ancient and modern urbanized areas (paleoecological aspect). Moscow: Nauka Publ., 2006. 157 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of the USSR / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Frieve. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian).
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarks of chemical elements as standards of comparison in ecogeochemistry. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2015. No. 2. P. 7–17. (in Russian).
- Kovaleva N.O., Reshetnikov P.A., Kovalev I.V. Phosphorus in cultural layers and soils of urban ecosystems. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2021. Vol. 76. No. 4. P. 217–226. <https://doi.org/10.3103/S0147687421040050>
- Kotov V.G. Paleolith. History of the Bashkir people. Ed. M.M. Kulsharipov. Vol. 1. Moscow: Nauka Publ., 2009. P. 23–53. (in Russian).
- Kotov V.G., Rummyantsev M.M. The phenomenon of the use of natural forms in the Paleolithic of Eurasia: “pebble sculptures”. *Journal of Historical, Philological and Cultural Studies*. 2018. No. 2(60). P. 136–151. (in Russian). <https://doi.org/10.18503/1992-0431-2018-2-60-136-15>
- Kotov V.G., Savelev N.S. Eneolithic site Sabakty-8 in the Bashkir Trans-Urals. *Ufa Archaeological Herald*. 2007. Vol. 6–7. P. 12–18. (in Russian).
- Kurganova I.N., de Gerenyu V.O.L., Lanco J.F.G., Oehm C.T. Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, mediterranean, and tropical monsoon climates. *Eurasian Soil Science*. 2012. Vol. 45. No. 1. P. 68–79. <https://doi.org/10.1134/S1064229312010085>
- Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Stolba V.F. Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol. 49. No. 8. P. 846–858. <https://doi.org/10.1134/S1064229316080056>

- Matyushin G.N. Eneolithic of the Southern Urals: forest-steppe and steppe. Moscow: Nauka Publ., 1982. 331 p. (in Russian).
- Makhonina G.I., Valdaiskikh V.V. Archaeological soil science in the system of knowledge about the relationship between man and nature. *Izvestiya Ural Federal University Journal*. 2007. Vol. 50. No.21. P. 220–224. (in Russian).
- Molodin V.I., Epimakhov A.V., Marchenko Zh.V. Radiocarbon chronology of the south Urals and the south of the Western Siberia cultures (2000–2013-years investigations): principles and approaches, achievements and problems. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*. 2014. Vol. 13. No. 3. P. 136–167 (in Russian).
- Nekrasova O.A., Dergacheva M.I. The amount of trace elements in ordinary chernozems and their humic acids (on an example of South Urals). *Tomsk State University Journal of Biology*. 2011. Vol. 16. No. 4. P. 7–16. (in Russian).
- Nekrasova O.A., Uchaev A.P. Paleoecological conditions in the Subboreal and Subatlantic periods of the forest-steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik Orenburg State University*. 2015. Vol. 185. No. 10. P. 181–185. (in Russian).
- Opekunova M.G., Somov V.V., Papyan E.E. Soil contamination in the impact zone of mining enterprises in the Bashkir Transural region. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 6. P. 732–745. <https://doi.org/10.1134/S1064229317060084>
- Pampura T.V., Demkin V.A., Probst A., Ladonin D.V. Lead content and isotopic composition in submound and recent soils of the Volga upland. *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 11. P. 1059–1075. <https://doi.org/10.1134/S1064229313090020>
- Perelman A.I. Geochemistry. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1989. 528 p. (in Russian).
- Plekhanova L.N. Features of cultural layers of unfortified settlements of the Bronze Age of the Steppe Trans-Urals. *Vestnik ChelSU*. 2006. No. 3. P. 42–63. (in Russian).
- Plekhanova L.N. Buried soils of archaeological objects as the base of paleoclimatic reconstructions second half of the Holocene. *Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*. 2017. Vol. 28. No. 3. P. 33–50. <https://doi.org/10.215130207-2564-2017-3-33-50>
- Prikhodko V.E., Ivanov I.V., Zdanovich D.G., Zdanovich G.B., Manakhov D.V., Inubushi K. Arkaim – a fortified settlement of the Bronze Age of the steppe Trans-Urals: soil-archaeological studies. Ed. A.L. Alexandrovsky. Moscow: Publishing House "Typography", 2014. 264 p. (in Russian).
- Prikhod'ko V.E., Rogozin E.P., Chaplygin M.S. Reconstruction of Climate, Soil, and Vegetation Conditions of the Srubnaya Cultural Epoch on the Basis of Kurgan Studies in the Cis-Ural Forest-Steppe of the Republic of Bashkortostan. *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol. 49. No. 9. P. 988–1002. <https://doi.org/10.1134/S1064229316090118>
- Prikhodko V.E., Azarenko Yu.A. The use of ancient different age burned soils as markers of contamination with chemical elements of modern soils and ecological conditions of the past. In book: *Fundamental principles of biogeochemical technologies and prospects for their use in nature conservation, agriculture and medicine. Proceedings of the XII International Biogeochemical School dedicated to the 175th anniversary of the birth of V.V. Dokuchaev* (Tula, 16–18 September, 2021). Tula: Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy, 2021. P. 182–186. (in Russian).
- Prikhodko V.E., Pivovarova E.G., Polyanskaya L.M., Rogozin E.P., Tishkin A.A. Complex study of Berezovaya Luka settlement of the bronze age (forest-steppe Altai). In book: *Modern solutions to current problems of Eurasian archeology. Collection of scientific articles*. Barnaul: Altai State University, 2023. P. 242–246. (in Russian). <https://doi.org/10.14258/msapea.2023.3.50>
- Prokhorova N.V., Golovlyov A.A., Prokopenko I.V., Semykin Yu.A., Bocharov S.G., Sitdikov A.G. Soil science and archeology: interrelation in research of Bulgarian ancient settlement. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018. Vol. 16. No. 1(4). P. 1105–1110. (in Russian).
- Ryabogina N.E., Yuzhanina E.D., Afonin A.S., Yakimov A.S., Novikov I.K. Paleoenvironmental studies of lakeside watershed settlements of the Tobol-Ishim interfluvium (Zolotoe 1 settlement. Kurgan oblast). *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*. 2022. No. 4(59). P. 43–55. (in Russian). <https://doi.org/10.208742071-0437-2022-59-4-4>
- Savelev N.S. Monuments of the Gamayun and Kurmantau cultures of the south-western limits of the Ural Mountain region. *Ufa Archaeological Herald*. 2018. No. 18. P. 24–42. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav.2018.18.003>
- Savelev N.A. Pshenichnyuk and Filippovka: 35 years of research. *Ufa Archaeological Herald*. 2021. Vol. 21. No. 1. P. 6–17. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav/2021.21.1.001>
- Savelev N.S., Nikolaev S.Yu., Rumyantsev M.M., Ruslanov E.V., Saveleva A.G., Suleymanov R.R., Khurmaev A.A., Kungurtsev A.Ya. Complex of artefacts of southern Urals bashkirs of 18th–19th centuries (according to data from Imsyak-Tau-1 settlement in mountain-steppe Transurals). *Ufa Archaeological Herald*. 2023. Vol. 23. No. 2. P. 300–319. (in Russian). <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.009>

- Sembaev Zh.H., Khanturina G.R., Baktybaeva Z.B., Suleymanov R.A., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. Soil contamination of heavy metals of the mining territories the Republic of Kazakhstan and Bashkortostan. Occupational medicine and human ecology. 2019. No. 1(17). P. 16–22. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2019-10003>
- SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans". (in Russian).
- Seregina Yu.Yu., Semenova I.N., Kuzhina G.Sh. Complex assessment of pollution by heavy metals of a soil cover of a coastal zone of river White Beloretsky region of the republic of Bashkortostan. Live and Bio-Abiotic Systems. 2013. No. 3. P. 12.
- Sereda N.A., Bayazitova P.I., Nafikova M.V., Bayazitova L.I. Heavy metals in soils and agricultural crops of forest steppe in Bashkortostan Republic. Agrochemical Herald. 2016. No. 4. P. 2–5. (in Russian).
- Somov V.V., Opekunov. A. Yu., Opekunova. M.G., Dergileva E.V., Korshunova D.V., Kukushkin S. Yu. Speciation of metals in soils of steppe landscapes affected by mining (Southern Urals). Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences. 2023. Vol. 68. No. 4. (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.409>
- Suleymanov R.R., Suleymanov A.R., Kungurtsev A.Y., Ovsiyannikov V.V., Kolonskih A.G., Abakumov E.V. Soil-Archaeological Study of the Votikeevo Medieval Archeological Site in the Northern Forest-Steppe Zone of the Southern Cis-Ural Region. Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No. 3. P. 283–293. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030084>
- Syso A.I. Regularities of distribution of chemical elements in parent rocks and soils of Western Siberia. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2007. 277 p. (in Russian).
- Sycheva S.A., Leonova N.B., Pustovoitov K.E., Sedov S.N., Chichagova O.A. Cultural layers as a memory of anthropogenic soil formation and lithogenesis. In book: Soils Memory. Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions. V.O. Targulyan, S.V. Goryachkin (eds.). Moscow: LKI Publisher, 2008. P. 651–675. (in Russian).
- Tkachev V.V. Genesis of Alakul culture in the context of mining archeology. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20. No. 3–2(83). P. 517–526. (in Russian).
- Khabirov I.K., Batanov B.N., Gabbasova I.M., Asylbaev I.G., Yakupov I.J. Mining complex influence of of Zauralie on chemical structure of soil. Vestnik of the Orenburg State University. 2007. No. 1(64). P. 111–114. (in Russian).
- Khaziev F.Kh., Mukatanov A.Kh., Khabirov I.K., Koltsova G.A., Gabbasova I.M., Ramazanov P.Ya. Soils of Bashkortostan. Vol. 1. Ufa: Gilem Press. 1995. 384 p. (in Russian).
- Khasanova R.F., Semenova I.N., Suyundukov Ya.T., Rafikova Yu.S., Biktimerova G.Ya., Ilbulova G.R., Kuzhina G.Sh., Ilyina I.V. Ecological estimation of pollution by heavy metals of soils of industrial zones of Sibay city. Vestnik of the Orenburg State University. 2017. No. 12(212). P. 74–77. (in Russian).
- Khokhlova O.S., Morgunova N.L., Khokhlov A.A., Gol'eva A.A. Climate and Vegetation Changes over the Past 7000 Years in the Cis-Ural Steppe. Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 5. P. 506–517. <https://doi.org/10.1134/S106422931805006X>
- Chaplygin M.S. The study history of funerary monuments of the srubnaya culture in Bashkir Cisurals. Ufa Archaeological Herald. 2013. No. 13. P. 40–62. (in Russian).
- Yablonsky L.T. Gold of the Sarmatian leaders. Elite necropolis Filippovka 1 (based on materials from excavations in 2004–2009). Collection catalogue. M.G. Moshkova (ed.). Book 1. Moscow: Institute of Archaeology RAS Press, 2013. 232 p. (in Russian).
- Yakimov A.S., Kaidalov A.I., Sechko E.A., Pustovoytov K.E., Kuzyakov Y.V. Soils of an Early Medieval (4th–6th centuries) settlement in the Middle Tobol region and their paleogeographic implication. Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. 2012. Vol. 40. No. 4. P. 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.aeae.2013.04.014>
- Acksel A., Baumann K., Hu Y., Leinweber P. A Look into the Past: Tracing Ancient Sustainable Manuring Practices by Thorough P Speciation of Northern European. Soil Systems. 2019. Vol. 3 No. 4. P. 72. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3040072>
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
- Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-years old pollution (Mont-Lozere, France). Environmental Science & Technology. 2006. Vol. 40. No. 17. P. 5319–5326. <https://doi.org/10.1021/es0606430>

- Branvall M.-L., Bindler P., Renberg I., Emteryd O., Bartniki J., Billstrom K. The Medieval metal industry was the cradle of modern large-scale atmospheric lead pollution in northern Europe. *Environmental Science & Technology*. 1999. Vol. 33. No. 24. P. 4391–4395. <https://doi.org/10.1021/es990279n>
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils. *Science of the Total Environment*. 2000. Vol. 249. No. 1–3. P. 257–280. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00522-7)
- Blyakharchuk T., Prikhodko V., Kilunovskaya M., Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen records derived from burial mounds soil in Tyva Republic, Cenral Asia // *Quaternary International*. 2019. Vol. 507. P. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.028>
- Dhaliwal S.S., Singh J., Taneja P.K., Manda A. Remediation Techniques for Removal of Heavy Metals from the Soil Contaminated through Different Sources: A Review. *Environmental Science Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- Danukalova G., Osipova E., Yakovlev A., Yakovleva T. Biostratigraphical characteristic of the Holocene deposits of the Southern Urals. *Quaternary International*. 2014. Vol. 328–329. P. 244–263. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.065>
- Gertsen M., Perelomov L., Kharkova A., Burachevskaya M., Hemalatha S., Atroshchenko Y. Removal of Lead Cations by Novel Organoclays Derived from Bentonite and Amphoteric and Nonionic Surfactants. *Toxics*. 2024. Vol. 12. No. 10. P. 713. <https://doi.org/10.3390/toxics12100713>
- Golyeva A., Khokhlova O., Lebedeva M., Shcherbakov N., Shuteleva I. Micromorphological and Chemical Features of Soils as Evidence of Bronze Age Ancient Anthropogenic Impact (Late Bronze Age Muradymovo Settlement, Ural Region). *Geosciences*. 2018. Vol. 8. No. 9. P. 313. <https://doi.org/10.3390/geosciences8090313>
- Greinert A., Fruzińska R., Kostecki J., Bednarz K. Possibilities of heavy metals available for plants determination in the soil of an industrial zone. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 251–260.
- Jiang Y., Hu B., Sh, H., Yi L., Chen S., Zhou Y., Cheng J., Huang M., Yu W., Sh, Z. Pollution and risk assessment of potentially toxic elements in soils from industrial and mining sites across China. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 336. P. 117672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117672>
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. CRC press: Boca Raton, FL, 2010. 548 p.
- Kudrevatykh I.Y., Kalinin P.I., Mitenko G.V. The effect of changes vegetation cover on the chemical properties of steppe soils during climate aridization. *Plant and Soil*. 2023. Vol. 491. P. 265–484. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05704-x>
- Lapteva E., Korona O. The dynamics of the forest steppe vegetation of the southern Trans-Ural plain in the Holocene: Natural changes and anthropogenic influence, Multidisciplinary Investigations of the Bronze Age Settlements in the Southern Trans-Urals. P. Krause, L.N. Koryakova (eds.). Bonn: Habelt, 2013. P. 327–342.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F. Archaeological ash deposits and soils formed on ash in the south of the East European Plain. *Quaternary International*. 2022. Vol. 618. P. 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.030>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A., Marinina O.A., Ukrainskiy P.A., Goleusov P.V. Features of Soil Organic Carbon Transformations in the Southern Area of the East European Plain. *Geosciences*. 2023. Vol. 13. No. 9. P. 278. <https://doi.org/10.3390/geosciences13090278>
- Maslennikova A.V., Udachin V.N. Lakes ecosystem response to Holocene climate changes and human impact in the Southern Urals: Diatom and geochemical proxies. *The Holocene*. 2017. Vol. 27. No. 6. P. 847–859. <https://doi.org/10.1177/0959683616675942>
- Nowaczinski E., Schukraft G., Rassmann K., Hecht S., Texier F., Eitel B., Bubenzer O. Geophysical-Geochemical Reconstruction of Ancient Population Size – the Early Bronze Age Settlement of Fidvár (Slovakia). *Archaeological Prospection*. 2013. Vol. 20. No. 4. P. 267–283. <https://doi.org/10.1002/arp.1460>
- Opekunova M.G., Opekunov A.Y., Somov V.V., Kukushkin S.Y., Papyan E.E. Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals). *Catena*. 2020. Vol. 189. P. 104512. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104512>
- Panova N.K., Antipina T.G. Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains. *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.035>
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowinski M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity. *Quaternary Science Review*. 2020. Vol. 249. P. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>
- Stobbe A., Gumnior M., Ruhl L., Schneider H. Bronze Age human-landscape interactions in the southern Transural steppe – Evidence from high-resolution palaeobotanical studies. *The Holocene*. 2016. Vol. 26. No. 10. P. 1692–1710.

Suleymanov P., Obydenнова G., Kungurtsev A., Atnabaev N., Komissarov M., Gusarov A., Adelmurzina I., Suleymanov, A., Abakumov E. Human-Altered Soils at an Archeological Site of the Bronze Age: The Tyater-Araslanovo-II Settlement, Southern Cis-Ural Region. Quaternary. 2021. Vol. 4. No. 4. P. 32. <https://doi.org/10.3390/quat4040032>

Thiemeyer H., Peters S. Landscape development and soils around the Bronze Age settlement Kamennyi Ambar, southern Trans-Urals. Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.026>

Wuana P.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. International Scholarly Research Notices. 2011. No. 1. P. 402647. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Zhang S., Yang Y., Storozum M. J., Li H., Cui Y., Dong G. Copper smelting and sediment pollution in Bronze Age China: A case study in the Hexi corridor, Northwest China. Catena. 2017. Vol. 156. P. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.001>

Received 5 December 2024

Accepted 17 January 2025

Published 25 May 2025

About the authors:

Valentina E. Prikhodko – Doctor of biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS (Pushchino, Russia); valprikhodko@rambler.ru

Nikita S. Savelev – Candidate of Hystorical Sciences, Senior Researcher, Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS (Ufa, Russia); sns1971@mail.ru

Vyacheslav G. Kotov – Candidate of Hystorical Sciences, Senior Researcher, Department of Archaeology, Ufa Federal Research Center, RAS (Ufa, Russia); kslav1@yandex.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under Creative Commons Attribution 4.0 License