



УДК 549.453 (470.61)

<https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-2-1>

КОКЦИНИТ HgI_2 ИЗ ГОРЯЩЕГО ОТВАЛА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ «АЛМАЗНАЯ» (ВОСТОЧНЫЙ ДОНБАСС): ПЕРВАЯ НАХОДКА В РОССИИ

А.В. Касаткин¹, И.В. Пеков², О.В. Трофимов³,
А.А. Агаханов¹, М.Д. Мильшина⁴, С.Н. Бритвин⁵

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Ленинский пр-т, 18–2,
119071 Россия; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Московский государственный университет, г. Москва, Ленинские горы 1, 119991 Россия

³г. Ростов-на-Дону, пр-т 40-летия Победы 63/17с8–91, 344072 Россия

⁴г. Москва, Рязанский пр-т 97, 109542 Россия

⁵Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Статья поступила в редакцию 00.00.2025 г., после доработки 09.12.2024 г., принята к печати 00.00.2025 г.

Аннотация. В горящем отвале угольной шахты «Алмазная» (близ г. Гуково, Ростовская обл.) обнаружен чрезвычайно редкий иодид ртути кокцинит HgI_2 . Он образует ярко-красные таблитчатые и короткопризматические кристаллы с алмазным блеском до 0.5 мм на корке самородной серы в трещинах горелой породы. Находка кокцинита является первой на территории Российской Федерации. Коэффициенты отражения кокцинита и его количественный химический анализ опубликованы впервые. Химический состав минерала (мас. %, среднее значение по пяти анализам, электронно-зондовые данные): Hg 45.15, Cl 0.11, Br 0.65, I 53.91, сумма 99.82. Состав отвечает эмпирической формуле, рассчитанной на сумму атомов, равную трем: $\text{Hg}_{1.02}\text{I}_{1.93}\text{Br}_{0.04}\text{Cl}_{0.01}$. Главные линии порошковой рентгенограммы [$d, \text{\AA}(l)$ (hkl)]: 6.220(29)(002), 4.122(82)(101), 3.575(100)(102), 3.008(37)(103), 2.767(35)(112), 2.189(98)(114, 200). Рассчитанные по порошкограмме параметры тетрагональной элементарной ячейки: $a = 4.3744(2)$, $c = 12.4301(7) \text{\AA}$, $V = 237.86(2) \text{\AA}^3$. Кокцинит является продуктом десублимации из газов, образовавшихся при горении углеродсодержащих пород внутренней части отвала.

Ключевые слова: кокцинит, иодид ртути, первая находка в России, горящий отвал, угольная шахта «Алмазная», Восточный Донбасс.

Финансирование. Рентгенографическое исследование выполнено в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург) в рамках государственного задания № АААА-А19-119091190094.

Благодарности. Авторы признательны М.М. Битману, А.И. Тищенко и Н.В. Чуканову за помощь в поиске литературных источников и обсуждение материала. Авторы также благодарят рецензента за конструктивные замечания, которые помогли улучшить статью.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

Вклад авторов. А.В. Касаткин – разработка концепции, оптико-микроскопические исследования, химические анализы, написание рукописи; И.В. Пеков – рентгеновский анализ, СЭМ-фото, написание рукописи; О.В. Трофимов – полевые работы, поиск литературных источников, написание рукописи; А.А. Агаханов – аналитические работы; М.Д. Мильшина – поиск литературных источников, оформление иллюстраций; С.Н. Бритвин – рентгенография. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования: Касаткин А.В., Пеков И.В., Трофимов О.В., Агаханов А.А., Мильшина М.Д., Бритвин С.Н. Кокцинит из горелого отвала угольной шахты «Алмазная» (Восточный Донбасс): первая находка в России. Минералогия, 2025, 11(2), 5–21. DOI: 10.35597/2313-545X-2025-11-2-1

COCCINITE, HgI_2 , FROM A BURNING DUMP OF THE ALMAZNAYA COAL MINE (EASTERN DONBASS): THE FIRST FIND IN RUSSIA

A.V. Kasatkin¹, I.V. Pekov², O.V. Trofimov³,
 A.A. Agakhanov¹, M.D. Milshina⁴, S.N. Britvin⁵

¹Fersman Mineralogical Museum RAS, Leninskiy pr., 18–2, Moscow, 119071 Russia;
 anatoly.kasatkin@gmail.com

²Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991 Russia

³Prospekt 40 letiya Pobedy 63/17c8–91, Rostov-on-Don, 344072 Russia

⁴Ryazanskiy pr., 97, Moscow, 109542 Russia

⁵St. Petersburg State University, Unibersitetskaya nab. 7/9, 199034, St. Petersburg, Russia

Received 00.00.2025, revised 00.00.2025, accepted 00.00.2025

Abstract. An extremely rare mercury iodide coccinite, HgI_2 , was found in a burning dump of the Almaznaya coal mine (near settlement of Gukovo, Rostov oblast, Russia). It forms bright red tabular and short-prismatic crystals with adamantine luster up to 0.5 mm in size on a crust of native sulfur, which fills the fractures in the burnt rock. This is the first find of coccinite in the Russian Federation. The reflectance values and quantitative chemical analysis of coccinite are published for the first time. The chemical composition of the mineral is as follows (wt. %, mean of five analyses, electron microprobe): Hg 45.15, Cl 0.11, Br 0.65, I 53.91, total 99.82. The empirical formula calculated based on sum of three atoms is $\text{Hg}_{1.02}\text{I}_{1.93}\text{Br}_{0.04}\text{Cl}_{0.01}$. The strongest reflections of the powder X-ray diffraction diagram are [$d, \text{\AA}(hkl)$]: 6.220(29)(002), 4.122(82)(101), 3.575(100)(102), 3.008(37)(103), 2.767(35)(112), 2.189(98)(114, 200). The parameters of the tetragonal unit cell calculated from the powder data are as follows: $a = 4.3744(2)$, $c = 12.4301(7)$ Å, $V = 237.86(2)$ Å³. Coccinite crystallized from hot gases after the combustion of coal-bearing rocks in the inner part of the dump.

Keywords: coccinite, mercury iodide, first find in Russia, burning dump, Almaznaya coal mine, Eastern Donbass.

Funding. The X-ray diffraction study was carried out in the Research Centre for X-ray Diffraction Studies of the St. Petersburg State University (St. Petersburg) in accordance with state contract no. AAAA-A19-119091190094.

Acknowledgements. We are grateful to Mikhail M. Bitman, Alexander I. Tishchenko and Nikita V. Chukanov for the help with literature and discussion. The authors are also thankful to an anonymous reviewer for constructive comments.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Author contribution. A.V. Kasatkin – conceptualization, physical properties, optical data, chemical analyses, writing of the manuscript; I.V. Pekov – X-ray data, SEM photo, writing of the manuscript; O.V. Trofimov – field works, literature data, writing of the manuscript; A.A. Agakhanov – analytical works; M.D. Milshina – literature data, preparation of figures; S.N. Britvin – X-ray diffraction study. All the authors approved the final version of the manuscript prior to publication.

For citation: Kasatkin A.V., Pekov I.V., Trofimov O.V., Agakhanov A.A., Milshina M.D., Britvin S.N. Coccinite from the burning dump of Almaznaya coal mine (Eastern Donbass) – the first find in Russia. Mineralogy, 2025, 11(1), 5–21. DOI: 10.35597/2313-545X-2025-11-2-1

ВВЕДЕНИЕ

Соединения ртути и иода чрезвычайно редки в природе, хотя и не малочисленны. На сегодняшний день известно десять минералов, в которых оба элемента являются видообразующими или присутствуют в виде примесей. Половина из них – эндемики американских объектов. Ауривиллиусит $\text{Hg}^{1+}\text{Hg}^{2+}\text{OI}$ (Roberts et al., 2004), васильевит $(\text{Hg}_2)^{2+}_{10}\text{O}_6\text{I}_3\text{Br}_2\text{Cl}(\text{CO}_3)$ (Roberts et al., 2003), гейлданнингит $\text{Hg}^{2+}_3[\text{NHg}^{2+}_2]_{18}(\text{Cl}, \text{I})_{24}$ (Cooper et al., 2019) и тедхадлейит $\text{Hg}^{2+}\text{Hg}^{1+}_{10}\text{O}_4\text{I}_2(\text{Cl}, \text{Br})_2$ (Roberts et al., 2002) найдены только в небольшом ртутном

рудопроявлении Клир Крик (Clear Creek claim) в Калифорнии, а радткеит $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{ClI}$ (McCormack et al., 1991) – на руднике МакДермитт (McDermitt Mine) в Неваде. Остальные минералы, содержащие одновременно ртуть и иод, известны в России. Гречищевит $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{BrCl}_{0.5}\text{I}_{0.5}$ открыт в зоне окисления Hg рудопроявлений Арзак и Кадырэль в Туве (Васильев и др., 1989). Два минерала, описанные впервые из Германии – мошелит Hg_2I_2 (Krupp et al., 1989) и ханауэрит AgHgSI (Pekov et al., 2023), впоследствии отмечались и в российских объектах: первый – на Хаак-Саирском золоторудном месторождении в Туве (Кужугет, 2014), а второй – в зоне окисления Бурановского месторождения и

в Крестовоздвиженском руднике на Южном Урале (Касаткин и др., 2022). В карьере № 3 Гайского медноколчеданного месторождения на Южном Урале в начале 1990-х гг. О.В. Трофимовым найден минерал, инструментально диагностированный как перрудит $\text{Ag}_4\text{Hg}_5\text{S}_5(\text{I},\text{Br})_2\text{Cl}_2$ (В.Ю. Карпенко, персональное сообщение). Кроме исключительной редкости (большинство из них найдены в единичных образцах), все названные минералы объединяет очень мелкий размер агрегатов.

Все это в полной мере относится и к кокциниту – иодиду двухвалентной ртути с формулой HgI_2 , о котором пойдет речь в данной статье. Отметим, что в химии синтетических веществ хорошо известны и изучены, в том числе структурно, три модификации HgI_2 , отличающиеся цветом кристаллов – красная, желтая и оранжевая. Первая (α -модификация) устойчива при комнатной температуре и кристаллизуется в тетрагональной сингонии. Две других модификации метастабильны и за короткое время превращаются в красную, в том числе при механическом воздействии, например, при надавливании стальной иглой. Желтая β -модификация высокотемпературная, она кристаллизуется в ромбической сингонии выше 127°C . Оранжевая модификация существует ниже 127°C ; она имеет тетрагональную элементарную ячейку, с удвоенными по сравнению с красной модификацией параметрами (Jeffrey, Vlasse, 1967; Schwarzenbach, 1969; Gumiński, 1997; Hostettler et al., 2002; Hostettler, Schwarzenbach, 2005; Акорьян et al., 2007 и ссылки в этих статьях). Кокцинит является природным аналогом красной α -модификации (Bijvoet et al., 1926; Witzke, 1997; Hicks et al., 2019), тогда как две другие в природе пока не обнаружены, что, видимо, связано с их неустойчивостью.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ И ИЗУЧЕНИЯ КОКЦИНИТА И ОБЗОР ЕГО НАХОДОК

История открытия кокцинита довольно запутанная, и разные литературные источники содержат немало противоречивой информации. Первое упоминание об этом минерале датируется 1829 г., когда во французском сборнике «Анналы горного дела» было опубликовано краткое сообщение о находке в Мексике иодида серебра (“*iodure de mercure*”), похожего на киноварь, но имеющего более темный цвет (Annales..., 1829) испанским минералогом и химиком Мануэлем Дель Рио. В «Трудах Французской Академии Наук» за 1836 г. сообщалось, что в

образцах с селенидами ртути, переданными в Горную школу Мехико Хосе Касасом Вьехасом (*Jose Casas Viejas*), М. Дель Рио обнаружил налеты коричнево-красного цвета, подверг их испытанию методом паяльной трубки и пришел к выводу, что по химическому составу они соответствуют иодиду ртути (Comptes rendus..., 1836). Через три года в британской энциклопедии «Пенни», публикуемой «Обществом распространения полезных знаний», в очерке о ртути говорилось о иодиде ртути лимонно-желтого цвета «из пестрых известняков Касас Вьехас в Мексике» (The Penny Cyclopaedia..., 1839). Таким образом, информация о цвете минерала оказалась искажена, а человек по имени Хосе Касас Вьехас, передавший в Горную школу Мехико образцы, «превратился» в географический объект. Эти сведения, однако, и позже воспроизводились в минералогической литературе (например, Domeyko, 1844).

Название «кокцинит» применительно к иодистой ртути (“*Jodquecksilber*”), изученной М. Дель Рио, впервые встречается в справочнике В.К. фон Гайдингера (Haidinger, 1845). По мнению современных авторов (например, Witzke, 1997; Кривовичев, 2021), В.К. фон Гайдингер назвал так минерал за его цвет – от греческого слова κόκκινος (ярко-красный). Впрочем, у В.К. фон Гайдингера об этом ничего не сказано, но отмечается, что кокцинит «похож на киноварь». Исправив ошибку составителей британской энциклопедии в отношении цвета минерала, В.К. фон Гайдингер, однако, не исправил название места его первой находки и также указал Касас Вьехас, Мексика. К сожалению, это заблуждение перекечовало впоследствии в справочную минералогическую литературу, и «Касас Вьехас» зачастую до сих пор приводится как место первой находки (*type locality*) кокцинита, причем характеризуется как «неустановленное место» (*unidentified locality*) в Мексике. В официальном списке минералов Международной Минералогической Ассоциации (ММА) со ссылкой на справочник В.К. фон Гайдингера указано, что кокцинит открыт в Мексике и описан в 1845 г. (The New IMA List of Minerals, <http://cnmnc.units.it/>).

В 1860–1870-х гг. в разных источниках появилась информация о том, что профессор Горной школы Мехико дон Антонио дель Кастильо снова изучил химический состав образцов М. Дель Рио и пришел к заключению, что иода в них нет, а на самом деле это загрязненный примесями хлорид ртути (Burkart, 1866; Websky, 1877). Таким обра-

зом, само существование кокцинита как минерала в мексиканских образцах, изучавшихся М. Дель Рио, было в тот период опровергнуто.

В начале XX в. появилась информация о находках кокцинита в зоне техногенеза на месторождении Брокен Хилл в Австралии. Этот минерал охарактеризован без диагностической информации как продукт десублимации из газов, образовавшихся в результате пожара на нижних горизонтах карьера Блока 11 (Carne, 1900). Годом позже А. Мозес описал иодид ртути, предположительно из жилы Консолс (*Consols lode*) на месторождении Брокен Хилл (Minerals..., 1999), в виде ярко-красных кубических и кубооктаэдрических кристаллов размером до 0.1 мм, слагающих корки на лимоните. Микрохимические тесты Беренса на ртуть и иод дали положительный результат, и, кроме того, поведение минерала при нагревании на стеклянной пластине и в закрытой трубке оказалось аналогичным поведению синтетического иодида ртути. В отличие от описанных ранее минералов ртути, этот минерал оказался нечувствительным к свету, и за год наблюдений его цвет не претерпел видимых изменений. Однако с учетом уже имевшейся информации о том, что в «кокцините» М. Дель Рио из Мексики иод обнаружен не был, А. Мозес пришел к заключению, что название «кокцинит» вряд ли применимо к изученным им кристаллам (Moses, 1901). В работе (Smith, 1926) предполагалось, что кокцинит входит в состав темно-красных и оранжево-красных агрегатов и налетов на белом каолините в образцах из рудника Пропрайтери (*Proprietary Mine*) также на месторождении Брокен Хилл, однако дальнейшие исследования показали, что они сложены другим Hg-I-содержащим минералом перрудитом (Sarp et al., 1987; Minerals..., 1999).

Сообщение о находке «редкого красновато-коричневого иодида кокцинита» в ассоциации с антимонитом из каньона Сан Эмигдио (*San Emigdio Canyon*) в округе Керн (Калифорния, США) было охарактеризовано как недостоверное (Eakle, 1914).

Таким образом, к середине XX в. сложилась парадоксальная ситуация, когда у минерала на протяжении более чем века есть название, а самого минерала вроде бы и нет. По этому поводу в справочнике «Система минералогии» указывалось, что «название *кокцинит* принято как резервное для иодистой ртути, которая отмечалась, но еще не определена с достоверностью в природе» (Дэна и др., 1953).

Первая достоверная находка кокцинита описана в Украинских Карпатах, в бассейне р. Уж вблизи с. Ставное Ужгородского района Закарпатской области (Маничев и др., 1979). Минерал приурочен к зеленовато-серым тонкоплитчатым алевролитам, аргиллитам и мелкозернистым песчаникам. Кокцинит образует микропрожилки, тонкие примазки и пленки по плоскостям трещин, а в пустотах – дипирамидальные и таблитчатые кристаллики и их сростки размером 0.02–0.10 мм, а также кристаллические и землистые агрегаты извилистой формы. Он тесно ассоциирует с хрупкими смолисто-черными битумами, а в протолочках с кокцинитом также выявлены галенит, сфалерит и пирит. Цвет кокцинита оранжево-красный, в тонких сколах – розовато-оранжевый, черта красно-оранжевая, блеск жирный. Минерал непрозрачный, но просвечивает в тонких сколах. При нагревании легко испаряется. Диагностика кокцинита подтверждена положительными микрохимическими тестами на ртуть и иод, а также рентгеновским анализом: на порошкограмме фиксируются почти все основные линии, присущие синтетической тетрагональной α -модификации HgI_2 . По мнению авторов этой работы, кокцинит образовался на наиболее поздней стадии гидротермальной деятельности, чему способствовали ртутная специализация растворов и иодсодержащие воды.

Подтвержденный рентгенометрически кокцинит был также описан на юге Украины, в мощной толще платформенных карбонатно-хемогенных и терригенно-карбонатных пород Преддобруджского краевого прогиба, в разрезе, вскрытом скважиной, на глубине 600 м (Кузнецов и др., 1987). К сожалению, подробный географический адрес места находки в данной статье отсутствует. Выделения кокцинита приурочены к контакту грубозернистых песчаников с конгломератами, в которых галька представлена кварцем, кварцитом и кремнем, а цемент – глинисто-песчанистым веществом. Кокцинит наблюдается в виде таблитчатых полупрозрачных кристаллов размером 0.05–0.25 мм или пленок оранжевого, реже розовато-оранжевого цвета. Встречается чаще в сростании с зернами кварца, реже – с диккитом и пиритом. По генезису этот минерал аналогичен кокциниту из Карпат.

Микрохимический анализ оранжево-красных агрегатов и мелких кристаллов в образце из отвалов ртутного месторождения Бакофен (*Backofen*) в Мошелландсберге (Пфальц, Германия), показал их соответствие фазе HgI_2 (Nottes, Heidtke, 1986), од-

нако рентгенометрически этот материал не изучался, поэтому его принадлежность к кокциниту или другой модификации иодида двухвалентной ртути осталась невыясненной. Интересно, что эта фаза была найдена в ассоциации с другим иодидом ртути Hg_2I_2 , позднее описанным как мошелит, однако в первом описании мошелита упоминание о ней отсутствует (Krupp et al., 1989).

Достоверный кокцинит в Германии был установлен Т. Витцке в зоне техногенеза на отрабатанном урановом разрезе Лихтенберг (*Lichtenberg open cast*), относящемся к рудному полю Роннебург в Тюрингии (Witzke, 1997). Минерал представлен несовершенными кристаллами до 1 мм, развивающимися на кристаллах самородной серы в ассоциации с селеном, селенистым розицкитом и гипсом. Кокцинит имеет темно-красный цвет, красную черту, стеклянный блеск и совершенную спайность по {001}. В отличие от других галогенидов ртути он устойчив к воздействию света. В связи с неустойчивостью минерала под пучком электронного зонда он диагностирован по качественному химическому составу (с помощью СЭМ-ЭДС) и рентгенометрически. Все отражения на его дифрактограмме соответствуют синтетической тетрагональной фазе $\alpha\text{-HgI}_2$. Впервые для кокцинита приведены рассчитанные из порошкограммы параметры тетрагональной элементарной ячейки: $a = 4.376(4)$, $c = 12.41(1)$ Å, $V = 237.6(4)$ Å³. Здесь кокцинит является продуктом десублимации из газов, возникших в результате самовозгорания граптолитовых сланцев.

Таким образом, несмотря на то, что кокцинит формально известен почти два века, только три его находки – две на территории Украины и одну в Германии (разрез Лихтенберг) – можно признать достоверными. Указание на Мексику как на страну, где находится место первой находки минерала, скорее всего, является ошибочным. Что касается Австралии, то, оценивая описания того времени с позиций сегодняшних знаний о кокцините, мы не исключаем его нахождения в образцах из карьера Блока 11 и жилы Консолс, однако оно требует подтверждения более точными аналитическими методами.

В России, насколько это известно авторам, данный иодид не описывался. Нами кокцинит найден в горящем отвале шахты «Алмазная», разрабатывавшей угольные пласты в восточной части Донецкого угольного бассейна. Это первая находка кокцинита на территории Российской Федерации и, по всей видимости, четвертая его достоверная находка в мире.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТЕ НАХОДКИ

Шахта «Алмазная» расположена в 3.5 км юго-западнее г. Гуково и в 1 км севернее хутора Гуково на территории Красносулинского района Ростовской области (рис. 1а). Она была сдана в эксплуатацию в 1958 г. и входила (до 1971 г. как шахта № 25) в состав крупного производственного объединения «Гуковуголь», осуществлявшего добычу угля в восточной части Донецкого угольного бассейна. Производственная мощность шахты в начале эксплуатации составляла 600 тыс. т угля в год, а после реконструкции в 1970–1990-х гг. увеличилась до 1.2 млн т (Шахты..., 1965; Концепция..., 2012). В 2015 г. шахта была закрыта в связи с нерентабельностью, а через несколько лет ее стволы были разрушены.

В геологическом отношении Гуковский район расположен в пределах Северной (Колпаковской) антиклинали и северного крыла Садкинской котловины. Поле шахты «Алмазная» (4.1 км по простиранию и 2.1 км по падению) расположено на южном крыле этой антиклинали. Залегание пород здесь на большей части простое, с углами падения до 20°, осложненное двумя флексурными складками с углами падения 40–60° и рядом разрывных нарушений, в основном, надвигами широтного и меридионального направления с амплитудами 40–60 м (Шахты..., 1965). В геологическом строении района принимают участие отложения каменноугольного и неогенового возраста (рис. 1б). Первые сложены песчаниками, песчанистыми и глинистыми сланцами, известняками и антрацитами среднего и верхнего карбона. На большей части района они перекрыты толщей глин и песков верхнего плиоцена, и только на небольших площадях по долинам рек и балок породы карбона выходят на поверхность. На шахте «Алмазная» добывался антрацит.

Отвал шахты «Алмазная» расположен к северу от нее и имеет специфическую форму: он узкий и длинный, сильно вытянут с юга на север и доходит практически до южной оконечности г. Гуково (рис. 1б). Его приблизительные размеры $1.70 \times 0.02 \times 0.03$ км. По классификации Б.В. Чеснокова и Е.П. Щербаковой (1991), отвал шахты «Алмазная» следует отнести к плоским. Это единственный плоский отвал в данном районе Восточного Донбасса, все остальные отвалы угледобывающих предприятий представлены терриконами или имеют хребтовидную форму. Отвал шахты «Алмазная» сложен углисто-глинистыми породами отработанных

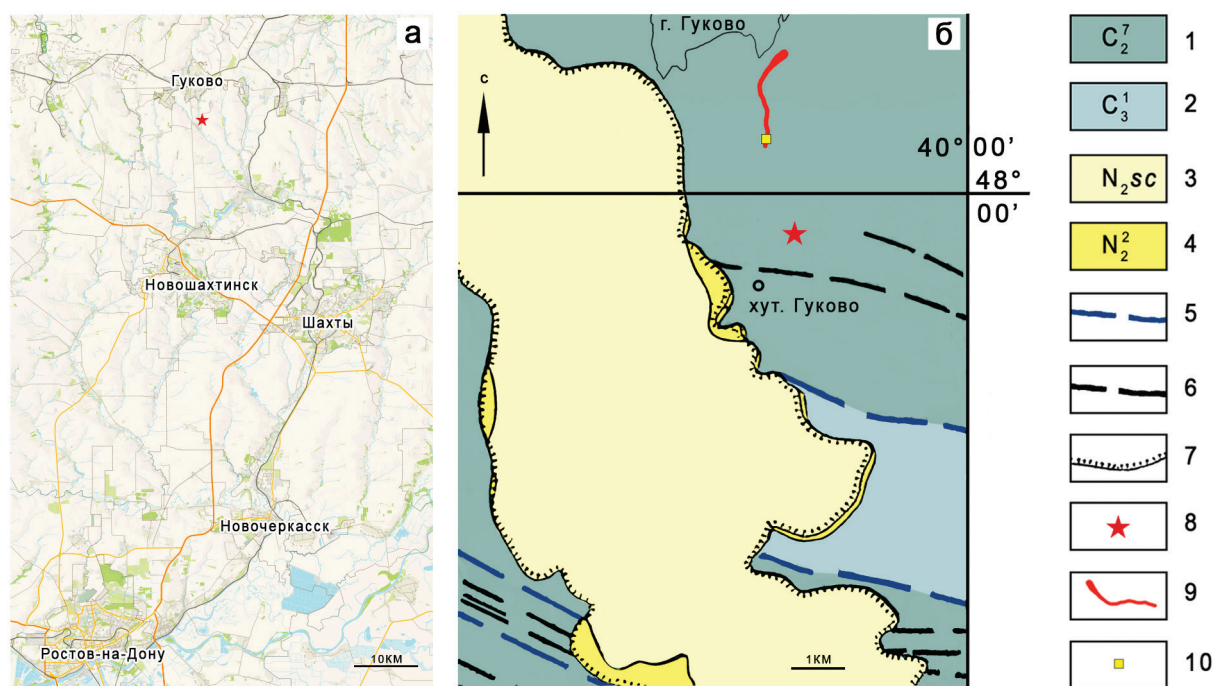


Рис. 1. Географическое положение угольной шахты «Алмазная» (а) и геологическая схема Гуковского района, с изменениями и упрощениями по (Геологическая..., 1956, 1958) (б).

1 – песчаники, сланцы, известняки и антрациты среднего карбона; 2 – песчаники, сланцы, известняки и антрациты верхнего карбона; 3 – красно-бурые, желто-бурые и серые скифские глины верхнего плиоцена; 4 – разномерные пески с прослоями глин верхнего плиоцена; 5 – известняки, разделяющие свиты карбона; 6 – выход антрацита на поверхность; 7 – границы несогласного залегания отложений; 8 – угольная шахта «Алмазная»; 9 – отвал шахты «Алмазная»; 10 – место находки кокцинита.

Fig. 1. Geographical location of the Almaznaya coal mine (a) and schematic geological map of the Gukovo district, modified and simplified after (Geological..., 1956, 1958) (b).

1 – Middle Carboniferous sandstone, shale, limestone, anthracite; 2 – Upper Carboniferous sandstone, shale, limestone, anthracite; 3 – Upper Pliocene red-brown, yellow-brown and gray Scythian clays; 4 – variously granular sand with Upper Pliocene clay layers; 5 – limestone separating Carboniferous formations; 6 – anthracite outcrops; 7 – boundaries of unconformable occurrence of sediments; 8 – Almaznaya coal mine; 9 – dump of the Almaznaya coal mine; 10 – site of coccinite sampling.

угленосных пластов. В отвале нередко встречается пирит, окисление которого приводит к возгоранию углесодержащей отвальной массы. Горение отвала началось до 2018 г. и наблюдается по настоящий день, хотя его интенсивность с каждым годом падает. По состоянию на конец 2024 г., поверхностное горение еще прослеживается на относительно небольшом ($\sim 200 \times 20$ м) участке плоской поверхности отвала вдоль его западного склона (рис. 2). На выходе горячих газов, в устьях псевдофумарол кристаллизуются обычные для таких систем минералы. Так, регулярные, начиная с 2018 г., посещения отвала одним из авторов (О.В. Трофимовым) дали несколько десятков коллекционных образцов серы, нашатыря, масканьита и алунита.

Кокцинит был отобран в октябре 2024 г. О.В. Трофимовым и ростовским коллекционером А.В. Албулом из трещины с корками серы, нашатыря и масканьита в месте выхода горячих газов на поверхность (рис. 3). GPS координаты места находки $48^{\circ}0'33.76''$ N и $39^{\circ}56'32.53''$ E (рис. 1б).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кокцинит описан по результатам наблюдений под стереомикроскопом Zeiss Discovery V8. Микротвердость измерена методом микровдавливаний на приборе ПМТ-3 (аналитик А.А. Агаханов). Оптические свойства минерала исследованы с помощью поляризационных микроскопов ПОЛАР-3 и ПОЛАМ-215. Спектры отражения измерены в воз-



Рис. 2. Отвал угольной шахты «Алмазная».

Место отбора кокцинита помечено стрелкой. На заднем плане – дым в месте выхода газов от горения отвала. Поле зрения ~20 м. Октябрь 2024 г. Фото: О.В. Трофимов.

Fig. 2. Dump of the Almaznaya coal mine.

The site of coccinite sampling is shown by red arrow. The smoke in the background is related to gas release from combustion of the dump. The field of view is ~20 m. October 2024. Photo: O.V. Trofimov.



Рис. 3. Корки самородной серы, нашатыря и масканиита в месте выхода газов горящего угольного отвала на поверхность.

Поле зрения 20 см. Октябрь 2024 г. Фото: А.В. Албул.

Fig. 3. Crusts of native sulfur, sal ammoniac and mascagnite in area, where gases are released from the burning coal dump.

The field of view is ~20 cm. October 2024. Photo: A.V. Albul.

духе по стандарту Si на микроскопе-спектрофотометре МСФ-Р фирмы ЛОМО (диаметр фотометрической диафрагмы 0.3 мм, размер выходной щели монохроматора 0.1 мм, спектральный интервал 6 нм; аналитик А.В. Касаткин).

Микроморфология и химический состав изучались с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi FlexSEM 1000 с энергодисперсионным (ЭД) детектором Xplore Contact 30 и системой анализа Oxford AZtecLive STD при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 2 мкм и поглощенном токе 5 нА на металлическом кобальте (аналитик А.В. Касаткин). Определявшиеся элементы, аналитические рентгеновские

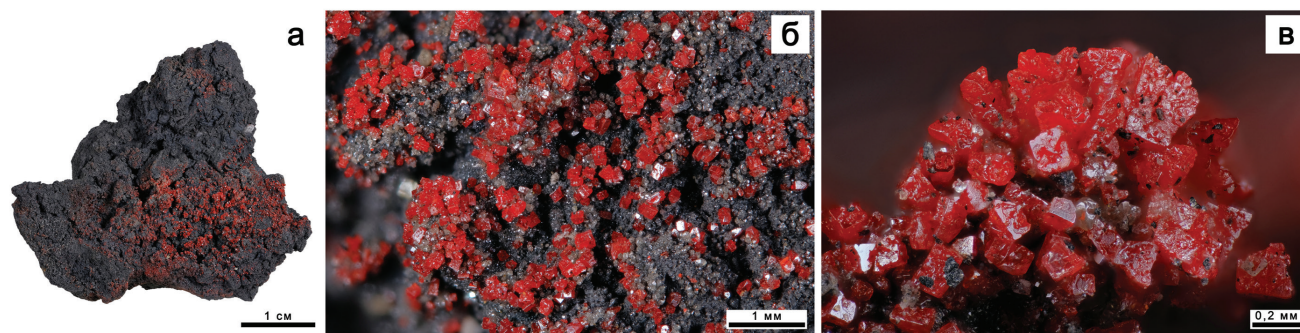


Рис. 4. Кристаллы кокцинита на самородной сере: а – общий вид образца; б, в – увеличенные фрагменты.

Фото: М.Д. Мильшина.

Fig. 4. Coccinite crystals on native sulfur: а – general view of the specimen; б, в – enlarged fragments.

Photo: M.D. Milshina.

линии и стандарты: $\text{Hg}\alpha - \text{HgTe}$; $\text{ClK}\alpha - \text{TiCl}$; $\text{BrL}\alpha - \text{TiBr}$; $\text{IL}\alpha - \text{TiI}$. Содержания остальных элементов с атомными номерами выше, чем у бериллия, оказались ниже пределов обнаружения ЭДС анализом.

Порошковая рентгенограмма получена на дифрактометре Rigaku R-AXIS Rapid II, оснащенном вращающимся анодом, в качестве источника микрофокусного рентгеновского излучения (40 кВ, 15 мА, $\text{CoK}\alpha$, $\lambda = 1.79021 \text{ \AA}$), конфокальной рентгеновской оптикой VariMax и полуцилиндрическим детектором отраженных рентгеновских лучей Image Plate (радиус 127.4 мм), с использованием геометрии Дебая-Шеррера (аналитики И.В. Пеков, С.Н. Бритвин). Угловое разрешение детектора составляет $0.045^\circ 2\theta$ (размер пикселя 0.1 мм). Дифракционные данные проинтегрированы в программном комплексе *Osc2Tab* (Бритвин и др., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Кокцинит найден в единственном образце размером $4.0 \times 3.5 \times 1.0 \text{ см}$ (рис. 4а). Он образует таблитчатые и короткопризматические кристаллы размером до 0.5 мм, в среднем, 0.1–0.2 мм, и их сростки до 2 мм на корке грубых изометричных кристаллов самородной серы до 0.7 мм, окрашенной в темно-серый, почти черный цвет включениями угольной пыли (рис. 4б, в). Также в образце присутствуют редкие пучки белых волокнистых кристаллов галотрихита длиной до 0.5 мм. Кристаллы кокцинита несовершенные, обладают неровной поверхностью. Рельеф поверхности обусловлен развивающимися на ней ступеньками роста и микроиндивидами скелетного строения, на некоторых кристаллах наблюдаются элементы многоглавого роста (рис. 4в, 5). Кристаллы образованы гранями

пинакоида $\{001\}$ и тетрагональной призмы, вероятно, $\{100\}$. На некоторых кристаллах наблюдаются другие слабо развитые и несовершенные грани, проиндентировать которые при таком качестве кристаллов не представляется возможным, можно только сказать, что это грани еще одной призмы и двух дипирамид. Спайность совершенная по (001) . Цвет кокцинита ярко-красный, черта оранжево-красная, блеск очень сильный алмазный. В шлифе и тонких сколах он просвечивает. Микротвердость кокцинита $\text{VHN} = 51 \text{ кг/мм}^2$ (разброс значений 42–59 по пяти замерам, нагрузка 10 г), что соответствует значению 2 по шкале Мооса. Плотность минерала измерить не удалось, т. к. она существенно превышает плотность жидкости Клеричи. Значение плотности кокцинита, полученное с использованием его эмпирической формулы и рассчитанных по порошкограмме параметров элементарной ячейки, составляет 6.32 г/см^3 .

В проходящем свете в прозрачно-полированном шлифе кокцинит плеохроирует от оранжево-красного до темно-красного. Он оптически одноосный отрицательный. Его показатели преломления существенно выше имеющихся иммерсионных жидкостей. В отраженном свете кокцинит серый, несколько светлее соседствующей с ним серы. Двуотражение и анизотропия заметны слабо, чему мешают обильные и очень сильные внутренние рефлексии красно-оранжевого цвета, хорошо заметные даже при одном никеле. Это создало трудности при измерении спектров отражения: коэффициенты отражения, вероятно, получились несколько заниженными (табл. 1). Показатели преломления кокцинита, рассчитанные исходя из измеренного отражения по формуле, производной от формулы Френеля, составляют $n_1 = 2.86$ и $n_2 = 2.66$ при $\lambda = 546 \text{ нм}$.

Таблица 1

Коэффициенты отражения кокцинита из горящего отвала шахты «Алмазная»

Table 1

Reflectance values of coccinite from the burning dump of the Almaznaya mine

λ (нм)	$R_{\max}$	$R_{\min}$
400	28.0	25.1
420	27.3	24.0
440	26.7	23.6
460	26.1	23.2
480	25.6	22.8
500	24.9	22.2
520	24.4	21.7
540	23.5	20.7
560	22.6	20.2
580	21.8	19.8
600	21.4	19.6
620	21.3	19.4
640	21.1	19.2
660	20.9	19.0
680	20.7	18.8
700	20.5	18.7

В отличие от других Hg–I-содержащих минералов кокцинит устойчив к воздействию света и не меняет окраски. Для сравнения, лимонно-желтые кристаллы мошелита Hg_2I_2 на свету быстро становятся темно-зелеными (Krupp et al., 1989). Т. Витцке отмечал летучесть кокцинита при комнатной температуре (Witzke, 1997) и запаивал образцы с ним в стеклянные трубки (Т. Витцке, персональное сообщение; <https://www.mindat.org/photo-9433.html>). Наши опыты показывают, что, по крайней мере, к кокциниту из отвала шахты «Алмазная» это не относится. Никакие видимые изменения нескольких кристаллов кокцинита на открытом воздухе при комнатной температуре не произошли за месяц хранения. При нагревании тигля с кристаллами в пламени спички минерал улетучился в течение нескольких секунд. Эта особенность кокцинита отмечалась и предыдущими исследователями (Маничев и др., 1979; Кузнецов и др., 1987).

В отличие от кокцинита из разреза Лихтенберг (Witzke, 1997), гуковский иодид устойчив под пучком электронного зонда. Его химический со-

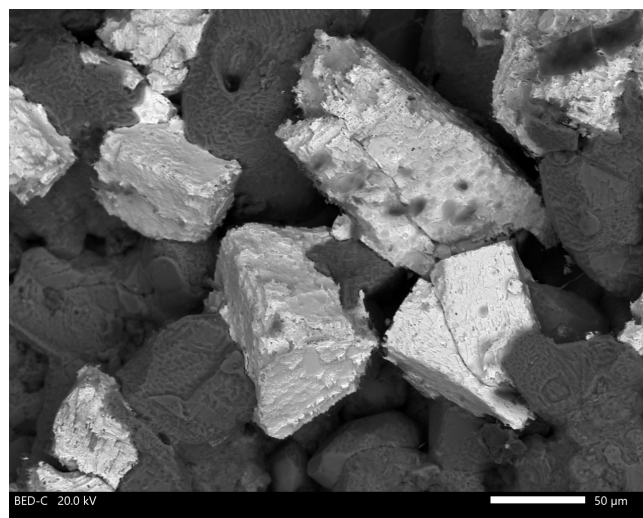


Рис. 5. BSE фото кристаллов кокцинита (светлое) среди кристаллов самородной серы (темное).

Fig. 5. BSE image of the coccinite crystals (light) between native sulfur crystals (dark).

став (мас. %, среднее значение для пяти анализов): Hg 45.15, Cl 0.11, Br 0.65, I 53.91, сумма 99.82. Он отвечает эмпирической формуле, рассчитанной на сумму атомов, равную трем: $\text{Hg}_{1.02}\text{I}_{1.93}\text{Br}_{0.04}\text{Cl}_{0.01}$. Отметим, что это первый количественный анализ кокцинита, приводимый в литературе.

Микроблочное строение кристаллов не позволило выполнить их исследование монокристалльным методом, поэтому рентгеновские данные были получены методом порошка (табл. 2). Как видно из таблицы, все измеренные межплоскостные расстояния и интенсивности аналогичны таковым для α -модификации синтетического соединения HgI_2 . Параметры тетрагональной элементарной ячейки, рассчитанные по данным порошкограммы с помощью программы (Holland, Redfern, 1997): $a = 4.3744(2)$, $c = 12.4301(7)$ Å, $V = 237.86(2)$ Å³. Они близки как к параметрам ячейки синтетического аналога (табл. 2), так и к расчетным данным Т. Витцке (см. выше). По данным рентгеновских исследований, самородная сера в ассоциации с кокцинитом представлена ромбической модификацией (α -серой). Параметры ее ромбической элементарной ячейки, вычисленные по порошкограмме: $a = 10.463(1)$, $b = 12.883(1)$, $c = 24.545(3)$ Å, $V = 3308.4(5)$ Å³.

ОБСУЖДЕНИЕ

Редкая, экзотическая минерализация горящих отвалов угольных разработок на протяжении многих десятилетий является предметом исследо-

Таблица 2

Порошковая рентгенограмма и рассчитанные параметры элементарной ячейки кокцинита из горящего отвала шахты «Алмазная» и синтетического α -HgI₂

Table 2

Powder X-ray diffraction data and unit cell parameters of coccinite from burning dump of the Almaznaya mine and synthetic α -HgI₂

Кокцинит		Синтетика α -HgI ₂ (JCPDS-ASTM 21-1157)		<i>hkl</i>
<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %	<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %	
6.220	29	6.223	55	0 0 2
4.122	82	4.122	70	1 0 1
3.575	100	3.577	100	1 0 2
3.107	5	3.113	3	0 0 4
3.087	5	3.092	2	1 1 0
3.008	37	3.009	40	1 0 3
2.767	35	2.768	30	1 1 2
2.534	6	2.534	7	1 0 4
2.189	98	2.192	60	1 1 4
		2.186	55	2 0 0
2.164	21	2.163	8	1 0 5
2.073	14	2.074	4	0 0 6
		2.062	6	2 0 2
1.931	15	1.931	9	2 1 1
1.868	28	1.874	6	1 0 6
		1.865	4	2 1 2
1.782	3	1.789	1	2 0 4
1.768	10	1.768	6	2 1 3
1.725	2	1.722	1	1 1 6
1.647	9	1.654	3	2 1 4
		1.646	5	1 0 7
1.554	10	1.555	5	0 0 8
		1.545	4	2 2 0
1.539	11	1.537	5	2 1 5
1.504	14	1.504	6	2 0 6
1.465	5	1.466	2	1 0 8
1.447	2	1.447	2	3 0 1
1.421	12	1.422	4	2 1 6
		1.418	5	3 0 2
1.375	3	1.375	2	3 0 3
1.349	5	1.349	2	3 1 2
1.316	8	1.318	3	1 0 9
		1.314	4	2 1 7
1.265	18	1.267	5	2 0 8
		1.263	7	3 1 4
1.239	4	1.239	2	2 2 6
1.217	4	1.217	1	2 1 8
1.207	2	1.206	1	3 2 1
1.197	3	1.197	1	1 0 10
1.192	5	1.192	2	3 0 6
Параметры тетрагональной ячейки				
<i>a</i> = 4.3744(2) Å		<i>a</i> = 4.369 Å		
<i>c</i> = 12.4301(7) Å		<i>c</i> = 12.440 Å		
<i>V</i> = 237.86(2) Å ³		<i>V</i> = 237.49 Å ³		

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее сильные отражения.

Note. The strongest reflections are typed in bold.

вания в разных странах. Наиболее систематически и детально изучена минералогия горящих и горелых отвалов шахт и разрезов Челябинского угольного бассейна на Южном Урале (Чесноков, Щербатова, 1991; Чесноков и др., 2008). Немало работ посвящено соответствующим минералам Восточной Пенсильвании в США, Верхней Силезии в Польше, районов Кладно и Радванице в Чехии и многих других объектов и стран (Lapham et al., 1980; Žáček, Ondruš, 1997; Stracher et al., 2014; Parafiniuk, Siuda, 2021; и мн. др.). Что касается Донбасса, то ранее в горящих угольных отвалах шахт этого региона отмечались самородная сера, нашатырь, реальгар, гематит, цинкит, многочисленные сульфаты (алунген, ангидрит, галотрихит, гексагидрит, гипс, калиевые и натриевые квасцы, летовицит, масканьит, мелантерит, пиккерингит, ссомольнокит, тамаругит, халькантит, чермидит, эпсомит) и другие минералы (Сребродольский, 1973; Лазаренко и др., 1975; Панов и др., 1974, 2000; Труфанов и др., 1999; Проскурня, 2000; Панов, Проскурня, 2001 и ссылки в этих работах).

Насколько это известно авторам, минералы ртути и иода ранее в горящих угольных отвалах не находили, и находка кокцинита в отвале шахты «Алмазная» первая. Кокцинит возник в устье псевдофумаролы, скорее всего, в результате прямого осаждения (десублимации) из газов, образовавшихся при горении углеродсодержащего материала во внутренней части отвала. Об образовании в неравновесных условиях говорит характерный рельеф поверхности его кристаллов (рис. 4в, 5). Генезис кокцинита из Тюрингии (Witzke, 1997), в целом, сходен, но здесь его появление связано с горением не угольных отвалов, а граптолитовых сланцев на заброшенном урановом руднике.

Кокцинит – один из поздних минералов ассоциации: он кристаллизовался позже нашатыря и самородной серы и немного раньше галотрихита. Авторами не производились замеры температуры газов, выходящих на поверхность отвала, однако по литературным данным известно, что отложение ромбической α -серы в местах выходов горячих газов на приповерхностных участках угольных отвалов происходит в диапазоне 90–110 °С (Панов и др., 1974). Поэтому мы полагаем, что кокцинит осаждается при температурах, близких или чуть ниже этих значений. Это предположение согласуется с данными относительно температурного поля стабильности красной α -модификации HgI_2 , природным аналогом которой является кокцинит. Как

отмечалось выше, эта модификация устойчива до 127 °С, выше этой температуры она превращается в желтую β -модификацию (Schwarzenbach, 1969; Gumiński, 1997; Hostettler et al., 2002; Hostettler, Schwarzenbach, 2005).

Источником ртути могли послужить как сульфиды, так и углисто-глинистые породы, находящиеся в отвале. В литературе неоднократно отмечалась уникально высокая ртутоносность углей Донбасса, в том числе Восточного (Беляев и др., 1972; Дворников, 1981; Дворников, Кирикилица, 1987; Kizilstein, Kholodkov, 1999; Юдович, Кетрис, 2004, 2005). Она объяснялась, прежде всего, геологическим строением района: именно в антиклинальных структурах геохимический фон ртути выше, чем в синклинальных, и гораздо выше процентная доля геохимических аномалий (Дворников, Кирикилица, 1987; Юдович, Кетрис, 2004, 2005). Через разломы, надвиги и разрывные нарушения Северной антиклинали Восточного Донбасса ртутоносные гидротермы проникали в угленосную толщу среднекаменноугольного возраста, обогащая породы ртутью. Так, в южной части Северной антиклинали, где расположено поле шахты «Алмазная», отмечались повышенные фоновые содержания Hg в антрацитах: до 0.09 г/т при среднем показателе по всему Восточному Донбассу 0.025 г/т (Юдович, Кетрис, 2005). Кроме того, именно в Гуковском районе по результатам опробования выявлены участки с резко аномальным содержанием Hg до 3 г/т (Беляев и др., 1972). По данным геохимических исследований, основным носителем ртути в углях Восточного Донбасса являются сульфиды; ее меньшая часть содержится в составе глинистых минералов и органических веществ (Юдович, Кетрис, 2005).

Что касается иода, то данных о его концентрациях в углях Восточного Донбасса мы не обнаружили. Имеется общая информация о кларке иода в каменных углях (1.5 ± 0.3 г/т) и оценка этого элемента как высокоуглефильного (Юдович, Кетрис, 2006). Поскольку угленосные отложения Донбасса характеризуются как полифациальные с широким развитием и переслаиванием морских, лагунных и континентальных осадков (Зарицкий, 1970), то иод из морских вод мог накапливаться во время углеотложения в средне- и позднекаменноугольное время. Не исключено эпигенетическое обогащение углей иодом из подземных вод. В частности, экспериментально доказано, что каменные угли способны поглощать значительное количество иода из иодсодержащих водных растворов (Юдович, Кетрис,

2006). В этой связи немаловажно отметить, что отвал шахты «Алмазная» насыпан по руслу мелкой балки, а у северного и южного краев отвала имеются небольшие пруды, заполненные грунтовыми водами. Наконец, источником иода могут быть и органические вещества, входящие в состав углей.

Происхождение кокцинита еще недавно считалось бы чисто техногенным так же, как и любых других минералов, образующихся при горении угольных отвалов. Однако в 2020 г. Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации ММА приняла правила, существенно смягчающие требования к таким веществам (Parafiniuk, Natert, 2020). Они стали рассматриваться как природные при соблюдении двух условий: 1) возникновении горения без участия человека (самовозгорание отвала и т. д.) и 2) неучастии в процессе минералообразования «антропогенных материалов» (технический мусор, металлические предметы, оставленные человеком на отвале и т. п.). Обоим этим формальным критериям кокцинит из отвалов угольной шахты «Алмазная» в полной мере отвечает и может считаться природным, а не техногенным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате детального исследования при помощи современных методов в составе минеральной псевдофумарольной ассоциации, найденной в горящем отвале угольной шахты «Алмазная» в Восточном Донбассе, впервые на территории Российской Федерации охарактеризован очень редкий иодид ртути кокцинит HgI_2 . В его химическом составе присутствуют малые примеси Br и Cl . Все отражения на дифрактограмме кокцинита соответствуют синтетической тетрагональной фазе $\alpha\text{-HgI}_2$. Минерал образовался при самовозгорании углесодержащей отвальной массы. Эта находка говорит о целесообразности дальнейших работ по поиску других редких минералов на горящем участке отвала. Работы необходимо проводить как можно быстрее не только потому, что термическая активность отвала постепенно снижается, что ведет к затуханию минералообразующих процессов, но и потому, что с 2023 г. происходит планомерная разборка отвала частными компаниями на уголь и щебенку. На эти явления применительно к горелым отвалам Челябинского угольного бассейна указывали Б.В. Чесноков с соавторами (2008), отмечая, что через несколько лет эти интереснейшие для науки объекты могут полностью исчезнуть с лица Земли.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляев В.К., Мошкин В.М., Пономарев Е.А. (1972) Новые данные о ртутоносности Восточного Донбасса (Ростовская область). Геологическое строение Ростовской и сопредельных областей. Ростов, РГУ, 204 с.
- Бритвин С.Н., Доливо-Добровольский Д.В., Кржижановская М.Г. (2017) Программный пакет для обработки рентгеновских порошковых данных, полученных с цилиндрического детектора дифрактометра Rigaku Raxis Rapid II. *Записки РМО*, 146(3), 104–107.
- Васильев В.И., Усова Л.В., Пальчик Н.А. (1989) Гречищевит – $\text{Hg}_3\text{S}_2(\text{Br}, \text{Cl}, \text{I})_2$ – новый гипергенный сульфогалогенид ртути. *Геология и геофизика*, 7, 61–69.
- Геологическая карта L-37-IV (1956) Государственная геологическая карта СССР. Серия Донбасская, масштаб 1:200000. Северо-Кавказское геологическое управление, 1956.
- Геологическая карта и карта полезных ископаемых дочетвертичных образований М-37-XXXIV (1958). Карта дочетвертичных отложений и полезных ископаемых СССР. Серия Донбасская, масштаб: 1:200 000. Киевское геологическое управление, 1958.
- Дворников А.Г. (1981) Новые данные о генезисе ореолов ртути в углях Донбасса. *Доклады Академии наук СССР*, 256(6), 1478–1480.
- Дворников А.Г., Кирикилица С.И. (1987) Ртутоносность углей Донецкого бассейна. М., Недра, 155 с.
- Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. (1953) Система минералогии. Т. II. Полуттом 1. М., Изд. иностранной литературы, 773 с.
- Зарицкий П.В. (1970) Минералогия и геохимия диагенеза угленосных отложений (на материалах Донецкого бассейна). Харьков, ХГУ, 223 с.
- Касаткин А.В., Кузнецов А.М., Арзамасцев Н.А. (2022) Рудные минералы Бурановского вольфрамового месторождения (Южный Урал). *Минералогия*, 8(3), 23–46. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-2>.
- Концепция развития угольной промышленности Ростовской области на период до 2030 года. Утверждена постановлением Правительства Ростовской области от 05.07.2012 № 599. <http://special.gukovo.donland.ru/Default.aspx?pageid=111881>
- Кривовичев В.Г. (2021) Минеральные виды. СПб, СПбГУ, 600 с.
- Кужугет Р.В. (2014) Иодидная и бромидная минерализация в окисленных рудах Хаак-Саирского золоторудного месторождения, Западная Тува. *Записки РМО*, 143(2), 64–80.
- Кузнецов Ю.А., Куц В.П., Сиденко О.Г. (1987) Кокцинит из палеозойских отложений юга Украины. *Доклады АН УССР. Серия Б*, 8, 9–10.
- Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.И. (1975) Минералогия Донецкого бассейна. Киев, Наукова Думка, т. 1, 221 с.

- Маничев В.И., Ивантишина О.М., Егорова Л.Н. (1979) О находке йодистой ртути во флише Украинских Карпат. *Доклады АН УССР. Серия Б*, 9, 702–704.
- Панов Б.С., Проскурня Ю.А. (2001) Новые минералы Донбасса. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна*, 32, Донецьк, ДонНТУ, 3–8.
- Панов Б.С., Дорфман М.Д., Смольянинова Н.Н. (1974) О нашатыре из Донецкого бассейна. *Труды Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана*, 23, 220–223.
- Панов Б.С., Проскурня Ю.А., Мельников В.С., Гречановская Е.Е. (2000) Неоминерализация горящих угольных отвалов Донбасса. *Минералогический журнал*, 22(4), 37–46.
- Проскурня Ю.А. (2000) Минералогия отвалов угольных шахт (на примере Донецко-Макеевского промышленного района). Дисс. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Донецк, ДТГУ, 165 с.
- Сребродольский Б.И. (1973) Минеральные ассоциации самородной серы в угленосных толщах. *Минералогический сборник Львовского университета*, 27(3), 287–296.
- Труфанов В.Н., Гипич Л.В., Мешанинов Ф.В. (1999) Наноминеральные ассоциации горящих терриконов Восточного Донбасса. *Тезисы IX съезда ВМО*, Санкт-Петербург, 27–28.
- Чесноков Б.В., Щербакова Е.П. (1991) Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М., Наука, 152 с.
- Чесноков Б.В., Щербакова Е.П., Нишанбаев Т.П. (2008) Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Миасс, ИМин УрО РАН, 139 с.
- Шахты Донецкого бассейна (1965) Под ред. А.П. Судоплатова, А.М. Курносова. М., Недра, 612 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2004) Проблема ртути в углях. *Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*, 10(118), 6–13
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2005) Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург, УрО РАН, 650 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2006) Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург, УрО РАН, 538 с.
- Akopyan I.K., Labzovskaya M.É., Novikov B.V., Smirnov V.M. (2007) Metastable modifications in mercury diiodide nanocrystals. *Physics of the Solid State*, 49, 1375–1381. <https://doi.org/10.1134/S106378340707030X>
- Annales des mines ou recueil de mémoires sur l'exploitation des mines et sur les sciences qui s'y rapportent (1829). Deuxième série, 5, 324 p. (in French)
- Bijvoet J., Claassen A., Karssen A. (1926) The crystal structure of red mercuric iodide. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen*, 29, 529–546.
- Burkart H.J. (1866) Über einige mexikanische Mineralien. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 409–417. (in German)
- Carne J.E. (1900) Mercury, or “Quicksilver”, in New South Wales, with notes on its occurrence in other colonies and countries. *New South Wales Department of Mines, Mineralogical Resources*, 7, 36 p.
- Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences (1836). Tome troisième, juillet – décembre 1836. Paris, Bachelier, Imprimeur-Libraire, 582–583. (in French)
- Cooper M.A., Hawthorne F.C., Roberts A.C., Stanley C.J., Spratt J.C., Andrew G. (2019) Gaidunningite, ideally $\text{Hg}^{2+}_3[\text{NHg}^{2+}_2]_{18}(\text{Cl}, \text{I})_{24}$, a new mineral from the Clear Creek Mine, San Benito County, California, USA: description and crystal structure. *The Canadian Mineralogist*, 57, 295–310. <https://doi.org/10.3749/canmin.1800080>.
- Domeyko I. (1844) Tratado de ensayes, tanto por la via seca como por la via humeda, de toda clase de minerales y pastas de cobre, plomo, plata, oro, mercurio, &c: con descripcion de los caracteres de los principales minerales y productos de las artes en America, y en particular en Chile, Serena, Imprenta eel Colejio, 282–283. (in Spanish)
- Eakle A.S. (1914) Minerals of California. Bulletin No. 67, California State printing office, 226 p.
- Gumiński C. (1997) The Hg-I (mercury-iodine) system. *Journal of Phase Equilibria*, 18(2), 206–215. <https://doi.org/10.1007/bf02665707>
- Haidinger W. (1845) Handbuch der bestimmenden Mineralogie. Wien, Braumüller and Seidel, 572 p. (in German)
- Hicks D., Mehl M.J., Gossett E., Toher C., Levy O., Hanson R.M., Hart G., Curtarolo S. (2019) The AFLOW library of crystallographic prototypes: Part 2. *Computational Materials Science*, 161, S1. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.10.043>
- Holland T.J.B., Redfern S.A.T. (1997) Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, 61, 65–77. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.404.07>
- Hostettler M., Schwarzenbach D. (2005) Phase diagrams and structures of HgX_2 (X = I, Br, Cl, F). *Comptes Rendus Chimie*, 8, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2004.06.006>
- Hostettler M., Birkedal H., Schwarzenbach D. (2002). The structure of orange HgI_2 . I. Polytropic layer structure. *Acta Crystallographica Section B Structural Science*, 58(6), 903–913. <https://doi.org/10.1107/s010876810201618x>
- Jeffrey G.A., Vlasse M. (1967) On the crystal structures of the red, yellow and orange forms of mercuric iodide. *Inorganic Chemistry*, 6, 396–399.
- Kizilstein L.Ya., Kholodkov Yu.I. (1999) Ecologically hazardous elements in coals of the Donets Basin. *International Journal of Coal Geology*, 40, 189–197. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00068-8)
- Krupp E.R., Nottes G., Heidtke U. (1989) Moschelite (Hg_2I_2): a new mercury mineral from Landsberg-Obermoschel. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte*, 1989, 524–526.

- Lapham M.D., Barnes J.H., Downey W.F., Jr., Finkelman R.B. (1980) Mineralogy associated with burning anthracite deposits of Eastern Pennsylvania. Mineral Resource Report 78. Harrisburg, Pennsylvania Topographic and Geologic Survey, 788 p.
- McCormack J.K., Dickson F.W., Leshendok M.P. (1991) Radtkeite, $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$, a new mineral from the McDermitt mercury deposit, Humboldt County, Nevada. *American Mineralogist*, 76, 1715–1721. [https://doi.org/0003-004X/91/0910-1715\\$02.00](https://doi.org/0003-004X/91/0910-1715$02.00)
- Minerals of Broken Hill (1999) Ed. by W.D. Birch. Broken Hill City Council, 135–136.
- Moses A.J. (1901) Mineralogical notes. Mercuric iodide from New South Wales. *American Journal of Science*, 12, 98–99.
- Nottes G., Heidtke U. (1986) Zur Kenntnis der Jodquecksilber-Mineralen vom Moschellandsberg, Pfalz. *Aufschluß*, 37, 31–36. (in German)
- Parafiniuk J., Hatert F. (2020) New IMA CNMNC guidelines on combustion products from burning coal dumps. *European Journal of Mineralogy*, 32, 215–217. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-215-2020>
- Parafiniuk J., Siuda R. (2021) High temperature sulfate minerals forming on the burning coal dumps from Upper Silesia, Poland. *Minerals*, 11, 228. <https://doi.org/10.3390/min11020228>
- Pekov I.V., Zubkova N.V., Britvin S.N., Agakhanov A.A., Polekhovsky Y.S., Pushcharovsky D.Y., Möhn G., Desor J., Blass G. (2023) A new mineral hanauerite, AgHgSI , and common crystal chemical features of natural mercury sulphohalides. *Crystals*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/cryst13081218>
- Roberts A.C., Cooper M.A., Hawthorne F.C., Criddle A.J., Stirling J.A.R., Dunning G.E. (2002) Tedhadleyite, $\text{Hg}^{2+}\text{Hg}^{1+}_{10}\text{O}_4\text{I}_2(\text{Cl},\text{Br})_2$, a new mineral species from the Clear Creek Claim, San Benito County, California. *The Canadian Mineralogist*, 40, 909–914. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.40.3.909>
- Roberts A.C., Cooper M.A., Hawthorne F.C., Stirling J.A.R., Paar W.H., Stanley C.J., Dunning G.E., Burns P.C. (2003) Vasilyevite, $(\text{Hg}_2)^{2+}_{10}\text{O}_6\text{I}_3\text{Br}_2\text{Cl}(\text{CO}_3)$, a new mineral species from the Clear Creek claim, San Benito County, California. *The Canadian Mineralogist*, 41, 1167–1172. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.41.5.1167>
- Roberts A.C., Stirling J.A.R., Criddle A.J., Dunning G.E., Spratt J. (2004) Aurivilliusite, $\text{Hg}^{2+}\text{Hg}^{1+}\text{OI}$, a new mineral species from the Clear Creek claim, San Benito County, California, USA. *Mineralogical Magazine*, 68, 241–245. <https://doi.org/10.1180/0026461046820184>
- Sarp H., Birch W.D., Hlava P.F., Pring A., Sewell D.K.B., Nickel E.H. (1987) Perroudite, a new sulfide-halide of Hg and Ag from Cap-Garonne, Var, France, and from Broken Hill, New South Wales, and Coppin Pool, Western Australia. *American Mineralogist*, 72, 1251–1256. [https://doi.org/0003-004X/1112-1251\\$02.00](https://doi.org/0003-004X/1112-1251$02.00)
- Schwarzenbach D. (1969) The crystal structure and one-dimensional disorder of the orange modification of HgI_2 . *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*, 128, 97–114. <https://doi.org/10.1524/zkri.1969.128.16.97>
- Smith G. (1926) A contribution to the mineralogy of New South Wales. Geological Survey of New South Wales. *Mineralogical Resources*, 34, 145 p.
- Stracher G.B., Prakash A., Sokol E.V. (2014) Coal and peat fires: a global perspective. Volume 3: Case studies – coal fires. Amsterdam, Elsevier Science, 816 p.
- The Penny cyclopædia of the society for the diffusion of useful knowledge (1839). Volume XV. London, Charles Knight and Co., 103 p.
- Websky M. (1877) Über Hornquecksilber von el Doctor in Mexico. *Auszug aus dem Monatsbericht der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 461–467. (in German)
- Witzke T. (1997) New data on the mercury iodide mineral coccinite, HgI_2 . *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 11, 505–510. <https://doi.org/10.1127/njmm/1997/1997/505>
- Žáček V., Ondruš P. (1997) Mineralogy of recently formed sublimates from Kateřina colliery in Radvanice, Eastern Bohemia, Czech Republic. *Věstník Českého geologického ústavu*, 72, 289–302.

REFERENCES

- Akopyan I.K., Labzovskaya M.É., Novikov B.V., Smirnov V.M. (2007) Metastable modifications in mercury diiodide nanocrystals. *Physics of the Solid State*, 49, 1375–1381. <https://doi.org/10.1134/S106378340707030X>
- Annales des mines ou recueil de mémoires sur l'exploitation des mines et sur les sciences qui s'y rapportent (1829). Deuxième série, 5, 324 p. (in French)
- Belyaev V.K., Moshkin V.M., Ponomarev E.A. (1972) *New data on Hg potential of Eastern Donbas (Rostov region). Geological structure of Rostov and adjacent regions.* Rostov, RGU, 204 p. (in Russian).
- Bijvoet J., Claassen A., Karssen A. (1926) The crystal structure of red mercuric iodide. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen*, 29, 529–546.
- Britvin S.N., Dolivo-Dobrovolsky D.V., Krzhizhanovskaya M.G. (2017) Software for processing the X-ray powder diffraction data obtained from the curved image plate detector of Rigaku RAXIS Rapid II diffractometer. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 146, 104–107 (in Russian).
- Burkart H.J. (1866) Über einige mexikanische Mineralien. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 409–417. (in German)
- Carne J.E. (1900) Mercury, or “Quicksilver”, in New South Wales, with notes on its occurrence in other colonies

and countries. *New South Wales Department of Mines, Mineralogical Resources*, 7, 36 p.

Chesnokov B.V., Shcherbakova E.P. (1991) *Mineralogy of burnt dumps of the Chelyabinsk coal basin (an experience of technogene mineralogy)*. Moscow, Nauka, 152 p. (in Russian)

Chesnokov B.V., Shcherbakova E.P., Nishanbaev T.P. (2008) *Minerals of burnt dumps of the Chelyabinsk coal basin*. Miass, IMin UrO RAN, 139 p. (in Russian)

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences (1836). Tome troisième, juillet – décembre 1836. Paris, Bachelier, Imprimeur-Libraire, 582–583. (in French)

Cooper M.A., Hawthorne F.C., Roberts A.C., Stanley C.J., Spratt J.C., Andrew G. (2019) Gaildunningite, ideally $\text{Hg}_3^{2+}[\text{NHg}^{2+}]_{18}(\text{Cl},\text{I})_{24}$, a new mineral from the Clear Creek Mine, San Benito County, California, USA: description and crystal structure. *The Canadian Mineralogist*, 57, 295–310. <https://doi.org/10.3749/canmin.1800080>.

Dana J.D., Dana E.S., Palache Ch., Berman H., Frondel C. (1953) *The system of mineralogy*. Volume II. Half-volume 1. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 773 p. (in Russian)

Domeyko I. (1844) Tratado de ensayes, tanto por la via seca como por la via humeda, de toda clase de minerales y pastas de cobre, plomo, plata, oro, mercurio, &c: con descripcion de los caracteres de los principales minerales y productos de las artes en America, y en particular en Chile, Serena, Imprenta eel Colejio, 282–283. (in Spanish)

Dvornikov A.G. (1981) New data on genesis of mercury areas in Donbas coals. *Doklady Akademii nauk SSSR (Doklady Academy of Sciences of the USSR)*, 256(6), 1478–1480 (in Russian).

Dvornikov A.G., Kirikilitza S.I. (1987) *Mercury potential of coals of the Donetsk basin*. Moscow, Nedra, 155 p. (in Russian).

Eakle A.S. (1914) Minerals of California. Bulletin No. 67, California State printing office, 226 p.

Geological map L-37-IV (1956). *State geological map of the USSR*. Donbas series, scale 1:200 000. North Caucasian Geological Survey, 1956. (in Russian)

Geological map and map of ores of pre-Quaternary formations M-37-XXXIV (1958). Map of pre-Quaternary deposits and ores of the USSR. Donbas series, scale: 1:200000. Kiev Geological Survey, 1958. (in Russian)

Gumiński C. (1997) The Hg-I (mercury-iodine) system. *Journal of Phase Equilibria*, 18(2), 206–215. <https://doi.org/10.1007/bf02665707>

Haidinger W. (1845) *Handbuch der bestimmenden Mineralogie*. Wien, Braumüller and Seidel, 572 p. (in German)

Hicks D., Mehl M.J., Gossett E., Toher C., Levy O., Hanson R.M., Hart G., Curtarolo S. (2019) The AFLOW library of crystallographic prototypes: Part 2. *Computational Materials Science*, 161, S1. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2018.10.043>

Holland T.J.B., Redfern S.A.T. (1997) Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, 61, 65–77. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.404.07>

Hostettler M., Schwarzenbach D. (2005) Phase diagrams and structures of HgX_2 (X = I, Br, Cl, F). *Comptes Rendus Chimie*, 8, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2004.06.006>

Hostettler M., Birkedal H., Schwarzenbach, D. (2002). The structure of orange HgI_2 . I. Polytropic layer structure. *Acta Crystallographica Section B Structural Science*, 58(6), 903–913. <https://doi.org/10.1107/s010876810201618x>

Jeffrey G.A., Vlasse M. (1967) On the crystal structures of the red, yellow and orange forms of mercuric iodide. *Inorganic Chemistry*, 6, 396–399.

Kasatkin A.V., Kuznetsov A.M., Arzamastsev N.A. (2022) Ore minerals of the Buranovskoe tungsten deposit (Southern Urals). *Mineralogiya (Mineralogy)*, 8(3), 23–46. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-2> (in Russian)

Kizilstein L.Ya., Kholodkov Yu.I. (1999) Ecologically hazardous elements in coals of the Donets Basin. *International Journal of Coal Geology*, 40, 189–197. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00068-8)

Krivovichev V.G. (2021) *Mineral species*. St. Petersburg, SPbGU, 600 p. (in Russian)

Krupp E.R., Nottes G., Heidtke U. (1989) Moschelite (Hg_2I_2): a new mercury mineral from Landsberg-Obermoschel. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte*, 1989, 524–526.

Kuzhuget R.V. (2014) Iodide and bromide mineralization in oxidized ores of the Khaak-Sair gold deposit, Western Tuva. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*, 143(2), 64–80. (in Russian)

Kuznetsov Yu.A., Kuts V.P., Sidenko O.G. (1987) Coccinite from the Paleozoic deposits of southern Ukraine. *Doklady AN USSR. Seria B (Doklady of Academy of Sciences of the USSR. Series B)*, 8, 9–10. (in Russian)

Lapham M.D., Barnes J.H., Downey W.F., Jr., Finkelman R.B. (1980) Mineralogy associated with burning anthracite deposits of Eastern Pennsylvania. Mineral Resource Report 78. Harrisburg, Pennsylvania Topographic and Geologic Survey, 788 p.

Lazarenko E.K., Panov B.S., Pavlichin V.I. (1975) *Mineralogy of the Donetsk basin*. Kiev, Naukova Dumka, Vol. 1, 221 p. (in Russian)

Manichev V.I., Ivantishina O.M., Egorova L.N. (1979) The finding of mercury iodide in flysch of the Ukrainian Carpathians. *Doklady AN USSR. Seria B (Doklady of Academy of Sciences of the USSR. Series B)*, 9, 701–703. (in Russian)

McCormack J.K., Dickson F.W., Leshendok M.P. (1991) Radtkeite, $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{ClI}$, a new mineral from the McDermitt mercury deposit, Humboldt County, Nevada. *American Mineralogist*, 76, 1715–1721. [https://doi.org/0003-004X/91/0910-1715\\$02.00](https://doi.org/0003-004X/91/0910-1715$02.00)

Minerals of Broken Hill (1999) Ed. by W.D. Birch. Broken Hill City Council, 135–136.

Mines of the Donetsk Basin (1965) Eds. by A.P. Sudoplatov and A.M. Kurnosov. Moscow, Nedra, 612 p. (in Russian)

Moses A.J. (1901) Mineralogical notes. Mercuric iodide from New South Wales. *American Journal of Science*, 12, 98–99.

Nottes G., Heidtke U. (1986) Zur Kenntnis der Jodquecksilber-Mineralie vom Moschellandsberg, Pfalz. *Aufschluß*, 37, 31–36. (in German)

Panov B.S., Proskurnya Yu.A. (2001) New minerals of Donbas. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu, seria girnichno-geologichna (Scientific Proceedings of the Donetsk National Technical University. Geological Series)*, 32, Donetsk, DonNTU, 3–8. (in Russian)

Panov B.S., Dorfman M.D., Smolyaninova N.N. (1974) Salammoniac from the Donetsk basin. *Trudy Mineralogicheskogo muzeia imeni A.E. Fersmana (Proceedings of the Fersman Mineralogical Museum)*, 23, 220–223. (in Russian)

Panov B.S., Proskurnya Yu.A., Melnikov V.S., Grechanovskaya E.E. (2000) Neomineralization of burning coal dumps in Donbas. *Mineralogicheskii Zhurnal (Mineralogical Journal)*, 22(4), 37–46. (in Russian)

Parafiniuk J., Hatert F. (2020) New IMA CNMNC guidelines on combustion products from burning coal dumps. *European Journal of Mineralogy*, 32, 215–217. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-215-2020>

Parafiniuk J., Siuda R. (2021) High temperature sulfate minerals forming on the burning coal dumps from Upper Silesia, Poland. *Minerals*, 11, 228. <https://doi.org/10.3390/min11020228>

Pekov I.V., Zubkova N.V., Britvin S.N., Agakhanov A.A., Polekhovsky Y.S., Pushcharovsky D.Y., Möhn G., Desor J., Blass G. (2023) A new mineral hanauerite, AgHgSI , and common crystal chemical features of natural mercury sulphohalides. *Crystals*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/cryst13081218>

Proskurnya Yu.A. (2000) *Mineralogy of coal mine dumps (on example of the Donetsk-Makeevka industrial region)*. (PhD Dissertation). Donetsk, DTGU, 165 p. (in Russian)

Roberts A.C., Cooper M.A., Hawthorne F.C., Criddle A.J., Stirling J.A.R., Dunning G.E. (2002) Tedhadleyite, $\text{Hg}^{2+}\text{Hg}^{1+}_{10}\text{O}_4\text{I}_2(\text{Cl},\text{Br})_2$, a new mineral species from the Clear Creek Claim, San Benito County, California. *The Canadian Mineralogist*, 40, 909–914. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.40.3.909>

Roberts A.C., Cooper M.A., Hawthorne F.C., Stirling J.A.R., Paar W.H., Stanley C.J., Dunning G.E., Burns P.C. (2003) Vasilyevite, $(\text{Hg}_2)^{2+}_{10}\text{O}_6\text{I}_3\text{Br}_2\text{Cl}(\text{CO}_3)$, a new mineral species from the Clear Creek claim, San Benito County, California. *The Canadian Mineralogist*, 41, 1167–1172. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.41.5.1167>

Roberts A.C., Stirling J.A.R., Criddle A.J., Dunning G.E., Spratt J. (2004) Aurivilliusite, $\text{Hg}^{2+}\text{Hg}^{1+}\text{OI}$, a new mineral species from the Clear Creek claim, San Benito County, California, USA. *Mineralogical Magazine*, 68, 241–245. <https://doi.org/10.1180/0026461046820184>

Sarp H., Birch W.D., Hlava P.F., Pring A., Sewell D.K.B., Nickel E.H. (1987) Perroudite, a new sulfide-halide of Hg and Ag from Cap-Garonne, Var, France, and from Broken Hill, New South Wales, and Coppin Pool, Western Australia. *American Mineralogist*, 72, 1251–1256. [https://doi.org/0003-004X/1112-1251\\$02.00](https://doi.org/0003-004X/1112-1251$02.00)

Schwarzenbach D. (1969) The crystal structure and one-dimensional disorder of the orange modification of HgI_2 . *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials*, 128, 97–114. <https://doi.org/10.1524/zkri.1969.128.16.97>

Smith G. (1926) A contribution to the mineralogy of New South Wales. Geological Survey of New South Wales. *Mineralogical Resources*, 34, 145 p.

Srebrodolskiy B.I. (1973) Mineral assemblages of native sulfur in coal-bearing strata. *Mineralogicheskii sbornik L'vovskogo universiteta (Mineralogical proceedings of the Lvov University)*, 27(3), 287–296. (in Russian)

Stracher G.B., Prakash A., Sokol E.V. (2014) Coal and peat fires: a global perspective. Volume 3: Case studies – coal fires. Amsterdam, Elsevier, 816 p.

The concept of the development of coal industry of the Rostov region for the period up to 2030. Approved by the Decree of the Government of the Rostov Region dated 05.07.2012 No. 599. <http://special.gukovo.donland.ru/Default.aspx?pageid=111881>. (in Russian)

The Penny cyclopædia of the society for the diffusion of useful knowledge (1839). Volume XV. London, Charles Knight and Co., p. 103 p.

Trufanov V.N., Gipich L.V., Meshaninov F.V. (1999) Nanomineral assemblages of burning waste heaps in Eastern Donbas. Tezisy IX s'ezda VMO. *Abstracts of the IX VMO Congress*. St. Petersburg, 27–28 (in Russian).

Vasiliev V.I., Usova L.V., Palchik N.A. (1989) Grechishchevite- $\text{Hg}_3\text{S}_2(\text{Br},\text{Cl},\text{I})_2$ – a new supergene mercury sulfohalide. *Geologiya i geofizika (Geology and Geophysics)*, 7, 61–69. (in Russian).

Websky M. (1877) Über Hornquecksilber von el Doctor in Mexico. *Auszug aus dem Monatsbericht der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 461–467. (in German)

Witzke T. (1997) New data on the mercury iodide mineral coccinite, HgI_2 . *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 11, 505–510. <https://doi.org/10.1127/njmm/1997/1997/505>

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2004) The problem of mercury in coals. *Vestnik Instituta geologii Komi nauchnogo centra Uralskogo otdeleniya RAN (Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Uralian Branch of RAS)*, 10(118), 6–13 (in Russian).

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2005) *Toxic trace elements in fossil coals*. Yekaterinburg, UrO RAN, 650 p. (in Russian).

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2006) *Valuable trace elements in coals*. Yekaterinburg, UrO RAN, 538 p. (in Russian).

Žáček V., Ondruš P. (1997) Mineralogy of recently formed sublimates from Kateřina colliery in Radvanice, Eastern Bohemia, Czech Republic. *Věstník Českého geologického ústavu*, 72, 289–302.

Zaritsky P.V. (1970) *Mineralogy and geochemistry of diagenesis of coal-bearing deposits (based on materials from the Donetsk basin)*. Kharkov, KhGU, 223 p. (in Russian).

Информация об авторах

Анатолий Витальевич Касаткин – ведущий специалист, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия; anately.kasatkin@gmail.com

Игорь Викторович Пеков – член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой минералогии геологического факультета МГУ, Московский государственный университет, г. Москва, Россия; igorpekov@mail.ru

Олег Викторович Трофимов – коллекционер, г. Ростов-на-Дону, Россия; ovtr@yandex.ru

Атали Акмурадович Агаханов – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия; atali99@mail.ru

Мария Дмитриевна Мильшина – фотограф минералов, коллекционер, г. Москва, Россия; narrata@mail.ru

Сергей Николаевич Бритвин – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры кристаллографии, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия; sbritvin@gmail.com

Information about the authors

Anatoly V. Kasatkin – Leading Researcher, Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia; anately.kasatkin@gmail.com

Igor V. Pekov – Corresponding Member of the RAS, Head of the Department of Mineralogy, Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia; igorpekov@mail.ru

Oleg V. Trofimov – collector, Rostov-on-Don, Russia; ovtr@yandex.ru

Atali A. Agakhanov – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Deputy Director, Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia; atali99@mail.ru.

Maria D. Milshina – mineral photographer, collector, Moscow, Russia; narrata@mail.ru.

Sergey N. Britvin – Doctor of Geological-Mineralogical Sciences, Professor at the Department of Crystallography, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; sbritvin@gmail.com