

МРНТИ 87.26.25; 34.35.17

<https://doi.org/10.26577/EJE87220264>

Л.А. Бермаганбетова^{1*}, А.А. Какабаев²,
Н.В. Барановская³, Б.У. Шарипова¹, Г.Е. Байкенова¹,
А. Зандыбай⁴, А.С. Курманбаева¹

¹Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

²Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

³Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁴Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

*e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОЛОС НАСЕЛЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНОЙ ТЕРРИТОРИИ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИНДИКАТОР ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Изучение элементного состава волос человека является одним из перспективных направлений экологической геохимии и биомониторинга, позволяющим оценивать интегральное воздействие природных и техногенных факторов на организм населения. Особую актуальность такие исследования приобретают для территорий горнодобывающей специализации, где формируется специфический геохимический фон. Целью настоящего исследования является оценка элементного состава волос населения золоторудной территории Акмолинской области и выявление геохимических и техногенных факторов, влияющих на его формирование. Основное внимание уделено уровням накопления элементов, их взаимосвязям и выделению характерных геохимических ассоциаций. Работа позволяет расширить представления о биогеохимических особенностях золоторудных территорий, а также показывает, что волосы могут использоваться как информативный индикатор воздействия окружающей среды на человека. В ходе исследования были отобраны пробы волос у 25 жителей посёлка Коньсыбай. Определение содержания элементов проводилось методом индуктивно связанной плазмы. Для обработки данных использовались статистические методы, расчёт коэффициентов концентрации, а также корреляционный и кластерный анализ. В исследование включены 12 элементов с учётом геолого-минералогической специфики территории. В результате установлено, что элементный состав волос отличается высокой неоднородностью и вариабельностью. Наиболее выраженное обогащение отмечено для As, W, Au и Hg, что отражает влияние золоторудной минерализации и техногенных процессов. Выделены три группы элементов As-Au, Fe-Ni и S-W-Pt-Ir-Co-Os, которые соответствуют разным факторам формирования элементного состава. Проведённое исследование показывает, что сочетание геохимического и статистического подходов позволяет более точно выявлять источники поступления элементов. Полученные результаты могут быть использованы при организации регионального биогеохимического мониторинга, а также для оценки экологического состояния золоторудных территорий и возможного воздействия на здоровье населения.

Ключевые слова: элементный состав, биоаккумуляция, биоиндикация, техногенное воздействие, урбанизированные территории.

L.A. Bermaganbetova^{1*}, A.A. Kakabayev², N.V. Baranovskaya³, B.U. Sharipova¹,
G.E. Baikenova¹, A. Zandybai⁴, A.S. Kurmanbayeva¹

¹Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan

²M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com

Elemental Composition of Hair of the Population Living in the Gold-Mining Areas of the Akmola Region as an Indicator of Geochemical and Anthropogenic Impact

The study of the elemental composition of human hair is one of the promising areas of environmental geochemistry and biomonitoring, making it possible to assess the integrated impact of natural and technogenic factors on the human body. Such studies are of particular relevance for mining areas, where

a specific geochemical background is formed. The aim of this study is to assess the elemental composition of the hair of the population living in a gold-ore area of the Akmola region and to identify the geochemical and technogenic factors influencing its formation. Particular attention is paid to the levels of element accumulation, their interrelationships, and the identification of characteristic geochemical associations. The study expands understanding of the biogeochemical features of gold-ore territories and also demonstrates that hair can be used as an informative indicator of environmental impact on humans. In the course of the research, hair samples were collected from 25 residents of the Konyshbai settlement. Elemental concentrations were determined using the inductively coupled plasma method. Statistical methods, concentration coefficient calculations, as well as correlation and cluster analyses were used for data processing. The study included 12 elements selected with regard to the geological and mineralogical characteristics of the area. The results showed that the elemental composition of hair is characterized by high heterogeneity and variability. The most pronounced enrichment was observed for As, W, Au, and Hg, reflecting the influence of gold-ore mineralization and technogenic processes. Three groups of elements were identified: As-Au, Fe-Ni, and S-W-Pt-Ir-Co-Os, corresponding to different factors involved in the formation of the elemental composition. The study demonstrates that the combination of geochemical and statistical approaches makes it possible to identify element sources more accurately. The obtained results can be used in the organization of regional biogeochemical monitoring, as well as for assessing the ecological condition of gold-ore territories and their possible impact on public health.

Keywords: elemental composition, bioaccumulation, bioindication, technogenic impact, urbanized territories.

А.А. Бермаганбетова^{1*}, А.А. Какабаев², Н.В. Барановская³, Б.У. Шарипова¹,

Г.Е. Байкенова¹, А. Зандыбай⁴, А.С. Курманбаева¹

¹Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан

²М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан

³Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

⁴А.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com

Ақмола облысының алтын кенді аумағында тұратын халықтың шашының элементтік құрамы геохимиялық және техногендік әсердің индикаторы ретінде бағалануы

Адам шашының элементтік құрамын зерттеу – экологиялық геохимия мен биомониторингтің перспективалы бағыттарының бірі болып табылады. Бұл әдіс халық ағзасына табиғи және техногендік факторлардың кешенді әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Мұндай зерттеулер кен өндіру саласы дамыған аймақтар үшін ерекше өзекті, себебі бұл аймақтарда өзіндік геохимиялық фон қалыптасады. Осы зерттеудің мақсаты – Ақмола облысының алтын кенді аумағында тұратын халықтың шашындағы элементтік құрамды бағалау және оның қалыптасуына әсер ететін геохимиялық және техногендік факторларды анықтау. Негізгі назар элементтердің жинақталу деңгейіне, олардың өзара байланысына және тән геохимиялық ассоциацияларды анықтауға аударылды. Жұмыс алтын кенді аумақтардың биогеохимиялық ерекшеліктері туралы түсінікті кеңейтеді, сондай-ақ шаштың қоршаған ортаның адамға әсерін көрсететін ақпараттық индикатор ретінде қолданылуы мүмкін екенін дәлелдейді. Зерттеу барысында Қонысбай кентінің 25 тұрғынынан шаш үлгілері алынды. Элементтердің мөлшері индуктивті байланысқан плазма әдісімен анықталды. Мәліметтерді өңдеу үшін статистикалық әдістер, концентрация коэффициенттерін есептеу, сондай-ақ корреляциялық және кластерлік талдау қолданылды. Зерттеуде аумақтың геологиялық және минералогиялық ерекшеліктері негізге алынып, 12 элемент таңдап алынды. Нәтижесінде шаштың элементтік құрамы жоғары деңгейде әркелкі және өзгермелі екені анықталды. Ең жоғары байыту As, W, Au және Hg элементтері бойынша байқалды, бұл алтын кенді минерализация мен техногендік процестердің әсерін көрсетеді. As–Au, Fe–Ni және S–W–Pt–Ir–Co–Os элементтік топтары бөлініп шығарылды, олар элементтік құрамның қалыптасуындағы әртүрлі факторларға сәйкес келеді. Жүргізілген зерттеу геохимиялық және статистикалық әдістерді кешенді қолдану элементтердің түсу көздерін неғұрлым дәл анықтауға мүмкіндік беретінін айқындайды. Алынған нәтижелер аймақтық биогеохимиялық мониторингті ұйымдастыруда, сондай-ақ алтын кенді аумақтардың экологиялық жағдайын және халық денсаулығына ықтимал әсерін бағалауда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: элементтік құрам, биоаккумуляция, биоиндикация, техногендік әсер, урбанизацияланған аумақтар.

Введение

Изучение элементного состава волос человека в последние десятилетия активно развивается как самостоятельное направление экологической геохимии и биомониторинга. Волосы рассматриваются как информативный биосубстрат, способный отражать как хроническое поступление химических элементов из окружающей среды, так и особенности геохимического фона территории проживания [1-3]. В отличие от крови и мочи, волосы аккумулируют элементы за продолжительный период времени и позволяют оценивать долговременное воздействие природных и техногенных факторов [4-7].

Особое значение биомониторинг по волосам приобретает в районах горнодобывающей деятельности, где формируется комплексное воздействие рудной минерализации, пылевых выбросов, переработки сырья и вторичных геохимических потоков. Для золоторудных территорий характерно присутствие элементов, ассоциированных с сульфидной и арсенопиритовой минерализацией, прежде всего мышьяка и ртути, а также ряда сопутствующих редких и благородных элементов [7-11].

Многочисленные исследования, выполненные в районах золотодобычи Китая, Перу, Африки и Южной Америки, демонстрируют повышенное накопление Hg, As и Pb в волосах населения, проживающего вблизи месторождений [12-16]. Ртуть традиционно рассматривается как ключевой индикатор техногенного воздействия в зонах добычи золота, особенно при использовании амальгамационных технологий [17, 18]. Вместе с тем, в рудных системах арсенопиритового типа важнейшим геохимическим маркером является мышьяк, чьи концентрации могут значительно варьировать в биосубстратах населения золоторудных районов [19].

Помимо традиционно изучаемых токсичных элементов, в последние годы возрастает интерес к анализу редкометалльных и платиновых элементов в волосах как потенциальных индикаторов геохимической специфики территорий [20, 21]. Применение высокочувствительных методов, включая инструментальный нейтронно-активационный анализ и секторный ICP-MS, позволяет определять ультранизкие концентрации элементов платиновой группы, вольфрама и золота, расширяя возможности геохимической интерпретации [22, 23].

Несмотря на накопленный массив данных, большинство зарубежных исследований сосредоточено преимущественно на оценке токсикологического риска и ограничивается анализом 5–7 приоритетных элементов (Hg, As, Pb, Cd и др.) [24-27]. В то же время значительно меньше внимания уделяется комплексному геохимическому анализу волос населения, проживающего непосредственно в пределах рудных полей, с учетом минералого-геологической специфики месторождения и применением методов корреляционного и кластерного анализа.

Для территории Акмолинской области Республики Казахстан, в пределах которой расположено одно из крупнейших золоторудных месторождений арсенопиритового типа, исследования элементного состава биосубстратов населения до настоящего времени носили преимущественно фрагментарный характер. Вместе с тем геологические особенности месторождения, включающие развитие интрузивных массивов, распространённую сульфидную минерализацию и доминирование арсенопирита в качестве основного рудного минерала, обуславливают формирование специфического геохимического спектра элементов, потенциально отражающегося в биологических субстратах человека.

В связи с этим представляется актуальным исследование элементного состава волос населения посёлка Конысбай, расположенного в пределах золоторудной территории. Основное внимание уделяется выявлению элементов с аномально высокими концентрациями по сравнению с региональным фоном, а также установлению взаимосвязей между элементами, отражающих влияние природных и техногенных факторов. Кроме того, проводится группировка элементов, позволяющая выделить основные геохимические процессы, определяющие их распределение.

Целью настоящего исследования является оценка элементного состава волос населения золоторудной территории Акмолинской области как индикатора геохимического и техногенного воздействия на основе статистического, корреляционного и кластерного анализа.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись волосы населения посёлка Конысбай (Акмолинская область, Казахстан), расположенного в пределах золоторудной территории. Волосы рассматри-

ваются как информативный биосубстрат, отражающий интегральное поступление химических элементов за длительный период, что позволяет применять их для задач биомониторинга геохимического и техногенного воздействия.

Было обследовано 25 человек, постоянно проживающих на исследуемой территории. Отбор проб проводили в соответствии со стандартными рекомендациями и подходами, используемыми в международной практике биомониторинга волос, включая рекомендации МАГАТЭ [28, 29]. Пряди волос отбирали ножницами из нержавеющей стали на расстоянии нескольких миллиметров от корня не менее чем с пяти участков головы (затылочная, височные, теменная и лобная области) с целью получения репрезентативной объединённой пробы. Масса пробы составляла ориентировочно 200–500 мг. Каждая проба упаковывалась в индивидуальный герметичный пакет, маркировалась и транспортировалась в лабораторию.

Для минимизации влияния внешней контаминации пробы подвергали предварительной подготовке. Волосы измельчали до сегментов длиной около 0,5 см, после чего готовили навески для анализа. Далее проводили кислотное разложение (мокрую минерализацию) с получением прозрачного раствора. Определение содержания химических элементов выполняли методом индуктивно связанной плазмы (ИСП), который обеспечивает многоэлементный анализ при высокой чувствительности и воспроизводимости.

Для настоящей работы в статистическую обработку были включены 12 элементов: S, Fe, Co, Ni, As, W, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Pb, выбранные с учётом геолого-минералогических особенностей золоторудной территории и результатов предварительного корреляционного анализа.

Для обеспечения достоверности результатов применяли стандартные процедуры аналитического контроля: измерение холостых проб, контроль стабильности сигнала прибора и проверка корректности калибровки по стандартным растворам. При необходимости выполняли повторные измерения проб с аномально высокими значениями.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Statistica и Microsoft Excel. Для каждого элемента рассчитывали: среднее значение, стандартную ошибку среднего, медиану, минимум и максимум. Оценку относительного накопления элементов

выполняли по коэффициентам концентрации, нормированным к средним значениям по Акмолинской области.

Для выявления взаимосвязей между элементами вычисляли коэффициенты корреляции Пирсона (r) и формировали корреляционную матрицу. При числе наблюдений $n = 25$ статистически значимыми считали связи при $r \geq 0,67$ ($p < 0,05$). Для выявления групп элементов со сходным поведением применяли иерархическую кластеризацию (метод Уорда) по матрице расстояний $1 - r$, результаты представлены в виде дендрограммы (рисунок 2).

Результаты исследования и их обсуждения

В рамках настоящего исследования был изучен элементный состав волос 25 жителей посёлка Коньсбай Акмолинской области, расположенного непосредственно в пределах золоторудного месторождения. Для анализа был выбран ограниченный набор из 12 химических элементов, включающий макроэлементы, элементы сульфидной минерализации, редкометалльные и благородные элементы, а также приоритетные потенциально токсичные элементы, что обусловлено геолого-минералогическими особенностями исследуемой территории.

По результатам статистического анализа установлено, что распределение большинства химических элементов в пробах волос населения носит неоднородный характер, что выражается в значительных различиях между средними и медианными значениями, а также в широком диапазоне минимальных и максимальных концентраций. Подобная неоднородность указывает на наличие факторов, искажающих фоновое распределение элементов, к которым могут быть отнесены как природно-геохимические особенности золоторудного месторождения, так и техногенное воздействие, связанное с добычей и переработкой руд, а также индивидуальные особенности поступления элементов в организм.

Следует отметить, что проживание населения в непосредственной близости от золоторудного объекта способствует формированию повышенной вариабельности элементного состава волос, что проявляется в виде высокой встречаемости аномальных значений ряда элементов. В таблице 1 представлены оценочные уровни накопления химических элементов в волосах населения посёлка Коньсбай.

Таблица 1*Оценочные уровни накопления химических элементов в волосах населения поселка Конысбай Акмолинской области*

Элементы	M	SE	Me	min	max
S	93989	2127	92136	74800	126053
Fe	28,5	2,16	27,3	9,61	51,5
Co	0,12	0,02	0,06	0,03	0,5
Ni	1,28	0,11	1,17	0,65	2,7
As	1,17	0,7	0,2	0,03	18,1
W	0,14	0,03	0,07	0,02	0,7
Os	0,0001	0,00004	0,00005	0,00005	0,001
Ir	0,0002	0,00008	0,00005	0,00005	0,001
Pt	0,0003	0,0001	0,00005	0,00005	0,003
Au	0,49	0,4	0,04	0,005	11,0
Hg	1,13	0,4	0,6	0,14	12,1
Pb	0,92	0,2	0,65	0,08	6,4

Примечание: M – среднее арифметическое; SE – стандартная ошибка; Me – медиана; min – минимум; max – максимум.

Как видно из таблицы 1, наибольшие значения среднего содержания характерны для серы, концентрация которой составляет в среднем 93989 мг/кг, при широком диапазоне значений. Повышенное содержание серы отражает сульфидную природу золоторудной минерализации исследуемой территории, а также значительную роль серы в формировании кератиновой структуры волос.

Среди элементов рудной ассоциации обращает на себя внимание железо, среднее содержание которого составляет 28,5 мг/кг, при варьировании значений от 9,61 до 51,5. Железо является структурным компонентом арсенопирита и других сульфидных минералов, характерных для золоторудных месторождений, что позволяет рассматривать его накопление в волосах как отражение геохимического фона территории.

Для мышьяка выявлено выраженное асимметричное распределение: при среднем значении 1,17 медиана составляет лишь 0,2, а максимальная концентрация достигает 18,1. Это указывает на наличие единичных аномально высоких значений, что характерно для элементов, ассоциированных с арсенопиритовой минерализацией, и свидетельствует о локальном или индивидуально обусловленном повышенном поступлении мышьяка [30].

Схожий характер распределения отмечен для ртути, среднее содержание которой составляет 1,13 мг/кг, при медиане 0,6 и максимальном значении 12,1. Ртуть является одним из

ключевых токсичных элементов, традиционно рассматриваемых как индикатор техногенного воздействия в районах золотодобычи, и её повышенные значения в отдельных пробах могут отражать хроническое воздействие золоторудного объекта.

Свинец также характеризуется значительной вариабельностью концентраций (от 0,08 до 6,4) при среднем значении 0,92 мг/кг, что указывает на неравномерное поступление элемента и возможное влияние пылевого и техногенного факторов.

Особый интерес представляет группа редкометалльных и благородных элементов (W, Os, Ir, Pt, Au). Для золота характерно значительное расхождение между средним и медианным значениями, а также наличие высоких максимальных концентраций (до 11,0 мг/кг), что свидетельствует о точечном характере накопления и подтверждает влияние золоторудной геохимической обстановки. Элементы платиновой группы (Os, Ir, Pt) содержатся в волосах в ультранизких концентрациях, однако их устойчивое присутствие и высокая вариабельность могут отражать специфический геохимический фон интрузивных пород и рудных тел, а также пылевое воздействие, связанное с горными работами [31].

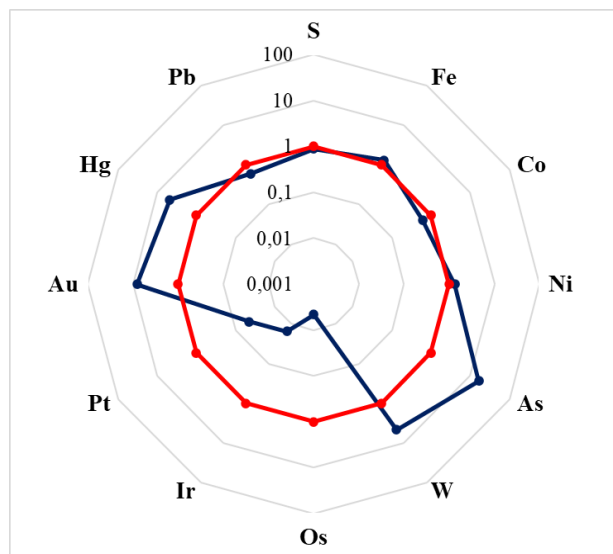
Таким образом, анализ статистических показателей элементного состава волос населения посёлка Конысбай свидетельствует о сложном сочетании природно-геохимических и техногенных факторов, формирующих индивидуальные и

групповые особенности накопления химических элементов. Выявленные особенности распределения, а также наличие аномальных значений ряда элементов подтверждают целесообразность использования волос человека в качестве информативного биосубстрата для оценки влияния золоторудных территорий на население.

При анализе коэффициентов концентрации химических элементов в волосах населения посёлка Коньсыбай, нормированных относительно средних значений по Акмолинской области (рисунок 1), выявлена отчётливая дифференциация элементов по уровню накопления. Значения коэффициентов концентрации, превышающие 1, указывают на обогащение волос соответствующими элементами по сравнению с региональным фоном, тогда как значения ниже 1 свидетельствуют о пониженных уровнях относительно среднего по области.

Рисунок 1

Коэффициенты концентрации химических элементов в волосах населения п. Коньсыбай относительно среднего по Акмолинской области [32].



Как видно из рисунка 1, наиболее выраженное превышение единицы характерно для мышьяка, вольфрама, золота и ртути. Это означает, что именно данные элементы формируют основную «аномальную» компоненту элементного состава волос у обследованного населения. Повышенное накопление мышьяка и золота является ожидаемым для территории, расположенной в

пределах золоторудного объекта, и согласуется с арсенопирит-ассоциированной природой оруденения. Существенно повышенный коэффициент по вольфраму может быть обусловлен как геохимическими особенностями месторождения, так и влиянием пылевого фактора, сопровождающего горнодобывающую деятельность [33, 34]. Повышение ртути следует рассматривать как потенциальный индикатор техногенного воздействия, характерного для золотодобывающих районов, при этом его вклад проявляется именно на уровне относительного обогащения по сравнению с региональным средним.

Наряду с этим, железо и никель демонстрируют умеренное превышение регионального уровня (коэффициенты концентрации немного выше 1). Такая картина может отражать преимущественно природно-геохимическую обусловленность (влияние вмещающих пород и рудной минерализации) при отсутствии столь ярко выраженной аномалии, как для As, W, Au и Hg.

Остальные элементы, представленные на рисунке 1 (S, Co, Os, Ir, Pt, Pb), характеризуются коэффициентами концентрации ниже 1, что указывает на их содержание в волосах населения посёлка Коньсыбай ниже среднего уровня по Акмолинской области. Таким образом, анализ коэффициентов концентрации показывает, что специфика исследуемой территории в первую очередь проявляется в относительном накоплении As, W, Au, Hg, при более слабом повышении Fe и Ni, тогда как остальные элементы не формируют положительных аномалий относительно регионального фона.

Региональные особенности элементного состава волос населения п. Коньсыбай также отражаются в геохимических рядах накопления, полученных при сопоставлении с опубликованными концентрационными данными различных авторов. При нормировании полученных результатов относительно литературных данных о среднем содержании химических элементов в волосах человека можно наблюдать следующую картину:

по данным Глазовской [35] $Au_{696} - S_{55} - Hg_{6,3} - As_{0,4} - Ni_{0,1} - W_{0,1} - Ir_{0,1} - Pb_{0,1} - Co_{0,005} - Os_{0,003} - Pt_{0,003} - Fe_{0,001}$; по данным справочника «Человек. Медико-биологические данные» [36] — $Co_{39} - Au_{6,1} - S_{2,1} - Hg_{1,9} - Ni_{1,7} - Fe_{0,9} - As_{0,6} - Pb_{0,2}$; по данным Саета Ю.Е., Ревича Б.А. и др. [37] — $Au_{24} - As_{13} - Co_{0,9} - Hg_{0,6} - Fe_{0,3} - Pb_{0,3}$;

по данным Ward N.I. et al. [38] – $W_{15} - Au_{8,1} - As_{7,8} - S_{2,3} - Co_{1,7} - Fe_{0,8} - Ni_{0,7} - Hg_{0,3}$; по данным Rodushkin I., Axelsson M.D. [39] – $W_{26} - Au_{16} - As_{14} - Co_{8,9} - Ir_{7,6} - Hg_{4,3} - Fe_{2,9} - Ni_{2,9} - Pt_{2,3} - S_{1,9} - Pb_{0,9}$.

Анализ сопоставления показывает, что независимо от используемого литературного источника устойчивое превышение коэффициентов концентрации наблюдается для мышьяка (As) и золота (Au). Данная закономерность прослеживается в большинстве сравниваемых работ и указывает на специфическую золоторудную направленность исследуемой территории.

В ряде сравнений также отмечается превышение коэффициентов для вольфрама (W) и ртути (Hg). Повышенные значения As–Au, дополняемые W и Hg, формируют характерный элементный комплекс, отражающий как при-

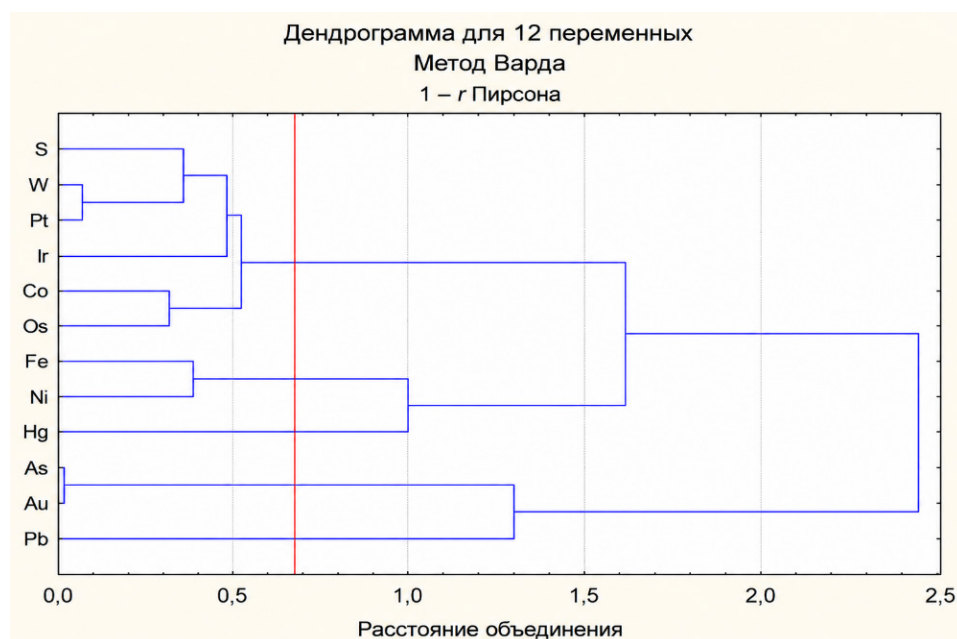
родно-рудные особенности арсенопиритовой минерализации, так и возможное техногенное воздействие.

При этом для большинства остальных элементов (Co, Fe, Ni, Pt, Ir, Os, Pb) устойчивого систематического превышения относительно литературных данных не выявлено, что позволяет рассматривать их как элементы, распределение которых в большей степени определяется общими биогеохимическими закономерностями.

Таким образом, сопоставление полученных результатов с опубликованными концентрационными данными подтверждает, что территория п. Конысбай характеризуется специфическим элементным профилем, доминирующими компонентами которого являются As–Au с участием W и Hg, что соответствует геолого-минералогической специфике золоторудного объекта.

Рисунок 2

Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в волосах населения п. Конысбай



На рисунке 2 представлена дендрограмма, построенная по результатам иерархической кластеризации (метод Уорда) с использованием меры расстояния 1 – r (Пирсон) для 12 элементов в волосах населения пос. Конысбай. Такой подход позволяет выделить группы элементов, характеризующиеся сходством вариаций концентраций, что, как правило, отражает общность

факторов поступления (природно-геохимических и/или техногенных) либо близкие механизмы депонирования в матрице волос.

Как видно из рисунка 2, при выбранном уровне отсечения формируются три устойчивые группы элементов.

Наиболее чётко выраженную и обособленную группу образуют мышьяк и золото. Их

объединение при минимальном расстоянии указывает на максимальную согласованность изменений концентраций в выборке. Данная ассоциация является геохимически закономерной для золоторудных объектов арсенопиритового типа и отражает ведущий вклад природно-рудного фактора в формирование элементного состава волос населения. Фактически, кластер As–Au можно рассматривать как элементную «подпись» золоторудной минерализации исследуемой территории.

Вторую группу формируют железо и никель, объединяющиеся в самостоятельный кластер. Сходство их поведения может быть обусловлено как литогенным (геологическим) вкладом со стороны вмещающих пород и минерализованных зон, так и пылевой составляющей, связанной с переносом минеральных частиц (в том числе в условиях горных работ и повышенной трещиноватости пород). При этом формирование отдельного кластера Fe–Ni свидетельствует о том, что вариации этих элементов в волосах населения определяются иным фактором, чем вариации As–Au, то есть не сводятся исключительно к золоторудному «ядру».

Третья группа включает серу, вольфрам, платину, иридий, кобальт и осмий. Объединение данных элементов в общий кластер указывает на наличие отдельного геохимического фактора, формирующего их совместную изменчивость. Присутствие серы подчёркивает роль сульфидной компоненты (характерной для гидротермального оруденения), тогда как включение W и элементов платиновой группы (Pt, Ir, Os), а также Co может отражать специфику геохимического фона территории, обусловленную составом интрузивных пород и/или тонкодисперсной пылевой примесью минерального материала. В контексте золоторудной территории данный кластер может интерпретироваться как проявление минералого-геохимической специфики рудного поля, дополняющей ассоциацию As–Au.

Таким образом, результаты кластерного анализа показывают, что элементный состав волос населения пос. Конысбай формируется под влиянием как минимум трёх относительно независимых факторов: (1) золоторудной арсеновой ассоциации (As–Au), (2) литогенно-пылевого или геологически обусловленного фактора (Fe–Ni), (3) сульфидно-редкометалльного/благороднометалльного фактора (S–W–Pt–Ir–Co–Os). Выде-

ление этих групп согласуется с ранее полученными результатами корреляционного анализа и подтверждает информативность волос как биосубстрата для оценки геохимического влияния золоторудных территорий на население.

Заключение

В работе проведена оценка элементного состава волос населения посёлка Конысбай, расположенного в пределах золоторудной территории Акмолинской области, с целью выявления факторов, определяющих его формирование. В результате исследования установлено, что распределение большинства изученных элементов в волосах характеризуется выраженной неоднородностью, что проявляется в значительном расхождении между средними и медианными значениями и широким диапазоне концентраций. Наиболее высокая вариабельность выявлена для As, Au, Hg и Pb, что свидетельствует о наличии локальных аномалий и неравномерного поступления данных элементов. Анализ коэффициентов концентрации показал, что основную аномальную компоненту формируют As, W, Au и Hg, тогда как Fe и Ni характеризуются умеренным превышением регионального уровня.

Проведённый корреляционный и кластерный анализ позволил выделить три группы элементов, отражающие различные факторы их поступления: ассоциацию As–Au, связанную с золоторудной минерализацией; группу Fe–Ni, обусловленную литогенно-пылевым влиянием; а также комплекс S–W–Pt–Ir–Co–Os, отражающий геохимическую специфику рудного поля. Полученные результаты подтверждают, что элементный состав волос формируется под совокупным воздействием природных и техногенных факторов.

Таким образом, установлено, что волосы являются информативным биосубстратом для оценки геохимического воздействия золоторудных территорий на население, а применение комплекса статистических методов позволяет более точно выявлять источники поступления элементов. Это уточняет представления о формировании элементного состава биосубстратов в условиях рудных регионов и дополняет существующие данные экологической геохимии. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных

результатов при организации регионального биогеохимического мониторинга, а также при оценке экологического состояния территорий и потенциальных рисков для здоровья населения. В дальнейшем перспективным является расширение выборки, включение других биосубстратов и проведение сопоставительных исследований в различных горнорудных регионах.

Конфликт интересов

Все авторы прочитали и ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

Вклад авторов

Проведение исследования, методология, концептуализация, написание-первоначальный вариант, формальный анализ – Л.А. Бермаганбетова; научное руководство, концептуализация, написание – рецензирование и редактирование – А.А. Какабаев, Н.В. Барановская; методология, написание – рецензирование и редактирование. формальный анализ – Б.У. Шарипова; проведение исследования, написание – рецензирование и редактирование, визуализация – Г.Е. Байкенова; администрирование проекта – А. Зандыбай, А.С. Курманбаева.

Литература

- Umarova, G., Batyrova, G., Tlegenova, Zh., Kononets, V., Balmagambetova, S., Umarov, Y., Yessengaliyeva, I., Mamyrbayev, A. (2022). Essential trace elements in scalp hair of residents across the Caspian oil and gas region of Kazakhstan. *Toxics*, 10(7), 364. <https://doi.org/10.3390/toxics10070364>
- Шарипова, Б.У., Барановская, Н.В., Какабаев, А.А., Корогод, Н.П., Курманбаев, Р.Х., Абдрасулова Ж.Т. (2021). Эколого-геохимическая оценка территории Южного Казахстана (на примере Туркестанской и Кызылординской областей). *Вестник серия экологическая, КазНУ им.Аль-Фараби*, 2(67), 31-40. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v67.i2.03>
- Kusanagi, E., Takamura, H., Hoshi, N., Chen, S.J., Adachi, M. (2023). Levels of Toxic and Essential Elements and Associated Factors in the Hair of Japanese Young Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1186. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021186>
- Adav, S.S., Ng, K.W. (2025) The multifaceted role of hair as a biospecimen: recent advances in precision medicine and forensic science. *Experimental & Molecular Medicine*, 57, 2234-2250. <https://doi.org/10.1038/s12276-025-01548-4>
- Zhang, S., Yan, X., Tang, B., Luo, W., Chen, S., Luo, X., Zheng J., Mai, B., Yu, Y. (2023). Human hair as a noninvasive matrix to assess exposure to micro-organic contaminants: State of the art review. *Science of The Total Environment*, 892, 164341. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164341>
- Barbosa, Jr.F., Tanus-Santos, J.E., Gerlach, R.F., Parsons, P.J. (2005). Critical Review of Biomarkers Used for Monitoring Human Exposure to Lead: Advantages, Limitations, and Future Needs. *Environmental health perspectives*, 113(12), 1669. <https://doi.org/10.1289/ehp.7917>
- Morton, J., Carolan, V.A., Gardiner, P.H.E. (2002). Removal of exogenously bound elements from human hair by various washing procedures and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 455(1), 23-34. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01578-1](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01578-1)
- Li, D., Zhang, H., Chang, F., Duan, L., Zhang Y. (2022). Distribution and health-ecological risk assessment of heavy metals: an endemic disease case study in southwestern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 4260-4275. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15591-x>
- Kamunda, C., Mathuthu, M., Madhuku, M. (2016). Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *International journal of environmental research and public health*, 13(7), 663. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070663>
- Chen, S., Wu, P., Zha, X., Zhou, B., Liu, J., Long, E. (2023). Arsenic and Heavy Metals in Sediments Affected by Typical Gold Mining Areas in Southwest China: Accumulation, Sources and Ecological Risks. *Environmental Research and Public Health*, 20, 1432. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021432>
- Alloway, B.J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Yang, M., Xu, Y., Ke, H., Chen, H. (2021). Cumulative Effect and Content Variation of Toxic Trace Elements in Human Hair around Xiaoginling Gold Mining Area, Northwestern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*, 18(4), 2074. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042074>
- Reuben, A., Frischtak, H., Berky, A., Ortiz, E.J., Morales, A.M., Hsu-Kim, H., Pendergast, L.L., Pan, W.K. (2020). Elevated Hair Mercury Levels Are Associated with Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. *GeoHealth*, 4(5), e2019GH000222 <https://doi.org/10.1029/2019GH000222>
- Calao-Ramos, C., Bravo, A.G., Paternina-Urbe, R., Marrugo-Negrete, J., Díez, S. (2021). Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. *Environment International*, 146, 106216. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106216>

- Bose-O'Reilly, S., McCarty, K.M., Steckling, N., Lettmeier, B. (2010). Mercury exposure and children's health. *Current problems in pediatric and adolescent health care*, 40(8), 186-215. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2010.07.002>.
- Steckling, N., Tobollik, M., Plass, D., Hornberg, C., Ericson, B., Fuller, R., Bose-O'Reilly, S. (2017). Global Burden of Disease of Mercury Used in Artisanal Small-Scale Gold Mining. *Annals of Global Health*, 83(2), 234-247. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2016.12.005>
- Drasch, G., Bose-O'Reilly, S., Beinhoff, C., Roider, G., Maydla, S. (2001). The Mt. Diwata study on the Philippines 1999 – assessing mercury intoxication of the population by small scale gold mining. *Science of the total environment*, 267(1-3), 151-168. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00806-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00806-8)
- Gibb, H., O'Leary, K.G. (2014). Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community: A Comprehensive Review. *Environmental health perspectives*, 122(7), 667-672. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307864>.
- Plumlee, G.S., Morman, S.A. (2011). Mine Wastes and Human Health. *Elements*, 7(6), 399-404. <https://doi.org/10.2113/gselements.7.6.399>
- Lo Medico, F., Varrica, D., Alaimo, M.G. (2023). Occurrence of palladium and platinum in human scalp hair of adolescents living in urban and industrial sites. *Science of The Total Environment*, 892, 164777. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164777>
- Dongarrà, G., Lombardo, M., Tamburo, E., Varrica, D., Cibella, F., Cuttitta, G. (2011). Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy). *Environmental toxicology and pharmacology*, 32(1), 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.03.003>
- Dai, R., Zhang, H., Yang, W., Wang, X., Li, X., Yu, Y., Chen, F. (2025). A simple and high-throughput ICP-MS method for the determination of 46 elements in urine: Biomonitoring of occupational exposure in automotive workers. *Talanta*, 12, 100559. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2025.100559>
- Tan, X., Wang, Zh. (2024). Trace Elements Determination in Human Scalp Hair by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Its Application to Health Status Assessment. *European Journal of Applied Sciences*, 12(06), 609-620. <https://doi.org/10.14738/aivp.1206.18025>
- Kumakli, H., Duncan, A.V., McDaniel, K., Mehari, T.F., Stephenson, J., Maple, L., Crawford, Z., Macemore, C.L., Babyak, C.M., Fakayode, S.O. (2017). Environmental biomonitoring of essential and toxic elements in human scalp hair using accelerated microwave-assisted sample digestion and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy. *Chemosphere*, 174, 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.032>
- Batyrova, G., Kononets, V., Umarova, G., Taskozhina, G., Umarov, Y., Issanguzhina, Zh., Kudabayeva, Kh., Batyrov, R. (2025). Trace Metal and Metalloid Profiles in Hair Samples from Children in the Oil-Producing Region of Kazakhstan. *Toxics*, 13(7), 522. <https://doi.org/10.3390/toxics13070522>
- Aragona, F., Giannetto, C., Piccione, G., Licata, P., Deniz, Ö., Fazio, F. (2024). Hair and Blood Trace Elements (Cadmium, Zinc, Chrome, Lead, Iron and Copper) Biomonitoring in the Athletic Horse: The Potential Role of Haematological Parameters as Biomarkers. *Animals (Basel)*, 14(22), 3206. <https://doi.org/10.3390/ani14223206>
- Pan, Y., Li, H. (2015). Trace elements in scalp hair from potentially exposed individuals in the vicinity of the Bayan Obo mine in Baotou, China. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3), 678-685. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.08.027>
- International Atomic Energy Agency. (1980). *Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements*. Appendix II. Technical reports series, 197, Vienna: IAEA, 351-367.
- Ryabukhin, Y.S. (1978). *Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants*. Vienna: IAEA, 135 p.
- Katz S.A. (2019). On the Use of Hair Analysis for Assessing Arsenic Intoxication. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 977. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060977>
- Янин Е.П. (2021). *Платиновые металлы в окружающей среде (эколого-геохимические аспекты)*. Москва: НП «Арсо». 232 с.
- Байкенова, Г.Е., Барановская, Н.В., Какабаев, А.А., Берсимбаев, Р.И., Корогод, Н.П., Наркович, Д.В., Куровская, В.В. (2021) Индикаторные показатели состояния экосистем в элементном составе волос жителей районов Северного Казахстана. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 332(7), 148–158. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/07/3278>
- Kazamel, B.G., Jamieson, H.E., Leybourne, M.I., Falck, H., Johannesson, K.H. (2023). Aqueous Geochemistry and Mineralogy of Tungsten with Emphasis on Mine Wastes. *Economic Geology*, 118 (3), 659–674. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4939>
- Liu, S., Yuan, R., Wang, X., Yan, Z. (2022). Soil tungsten contamination and health risk assessment of an abandoned tungsten mine site. *Science of The Total Environment*, 852, 158461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158461>
- Глазовская М.А. (2007). *Геохимия природных и техногенных ландшафтов*. Москва: Географический факультет МГУ. 350 с.
- Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ). (1977). *Человек. Медико-биологические данные. Доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку*. Москва: Медицина, 445 с.
- Сагт, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П. (1990). *Геохимия окружающей среды*. Москва: Недра. 335 с.
- Ward, N.I., Spyrou, N.M., Daymanova, A.A. (1987). Study of hair element content from an urban Bulgarian population using NAA assessment of environmental status. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 114(1), 125–135.
- Rodushkin, I., Axelsson, M.D. (2000). Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden. *Science of The Total Environment*, 262(1-2), 21-36. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00531-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00531-3)

Сведения об авторах:

Бермаганбетова Лаззат (корреспондентный автор) – докторант Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова (e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com).

Какабаева Ануарбек Аязбаевич – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор Северо-Казахстанского университета им. Манаши Козыбаева (e-mail: anuarka@ku.edu.kz).

Барановская Наталья Владимировна – доктор биологических наук, профессор Томского политехнического университета (e-mail: nata@tpu.ru).

Шарипова Ботагоз Ураловна – PhD, ассоциированный профессор кафедры биологии и методики преподавания Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова (e-mail: oralovna8282@gmail.com).

Байкенова Гулим Еркиновна – PhD, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова (e-mail: guliander@bk.ru).

Зандыбай Аманбек – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Курманбаева Айгуль Сапарбековна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова (e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz).

Information about the authors:

Bermaganbetova Lazzat Amangeldinovna (corresponding author) – PhD student at Sh. Ualikhanov Kokshetau University (e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com).

Kakabayeva Anuarbek Ayazbayevich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at M. Kozybayev North Kazakhstan University (e-mail: anuarka@ku.edu.kz).

Baranovskaya Natalia Vladimirovna – Doctor of Biological Sciences, Professor at Tomsk Polytechnic University (e-mail: nata@tpu.ru).

Sharipova Botagoz Uralovna – PhD, Associate Professor of the Department of Biology and Teaching Methods at Sh. Ualikhanov Kokshetau University (e-mail: oralovna8282@gmail.com).

Baikanova Gulim Yerkinovna – PhD, Associate Professor of the Department of Mining, Construction and Ecology at Sh. Ualikhanov Kokshetau University (e-mail: guliander@bk.ru).

Zandybay Amanbek – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at L.N. Gumilyov Eurasian National University (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Kurmanbayeva Aigul Saparbekovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at Sh. Ualikhanov Kokshetau University (e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

Бермаганбетова Ләззат (корреспонденттік автор) – Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің докторанты (e-mail: bermaganbetova.lyazat@gmail.com).

Какабаева Ануарбек Аязбаевич – биология ғылымдарының кандидаты, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің қауымдастырылған профессоры (e-mail: anuarka@ku.edu.kz).

Барановская Наталья Владимировна – биология ғылымдарының докторы, Томск политехникалық университетінің профессоры (e-mail: nata@tpu.ru).

Шарипова Ботагөз Ораловна – PhD, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің биология және оқыту әдістемесі кафедрасының қауымдастырылған профессоры (e-mail: oralovna8282@gmail.com).

Байкенова Гүлім Еркиновна – PhD, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры (e-mail: guliander@bk.ru).

Зандыбай Аманбек – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің қауымдастырылған профессоры (e-mail: amanbek_z@mail.ru).

Курманбаева Айгүл Сапарбековна – биология ғылымдарының кандидаты, Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің қауымдастырылған профессоры (e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz).

Поступила: 26 февраля 2026 года

Принята: 28 июня 2026 года