



УДК (546.9+546.65+546.59):(553.96/97:551.77)(571.61/.64)

## БЛАГОРОДНО- И РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В КАЙНОЗОЙСКИХ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А. П. Сорокин<sup>1</sup>, В. И. Рождествина<sup>2</sup>, В. М. Кузьминых<sup>1</sup>

Представлены материалы исследований благородно- и редкометалльного оруденения в угленосных структурах юга Дальнего Востока. В качестве опорного участка выбран Зейско-Буреинский бассейн, который по степени угленасыщенности и золотоносности не имеет себе равных на восточной окраине Евразии. Возрастные парагенезисы и латеральная сопряженность областей торфо- и золотонакопления свидетельствуют о масштабности взаимосвязанных кайнозойских процессов, происходивших на границе Зейско-Буреинского бассейна с областями сноса. На основе анализа диаграмм парных коэффициентов корреляции элементов сделан вывод, что накопление золота в углях в основном обусловлено концентрационной функцией растений-углеобразователей и барьерной сорбционной функцией торфяного или буроугольного органического вещества.

**Ключевые слова:** угли, благородные, редкие и редкоземельные элементы.

## NOBLE- AND RARE-METAL MINERALIZATION IN CENOZOIC COALIFEROUS DEPOSITS IN THE SOUTHERN FAR EAST

A. P. Sorokin, V. I. Rozhdestvina, V. M. Kuzminykh

We performed system studies of parageneses and lateral conjugation of peat and gold accumulation areas as well as the regularities of noble- and rare-metal mineralization in Cenozoic coaliferous deposits in the south of the Russian Far East. We chose the Zeya–Bureya basin for the study because it and the adjacent areas are rich in coal and gold and have no analogs on the eastern margin of Eurasia. The age parageneses and lateral conjugation of areas of peat and gold accumulation are evidence for the large-scale interrelated Cenozoic processes at the boundary between the Zeya–Bureya basin and provenances. The accumulation of noble, trace and rare-earth elements in coals is mainly due to the concentration function of coal-forming plants and the barrier concentration function of the peat and brown coal organic matter.

**Keywords:** coal, noble metal, trace and rare-earth element.

Благородно- и редкометалльное оруденение в угленосных структурах в последнее время – весьма актуальная тема научных исследований. Присутствие благородных металлов (БМ) в углях было установлено в конце XIX в., но еще долгое время это открытие не привлекало большого внимания. В литературе периодически появлялись разноречивые данные о концентрациях благородных металлов в угленосных породах, которые в дальнейшем, как правило, достоверно подтверждены не были, что резко снижало привлекательность находок. Масштабное и системное изучение рудоносности угленосных отложений активизировалось в конце прошлого и начале текущего столетий. За это время благородно- и редкометалльное оруденение установлено во многих угленосных бассейнах Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока, Украины, Башкирии, Болгарии, Великобритании, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Китая и других стран.

Восточная окраина Евразии – территория с наиболее широким геолого-минералогическим разнообразием, особенно в зоне сопряжения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского складчатых поясов. Металлогенические провинции этого региона (Становая, Буреинская, Восточно-Сихотэ-

алинская и др.) включает целый ряд золоторудных, редких, редкометалльных и золотороссыпных месторождений мелового и кайнозойского возраста, приуроченных к орогенным структурам с высокой степенью подвижности, многоактным магматизмом и глубоким уровнем эрозионного среза. Основные угленосные бассейны этой территории – Верхнезейский, Гербикано-Огоджинский, Амуро-Зейский, Буреинский, Среднеамурский, Бикино-Уссурийский и др. – обрамляют рудные провинции или располагаются в их пределах.

В рамках настоящих исследований опорным участком этого региона выбран Зейско-Буреинский бассейн, который в совокупности с прилегающим обрамлением по степени угленасыщенности и золотоносности не имеет себе равных на восточной окраине Евразии. Это крупнейшая отрицательная структура Дальнего Востока, ее обрамляют с запада Большехинганское, с юга Малохинганское, с севера и востока Янкано-Тукурингро-Джагдинское и Туранское горно-складчатые сооружения. Бассейн характеризуется продолжительным (со средней юры по плиоцен) прерывисто-унаследованным типом развития, длительным существованием гидросети и наиболее широким (средняя юра – миоцен) на востоке России временным интервалом угленакпления. «Трансгрессивный» тип формирования этой структуры обеспечивал образование в мезозое и кайнозое эшелонирован-

<sup>1</sup> АмурНЦ ДВО РАН (Благовещенск);

<sup>2</sup> ИГиП ДВО РАН (Благовещенск)



ной системы разновысотных торфяных залежей, развивавшихся от центра бассейна к периферии, с наиболее молодым (кайнозойским) уровнем в пределах Тында-Зейского, Южно-Тукурингского, Притуранского, Приамурского и других межгорных и предгорных прогибов. Они образуют Пиканско-Сергеевскую, Селемджинско-Ерковецкую и Завитинско-Архаринскую угленосные площади с крупными месторождениями, общие ресурсы которых определяются более чем в 12 млрд т. Указанные площади сопряжены с горно-складчатыми сооружениями, на периферии которых наряду с углями локализованы палеогеновые, неогеновые и четвертичные россыпи золота [6].

Возрастные парагенезисы и латеральная сопряженность областей торфо- и золотонакопления свидетельствуют о масштабности взаимосвязанных кайнозойских процессов, происходивших на границе Зейско-Буреинского бассейна с областями сноса. В пределах последних распространены Становая, Джагдинская и Буреинская золотоносные провинции с проявлениями и месторождениями золотокварцевой, золотосульфидной, золоторедкометалльной, золотосеребряной, меднопорфириновой формаций [9]. Процессы гипергенеза в позднем мезозое, палеогене и миоцене привели к образованию в межгорных и предгорных прогибах многоярусных россыпных месторождений золота с минералами ЭПГ и редких металлов (РМ), нередко содержащих пласты и линзы углей (россыпи Нагиминская, Грязнушка и др. в Верхнем Приамурье). Указанные пограничные структуры в кайнозое создавали наиболее благоприятные условия не только для накопления БМ, но и для формирования торфяных залежей.

Имеющиеся данные свидетельствуют о высоких концентрациях благородных и других редких металлов (РМ), в том числе и редкоземельных элементов (РЗЭ), в угленосных бассейнах Российского Дальнего Востока и Китая [1–8].

Угли содержат широкий ряд ценных и полезных компонентов. Для оценки их содержаний в настоящей работе использован комплекс аналитических методов (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), атомно-абсорбционный с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ААС), атомно-абсорбционный (ААА), рентгенофлуоресцентный (РФА и РФА-СИ), инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА) и пробирный), охватывающий максимальный набор элементов с учетом особенностей подготовки, химического и термического разложения проб. Исследования проведены на приборной базе аналитических центров ИГМ СО РАН (Новосибирск), ИГиП ДВО РАН и АмурНЦ ДВО РАН (Благовещенск).

Результаты аналитических исследований свидетельствуют, что угленосные отложения месторождений Приамурья (Архаро-Богучанского, Райчихинского, Ерковецкого и др.) характеризуются устойчиво высокими значениями концентрационных коэффициентов (КК определяются как отношение содержания элементов в пробе к его среднему содержанию в углях) благородно-, редкометалльной и редкоземельной ассоциаций элементов (Au, Pt, Pd, Sc, Cs, Rb, REE, Y, Hf, Ta, Nb, Sn, Th, Ti, Ga, Zr). Проведен анализ диаграмм парных коэффициентов корреляции благородных, редких и радиоактивных элементов в углях (рис. 1, 2), который показал положительную кор-

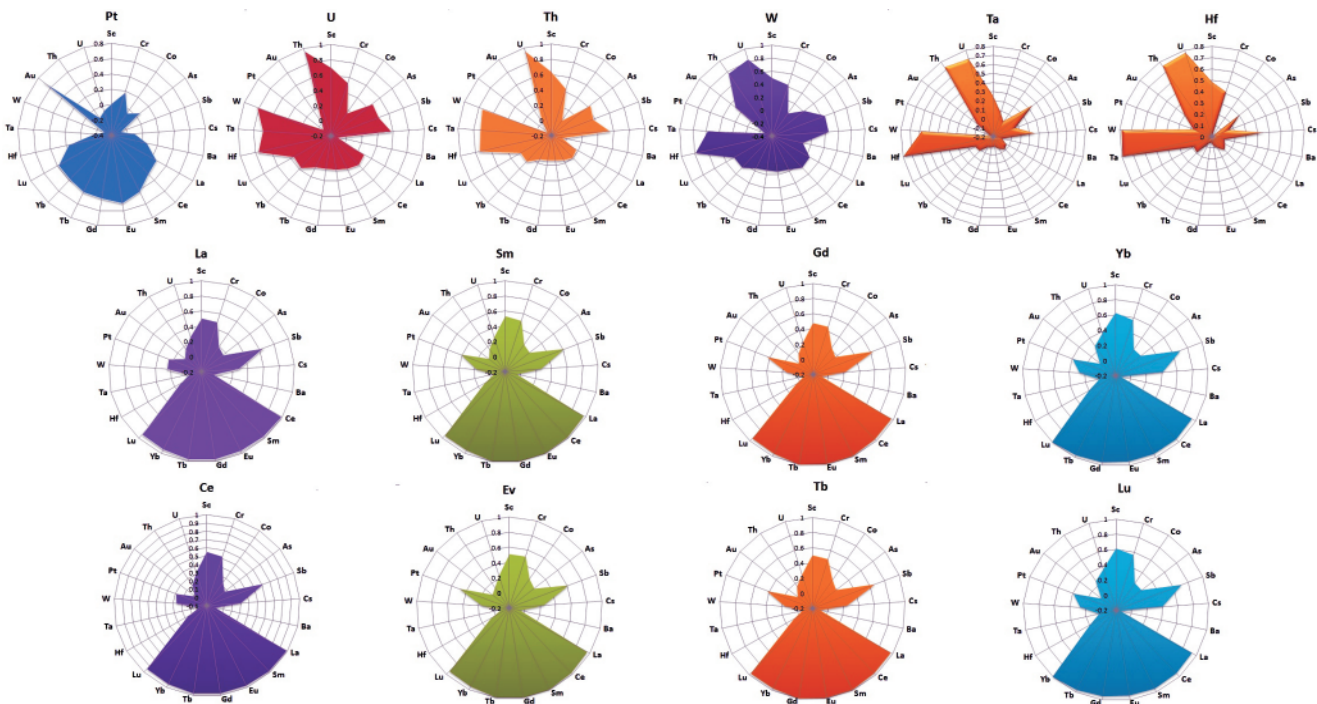


Рис. 1. Диаграммы парных коэффициентов корреляции редких элементов (n = 58) в бурых углях Зейско-Буреинского бассейна

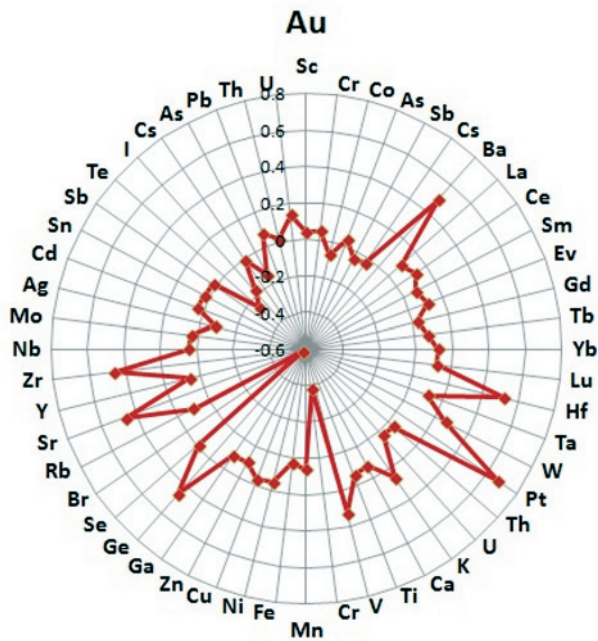


Рис. 2. Диаграмма парных коэффициентов корреляции золота с другими элементами ( $n = 58$ ) в бурых углях Зейско-Буреинского бассейна

реляционную зависимость этих элементов с катионо- и анионогенными элементами-литофилами (Ba, Sr, Zr, Hf, Ge и Br).

Анализ диаграммы парных коэффициентов корреляции элементов в углях свидетельствует, что золото не проявляет выраженной корреляционной связи с большинством элементов (см. рис. 2). Отмечается умеренная отрицательная корреляция Au с Br (анионообразующим литофилом). Сильная положительная связь между Au и Pt, умеренная – с элементами литофилами: катионогенными (Sr и Ba), катионо- и анионогенными с переменной (Hf, Zr и V) и постоянной (Ge) валентностью (см. рис. 2). Накопление данных элементов в углях в основном обусловлено концентрационной функцией растений-углеобразователей и барьерной сорбционной функцией торфяного или бурогоугольного органического вещества. В ИГМ СО РАН проанализировано около 60 проб угля и вмещающих пород из бурогоугольных месторождений Приамурья. Установлено крайне неравномерное распределение золота в углях (9–157, среднее 45 мг/т), глинах (5–162, среднее 57 мг/т), песках (15–656, среднее 113 мг/т) и туфах (10–171, среднее 46 мг/т). Средние содержания и КК золота в углях, глинах и песках свидетельствует о том, что оно поступало в бассейн угленакопления в различных формах.

РМ и РЗЭ установлены авторами в целом ряде угленосных бассейнов Приамурья. Результаты анализов свидетельствуют о высоких концентрациях в первую очередь Sc, Cs и Hf, которые доминируют в глинах Дармаканского месторождения (2,54–4,31 г/т). Глины залегают в основном в кровле угольных пластов, слагая прослой мощностью от 0,2 до 2 м, иногда включая тонкие (до 5–10 см) прослой туфов. Реже отмечается по-

вышенное значение Sc в глинах между пластами угля и в его подошве. Содержание Sc в углях ниже, чем в глинах с концентрациями от 0,34 до 4,97 г/т. Также в кровле угольных пластов отмечаются содержания Cs (0,99–7,2 г/т) и Hf (0,76–5,08 г/т). Указанные тенденции в распределении элементов сохраняются на Ерковецком и Райчихинском месторождениях.

В указанных месторождениях редкометалльная и редкоземельная минерализация ассоциирует с БМ. Средние концентрации золота в породах, вмещающих эти элементы, 1–2 г/т, кроме того, в них встречаются Mn (до 0,0015 %), V (до 1355 г/т), Cu (до 68 г/т), Zn (до 95 г/т) и др.

Полученные данные, с одной стороны, позволяют рассматривать угли как источники ценных компонентов и разрабатывать научные основы возможности их попутного извлечения на различных стадиях технологической цепочки, а с другой – свидетельствуют о существовании крупномасштабных коренных источников редких элементов в областях сноса бассейнов.

Таким образом, благороднометалльное оруденение представлено разнообразными генетическими типами многостадийного формирования. Первичная локализация БМ происходила в предгорных и межгорных прогибах, в пределах структур, сопряженных с угленосными площадями. Золотосодержащие угли здесь характеризуются высокой зольностью, не выдержанными по простиранию пластами угля изменчивой мощности с резкими колебаниями содержания Au от 0 до 7 г/т (месторождения и проявления Сианчик, Грязнушка). Благороднометалльное оруденение в углях иных типов весьма разнообразное и трудно прогнозируемое. Для их выявления необходимо: обнаружение участков дренирования месторождений современными водотоками; реконструкция древней гидросети, одновозрастной торфонакоплению; установление связи поверхностных и подземных вод, обводняющих угли; выделение возможных зон глубинных разломов, подновлявшихся в течение кайнозоя; изучение влияния вулканической деятельности. К месторождениям такого типа можно отнести Райчихинское, Дармаканское, Ерковецкое, не имеющие прямой связи с областями сноса. Содержание золота в углях составляет преимущественно 2–3 г/т.

Учитывая тесную парагенетическую связь благородно- и редкометалльного оруденения, локализацию их в тех же структурах, можно полагать, что перспективные площади их накопления будут совпадать.

*Исследования выполнены при поддержке Отделения наук о Земле, Президиума ДВО РАН и РФФИ (проекты 12-1-П27-03, 12-1-0-ОН3-02).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин, Ю. И. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска [Текст] /



Ю. И. Бакулин, А. А. Черепанов // Руды и металлы. – 2003. – № 1. – С. 60–67.

2. **Нетрадиционные** типы благороднометалльного, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока [Текст] / А. П. Сорокин, В. Н. Чантурия, В. И. Рождествина [и др.] // Докл. РАН. – 2012. – Т. 446, № 6. – С. 672–676.

3. **Редкометалльно-угольные** месторождения Приморья [Текст] / В. И. Вялов, Е. В. Кузеева, П. А. Нелюбов [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 12. – С. 53–56.

4. **Рождествина, В. И.** Первые находки самородных палладия, платины, золота и серебра в бурых углях Ерквецкого месторождения (Верхнее Приамурье) [Текст] / В. И. Рождествина, А. П. Сорокин // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29, № 6. – С. 26–38.

5. **Середин, В. В.** Распределение и условия формирования благороднометалльного оруденения в угленосных впадинах [Текст] / В. В. Сере-

дин // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 1. – С. 3–36.

6. **Сорокин, А. П.** Благороднометалльное оруденение в углеродистых формациях (обзор материалов по восточным районам России) [Текст] / А. П. Сорокин, Л. В. Эйриш, В. М. Кузьминых // Тихоокеанская геология. – 2007. – Т. 26, № 5. – С. 43–54.

7. **Сорокин, А. П.** Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения, методы извлечения [Текст] / А. П. Сорокин, В. М. Кузьминых, В. И. Рождествина // Докл. РАН. – 2009. – Т. 424, № 2. – С. 239–243.

8. **Черепанов, А. А.** Благородные металлы в золошлаковых отходах Дальневосточных ТЭЦ [Текст] / А. А. Черепанов // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 2. – С. 16–28.

9. **Эйриш, Л. В.** Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия) [Текст] / Л. В. Эйриш. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 194 с.

© А. П. Сорокин, В. И. Рождествина,  
В. М. Кузьминых, 2014