

Код МРНТИ 52.35.29

А. Амангелдіқызы, А.Н. Копобаева, *Н.С. Асқарова, Ә. Бакыт
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ИЗУЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЯХ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Аннотация. Целью настоящей работы является изучение распределения благородных металлов в углях и глинистых прослоях Карагандинского угольного бассейна (Центральный Казахстан). Для диагностики геохимических особенностей изучено 85 проб угля, глинистых прослоев пласта к7 и их контактовых зон, которые анализировались с использованием методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии (ICP-OES и ICP-MS). По результатам геохимического анализа установлено, что в пласте к7, *Ag* в глинистых прослоях и зонах контакта варьируется от 0,1 до 0,5 г/т, в то время как общее содержание *Ag* в угле составляет от 0,1 до 0,3 г/т. Также по результатам анализов построены графики вертикального и латерального распределения *Ag*. Установлены микро-минеральные формы нахождения самородного *Au*, электрума? *AuAg* в образцах глинистых прослоев и контактовых зон угля с глинистыми прослоями.

Ключевые слова: пласт к7, геохимия, благородные металлы, распределение, угли, минералы.

Караганды көмір бассейнінің көміріндегі асыл металдарды зерттеу

Аннотация. Бұл жұмыстың мақсаты Караганды көмір бассейнінің (Орталық Қазақстан) көмірлер мен саз аралық қабаттарында асыл металдардың таралуын зерттеу болып табылады. Геохимиялық белгілерді диагностикалау үшін көмірдің 85 үлгісі, к7 қабатының саз аралық қабаттары және олардың жанауы аймақтары зерттелді, олар индуктивті байланысқан плазмалық және масс-спектрометриямен (ICP-OES және ICP-MS) атомдық эмиссиялық спектроскопия әдістерін қолдану арқылы талданды. Геохимиялық талдау нәтижелері бойынша к7 қабатында, саз аралық қабаттар мен жанауы аймақтарында *Ag* 0,1-0,5 г/т ауытқиса, көмірдегі жалпы *Ag* мөлшері 0,1-0,3 г/т болатыны анықталды. Сондай-ақ талдау нәтижелері бойынша *Ag* тік және бүйірлік таралу графиктері тұрғызылды. Жергілікті *Au*, электрумның микроминералды формалары? Саз аралық қабаттарының үлгілеріндегі *AuAg* және көмірдің саз аралық қабаттарымен жанауы-мақтары анықталды.

Түйінді сөздер: к7 қабаты, геохимия, асыл металдар, таралу, көмір, минералдар.

Study of precious metals in coals of the Karaganda coal basin

Abstract. The purpose of this work is to study the distribution of precious metals in coals and clay layers of the Karaganda coal basin (Central Kazakhstan). To diagnose geochemical features, 85 samples of coal, clay layers of the к7 formation and their contact zones were studied, which were analyzed using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and mass spectrometry (ICP-OES and ICP-MS) methods. According to the results of geochemical analysis, it was found that in the к7 formation, *Ag* in clay layers and contact zones varies from 0.1 to 0.5 g/t, while the total *Ag* content in coal ranges from 0.1 to 0.3 g/t. Also, based on the analysis results, graphs of vertical and lateral *Ag* distribution are constructed. Have micromineral forms of finding native *Au* and electrum been established? *AuAg* in samples of clay interlayers and contact zones of coal with clay interlayers.

Key words: к7 seam, geochemistry, precious metals, distribution, coals, minerals.

Введение

В соответствии с положениями Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года, а также в контексте реализации стратегических направлений перехода к «зеленой экономике», предполагается, что расширение использования угля будет способствовать активизации научных исследований и разработке инновационных, экологически безопасных технологий его добычи, сжигания и переработки.

В условиях истощения запасов традиционных легкообогатимых руд актуальной задачей становится расширение минерально-сырьевой базы Республики Казахстан за счет вовлечения в промышленный оборот нетрадиционных источников минерального сырья. Уголь все чаще рассматривается в качестве перспективного объекта для комплексных исследований, направленных на выявление его потенциала как источника благородных и редких металлов.

Впервые добыча золота из угля началась более века назад в США [1], и в последние годы возобновился интерес к углям как источнику стратегических металлов [2–6]. Существуют многочисленные свидетельства золотой минерализации в угле [3–7]. На сегодняшний день исследователями установлены высокие содержания многих примесных элементов в углях, в том числе благородных, редких и редкоземельных элементов [8–11], представляющих стратегическое значение для минерально-сырьевой базы страны. Несмотря на это, уголь, включая обогащенные металлами разновидности, в настоящее время преи-

мущественно рассматривается как энергетическое сырье.

Несмотря на существенные достижения в изучении благородно-металльного оруденения в углях и на значительное внимание, уделяемое изучению процессов аккумуляции золота в угленосных формациях, вопросы, касающиеся геохимических особенностей поведения золота в угольных пластах, условий его нахождения, а также механизмов формирования аномально высоких концентраций, остаются недостаточно изученными и требуют дальнейших комплексных исследований. Исследования в этой области продолжаются, и их результаты могут иметь важное значение для разработки новых методов добычи и обеспечения устойчивости поставок этих ценных материалов.

Представленная работа посвящена изучению оригинальных данных по геохимии и минералогии углей Карагандинского угольного бассейна, полученных авторами в результате комплексных минералого-геохимических исследований на территории данного бассейна. Авторами проведены комплексные исследования минерализации углей, получены новые данные о распределении благородных металлов (БМ) в углях и глинистых прослоях Карагандинского угольного бассейна (Центральный Казахстан).

Характеристика объекта

Карагандинский угольный бассейн (КУБ) является одним из старейших и крупнейших угледобывающих объектов Центральной Азии и ключевым элементом топливно-энергетического и металлургического комплексов Казахстана. Его значение определяется значительными запасами высококачественного угля, включая ценные марки

коксуемого угля. Бассейн расположен в центральной части Казахстана, на территории Карагандинской области, в пределах Казахского мелкосопочника. Протяженность бассейна составляет около 80 км с севера на юг и 25 км с запада на восток, занимая общую площадь около 3000 км².

Основная угленосность бассейна приурочена к отложениям верхнего и среднего карбона (C_2-C_3). Эти породы представлены мощными толщами терригенных осадков – песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами, содержащими пласты каменного угля.

В рамках данного исследования были изучены геохимические и минералогические характеристики пласта к7 Карагандинской свиты (визейский ярус каменноугольного возраста, $C_{1v3-nkr}$) в пределах Карагандинского промышленного района. Материал для анализа был отобран на действующих шахтах: Саранской, Актасской и имени Кузембаева (рис. 1).

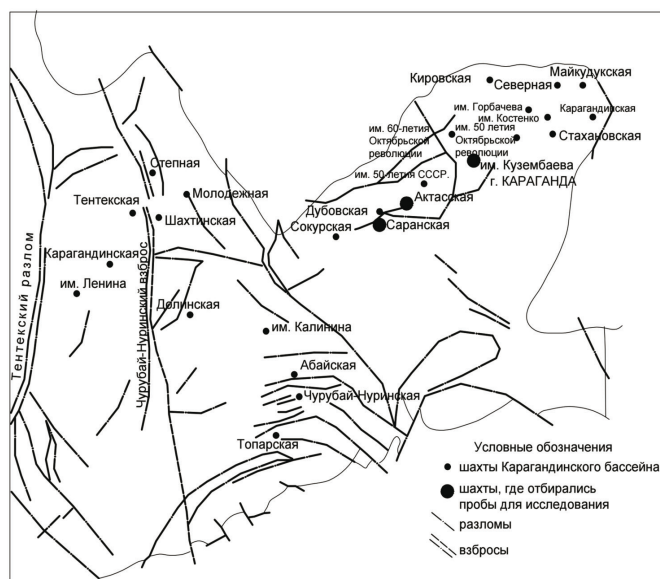


Рис. 1. Схема расположения шахт Карагандинского угольного бассейна.

Сурет 1. Қарағанды көмір бассейніндегі шахталардың орналасу сызбасы.

Figure 1. Diagram of the location of mines in the Karaganda coal basin.

Методика проведения работ

Статья основана на масштабном исследовании геохимических и минералогических характеристик углей и глинистых слоев пласта к7 в Карагандинском угольном бассейне.

Для более глубокого изучения геохимических особенностей и процессов накопления благородных металлов в угольных отложениях Карагандинской мульды были выбраны образцы из трех действующих шахт, непосредственно на забое, где идет разработка пласта к7: шахт Саранская, Актасская и имени Кузембаева. Всего было отобрано 85 проб угля и сопутствующих пород из вертикальных сечений. В каждом срезе были собраны по 5 образцов для изучения латеральных и вертикальных изменений минералогических и геохимических характеристик

пласта к7. В образцах выделялись такие зоны, как угли (верхняя часть сечения (УВ) и нижняя часть сечения (УН), глинистые прослои (ГП) и контактные зоны между углем и глинистым прослоем (верхний контакт (КВ) и нижний контакт (КН)). Длина интервала для отбора проб варьировалась в зависимости от толщины и сложности стратиграфии пласта, составляя от 10 до 200 метров.

Анализ химического состава проб проводился в лаборатории аналитической химии Дальневосточного геологического института ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН). Определение элементного состава угля и глинистых прослоев выполнялось с использованием методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии (ICP-OES и ICP-MS) на спектрометрах Agilent 7500 (Agilent Technologies, США) и iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, США).

Исследования микро-минеральных форм нахождения БМ в углях Карагандинского угольного бассейна были проведены в лаборатории микро- и нано-исследований Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН методом сканирующей электронной микроскопии с помощью аналитического сканирующего электронного микроскопа Jeol JSM-6490LV с ЭДС INCA Energy, X-max и аналитического двухлучевого сканирующего электронного микроскопа TescanLyra 3 XMN, укомплектованного ЭДС спектрометром AZtecXMax 80 Standart. При элементном рентгеноспектральном микроанализе микрозерен с заданными характеристиками на энергодисперсионном спектрометре AZtec X-Max 80 Standart, интегрированном с СЭМ, для автоматизированного их поиска-классифицирования и анализа использовалось программное приложение INCAFeatureOxford Instruments.

На основании проведенных исследований выявлены основные геохимические характеристики углей и глинистых прослоев пласта к7, которые свидетельствуют о высоком содержании благородных металлов, таких как золото, серебро, платина и палладий. Эти элементы локализованы преимущественно в пределах глинистых прослоев и контактных зон, что указывает на важную роль этих слоев в процессе аккумуляции благородных металлов.

Обсуждение результатов

Изучено 85 проб угля: 25 проб угля на шахте Саранская, 40 проб угля на шахте им. Т. Кузембаева, 20 проб угля на шахте Актасская; содержание Ag представлено в таблицах 1–3.

Для установления характера распределения Ag в угле построены графики латерального распределения элемента в углях пласта к7 по всем трем шахтам (рис. 2). Установлено, что, распределение Ag имеет выраженный неравномерный характер. На фоне общей тенденции повышения значений с западной части изучаемого бассейна на северо-восточную, минимальные значения Ag (0,1 г/т) установлены на шахте Актасская.

Неравномерный характер латеральной изменчивости концентраций Ag может указывать на различную степень влияния пород областей сноса и других геологических факторов на распределение элемента в пределах единого пласта к7.

Таблица 1

Результаты содержания Ag шахты Саранская, г/т

Кесте 1

Саран шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т

Table 1

Results of the Ag contents of the Saranskaya mine, g/t

шахта Саранская										
Точка отбора № 1						Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.120	0.173	0.164	0.206	0.104	0.154	0.154	0.157	0.177	0.149
Точка отбора № 3						Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.137	0.153	0.133	0.163	0.109	0.128	0.174	0.274	0.443	0.124
Точка отбора № 5										
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН					
Ag	0.291	0.167	0.150	0.146	0.129					

Таблица 2

Результаты содержания Ag шахты им. Т. Кузембаева, г/т

Кесте 2

Т. Кузембаев шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т

Table 2

Results of the Ag contents of the T. Kuzembayev mine, g/t

шахта им. Кузембаева										
Точка отбора № 1						Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.133	0.245	0.289	0.536	0.340	0.296	0.490	0.297	0.394	0.268
Точка отбора № 3						Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.566	0.572	0.334	0.429	0.316	0.364	0.372	0.390	0.457	0.301
Точка отбора № 5						Точка отбора № 6				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.319	0.448	0.349	0.448	0.231	0.319	0.411	0.301	0.387	0.283
Точка отбора № 7						Точка отбора № 8				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.514	0.466	0.294	0.403	0.258	0.288	0.512	0.313	0.451	0.267

Таблица 3

Результаты содержания Ag шахты Актасская, г/т

Кесте 3

Ақтас шахтасында Ag мөлшерінің нәтижелері, г/т

Table 3

Results of the Ag contents of the Aktass mine, g/t

шахта Актасская										
Точка отбора № 1						Точка отбора № 2				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.155	0.171	0.416	0.151	0.131	0.139	0.244	0.148	0.144	0.092
Точка отбора № 3						Точка отбора № 4				
	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН	УВ	КВ	ГЛ	КН	УН
Ag	0.152	0.143	0.138	0.136	0.108	0.133	0.142	0.155	0.142	0.117

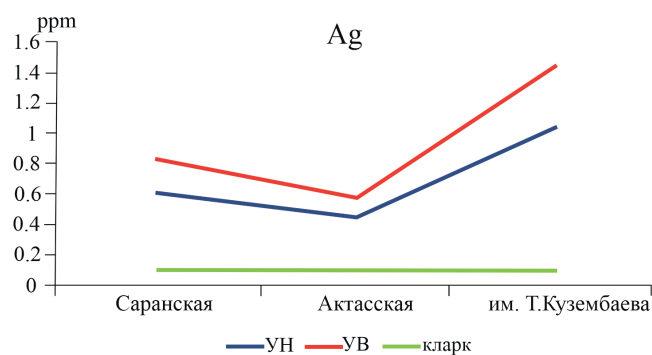


Рис. 2. График распределения Ag в углях Карагинского угольного бассейна.

Примечание. УВ – уголь верхний, УН – уголь нижний, кларк по [12].

Сурет 2. Қарағанды көмір бассейнінің көмірлеріндегі Ag таралу графигі.

Ескерту. УВ – жоғарғы көмір, УН – төменгі көмір, кларк [12] бойынша.

Figure 2. Graph of Ag distribution in coals of the Karaganda coal basin.

Note. UV – upper coal, UN – lower coal, clarke – clarke by [12].

Суммарное количество Ag в глинистых прослоях и зонах контакта варьируется от 0,1 до 0,5 г/т, в то время как общее содержание Ag в угле составляет от 0,1 до 0,3 г/т. Эти данные показывают, что повышенное содержание Ag связано с глинистыми прослоями и зонами контакта между углем и глинистыми прослоями (КВ и КН), что подтверждается графиками вертикального распределения (рис. 3, 4, 5).

Вертикальное распределение Ag характеризуется выраженной неоднородностью. В пределах трех исследованных шахт зафиксированы существенные различия в содержании данного элемента. Подобные вариации могут указывать на наличие специфических механизмов поступления элемента в угленосные горизонты, особенности его аккумуляции, а также на различия в геохимических условиях формирования угольного бассейна.

На шахте Саранская (рис. 3) установлено локальное повышение содержания серебра (Ag) в зоне контакта (КН) между нижней частью угольного пласта и глинистыми прослоями. Пространственное распределение концентраций Ag в глинистых прослоях (ГП) и в кровле угольного пласта (УВ) характеризуется относительной однородностью, что свидетельствует о более равномерном характере аккумуляции Ag в данных интервалах. В то же время в нижней части пласта (УН) содержание Ag находится на минимальном уровне, указывая на возможное отсутствие условий для его накопления.

На рис. 4 представлено вертикальное распределение содержания серебра (Ag) в угольном пласте к7 шахты Актасская. Максимальные концентрации серебра установлены в глинистых прослоях (ГП), что, вероятно, обусловлено высокой сорбционной способностью глинистого материала, который может служить природным геохимическим барьером, способствующими осаждению и закреплению микроэлементов [12].

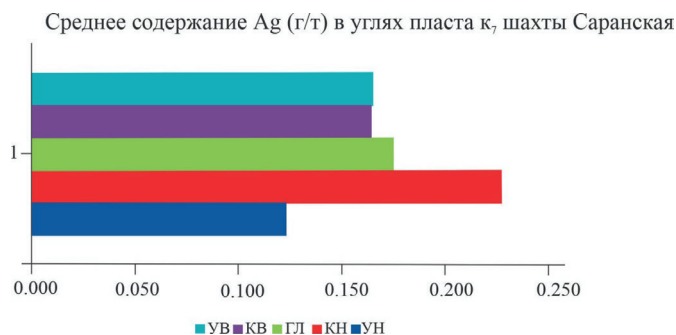


Рис. 3. Вертикальное распределение Ag в углях шахты Саранская.

Примечание. УВ – уголь верхний, КВ – контакт верхний угля с глинистым прослоем, ГП – глинистый прослой, КН – контакт нижний глинистого прослоя с углем, УН – уголь нижний.

Сурет 3. Саран шахтасының көмірлерінде Ag тік таралуы.

Ескерту. УВ – жоғарғы көмір, КВ – көмірдің сазды аралық қабатпен жоғарғы жанасуы, ГП – сазды аралық қабат, КН – сазды аралық қабаттың көмірмен төменгі жанасуы, УН – төменгі көмір.

Figure 3. Vertical distribution of Ag in coals of the Saran mine.

Note. UV – upper coal, KV – upper contact of coal with clayey interlayer, GP – clayey interlayer, KN – lower contact of clayey interlayer with coal, UN – lower coal.

Контактные зоны угля с кровлей (КВ) и подошвой (КН) глинистых прослоев характеризуются относительно низкими значениями содержания серебра, что может указывать на менее благоприятные условия для его накопления [10–12].

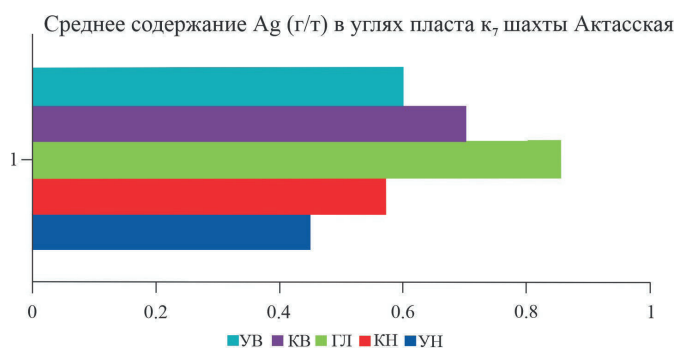


Рис. 4. Вертикальное распределение Ag в углях шахты Актасская.

Сурет 4. Актас шахтасының көмірлерінде Ag тік таралуы.

Figure 4. Vertical distribution of Ag in coals of the Aktas mine.

Отмечается, что содержание Ag в кровле угольного пласта (УВ) превышает его концентрацию в подошве (УН), это может быть обусловлено различием в геохимических условиях формирования и последующего преобразования пород, к примеру, выше расположенные горизонты могли быть подвержены большему влиянию инфильтрационных потоков, обогащенных Ag.

На шахте имени Т. Кузембаева анализ вертикального распределения **Ag** (рис. 5) демонстрирует максимальные значения в зонах контакта угольной кровли и подошвы с глинистыми прослоями (КВ и КН). Содержание **Ag** в кровле (УВ) пласта превышает его содержание в подошве (УН). При этом содержание в глинистых прослоях (ГЛ) находится на уровне, близком к среднему, что, по-видимому, связано с менее выраженной сорбционной емкостью в сравнении с контактными зонами.

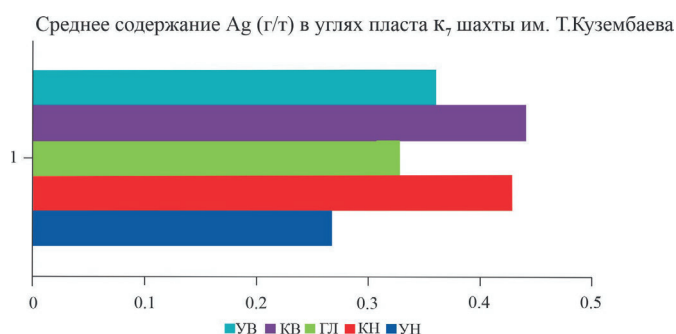


Рис. 5. Вертикальное распределение **Ag** в углях шахты им. Т. Кузембаева.

Сурет 5. Т. Күзембаев шахтасының көмірлеріндегі **Ag** тік таралуы.

Figure 5. Vertical distribution of **Ag** in coals of the T. Kuzembaev mine.

Принадлежность использованного прецизионного оборудования к мировому классу исследовательских приборов обуславливают соответствующий уровень качества полученных материалов. Методом СЭМ-ЭДС проведены исследования 13 проб угля, глинистых прослоев и проб, отобранных на контакте угля с вмещающими породами, и получены дисперсионные спектры состава с использованием рентгеноспектрометра.

В результате исследований комбинированным методом SEM + EDS установлена весьма скудная благородно-металлическая минерализация, и микро-минеральные формы нахождения БМ в изученных образцах демонстрируют лишь единичную встречаемость минеральных фаз, имеющих в составе **Au** и **Ag**. Тем не менее, использованными методами удалось установить микровключения самородного золота **Au** (рис. 6) размером от 0.5 до 10 мкм в матрице пирита преимущественно в образцах, отобранных из глинистых прослоев, что в свою очередь также указывает на сульфидную (аутигенную) природу накопления [12].

Также в образцах глинистых прослоев и контактовых зон угля с глинистыми прослоями обнаружены микровключения электрума? (**AuAg**) (рис. 7), что возможно указывает на его первичное накопление в глинистых прослоях и дальнейшее осаждение в восстановительной среде, характерной угольным пластам.

Закключение

В результате проведенных исследований получена дополнительная информация о геохимических характеристиках

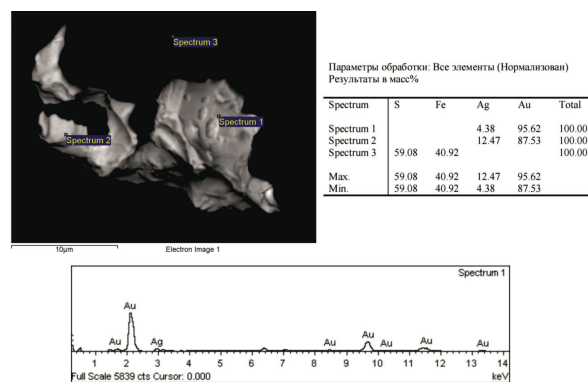


Рис. 6. Включения самородного **Au**.

Сурет 6. Табиғи **Au** қосындылары.

Figure 6. Inclusions of native **Au**.

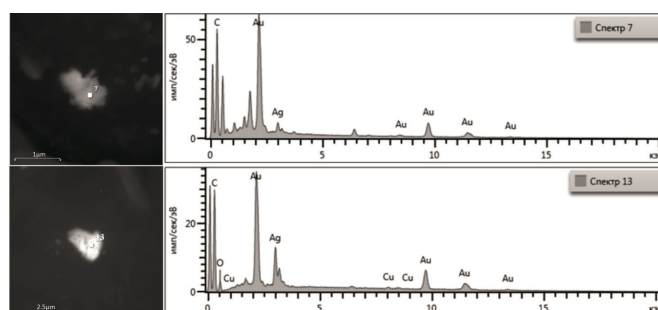


Рис. 7. Микровключения электрума? (**AuAg**).

Сурет 7. Электрумның? (**AuAg**) микрокосындылары.

Figure 7. Electrum? (**AuAg**) microinclusions.

углей пласта к₇. Угли пласта к₇ Карагандинского угольного бассейна характеризуются содержаниями **Ag** выше кларковых значений. По вертикальному распределению БМ в пласте установлены концентрации элемента преимущественно в глинистых прослоях и контактовых зон угля и глин. Методом СЭМ ЭДС установлены микровключения самородного золота **Au** размером от 0.5 до 10 мкм в матрице пирита преимущественно в образцах, отобранных из глинистых прослоев, а также микровключения электрума? (**AuAg**).

Таким образом, выявленное распределение БМ демонстрирует четкую литологическую избирательность и отражает син- и эпигенетическую природу его накопления. Полученные данные могут использоваться для оценки геохимического потенциала угленосной толщи и при прогнозировании локальных зон концентрации благородных металлов, в том числе в целях углехимического и металлорудного районирования. В целом, контактные зоны и глинистые прослои в угленосных толщах представляют потенциальные объекты для целенаправленных поисков дисперсных форм благородных металлов, в том числе с целью оценки их техногенно-экономической значимости при комплексной переработке угля.

Благодарность

Данная статья подготовлена по результатам исследований, финансируемых Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26102801).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jenney W.P. Полевые наблюдения в угольном бассейне Хей-Крик // *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep.* 1903. Т. 2. С. 568–593 (на английском языке)
2. Seredin V., Finkelman R.B. Металлоносные угли: обзор основных генетических и геохимических типов // *Int. J. Coal Geol.* 2008. Т. 76. С. 253–289 (на английском языке)
3. Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И. Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения и методы извлечения // *Dokl. Earth Sci.* 2009. Т. 424. С. 109–113 (на английском языке)
4. Достижения геохимических исследований золота в угле / Wang W.F. [и др.] // *J. China Coal Soc.* 2010. Т. 35. С. 236–240 (на английском языке)
5. Chelgani S.C., Hower J.C. Связь между благородными металлами как потенциальными продуктами сжигания угля и традиционными свойствами угля // *Fuel.* 2018. Т. 226. С. 345–349 (на английском языке)
6. Parnell J. Варисканский цикл золота в глобальном угольном резервуаре // *OreGeol. Rev.* 2019. Т. 114. С. 103158 (на английском языке)
7. Romer R.L., Kroner U. Палеозойское золото в Аппалачах и Варисцидах // *OreGeol. Rev.* 2018. Т. 92. С. 475–505 (на английском языке)
8. Аномальное содержание золота в бурых углях и торфах юго-восточной части Западно-Сибирской платформы / Арбузов С.И. [и др.] // *Int. J. Coal Geol.* 2006. Т. 68. С. 127–134 (на английском языке)
9. Середин В.В. Распределение и условия образования минерализации благородных металлов в угленосных бассейнах // *Geol. Ore Deposits.* 2007. Т. 49. С. 1–30 (на английском языке)
10. Blyalova G., Amangeldykyz A., Korbayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (12 февраля 2025 г.). Комплексное исследование пространственного распределения редкоземельных элементов в углях месторождения Шубаркуль, Казахстан. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (на английском языке)
11. Korbayeva A., Amangeldykyz A., Blyalova G., Askarova N. (27 марта 2024 г.). Минералогические и геохимические особенности углей и глинистых прослоев Карагандинского угольного бассейна // *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (на английском языке)
12. Юдович Я.Е., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Jenney W.P. Хей-Крик көмір алабындағы далалық бақылаулар // *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep.* 1903. Т. 2. Б. 568–593 (ағылшын тілінде)
2. Seredin V., Finkelman R.B. Метал мен қаныққан көмірлер: негізгі генетикалық және геохимиялық түрлерінің шолуы // *Int. J. Coal Geol.* 2008. Т. 76. Б. 253–289 (ағылшын тілінде)
3. Сорокин А.П., Кузьминых В.М., Рождествина В.И. Қоңыр көмірлердегі алтын: шоғырлану жағдайлары, кездесетін формалары және алу әдістері // *Dokl. Earth Sci.* 2009. Т. 424. Б. 109–113 (ағылшын тілінде)
4. Көмірдегі алтын бойынша геохимиялық зерттеулердің жетістіктері / Wang W.F. [және т. б.] // *J. China Coal Soc.* 2010. Т. 35. Б. 236–240 (ағылшын тілінде)
5. Chelgani S.C., Hower J.C. Көмір жағудан кейінгі өнімретіндегі бағалы металдар мен дәстүрлі көмір қасиеттерінің арасындағы байланыс // *Fuel.* 2018. Т. 226. Б. 345–349 (ағылшын тілінде)
6. Parnell J. Варискандық цикл арқылы алтынның жаһандық көмір қоймасына өтуі // *OreGeol. Rev.* 2019. Т. 114. Б. 103158 (ағылшын тілінде)
7. Romer R.L., Kroner U. Аппалачи және Варисцидтегі палеозой дәуіріндегі алтын // *OreGeol. Rev.* 2018. Т. 92. Б. 475–505 (ағылшын тілінде)
8. Батыс Сібір платформасының оңтүстік-шығысындағы қоңыр көмір мен шымтезектегі аномальды алтын мөлшері / Арбузов С.И. [және т. б.] // *Int. J. Coal Geol.* 2006. Т. 68. Б. 127–134 (ағылшын тілінде)
9. Середин В.В. Көмірлі алаптардағы бағалы металдардың минералдануының таралуы мен қалыптасу шарттары // *Geol. Ore Deposits.* 2007. Т. 49. Б. 1–30 (ағылшын тілінде)
10. Blyalova G., Amangeldykyz A., Korbayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (12 февраля 2025 г.). Қазақстандағы Шұбаркөл кенорнындағы көмір құрамындағы сирекжер элементтерінің кеңістіктік таралуын кешенді зерттеу. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (ағылшын тілінде)
11. Korbayeva A., Amangeldykyz A., Blyalova G., Askarova N. (27 наурыз 2024 ж.). Қарағанды көмір алабының көмірі мен сазды қабаттарының минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктері. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (ағылшын тілінде)

12. Юдович Я.Е., Кетрис М.П. Көмірлердегі бағалы элемент-қоспалар: Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Jenney W.P. Field observations in the Hay Creek coal field. *US Geol. Surv. 19th Ann. Rep.* 1903. V. 2. 568–593 pp. (in English)
2. Seredin V., Finkelman R.B. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types. *Int. J. Coal Geol.* 2008. V. 76. 253–289 pp. (in English)
3. Sorokin A.P., Kuz'minykh V.M., Rozhdestvina V.I. Gold in brown coals: Localization conditions, modes of occurrence, and methods of extracting // *Dokl. Earth Sci.* 2009. V. 424. 109–113 pp. (in English)
4. Advances in geochemical research on gold in coal. / Wang W.F. [et al.] // *J. China Coal Soc.* 2010. V. 35. 236–240 pp. (in English)
5. Chelgani S.C., Hower J.C. Relationships between noble metals as potential coal combustion products and conventional coal properties // *Fuel.* 2018. V. 226. 345–349 pp. (in English)
6. Parnell J. Variscan cycling of gold into a global coal reservoir // *Ore Geol. Rev.* 2019. V. 114. 103158 p. (in English)
7. Romer R.L., Kroner U. Paleozoic gold in the Appalachians and Variscides // *Ore Geol. Rev.* 2018. V. 92. 475–505 pp. (in English)
8. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform / Arbuzov S.I. [et al.] // *Int. J. Coal Geol.* 2006. V. 68. 127–134 pp. (in English)
9. Seredin V.V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins // *Geol. Ore Deposits.* 2007. V. 49. 1–30 pp. (in English)
10. Blyalova G., Amangeldikyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. (February 12, 2025). Comprehensive study of the spatial variations in the distribution of rare earth elements (REE) and their potential in the coals of the Shubarkol deposit, Kazakhstan. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min15020170> (in English)
11. Kopobayeva A., Amangeldikyzy A., Blyalova G., Askarova N. (March 27, 2024). Mineralogical and geochemical features of coals and clay layers of the Karaganda Coal Basin. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14040349> (in English)
12. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Tsennye elementy-primesi v uglyakh [Valuable impurity elements in coals]. *Ekaterinburg: UrO RAN*, 2006. 538 p. (in Russian)

Информация об авторах:

Амангелдіқызы А., доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), a.amangeldykyzy@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6665-8804>

Копобаева А.Н., доктор Ph.D, доцент кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), kopobayeva@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0601-9365>

Асқарова Н.С., доктор Ph.D, ст. преподаватель кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), n.askarova@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-2103-6198>

Бақыт Ә., докторант 1 курса кафедры «Геология и разведка МПИ» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), b_aigerim_98@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0661-310X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Амангелдіқызы А., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Копобаева А.Н., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доценті, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Асқарова Н.С., доктор Ph.D, «Геология және пайдалы қазба кен орындарын барлау» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Бақыт Ә., «Геология және пайдалы қазба кен орындарын барлау» кафедрасының 1 курс докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Amangeldikyzy A., Ph.D, Acting associate professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Kopobayeva A.N., Ph.D, associate professor of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Askarova N.S., Ph.D, senior lecturer of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Bakyt A., 1st-year doctoral student of the Geology and MD Exploration Department of Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)