

УДК 631.487+903

**ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ
РАЗНОВРЕМЕННЫХ ПОЧВ В ГОРНОРУДНЫХ ЛАНДШАФТАХ
БАССЕЙНА РЕКИ СРЕДНЯЯ КАРГАЛКА
(ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Лисецкий Ф.Н.^{1,2}, Ткачев В.В.¹

Email: liset@bsuedu.ru, vit-tkachev@yandex.ru

*¹Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
Оренбург, Россия*

*²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», Белгород, Россия*

Представлены результаты изучения геохимических особенностей горных пород и сформированных на них почв в горно-перерабатывающих меднорудных комплексах Каргалинского района Приуральского горно-металлургического центра эпохи бронзы. Используя данные концентраций 24 металлов, а также 12 тяжелых металлов и металлоидов, проведено разделение почвообразующих пород на две обобщенные группы в каждой выборке методом кластерного анализа и установлены причины их различий. Наиболее значимыми диагностическими критериями в иерархической классификации пород выступает содержание меди, кобальта и бария. Региональные особенности почв обусловлены высокими концентрациями литогенных элементов, включая такие тяжелые металлы и металлоиды, как Cu, Ba, Cr, Pb, Co и As.

Ключевые слова: меднорудные районы, эпоха бронзы, посттехногенные ландшафты, биогеохимия почв, геохимия материнских пород

В пределах Общесыртовско-Предуральской возвышенной провинции ландшафтам северной степи присуща территориальная приуроченность археологических памятников срубной культуры поздней бронзы и обнаруженных меднорудных полей. Новые представления о границах Приуральского горно-металлургического центра эпохи бронзы, как крупного историко-металлургического образования [8], позволили выделить круг горно-металлургических районов (ГМР), с которыми связаны геохимические группы меднорудных источников, связанных с залеганием медистых песчаников верхнепермского периода. Сравнительно недавно открытый, но уже показавший свою исключительную научную значимость Каргалинский ГМР [1, 8], имеет перспективы расширения спектра мультидисциплинарных исследований посттехногенных ландшафтов.

Полевой этап исследований Каргалинского ГМР в июне 2025 г. определялся планом работ по гранту Российского научного фонда «Технологии горно-металлургического производства бронзового века в эволюции культурно-исторического ландшафта Уральского региона». Всего было заложено 20 основных разрезов (прикопок) и отобрано 84 образца почв

и пород на двух горно-перерабатывающих комплексах (ГПК) Белоусовского и Михайловского рудников (рис. 1). Отборы проб горных пород проводили на разных глубинах (в диапазоне от 20 до 95 см), а в длинных шурфах с учетом литологической разнородности. Поэтому с одним полевым номером разреза могут соотносится несколько объектов анализа.

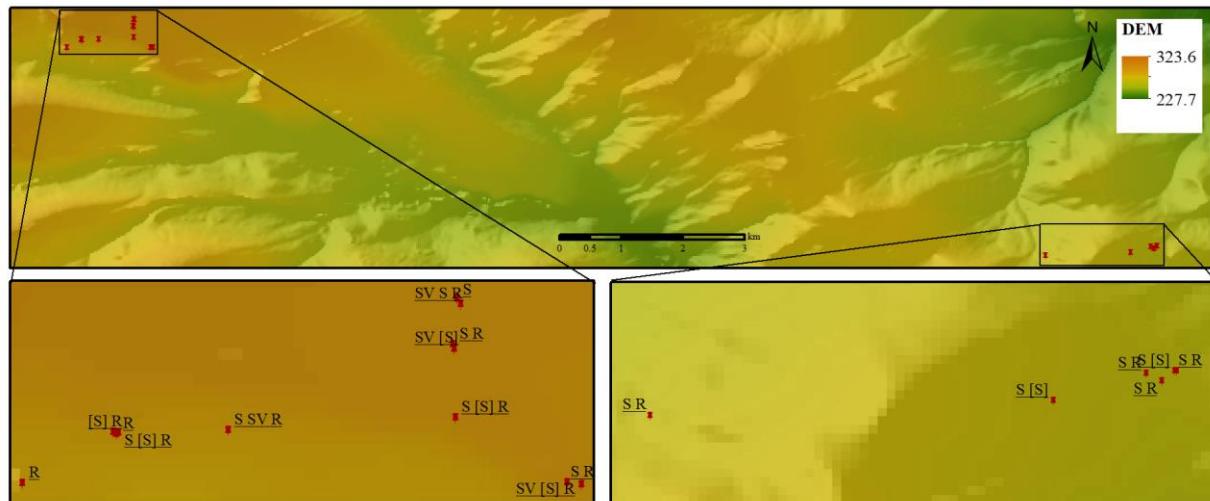


Рис. 1. Местоположение ключевых изученных объектов в 2025 году (в подложке ЦМР FABDEM). Обозначения: S – разновременные почвы на горнорудных отвалах, включая погребенные почвы [S]; SV – целинные аналоги почв; R – материнские породы

Геохимические особенности почв и почвообразующих пород были охарактеризованы по концентрациям 24 металлов и оксидов, полученных методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV». С целью сравнения фактических концентраций валовых форм 12 тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) с экологическими нормативами использовали значения ПДК в почвах для 10 элементов, установленные ГОСТ, а по железу и барнию, ранее обоснованные нормативы [5]. Классификационное сходство объектов определяли с помощью кластерного анализа (метод Уорда, Евклидова дистанция, значения нормированы по среднеквадратическому отклонению). Окраску почв и пород определяли по шкале «Munsell color» [9] в лабораторных условиях во влажном и сухом состоянии, с учетом того обстоятельства, что усиление или ослабление интенсивности окраски зависит от степени увлажнения почвы [10].

Датировки ключевых объектов были получены ранее как по находкам керамики срубной культуры позднего бронзового века, так и методом радиоуглеродного датирования по костям животных, что исключает резервуарный эффект. В ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США) для Белоусовского ГПК-1 получена дата 3430 ± 20 BP (IGAN AMS – 8130), для карьера

№ 1 Белоусовского рудника – 3370 ± 20 BP (IGAN AMS – 8132), что в калиброванных значениях соответствует XVIII-XVII вв. до н. э. Согласно современным представлениям о радиоуглеродной хронологии срубной культуры Оренбургского Предуралья, обсуждаемые памятники горной археологии относятся к ее развитому этапу [3].

Материнские породы, формируя исходную матрицу новообразованной почвы, по своему литологическому, минералогическому, гранулометрическому и валовому химическому составу, во многом определяют особенности физико-химических свойств конкретных почв. В полевых условиях отчётливо проявляется пестрота окраски материнских пород, что нередко наследуется и образованными на них почвами. Используя в лабораторных условиях шкалу Манселла для сухих образцов, обобщенно можно выделить две большие группы пород: 1) с диапазоном окраски от красного (2.5 YR 5/6), желтовато-красного (5 YR 5/6) и до вариаций красновато-желтого и красновато-коричневого цветов; 2) более широко распространенная группа серых и серовато-коричневых пород (10 YR 5/1 и 10 YR 5/2) с шестью различными вариациями серого и коричневого цвета. Очевидное предположение о минералогических и геохимических предпосылках различий окраски пород в наиболее контрастных группах подтверждается химико-аналитическими данными. Красноцветные материнские породы имеют геохимическое сходство по 17 основным металлам и оксидам с породами серого и коричневого цвета, за исключением более высоких концентраций Pb (в 1,5 раза), Cr (в 1,2 раза), Rb (в 1,1 раза), а также более низких концентраций P и S (в 0,8 раза), Ba (в 0,7 раза), но особенно Cu (в 0,4 раза (81 ± 7 мг/кг со значительной вариацией ($V=26\%$) против 191 ± 45 мг/кг ($V=85\%$)).

Геохимические особенности различных типов материнских пород в горнорудных ландшафтах района исследований характеризует ранжированный убывающий ряд частоты превышений (в %) концентраций ТММ относительно темно-коричневого (7.5YR 3/2) суглинка с глубины 42-45 см в горно-перерабатывающем комплексе Белоусовского рудника (ГПК-1), выбранного для пород в качестве регионального геохимического фона (РГФ): As, Sr (100) > Cr, V (93) > Ba (80) > Cu (60) > Pb, Fe (53) > Ni (47) > Co, Zn (33). Концентрации в породах марганца в среднем соответствуют параметру РГФ.

Распределение 12 ТММ относительно норм ПДК (ОДК), принятых для почв, имеет определённые региональные особенности, что отражается в ранжированном ряду частоты превышений (в %) концентраций ТММ: Cu, Cr, Ni (100) > Fe (73) > As (33) > V, Ba (7). Не выделяются превышениями над ПДК (ОДК) такие ТМ, как Co, Mn, Zn, Pb, Sr. Таким образом, почвы, которые сформированы на материнских породах в горнорудных ландшафтах района исследований (рис. 2), из-за унаследованной высокой концентрации металлов первого (хром, мышьяк) и второго (медь и никель) классов опасности, обладают предпосылками

фитотоксичности, что может ограничивать продуктивность растительных сообществ и скорость педогенеза. Особенно ярко фитотоксичность пород проявляется на практически безжизненных (лишенных почвенно-растительного покрова, за исключением редких экземпляров кохии шерстистоцветковой (*Bassia laniflora*)) полях, которые определяются как древние обогатительные (шламовые) площадки, сформировавшиеся при пожоге руды, содержащей халькозин (CuS_2), как это демонстрируют данные из разр. 3, где содержание Cu достигает величины 1324 мг/кг. Медь это опасный фитотоксикант, который занимает одно из лидирующих мест в ряду самых токсичных тяжелых металлов (Лукин, 2023).



Рис. 2. Породы из Каргалинских рудников поздней бронзы: верхнепермские конгломераты (А), ископаемая древесина (Б), халькозин (В)

В чернозёмных почвах по мере увеличения доли органического вещества и при высоком содержании в материнских породах глинистых минералов (особенно монтмориллонита) медь, обладая высокой комплексообразующей способностью, накапливается в наиболее гумусированных слоях. Из-за геохимической специфики района исследования с широким распространением медьсодержащих минералов приведем сравнение с другими регионами. Если кларк меди в литосфере составляет 47 мг/кг, а содержание в материнских породах варьирует от 2 до 34 мг/кг при среднем значении 22 мг/кг [2], то в почвах мира кларк меди составляет 39 мг/кг при диапазоне фоновых концентраций 6-100 мг/кг [6]. Привлечение более конкретных данных по фоновым почвам района исследования – черноземам обыкновенным, показывает, что в центральном секторе Восточно-Европейской равнины концентрация меди в их гумусовом горизонте составляет 23 (10÷37) мг/кг [7], но в западном секторе в почвах агроландшафтов, в том числе при выращивании винограда, где используются медьсодержащие препараты, концентрация меди в слое 0-50 см больше – 54 (11÷182) мг/кг, а в пределе может достигать 500 мг/кг [2]. При этом следует отметить, что для валовых форм меди установлены нормативы ПДК/ОДК 55/132 мг/кг. То есть содержание меди на шламовых площадках выше

экологических нормативов на порядок, а помимо этого здесь отмечается превышение содержания Ni, Cr и Ba (2,6, 2,2 и 1,6 ПДК соответственно).

Анализ данных по 25 пробам горных пород, выступающих материнскими породами почв, показал, что по группе из 12 ТММ наибольшей ассоциативностью, определяемой по величине парной тесноты связи ($r > 0,60$), характеризуется ванадий, концентрации которого наиболее тесно ($r = 0,89-0,67$) сопряжены с Zn, Ni, Cu, Ba, Fe. Медь и барий ассоциированы с тремя элементами: Cu с (Ba, Zn, Pb), Ba с (Cu, Zn, V). У хрома и железа ассоциативные элементы идентичны (Co, Ni). У шести элементов обнаруживается связь концентраций только с одним из 12 элементов: Mn + Co, Co + Ni, Ni + Zn, Zn + Ba, As + Fe, Pb + Cu. Стронций имеет отрицательную корреляцию со всеми элементами, но наиболее значимо с Mn и Ni.

По всему перечню из 24 металлов и оксидов на высоком уровне величины объединения (D) (рис. 3, А) обособляется кластер №1 (из 13 видов пород), который отличается от кластера №2 (из 10 видов пород) по более высокой концентрации Cl (в 1,4 раза) и CaO (в 1,3 раза), но, прежде всего, характеризуется пониженным содержанием Cu (на 50 %), Co (на 40 %) и группы из Ni, Zn, Ba, Pb, Cr (на 20 %). Примечательно, что все объекты кластера №1 относятся к красноцветным материнским породам (их окраска во влажном состоянии характеризуется желто-красным тоном (2.5 YR, 5 YR и 7.5 YR)), а также к коричневым породам (разр. 5). У остальных объектов (кластер №2) цвет характеризуется оттенками серого и коричневого цвета. Особняком по геохимическому составу классифицируются темно-серый тонкий прослой (на глубине 41,5-45 см) над почвой, погребенной в срубное время (разр. 1 (ГПК-1), и шламовая площадка древних рудокопов (разр. 3). Эти два объекта, относительно близкие кластеру №2, характеризуются абсолютной самобытностью породы из разр. 3 по более высокой концентрации 11 элементов ранжированного списка (Cu, Ca, Ba, Pb, V, Zn, Cr, Ti, S, Al, Ni), чем в породе разр. 1. Это, по всей видимости, древняя дневная поверхность, где 36 веков назад был создан отвал из верхнепермских пластинчато-щебнистых пород смешанного типа. Она отличается от средних величин концентраций по объектам из кластера №2 по восьми элементам, представленных ранжированным списком: Ca, Pb, Cu, Sr, P, S, Cr, Mn. Следует отметить, что при иерархической классификации по совокупности геохимических данных наиболее сильным фактором выступает местоположение объекта (его позиция в горнорудном ландшафте).

Второй вариант иерархической классификации пород ограничивался набором из 12 ТММ, и в нем были исключены указанные выше особые объекты ГПК-1 (разр. 1 и 3). Как и на рис. 3, А, породы на рис. 3, В группируются в два кластера, которые имеют большее сходство, чем по совокупности 24 элементов. Анализ данных по объектам рис. 3, В, показал, что при сравнении средних величин по 12 ТММ кластер №2 отличается от кластера №1 более высоким содержанием 10 ТММ, кроме Pb и Sr. Наиболее

существенные различия отражает ранжированный ряд концентраций: Cu (1,8) > Co (1,5) > Ba (1,35) > Ni, Zn, As (1,2).

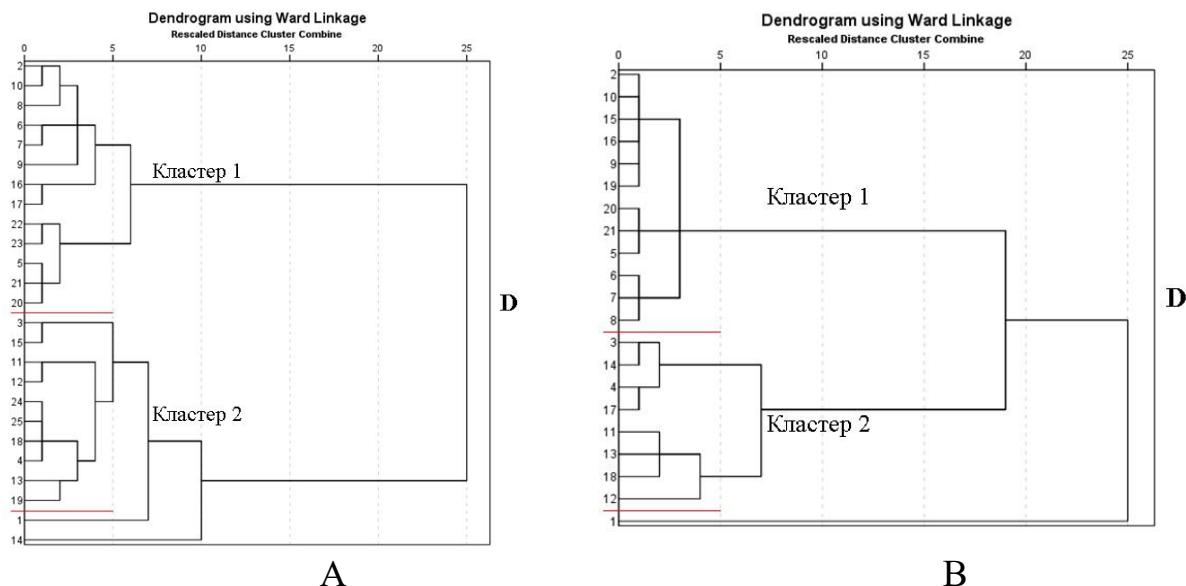


Рис. 3. Диаграмма кластерного анализа основных почвообразующих пород Каргалинского горнорудного района (по концентрации 24 металлов и оксидов (А) и по концентрации 12 ТММ (Б)). D – пороговое расстояние

Номера объектов на шкале Y(А): 1, 9 – (разр. 1); 2, 10, 11, 12 – (разр. 2); 3, 15 – (разр. 4); 4 – (разр. 7); 5 – (разр. 8); 6, 7 – (разр. 12); 8 – (разр. 14); 13 – (разр. 13); 14 – (разр. 3); 16, 17 – (разр. 5); 18 – (разр. 10); 19 – (разр. 11); 20 – (разр. 20); 21, 22, 23 – (разр. 16); 24, 25 – (разр. 18)

Номера объектов на шкале Y (Б): 8 – (разр. 1); 1, 9, 10, 11 – (разр. 2); 2, 13 – (разр. 4); 3 – (разр. 7); 4 – (разр. 8); 5, 6 – (разр. 12); 7 – (разр. 14); 12 – (разр. 13); 14, 15 – (разр. 5); 16 – (разр. 10); 17 – (разр. 11); 18 – (разр. 20); 19, 20, 21 – (разр. 16)

Особым геохимическим составом отличается красный (2.5 YR 5/6) суглинок под погребённой почвой разр. 2 (в 1 м от края обжиговой ямы ГПК-1), который выделяется, как от средних величин объектов кластера 2 пониженным содержанием 7 ТММ (от 19 до 65 %), так и от средних величин объектов кластера 1 пониженным содержанием 4 ТММ (от 23 до 78 %). Погребенные в эпоху бронзы почвы, сформированные на красновато-коричневых суглинках, при неглубоком залегании от дневной поверхности не были исключены от последующих педогенных трансформаций, они характеризуются богатым геохимическим составом, что их отличает даже от голоценовых целинных почв. При этом примечательны очень высокие величины коэффициента концентрации Co, Pb, Cu в гумусовых горизонтах, относительно пород (от 2,3 до 6,6) (у чернозема обыкновенного целинного максимальная степень обогащения почвы в сравнении с породой не превышает 1,5). Указанные особенности сближают погребенные почвы с разновременными дневными почвами, у которых высокие концентрации в гумусовых горизонтах отмечены по следующим элементам: Ca, Cu, Mn, P, Cu, As, Ba, Sr.

В анализируемых вариантах из семи почв района исследования по рядам аккумуляций биогенных химических элементов в гумусовом горизонте можно сформировать обобщенный ранжированный убывающий ряд по частоте встречаемости: Р (6) > К (4) > Mn, Zn, Ni, Al (3) > Fe (2). Такие биогеохимические признаки местных почв можно считать особенными с учётом того, что не менее часто в их наиболее плодородном слое представлены и литогенные элементы, в частности ТММ первого класса опасности: Cr (4) > Pb, Co (3) > As (2), а также медь (элемент 2-го класса опасности) – Cu (5), с которой, видимо, как и у пород, ассоциативно связан барий – Ba (4).

Полученные результаты литологических и геохимических предпосылок формирования разновременных почв послужат основой для корректного применения педохронологического метода изучения эволюции почв, ранее апробированного для поселений эпохи поздней бронзы [4].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-78-20015-П, <https://rscf.ru/project/21-78-20015/>

Литература

1. Богданов С. В. и др. Геоархеологическая система исторических медных рудников Приуральского (Каргалинского) степного горно-металлургического центра // Геоархеология и археологическая минералогия-2018. – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2018. – С. 121–133.
2. Кирилюк В. П. Микроэлементы в компонентах биосфера Молдовы. – Chisinau: Pontos, 2006. – 156 с.
3. Купцова Л. В., Моргунова Н. Л., Салугина Н. П., Хохлова О. С. Периодизация срубной культуры Западного Оренбуржья по археологическим и естественно-научным данным // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2018. – Т. 46, № 1. – С. 100-107.
4. Лисецкий Ф. Н., Черниенко Ю. А., Горбов В. Н. К вопросу о возможности педохронологического анализа поселений эпохи поздней бронзы Северо-Восточного Приазовья // История и археология Слободской Украины : Тезисы докладов и сообщений Всеукраинской конференции, посвященной 90-летию XII Археологического съезда, Харьков-Старый Салтов, 19–21 октября 1992 года. – Харьков: Харьковский государственный университет, 1992. – С. 143-145.
5. Лисецкий Ф. Н., Зеленская Е. Я. Различия в содержании тяжелых металлов в почвах Южного берега Крыма (пространственно-временной анализ) // Экосистемы. – 2023. – № 34. – С. 81-91.
6. Лукин С. В. Агроэкологическое состояние почв Центрально-Черноземного района. – Белгород : Константа-принт, 2023. – 372 с.
7. Протасова Н. А., Щербаков А. П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 368 с.
8. Ткачев В. В. Трансграничные зоны срубной и алакульской культур в степном Приуралье: физико-географический и горно-металлургический аспекты // Поволжская Археология. – 2020. – № 3(33). – С. 116-128.
9. Munsell A. H. Munsell soil color charts. – Gretag Macbeth : New Windsor, N.Y., 2000.
10. Sánchez-Marañón M., Huertas R., Melgosa M. Colour variation in standard soil-colour charts // Soil Research. – 2005. – V. 43. – No. 7. – P. 827-837.