

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ И ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Ф.Н. Лисецкий^{1,2}

¹Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Россия, Белгород
e-mail: liset@bsuedu.ru

Представлены новые результаты исследования почвенно-растительного покрова целинных степей и на горно-металлургических объектах меднорудных комплексов Каргалинского центра, связанных с формированием отвалов в бронзовом веке и в Новое время. Выполнен сравнительный анализ величин коэффициента биологического поглощения по сопряженным данным содержания химических элементов в зеленой фитомассе и почвах трех типов степей на особо охраняемых территориях Восточно-Европейской равнины для установления специфики эталонных экосистем Оренбургского Предуралья.

Ключевые слова: зональные эталоны почв, целинные степи, Приуральский горно-металлургический центр, меднорудные комплексы, срубная культура, посттехногенные ландшафты, геохимия почв, микроэлементы растительного вещества, степная подстилка.

Введение

В последнее время в составе междисциплинарных исследований ландшафтов степной зоны стала активно разрабатываться проблематика гармонизации задач по охране биологического и ландшафтного разнообразия с охраной объектов и территорий историко-археологического наследия [1-3]. Современные подходы к всестороннему исследованию археологических объектов и территорий (ландшафтов) предполагают привлечение возможностей естественных наук (концепций, специальных методов) и разработанных ими методик и технологий [4-8], что обеспечивает мультидисциплинарность научного поиска. В древности почвенно-земельные ресурсы выступали средством производства, а также пространственным базисом для развития разнообразных отраслей хозяйственной деятельности, в том числе горнорудной [9, 10]. В частности, археологические исследования объектов и территориально распределенных функциональных и технологически связанных зон горно-металлургической деятельности прошлого определяют круг задач такого междисциплинарного направления, как горная археология [10]. Древние природно-хозяйственные системы под влиянием процессов ренатурирования представлены в современной структуре ландшафта неповторимыми посттехногенными геосистемами, нередко включающими новые варианты трансформации литогенной основы, материнских пород и почвенной матрицы с автогенными сукцессиями растительности и спектром биоразнообразия. Результатами экспедиций в 2021-2023 гг. в степном Приуралье, где отмечены давние разработки позднепермских медистых песчаников и сланцев, установлено порядка 300 рудопроявлений [11, с. 66, рис. 1], которые могут быть отнесены к особо охраняемым природным территориям, связанным с горнотехническими объектами.

Цель работы состояла в сравнительном анализе биогеохимического состава почв и фитоценозов в разновременных ландшафтах горно-перерабатывающих меднорудных комплексов Приуральского (Каргалинского) центра и на целинных участках с привлечением данных по особо охраняемым степным экосистемам Восточно-Европейской равнины.

Материалы и методы

Основными объектами почвенно-генетических исследований в Сакмарском районе Оренбургской области выступили местные эталоны степных экосистем, а также разновременные посттехногенные почвы в пределах двух горно-перерабатывающих комплексов (ГПК) Белоусовского и Михайловского рудников, которые ранее [12] были определены как наиболее перспективные для междисциплинарных исследований. Согласно современным представлениям о радиоуглеродной хронологии срубной культуры Оренбургского Предуралья, эти памятники горной археологии относятся к ее развитому этапу [13]. По шести почвенным разрезам в бассейне р. Сред. Каргалки выполнен отбор почвенных образцов по двум-трем отдельным подгоризонтам (слоям) в наиболее насыщенной корнями части гумусового горизонта до глубины 30-39 см с последующим расчетом средневзвешенных значений концентраций химических элементов (оксидов). Геохимическая оценка была выполнена, используя метод рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV», по содержанию (в %) 10 макроэлементов (MnO, Fe₂O₃, Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂) и по содержанию (в мг/кг) 12 микроэлементов (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, V, As, Pb, Ba, Sr, Rb, Zr). Отбор образцов зеленой фитомассы на пике продуктивности и подстилки в бассейне р. Сред. Каргалки проводили в июне 2025 г. в шести сопряженных по эдафотопу точках, почвы которых характеризовали режимы целины (разр. 4 и 5) и разновременной ренатурации в ареалах горнорудной активности Белоусовского и Михайловского рудников (на отвалах горняков срубной культуры (разр. 1, 2 и 11) и на объекте Нового времени – рубежа XIX-XX вв. (разр. 9)). Геохимическая оценка растительного вещества выполнена в порошковых пробах, подготовленных с помощью лабораторной мельницы ЛЗМ-1М, по содержанию (в %) 8 макроэлементов (Ca, Mg, Si, Al, K, P, S, Cl) и по содержанию (в мг/кг) 10 микроэлементов (Br, Ba, Fe, Mn, Cr, Zn, Ni, Rb, Ti, Sr). Для сравнительного биогеохимического анализа зональных эталонов почв и фитоценозов (по надземной зеленой фитомассе) в бассейне р. Сред. Каргалки с эталонами в иных биоклиматических условиях были привлечены данные, полученные в 2025 г. по трем заповедным участкам с разными типами степей Восточно-Европейской равнины. В этом блоке исследования использована аттестованная методика «Определение Mg, Al, Si, Zn, P, S, Cl, K, Ca, Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Br, Rb, Sr в порошковых пробах растительных материалов рентгенофлуоресцентным методом с применением аппаратов рентгеновских для спектрального анализа» (М-049-РМ/12). Иерархическая классификация образцов зеленой фитомассы и подстилки проведена в программе IBM SPSS Statistics 27, использован метод Уорда и евклидова дистанция, при этом исходные данные предварительно были нормированы (Z-score). При расчете коэффициента биологического поглощения (КБП) данные по макроэлементам в почвах, выраженные в виде оксидов, были пересчитаны через переводные коэффициенты на содержание элементов. Интегральные оценки качества целинных почв и фитоценозов получены путем расчета среднегеометрического значения. Оценку климатических затрат энергии на почвообразование (Q) проводили по Волобуеву, используя многолетние данные годовых величин суммы осадков и радиационного баланса.

Результаты и обсуждение

Величины средней годичной продукции в широком диапазоне зональных фитоценозов во многом определяются условиями тепло- и влагообеспеченности, интегративно представляемыми климатическими затратами на почвообразование (Q), что математически выражается степенной зависимостью, показывающей наиболее значительный прирост продуктивности при величинах $Q > 900 \text{ МДж/м}^2 \text{ год}^{-1}$. Экосистемы в Сакмарском районе Оренбургской области в условиях более континентального климата, чем в расположенном южнее по широте юго-западном секторе Восточно-Европейской равнины, характеризуются более низким климатическим потенциалом почвообразования (табл. 1). Однако энергopotенциал современного климата в северо-степной подзоне черноземов обыкновенных

в долготном секторе ЕТР (31°20' ÷ 32°30' Е) составляет в среднем $Q=954 \text{ МДж/м}^2 \text{ год}^{-1}$ и вполне сопоставим с формированием таких же почв в оренбургских степях.

Таблица 1 – Объекты изучения почв и растительности степей в составе ООПТ Восточно-Европейской равнины и на целинных участках в Сакмарском районе Оренбургской области

№	Участки целинной степи*	Координаты	Тип растительности	Климатический потенциал почвообразования ($Q, \text{МДж/м}^2 \text{ год}^{-1}$)	Фоновые почвы**
1	Ямская степь	51°11'54.942" N 37°39'14.112" E	ковыльно-разнотравная луговая степь	1063	Чтип
2	Участок у с. Солнечное	45°1'13.7" N 34°6'18.1" E	типчакowo-разнотравно-ковыльная ассоциация	1120	Чпредг
3	Заказник «Озеро Чокрак»	45°27'58.7" N 36°19'5.4" E	формация ковыля волосовидного	1050	Чюж
4	Нижняя терраса р. Сред. Каргалка (разр. 4)	52°11'22.549" N 54°47'48.314" E	ковыльно-разнотравная степь	966	Чоб
5	Верхняя терраса р. Сред. Каргалка (разр. 5)	52°11'18.074" N 54°48'16.859" E	формация ковыля волосовидного	966	Чоб

*1 – Ямская степь; 2 – участок у с. Солнечное; 3 – заказник «Озеро Чокрак»; 4, 5 – целинные почвы на террасах р. Сред. Каргалка (разр. 4 и 5 соответственно).

** Чтип – черноземы типичные мощные тучные; Чпредг – черноземы предгорной степи; Чюж – черноземы южные; Чоб – черноземы обыкновенные маломощные.

Специфика эталонных экосистем Оренбургского Предуралья проявляется при сравнении сопряженных данных по содержанию химических элементов в зеленой фитомассе, почвах и величинам коэффициента биологического поглощения с тремя типами степей на особо охраняемых территориях Восточно-Европейской равнины (табл. 2). При этом был установлен определенный парадокс, который проявляется в том, что по сравнению с заповедными экосистемами Восточно-Европейской равнины фитоценозы приуральных степей в биогеохимическом отношении более обеднены (по среднему содержанию семи микроэлементов и величинам коэффициента биологического поглощения по 12 микроэлементам (Si, Al, Mg, P, K, Zn, Ni, Mn, Cr, Sr, Ba, Ti)), тогда как целинные почвы Каргалинского района характеризуются геохимическим своеобразием за счет превышения концентраций по 10 макро- и микроэлементам (Cu, Mg, P, K, Mn, Zn, Ni, Cr, Sr, Ba) (рис. 1). Примечательно, что по содержанию химических элементов в зеленой фитомассе предгорные экосистемы наиболее близки (каргалинские степи и степи у с. Солнечное (Крым)).

Почвы, которые мы классификационно относим к определенному типу (подтипу), нельзя представлять как продукт современных климатических условий, особенно за такой короткий период, как последний век, когда накапливались мониторинговые метеоданные. Рассчитанные нами по данным метеостанции Оренбург за инструментальный период наблюдений ($n = 109$) годовые величины климатических затрат энергии на почвообразование (Q) (рис. 2) отличались сильным уровнем вариации (коэффициент вариации (V) в среднем

составлял 21 %) при размахе величин Q на 95 %-ном уровне вероятности 688 ± 27 ($661 \div 715$) МДж/м² год⁻¹. Как показывает опыт палеоклиматических реконструкций, при изменении климатической системы в прошлом в ту или иную сторону (в части аридности-гумидности) основные закономерности периодичности процесса для местности на той же широте сохраняются. С учетом корректировки климатических параметров для современного педогенеза в ареале распространения черноземов обыкновенных в бассейне р. Сред. Каргалка средние климатические затраты энергии на почвообразование (Q) можно оценить величиной 966 ± 14 МДж/м² год⁻¹ при $V = 21$ %.

Таблица 2 – Сопряженные данные по содержанию химических элементов в зеленой фитомассе, почвах и их соотношение (коэффициент биологического поглощения) для целинных степей

Химический элемент	Единицы измерения	Участки целинных степей*				
		1	2	3	4	5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Зеленая фитомасса						
Ca	%	0,4	1,1	1,5	1,3	0,2
Si	%	1,8	3,2	2,8	1,3	2,8
Al	%	0,1	0,4	0,1	0,04	0,1
Mg	%	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
P	%	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
K	%	1,4	0,5	1,3	1,2	1,4
Zn	мг/кг	19,3	35,2	18,4	19,9	19,6
Ni	мг/кг	2,0	4,4	2,2	2,0	2,7
Fe	мг/кг	0,01	0,28	0,16	0,01	0,01
Mn	мг/кг	0,004	0,015	0,007	0,003	0,005
Cr	мг/кг	1,4	5,1	5,4	1,3	0,9
Sr	мг/кг	26,9	72,1	44,1	41,8	14,0
Ba	мг/кг	27,9	46,3	41,7	37,5	17,5
Rb	мг/кг	6,9	10,7	22,9	6,9	4,1
Ti	мг/кг	0,004	0,023	0,004	0,002	0,002
Br	мг/кг	3,4	34,5	0,7	3,8	4,0
Почвы						
Ca	%	1,3	0,7	14,7	0,3	4,3
Si	%	29,3	32,4	18,0	32,3	22,3
Al	%	5,6	5,5	4,5	1,6	6,8
Mg	%	0,9	0,6	1,0	0,6	1,5
P	%	0,08	0,04	0,21	0,50	0,11
K	%	1,5	1,0	1,2	8,4	1,5
Fe	%	3,0	2,4	2,3	0,1	3,7
Ti	%	0,4	0,2	0,3	0,1	0,5
Mn	%	0,1	0,1	0,1	2,2	0,1
Zn	мг/кг	57,8	43,6	62,7	626,2	85,8
Ni	мг/кг	37,8	32,3	32,0	95,6	104,9
Cr	мг/кг	72,2	106,2	75,5	1665,6	145,0
Sr	мг/кг	95,3	48,1	900,1	1630,6	152,8
Ba	мг/кг	425,5	321,4	365,4	6749,8	539,7
Rb	мг/кг	11,6	16,2	20,2	2,2	11,5

1	2	3	4	5	6	7
Коэффициенты биологического поглощения						
Ca	–	30	167	10	468	5
Si	–	6	10	16	4	13
Al	–	1	8	2	3	1
Mg	–	17	39	30	22	10
P	–	137	368	47	25	117
K	–	90	51	105	14	90
Zn	–	33	81	29	3	23
Ni	–	5	14	7	2	3
Fe	–	0,3	12	7	21	0,3
Mn	–	5	13	5	0,1	5
Cr	–	2	5	7	0,1	1
Sr	–	28	150	5	3	9
Ba	–	7	14	11	1	3
Rb	–	60	66	114	310	36
Ti	–	1	9	1	3	0,4

*1 – Ямская степь; 2 – участок у с. Солнечное; 3 – заказник «Озеро Чокрак»; 4, 5 – целинные почвы на террасах р. Сред. Каргалка (разр. 4 и 5 соответственно).

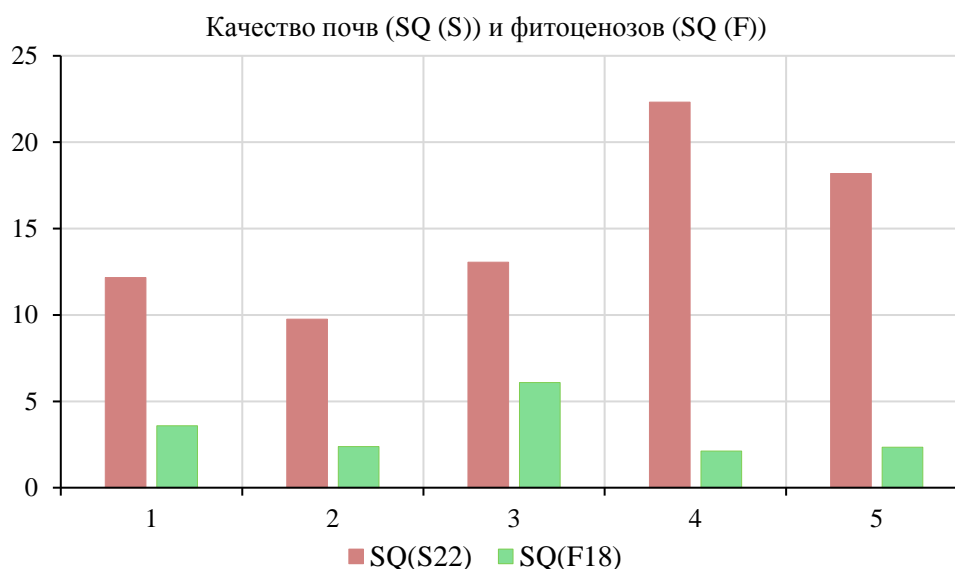


Рисунок 1 – Интегральные оценки качества целинных почв (SQ (S)) по 22 макро- и микроэлементам и зеленой массы растений (SQ (F)) по 18 макро- и микроэлементам

Номерами обозначены объекты: 1 – Ямская степь; 2 – участок у с. Солнечное; 3 – заказник «Озеро Чокрак»; 4, 5 – целинные почвы на террасах р. Сред. Каргалка (разр. 4 и 5 соответственно).

Годовая сумма осадков за период наблюдений с 1915 по 2024 гг. ($n = 110$) отличалась сильным уровнем вариации (величина V достигала 27 %) (рис. 3) при размахе величин на 95 %-ном уровне вероятности 345 ± 18 ($327 \div 362$) мм. Колебательный режим при 10-летнем способе сглаживания показывает, что пульсационный режим, когда суммы осадков по годам колеблются от 168 до 720 мм, мог способствовать такому признаку морфологического строения профиля как его языковатости с формированием заклинов в гор. В обыкновенных черноземах, что почвоведы отмечали как региональную специфику [14]. Встречавшиеся за период наблюдений (мтс. Оренбург) холодные по отношению к среднегодовой температуре ($4,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$), но влажные годы (1928, 1945, 1969) в среднем приводили к росту энергозатрат на почвообразование на 17 % (с 688 до 804 (с максимумом 888) МДж/м² год⁻¹). Именно с такими

условиями климата, когда пополнение запасов почвенной влаги за счет атмосферных осадков происходило в холодный период года, могла формироваться затечная или языковатая граница перехода от гумусового горизонта к нижележащему.

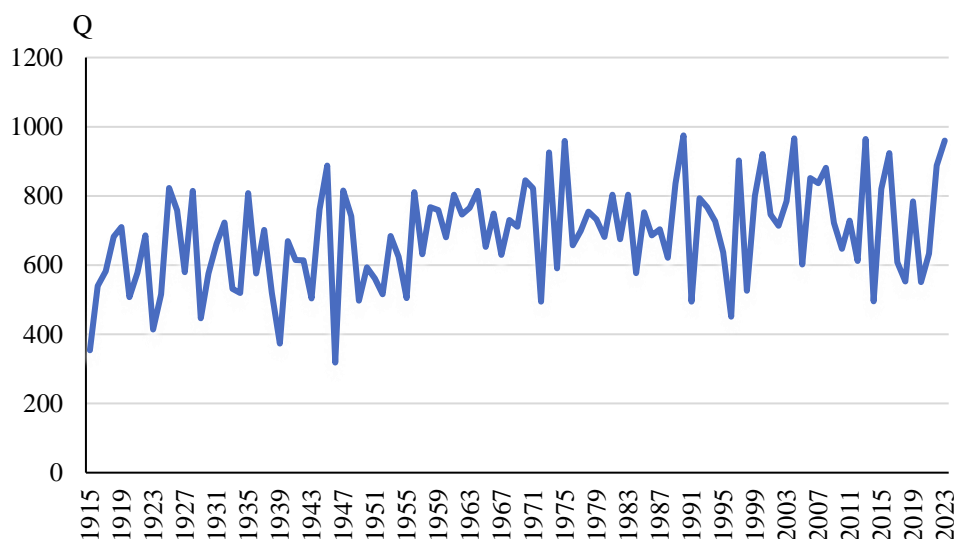


Рисунок 2 – Погодичное варьирование расчетных величин климатических затрат энергии на почвообразование (Q , МДж/м² год⁻¹) по метеостанции Оренбург

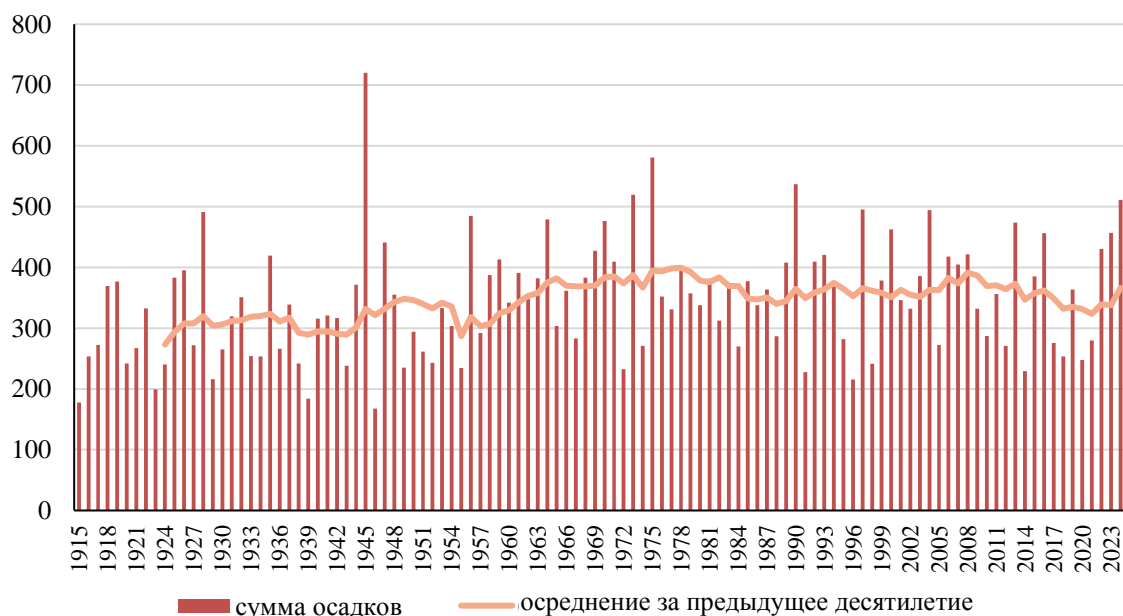


Рисунок 3 – Изменение годовых сумм осадков (мм) и динамика при 10-летнем способе сглаживания (данные метеостанции Оренбург)

Судя по почвенной карте [15], на фоне маломощных обыкновенных черноземов в бассейне р. Сред. Каргалка в верховье реки сформированы среднемощные виды. Эталонный почвенный разрез Оренбургской области для чернозема обыкновенного среднемощного тяжелосуглинистого характеризовался общей мощностью гумусового горизонта 46 см (при диапазоне 42-55 см), а ниже в профиле была отмечена языковатость [14]. Два опорных разреза чернозема обыкновенного среднесуглинистого целинного, заложенные нами вблизи Белоусовского рудника в автоморфной позиции (разр. 5) и на террасе левого борта долины р. Сред. Каргалка (разр. 4), имели строение гумусового горизонта: 0-20 (гор. А), 20-49,5 (гор. АВ) с языковатостью в гор. В от 50 до 59 см (разр. 5) и 0-29,5 (гор. А), 29,5-49,5 (гор. АВ) (разр. 4). Глубина вреза русла р. Сред. Каргалка относительно водораздела (300 м н. у. м.)

составляет 60 м. Зональные эталоны почв, которые сформировались на верхней и нижней террасе речной долины с абсолютными высотами 295 м и 280 м соответственно, имеют некоторые различия в морфологическом строении профиля. На автоморфной позиции (разр. 5) развит чернозем обыкновенный маломощный карбонатный на светло-коричневом среднем суглинке (слабо ксероморфный вид) при соотношении горизонтов А/В 0,68, а на нижней террасе сформировался чернозем обыкновенный маломощный выщелоченный на красном суглинке, подстилаемым с 80 см щебнем, при соотношении горизонтов А/В 1,5. Эти почвы по параметрам строения профиля соответствуют модальным вариантам и интегративно отражают биоклиматический потенциал голоценового педогенеза в данном регионе. В зоне горных выработок новообразованные почвы имели укороченные гумусовые профили: после нарушений в период бронзового века – 35-40 см, с конца XIX в. – 14-17 см. Рудное дело и металлообработка были значительными драйверами древних экономик, однако новации, приводившие к территориальным сдвигам в южном сегменте Восточно-Европейской равнины, были обусловлены как культурно-генетическими процессами, так и климатической сверхвековой ритмикой [16]. Как показали результаты моделирования скорости формирования гумусового профиля зональных почв во времени с использованием историко-археологических данных, при экспоненциальном тренде, общем для этого семейства почв, замедление педогенеза начинается с рубежа, характеризующего реализацию характерного времени этого процесса (по геохронологической шкале Блитта-Сернандера на переходе от SB-3 к SA-1, или на финальной стадии железного века) [17]. Это снижает точность датирования почв на памятниках бронзового века. Однако при проявляемой полигенетичности профиля почв, как это демонстрирует рисунок 4, онтогенетические закономерности роста существенно корректируются климатической обусловленностью педогенеза. Почвы, образовавшиеся после завершения горнорудной деятельности в эпоху бронзы, сформировали гумусовые горизонты мощностью 395 ± 10 мм ($V = 8\%$) (Белоусовский рудник) и 347 ± 15 мм ($V = 7\%$) (Михайловский рудник), что составляет в среднем 75 % от параметра полноголоценовой почвы. Интерпретируя указанные результаты как почвенно-климатический отклик, можно заключить, что биоклиматический потенциал педогенеза в районе Каргалинского рудника после бытования носителей срубной культурно-исторической общности был на 28-37 % ниже тех условий, которые характеризовали западный и центральный сегменты подзоны восточноевропейских степей с распространением черноземов обыкновенных (рис. 4).

Усредненная скорость формирования гумусового горизонта почв в новое время составляла 1 мм/год, а для почв, сформированных после этапа антропогенных нарушений бронзового века, на порядок меньше – 11 мм/100 лет. Это при климатической разнородности хроноинтервалов педогенеза объясняется, прежде всего, нелинейным характером становления гумусового профиля почв, для которого особенно значим этап замедления этого процесса после 26 веков [18].

Погребенные почвы, сформированные с началом финальной фазы срубной культуры (XVII-XVI вв. до н. э.), имеют сходное строение на двух рудниках: гор. А мощностью 27 см и гумусовый горизонт (А+В) 36-40 см. Что касается классификационного статуса этих почв, то по морфологическому строению это черноземы переходные от средне- к сильно ксероморфным видам. Они по данным из четырех разрезов по обоим рудникам характеризуются мощностью гор. А 22 см, гумусового горизонта (А+В) 37-40 см (при соотношении А/В 0,6). Окраска в сухом состоянии у почвы из гор. А темно-серовато-коричневая, из гор. В – темно- или серовато-коричневая. Эти почвы по наличию в профиле «языковатости» ниже гор. В, отсутствию в окраске темно-серого цвета, характерного для обыкновенных черноземов, близки современным южным черноземам мощностью гумусового горизонта до 30-45 см, описанным к югу от Оренбурга [14, с. 74]. Примечательно, что указанные выше параметры гумусового профиля совпадают со средними величинами по 4-м разрезам погребенных почв Каргалинских рудников в нашем исследовании (А1 – 21,5 см, А1/В – 36,8 см). Ранее [19] было показано, что за последние 5000 лет из пяти значительных

минимумов почвообразования, сопряженных с основными максимумами солнечной активности, выделяется период с датами экстремумов 3775-3700 лет назад, когда темпы педогенеза за счет денудации понижались до -0,50 мм/год. Характеристика морфологического строения почв суббореального периода, полученная по подкурганым почвам, погребенным около 4000 лет назад (A1 – 21 см, A1/B – 36 см), позволила их отнести к подтипу южных черноземов с присущей им языковатостью профиля [20, с. 35].

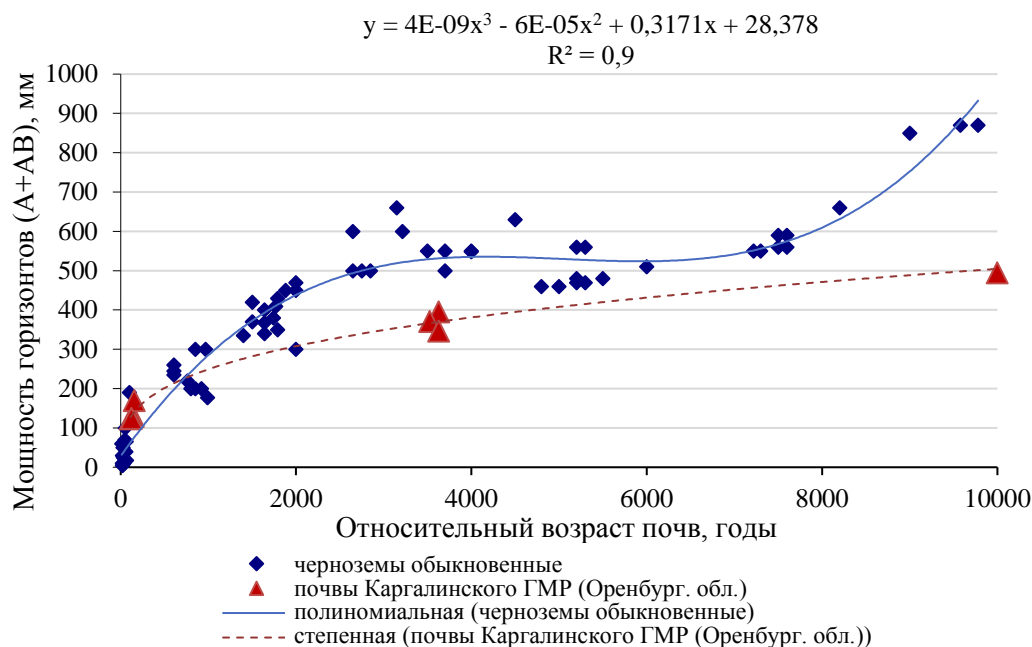


Рисунок 4 – Положение новообразованных почв Приуралья в общем массиве данных по чернознам обыкновенным восточноевропейских степей

Из-за того, что район исследования находится в 45 км от Оренбурга, вблизи которого проходит граница перехода от чернознам обыкновенных к чернознам южным [15], данные по метеостанции в этом городе применимы к бассейну р. Сред. Каргалка с поправкой на более гумидные климатические условия (обычно, это различие составляет по годовой сумме осадков около 20 мм, при уменьшении суммы температур выше 10° на 170°С). Если по оценкам за последние 6 десятилетий среднемноголетняя величина гидротермического коэффициента (ГТК) для рубежа перехода от обыкновенных к южным чернознам (по) составляет 0,56 (0,16 ÷ 1,18) [21], то подзону распространения чернознам обыкновенных маломощных малогумусных характеризует значение ГТК_{V-IX} 0,68-0,75. Следует также учитывать, что на протяжении голоцена происходили территориальные сдвиги климатически обусловленных границ ландшафтных зон, что могло обусловить соответствующие «записи» в почвенной системе, определяя климатическую полигенетичность почв.

Результатами картографирования для территории юга Восточно-Европейской равнины индекса аридности за последние 60 лет выявлен тренд роста засушливости в начале XXI в. после более гумидного этапа во второй половине XX в., что отразилось в смещении границы степной зоны [22]. Период срубной культуры в общем климатическом контексте природной ритмики голоцена входит составной частью в эпоху ранней суббореальной аридизации, эпохи ранней и средней бронзы (XXVII/XXV-XVII/XVI вв. до н.э.) [23, с. 202], когда количество осадков было меньше на 30-60 мм, чем в современность и, к примеру, в восточноевропейских степях из-за сдвига к северу природных зон на подзону (на месте современных обыкновенных чернознам находились южные чернознам). Однако, если обратиться к региональным палеоклиматическим реконструкциям для более узкого интервала времени XVIII-XVII вв. до н.э., которые опираются на результаты изучения палеопочв на низкой (7 м) первой надпойменной террасе с местоположением Боголюбовского курганного могильника срубной

культуры (в Новосергиевском р-не Оренбургской области, в 105 км к северо-западу от областного центра), то считается, что с периодом функционирования могильника было связано усиление гумидизации климата [24, с. 115], притом что погребенная почва под одним из курганов, сооруженным по обряду срубной культуры раньше остальных в могильнике (предположительно на 75-100 лет), отражает время усиления аридизации [24, с. 114].

Перейдем к рассмотрению ключевых объектов в бассейне р. Сред. Каргалки. С целью выявления пространственно-временных различий формирования почвенно-растительного покрова в посттехногенных ландшафтах Белоусовского и Михайловского рудников сравнительный анализ проведен для сопряженных данных по растительности и почвам на горнорудных отвалах позднебронзового века (разр. 1, 2, 11) и Нового времени (разр. 9) в сравнении с зональными аналогами (разр. 4 и 5). Растительность, произрастающая на целинных почвах в бассейне р. Сред. Каргалка, наиболее значительно отличается от степных растений Восточно-Европейской равнины, представленных средними величинами, меньшей концентрацией ансамбля микроэлементов, который можно представить следующим ранжированным убывающим рядом: $Mn > Rb > (Al, Br, Cr) > Ti > Fe$, и только по содержанию калия отмечается некоторое превышение (в 1,2 раза). Напротив, целинные почвы Каргалинского района характеризуются значительной геохимической самобытностью, что отражает следующий (по нарастанию превышений концентраций) возрастающий ряд: $Mg (1,3) < Sr (2,6) < P (2,8) < Ni (2,9) < K (4,0) < Zn (6,5) < Ba (9,8) < Mn (10,1) < Cr (10,7)$. И только по содержанию кальция и рубидия эти почвы значительно уступают почвам восточноевропейских степей. Хотя территория исследования относится к Общесыртовской возвышенной степи, но, как было показано для сходных регионов, близко расположенных к Уральским горам, содержащих месторождения цветных металлов, в таких ландшафтах наблюдаются природные аномалии накопления в почвах меди, цинка, хрома и марганца [25]. Особенности транслокации, отражаемыми величинами КБП по 15 микроэлементам, объясняется тот факт, что фитоценозы коренных каргалинских степей уступают восточноевропейским степям по основным элементам (Si, Ti, Al, Mn, Mg, P, K, Zn, Ni, Cr, Sr, Ba), за исключением трех микроэлементов, ансамбль которых представлен ранжированным возрастающим рядом: $Fe (1,7) < Rb (2,2) < Ca (3,4)$. Однако, следует отметить некоторые различия целинных почв в бассейне р. Сред. Каргалка из-за различий их гипсометрического положения на террасах (295 м (разр. 4) и 280 м (разр. 5)), что отражается в интегральных оценках качества этих почв, показанных на рисунке 1. Почва верхней террасы в более автоморфных условиях – чернозем обыкновенный маломощный карбонатный на светло-коричневом среднем суглинке (слабо ксероморфный вид) (разр. 5) уступает чернозему обыкновенному маломощному выщелоченному на красном суглинке (разр. 4) по содержанию девяти микроэлементов, но характеризуется более высокой концентрацией Fe, Ca, Ti, Rb, Al, Mg. Ранее [26] было показано, что обусловленность содержания определенного химического элемента в растениях его содержанием в почве проявляется не всегда, поэтому целесообразно учитывать химические соотношения, которые проявляются в процессах внутреннего и внешнего антагонизма-синергизма (так, синергетические эффекты проявляются в парах Fe-Cr, Fe-Ni, Ni-Cr, Fe-Cu, Al-Cu и др). С другой стороны, феномен разнообразия микроэлементного состава в надземных органах растений в одном почвенном ареале предположительно объясняется возможностью растения поддерживать генотипически заданный «микроэлементный гомеостаз» за счет барьерной функции корневой системы [27].

Различия между растительными сообществами на шести ключевых объектах в бассейне р. Сред. Каргалки хорошо диагностирует большинство определявшихся макро- и микроэлементов, однако, судя по величине коэффициента вариации (V), менее информативными ($V < 20\%$) были по содержанию для зеленой фитомассы – калий и никель, а по подстилке – калий и сера. Результаты классификации геохимического состава растительного вещества надземного яруса, полученные путем кластерного анализа (рис. 5), показали принципиальное различие мортмассы (кластер 1) и зеленой фитомассы (кластер 2). Некоторую разнородность в кластер 2 вносит точка № 11, где на борту выработанного

древнего рудника был заложен разрез с новообразованным черноземом на пестрых по составу вскрышных породах (с меднорудными включениями) под ковыльно-разнотравной ассоциацией. Ее зеленая фитомасса содержала меньшее количество по 12 элементам, чем в остальных пяти объектах (особенно по железу и титану), однако отличалась более высокими концентрациями Cl (в 2,4 раза), S, P, Br (в 1,6-1,8 раза), Mg (в 1,2 раза), Rb (в 1,1 раза).

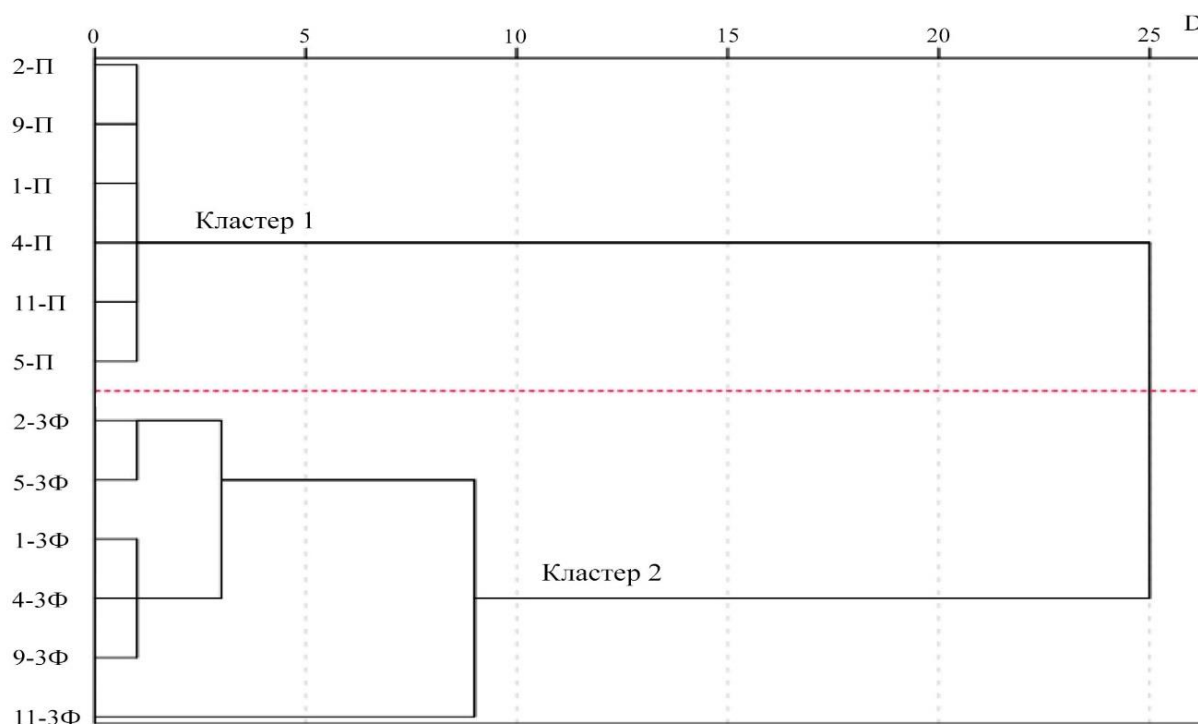


Рисунок 5 – Дендрограмма кластерного анализа образцов зеленой фитомассы (№-3Ф) и подстилки (№-П) в бассейне р. Сред. Каргалка

Формирование мортмассы (подстилки) определяется как поступлением ежегодного опада, так и процессами выщелачивания, управляемыми ресурсами тепла и влаги с ритмическими колебаниями в пределах 10 (11)-летнего цикла солнечной активности. После ежегодного отмирания фитомассы, частичного выщелачивания элементов из ветоши с дальнейшим ее превращением в подстилку именно ее минерализация с поступлением с водными массами зольных элементов (K, P, Ca, Mg, Mn) становится постоянно пополняемым источником биогеохимического влияния фитоценоза на почву. Расчеты соотношения концентраций элементов в подстилке по сравнению с надземной фитомассой позволили сформировать следующий ранжированный убывающий ряд аккумуляции: Fe (15,4) > Cr (8,4) > Ti (8,1) > Al (6,6) > Mn (2,6) > Ni (2,4) > Ba (2,2) > Si (2,1) > Ca (1,4) > Sr (1,2). Примечательно, что в этом ряду отмечается обогащение подстилки такими эссенциальными элементами, как Fe, Mn, Ni, но обеднение калием и фосфором в сравнении с зеленой фитомассой. Эти результаты отражают региональную специфику биогеохимии степных растений, для которых в эталонных условиях отмечается прежде всего накопление Si, Ca и K. Особое значение имеет оценка содержания меди, которая накапливается в подстилке растительных сообществ. Если в целинных условиях (разр. 4 и 5) содержание меди варьировало от 11 до 16 мг/кг, то на четырех объектах Белоусовского и Михайловского рудников содержание меди в подстилке увеличивалось от 109 мг/кг до 827 мг/кг (над почвенным разр. 2, расположенным в 1,2 м от края обжиговой ямы ГПК-1 Белоусовского рудника). При этом следует отметить, что в гумусовом горизонте новообразованной почвы разр. 2 содержание меди менялось от 109 мг/кг (0-6 см) до 410 мг/кг (6-11 см). Это свидетельствует о высокой роли биогенной аккумуляции меди в надземную фитомассу, отразившейся в депонирующей эффективности мортмассы.

Выводы

Транслокация макро- и микроэлементов в системе почва-растение зависит от многих факторов, но при сравнении посттехногенных геоэкосистем и целинных аналогов в одинаковых биоклиматических условиях появляется возможность определить вклад антропогенного фактора, связанного с трансформацией почвенно-растительного покрова и литогенной основы. Сравнение геохимического состава фитомассы степных растений на заповедных участках Восточно-Европейской равнины с целинными экосистемами Каргалинского района показало, что фитоценозы приуральских степей в биогеохимическом отношении более обеднены (по содержанию семи микроэлементов и величинам коэффициента биологического поглощения по 12 микроэлементам). Однако целинные почвы Каргалинского района, напротив, отличаются геохимическим своеобразием, характеризуемым превышением концентраций по 10 макро- и микроэлементам.

Степная подстилка в посттехногенных ландшафтах не только выступает источником зольных элементов, которые выщелачиваются в почву, но и депонирующей средой с повышенной концентрацией 11 химических элементов, из которых семь относятся к тяжелым металлам (Fe, Cr, Cu, Mn, Ni) и потенциально токсичным (Ba, Sr).

Помимо высокого содержания меди в почвах горнорудных комплексах (до 10 раз выше экологических нормативов (ОДК) на шламовых площадках), в этих условиях установлена высокая аккумуляция меди в подстилке (на порядок выше, чем в экосистемах зональных эталонов), что характеризует высокую эффективность этого элемента в процессе биогенного накопления.

Благодарности

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

Список литературы

1. Deak B., Valko O., Toth C.A., Botos A., Novak T.J. Legacies of past land use challenge grassland recovery – An example from dry grasslands on ancient burial mounds // *Nature Conservation*. 2020. Vol. 39. P. 113-132.
2. Poletaev A., Bunyaeva A., Burinchik A. An Analysis of the Preservation of Burial Mounds: A Case Study of the Steppe and Forest-Steppe Areas of the Belgorod Region and the Crimean Peninsula Using GIS Technology // *Conservation and Management of Archaeological Sites*. 2021. Vol. 22. No. 1-2. P. 52-73.
3. Bede A., Valko O., Czukor P., Deak B. Multidisciplinary Study of the Landscape, Cultural, and Natural Importance of Ancient Burial Mounds // *Human Ecology*. 2025. P. 1-14.
4. Демкин В.А., Ельцов М.В., Алексеев А.О., Борисов А.В. Палеопочвенные исследования курганного могильника «Илекшар» в Южном Приуралье // *Степи Северной Евразии: Материалы IV Междунар. симпоз.* Оренбург: ИПК Газпромнефть, 2006. С. 224-227.
5. Сулейманов Р.Р., Кунгурцев А.Я. Особенности формирования почвенного покрова на примере археологических памятников Предуралья и Зауралья // *Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Ч. I.* Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2017. С. 174-180.
6. Усманов Б.М., Гайнуллин И.И., Гафуров А.М., Иванов М.А., Хомяков П.В., Губайдуллин А.М., Ермолаев О.П., Абдуллин Х.М., Саламатина Н.С., Касимов А.В. Страна городов: комплексные исследования городищ Волжской Булгарии // *Региональные геосистемы*. 2021. Т. 45. № 4. С. 481-504.
7. Смекалова Т.Н., Кашуба М.Т., Мульд С.А., Лисецкий Ф.Н., Борисов А.В., Соломонова М.Ю., Каширская Н.Н., Бэван Б.У., Кулькова М.А., Очередной А.К. Междисциплинарные исследования поселений эпохи бронзы Северо-Западного Крыма. СПб.: Изд-во Алетея, 2020. 204 с.

8. Prikhodko V., Savelev N., Kotov V., Nikolaev S., Ruslanov E., Rumyantsev M., Manakhova E. Complex study of settlements dating from the Paleolithic to Medieval Period in the Ural Mountains on the border of Europe and Asia // *Geosciences*. 2025. Vol. 15. No. 1. Art. 31.
9. Лисецкий Ф.Н. Землеустроительная практика и почвенные ресурсы в истории греческой колонизации Северного Причерноморья // *Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения: Материалы III Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. 2017. С. 334-339.
10. Шубин Ю.П. Проблемы и перспективы исследований объектов древней горно-металлургической деятельности методами геоархеологии и горной археологии (на примере древних рудников Донбасса) // *Геоархеология и археологическая минералогия*. 2017. Т. 4. С. 146-149.
11. Дронов Н.С. Исторические медные рудники степного Приуралья в структуре особо охраняемых природных территорий Оренбургской области // *Вопросы степеведения*. 2024. № 3. С. 63-73.
12. Ткачев В.В. Трансграничная зона срубной и алакульской культур в степном Приуралье: физико-географический и горно-металлургический аспекты // *Поволжская Археология*. 2020. № 3 (33). С. 116-128.
13. 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.
14. Климентьев А.И., Блохин Е.В. Почвенные эталоны Оренбургской области: Материалы для Красной книги почв Оренбургской области. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. 90 с.
15. Соколов А.А., Чибилев А.А., Руднева О.С., Барбазюк Е.В., Дубровская С.А., Кин Н.О., Климентьев А.И., Левыкин С.В., Павлейчик В.М., Падалко Ю.А., Петрищев В.П., Поляков Д.Г., Рябуха А.Г., Сивохиц Ж.Т., Чибилев А.А. Географический атлас Оренбургской области. Оренбург: Институт степи УрО РАН; РГО, 2020. 160 с.
16. Мимоход Р.А., Гак Е.И., Хомутова Т.Э., Рябогина Н.Е., Борисов А.В. Палеоэкология – культурогенез – металлопроизводство: причины и механизмы смены эпох в культурном пространстве юга Восточной Европы в конце средней – начале поздней бронзы // *Российская археология*. 2022. № 1. С. 24-38.
17. Лисецкий Ф.Н. Изучение закономерностей зонального почвообразовательного процесса // *Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: Тез. докл. четвертой всесоюз. науч. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 194-195.*
18. Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. Черноземообразование на лёссовых отвалах, рецетный онтогенез и скорость регенерации почв // *Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв*. М.: ООО «Издательство ГЕОС», 2015. С. 469-479.
19. Иванов И.В., Лисецкий Ф.Н. Сверхвековая периодичность солнечной активности и почвообразование // *Биофизика*. 1995. Т. 40. № 4. С. 905-910.
20. Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука, 1992. 144 с.
21. Языкбаев Э.Р. Изменение гидротермического коэффициента на фоне потепления климата в Оренбурге // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры*. Оренбург: ОГУ, 2024. С. 2733-2736.
22. Ельцов М.В., Овчинников А.Ю., Митенко Г.В., Алексеев А.О. Отклик почв на изменение климата в степной зоне европейской части России за последние десятилетия // *Почвоведение*. 2021. № 12. С. 1437-1448.
23. Иванов И.В., Васильев И.Б. Человек, природа и почвы Рын-песков Волго-Уральского междуречья в голоцене. М.: Интеллект, 1995. 264 с.
24. Моргунова Н.Л., Гольева А.А., Евгеньев А.А., Крюкова Е.А., Купцова Л.В., Рослякова Н.В., Салугина Н.П., Турецкий М.А., Хохлов А.А., Хохлова О.С. Боголюбовский

курганый могильник срубной культуры в Оренбургской области. Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2014. 172 с.

25. 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. Т. 8. № 2. с290.

26. Sindireva A.V., Boev V.A., Erdenetsogt E., Saizhaa N., Boev V.V., Ieronova V.V. Geochemical assessment of macro- and microelements content in the soil-plant system in the conditions of the Selenga Aimag in northern Mongolia // Bulletin of KSAU. 2025. No. 7. P. 57-73.

27. Еремченко О.З., Чудинова Л.А. Микроэлементный состав почв и растительности заповедной лесостепи в условиях техногенеза // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 279-279.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 16.10.2025

Принята к публикации 12.12.2025

GEOCHEMICAL FEATURES OF THE FORMATION AND REPRODUCTION OF SOIL AND VEGETATION COVER IN VARIOUS NATURAL AND POST-TECHNOGENIC LANDSCAPES OF THE STEPPE ZONE

F. Lisetskii^{1,2}

¹Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Orenburg

²Belgorod State National Research University, Russia, Belgorod
e-mail: liset@bsuedu.ru

The article presents the new results from a study of the soil and vegetation cover of virgin steppes and mining and metallurgical sites of the Kargalinsky copper ore complexes, associated with the formation of waste heaps during the Bronze Age and modern times. A comparative analysis of the values of biological absorption coefficient was conducted based on the conjugated data on the chemical elements' content in the green phytomass and soils of three steppe types in specially protected areas of the East European Plain to establish the specifics of the reference ecosystems of the Orenburg Cis-Urals.

Key words: zonal soil standards, virgin steppes, Priuralsky mining and metallurgical center, copper ore complexes, Srubnaya culture, post-technogenic landscapes, soil geochemistry, microelements of plant matter, steppe litter.

References

1. Deak B., Valko O., Toth C.A., Botos A., Novak T.J. Legacies of past land use challenge grassland recovery – An example from dry grasslands on ancient burial mounds. *Nature Conservation*. 2020. Vol. 39. P. 113-132.

2. Poletaev A., Bunyaeva A., Burinchik A. An Analysis of the Preservation of Burial Mounds: A Case Study of the Steppe and Forest-Steppe Areas of the Belgorod Region and the Crimean Peninsula Using GIS Technology. *Conservation and Management of Archaeological Sites*. 2021. Vol. 22. No. 1-2. P. 52-73.

3. Bede A., Valko O., Czukor P., Deak B. Multidisciplinary Study of the Landscape, Cultural, and Natural Importance of Ancient Burial Mounds. *Human Ecology*. 2025. P. 1-14.

4. Demkin V.A., El'tsov M.V., Alekseev A.O., Borisov A.V. Paleopochvennyye issledovaniya kurgannogo mogil'nika "Ilekshar" v Yuzhnom Priural'e. Stepi Severnoi Evrazii: Materialy IV Mezhdunar. simpoz. Orenburg: IPK Gazprompechat', 2006. S. 224-227.
5. Suleimanov R.R., Kungurtsev A.Ya. Osobennosti formirovaniya pochvennogo pokrova na primere arkheologicheskikh pamyatnikov Predural'ya i Zaural'ya. Sovremennoe sostoyanie, traditsii i innovatsionnyye tekhnologii v razvitii APK. Ch. I. Ufa: Bashkirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2017. S. 174-180.
6. Usmanov B.M., Gainullin I.I., Gafurov A.M., Ivanov M.A., Khomyakov P.V., Gubaidullin A.M., Ermolaev O.P., Abdullin Kh.M., Salamatina N.S., Kasimov A.V. Strana gorodov: kompleksnye issledovaniya gorodishch Volzhskoi Bulgarii. Regional'nye geosistemy. 2021. T. 45. N 4. S. 481-504.
7. Smekalova T.N., Kashuba M.T., Mul'd S.A., Lisetskii F.N., Borisov A.V., Solomonova M.Yu., Kashirskaya N.N., Bevan B.U., Kul'kova M.A., Ocherednoi A.K. Mezhdistsiplinarnye issledovaniya poselenii epokhi bronzy Severo-Zapadnogo Kryma. SPb.: Izd-vo Aleteiya, 2020. 204 s.
8. Prikhodko V., Savelev N., Kotov V., Nikolaev S., Ruslanov E., Rumyantsev M., Manakhova E. Complex study of settlements dating from the Paleolithic to Medieval Period in the Ural Mountains on the border of Europe and Asia. Geosciences. 2025. Vol. 15. No. 1. Art. 31.
9. Lisetskii F.N. Zemleustroitel'naya praktika i pochvennyye resursy v istorii grecheskoi kolonizatsii Severnogo Prichernomor'ya. Problemy istorii, metodologii i sotsiologii pochvovedeniya: Materialy III Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. 2017. S. 334-339.
10. Shubin YU.P. Problemy i perspektivy issledovaniy ob'ektov drevnei gorno-metallurgicheskoi deyatel'nosti metodami geoarkheologii i gornoj arkheologii (na primere drevnikh rudnikov Donbassa). Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya. 2017. T. 4. S. 146-149.
11. Dronov N.S. Istoricheskie mednye rudniki stepnogo Priural'ya v strukture osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii Orenburgskoi oblasti. Voprosy stepovedeniya. 2024. N 3. S. 63-73.
12. Tkachev V.V. Transgranichnaya zona srubnoi i alakul'skoi kul'tur v stepnom Priural'e: fiziko-geograficheskii i gorno-metallurgicheskii aspekty. Povolzhskaya Arkheologiya. 2020. N 3 (33). S. 116-128.
13. Kuptsova L.V., Morgunova N.L., Salugina N.P., Khokhlova O.S. Periodizatsiya srubnoi kul'tury Zapadnogo Orenburzh'ya po arkheologicheskim i estestvenno-nauchnym dannym. Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii. 2018. T. 46. N 1. S. 100-107.
14. Kliment'ev A.I., Blokhin E.V. Pochvennyye etalony Orenburgskoi oblasti: Materialy dlya Krasnoi knigi pochv Orenburgskoi oblasti. Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 1996. 90 s.
15. Sokolov A.A., Chibilev A.A., Rudneva O.S., Barbazyuk E.V., Dubrovskaya S.A., Kin N.O., Kliment'ev A.I., Levykin S.V., Pavleichik V.M., Padalko YU.A., Petrishchev V.P., Polyakov D.G., Ryabukha A.G., Sivokhip Zh.T., Chibilev A.A. Geograficheskii atlas Orenburgskoi oblasti. Orenburg: Institut stepi UrO RAN; RGO, 2020. 160 s.
16. Mimokhod R.A., Gak E.I., Khomutova T.E., Ryabogina N.E., Borisov A.V. Paleoekologiya – kul'turogenez – metalloproduktivnost': prichiny i mekhanizmy smeny epokh v kul'turnom prostranstve yuga Vostochnoi Evropy v kontse srednei – nachale pozdnei bronzy. Rossiiskaya arkheologiya. 2022. N 1. S. 24-38.
17. Lisetskii F.N. Izuchenie zakonornostei zonal'nogo pochvoobrazovatel'nogo protsessa. Zakonornosti proyavleniya erozionnykh i ruslovykh protsessov v razlichnykh prirodnykh usloviyakh: Tez. dokl. chetvertoi vsesoyuz. nauch. konf. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1987. S. 194-195.
18. Goleusov P.V., Lisetskii F.N. Chernozemoobrazovanie na lessovykh otvalakh, retsentnyi ontogenez i skorost' regeneratsii pochv. Evolyutsiya pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochv. M.: OOO "Izdatel'stvo GEOS", 2015. S. 469-479.
19. Ivanov I.V., Lisetskii F.N. Sverkhvekovaya periodichnost' solnechnoi aktivnosti i pochvoobrazovanie. Biofizika. 1995. T. 40. N 4. S. 905-910.
20. Ivanov I.V. Evolyutsiya pochv stepnoi zony v golotsene. M.: Nauka, 1992. 144 s.

21. Yazykbaev E.R. Izmenenie gidrotermicheskogo koeffitsienta na fone potepleniya klimata v Orenburge. Universitetskii kompleks kak regional'nyi tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury. Orenburg: OGU, 2024. S. 2733-2736.
22. El'tsov M.V., Ovchinnikov A.Yu., Mitenko G.V., Alekseev A.O. Otklik pochv na izmenenie klimata v stepnoi zone evropeiskoi chasti Rossii za poslednie desyatletiya. Pochvovedenie. 2021. N 12. S. 1437-1448.
23. Ivanov I.V., Vasil'ev I.B. Chelovek, priroda i pochvy Ryn-peskov Volgo-Ural'skogo mezhdurech'ya v golotsene. M.: Intellect, 1995. 264 s.
24. Morgunova N.L., Gol'eva A.A., Evgen'ev A.A., Kryukova E.A., Kuptsova L.V., Roslyakova N.V., Salugina N.P., Turetskii M.A., Khokhlov A.A., Khokhlova O.S. Bogolyubovskii kurgannyi mogil'nik srubnoi kul'tury v Orenburgskoi oblasti. Orenburg: Izd-vo OGPU, 2014. 172 s.
25. Prihod'ko V.E., Savel'ev N.S., Kotov V.G. Pochvenno-geokhimicheskoe izuchenie chernozemov i kul'turnykh sloev (vozrastom ot paleolita do srednevekov'ya) poselenii gornorudnogo Urala. Pochvy i okruzhayushchaya sreda. 2025. T. 8. N 2. e290.
26. Sindireva A.V., Boev V.A., Erdenetsogt E., Saizhaa N., Boev V.V., Ieronova V.V. Geochemical assessment of macro- and microelements content in the soil-plant system in the conditions of the Selenga Aimag in northern Mongolia. Bulletin of KSAU. 2025. No. 7. P. 57-73.
27. Eremchenko O.Z., Chudinova L.A. Mikroelementnyi sostav pochv i rastitel'nosti zapovednoi lesostepi v usloviyakh tekhnogeneza. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. N 5. S. 279-279.

Сведения об авторе:

Лисецкий Федор Николаевич

Д.г.н., старший научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук; профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, Институт наук о Земле, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

ORCID 0000-0001-9019-4387

Lisetskii Fedor

Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University

Для цитирования: Лисецкий Ф.Н. Геохимические особенности формирования и воспроизводства почвенно-растительного покрова в различных природных и посттехногенных ландшафтах степной зоны // Вопросы степеведения. 2025. № 4. С. 4-18. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-4-4-18