

Петроченков Д.А. (МГРИ-РГГРУ), Ружицкий В.В. (ФГБУ «ВИМС»)

СТРУКТУРНЫЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ КАССИТЕРИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИУЛЬТИН, ЧУКОТКА

*Приведены результаты изучения кристаллов касситерита ювелирного качества месторождения Иультин на просвечивающем электронном микроскопе. В касситерите выделены микрозоны поперечной пластинчатости, которые являются структурным выражением зон роста кристалла. В касситерите установлены микровключения аморфного углеродистого вещества (впервые), графита и графитизированного углеродистого вещества (впервые), гематита, гётита, тапиолита, рутила, ильменорутила, ферроксигита, анатаза, слоистых алюмосиликатов, апатита, шпинели, расположенных в зонах структурных нарушений. С зонами структурных нарушений и содержащимися в них микровключениями связаны плеохроизм, уровень тона и прозрачность кристаллов. **Ключевые слова:** касситерит, ювелирные минералы, структурные нарушения, микровключения, месторождения олова, Чукотка.*

Petrochenkov D.A. (MGRI-RGGRU), Ruzhitskiy V.V. (VIMS)
STRUCTURAL AND MINERALOGICAL PECULIARITIES
OF JEWELLERY CASSITERITES OF DEPOSIT IULTIN

*The results of study cassiterite crystals jewelry quality of Iultin deposit on a transmission electron microscope are presented. In cassiterite, microzones of transverse plate formation are distinguished, which are the structural expression of crystal growth zones. Micro-inclusions of amorphous carbonaceous matter (for the first time), graphite and graphitized carbonaceous matter (for the first time), hematite, goethite, tapiolite, rutile, ilmenorutile, ferroxygite, anatase, layered aluminosilicates, apatite, spinel, located in zones of structural impairment are found in cassiterite. Pleochroism, the level of tone and transparency of crystals are associated with zones of structural impairment and micro-inclusions contained in them. **Keywords:** cassiterite, jewelry minerals, structural disorders, micro-inclusions, tin deposits, Chukotka.*

Помимо использования касситерита как основного источника олова его кристаллы имеют высокую эстетическую ценность [1, 3, 7]. Стоимость крупных кристаллов с хорошо выраженными кристаллографическими формами, алмазным блеском граней на мировом рынке достигает нескольких десятков тысяч долларов. Касситерит по своим геммологическим характеристикам: показателю преломления — $n_o = 1,90-2,01$ и $n_e = 2,02-2,12$, дисперсии — 0,071, твердости — 6,5–7 по шкале Мооса, разнообразной окраске, несовершенной спайности не уступает многим популярным ювелирным минералам. Стоимость ограненных кристаллов касситерита часто превышает 100 долл. США за карат [7, 8].

В ряду месторождений с коллекционным и ювелирным касситеритом Иультин занимает особое место [4, 5].

На этом месторождении были найдены самые крупные в РФ кристаллы касситерита [4]. Многие кристаллы содержали прозрачные зоны, пригодные для огранки высокого качества (рис. 1). Систематического отбора коллекционных и ювелирных кристаллов при обработке месторождения не проводилось, в результате многие из них, в том числе уникальные, были утрачены.

Оловорудное месторождение Иультин расположено в Восточной Чукотке и является типичным примером кварцевого промышленного типа вольфрам-редкометалльно-оловянной формации [2, 4, 5]. Месторождение открыто в 1937 г. В.Н. Миляевым и с 1959 г. с завершением строительства горнодобывающего предприятия эксплуатировалось до 1993 г. Месторождение Иультин и в настоящее время обладает значительными запасами качественных оловянных руд и в перспективе, несомненно, возобновится его эксплуатация. В этом же районе расположены и другие месторождения олова: Светлое, Тенкергин, Снежное, на которых присутствует касситерит коллекционного и ювелирного качества [4]. В РФ в настоящее время касситерит не рассматривается в качестве ювелирного минерала [6], что осложняет использование действующей нормативно-правовой базы по недропользованию, сдерживая его добычу.

В статье приведены результаты детальных минералогических исследований касситерита ювелирного качества, позволяющие оценить факторы, определяющие геммологические характеристики кристаллов.

Результаты исследований

Минералогические исследования выполнены на кафедре минералогии и геммологии МГРИ-РГГРУ и



Рис. 1. Призматически-пирамидальный кристалл касситерита, масса 500 г. Музей «Самоцветы» № 3614 (а); ограненные касситериты: круг 6 мм (б) и октагон 5х7 мм (в). Месторождение Иультин

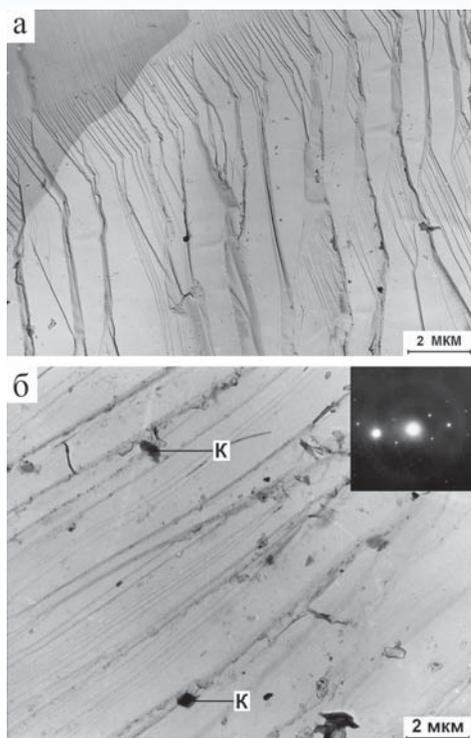


Рис. 2. Пластинчатая структура микрозоны в касситерите с ровной поверхностью скола (а); микровключения касситерита поздней генерации (К) в микрозоне с пластинчатой морфоструктурой и их МДК (б)

в ФГБУ «ВИМС». Изучение внутреннего строения и микровключений касситерита проведено на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) Tesla BS-540. Диагностика минеральных фаз проводилась по микродифракционным картинам (МДК). Проанализированы различные фрагменты кристаллов касситерита ювелирного качества.

По данным электронно-микроскопических исследований касситерит представляет хорошо раскристаллизованный монокристалл с характерным концентрическим ребристо-ступенчатым изломом. Основная часть светлых участков кристалла состоит из относительно крупных блоков с ровной поверхностью скола, включающих микрозоны с поперечной пластинчатой морфоструктурой (рис. 2а). Толщина пластин в микрозонах колеблется от 0,5 до 1,0 мкм. Пластины разбиты «паутинными» микротрещинами, создающими впечатление их тонкой слоистости. «Паутинные» микротрещины, являясь продолжением пластин, густой сеткой входят и в примыкающий блок с ровной поверхностью. На другом фрагменте пластины толщиной около 1,5 мкм разбиты тончайшими микротрещинами сложной формы (рис. 2б). Между микротрещинами и микрозонами поперечно развивается касситерит поздней генерации (рис. 2б). Между микрозонами поперечной

пластинчатости расположены блоки кристалла с ровной поверхностью скола.

Темные участки касситерита имеют также концентрически-ступенчатый скол, но в них практически отсутствуют блоки с ровной поверхностью. Характерна система разноориентированных микротрещин. Часто система микротрещин приурочена к микрозонам с пластинчатой морфоструктурой, аналогичной для светлых участков. Реже встречаются микрозоны с таблитчатой, иногда сочетанием таблитчатой с пластинчатой морфоструктурами (рис. 3а). Ширина таблитчатых выделений составляет 3–4 мкм. Пластинчатые выделения на контакте с таблитчатыми выклиниваются или их огибают (рис. 3а). Таблитчатые выделения, в свою очередь, осложняются мельчайшими пластинчатыми. Зоны поперечной пластинчатости в темных участках кристалла имеют значительную ширину (40–70 мкм) и протяженность. Описанные морфоструктуры отражают зоны роста кристаллов касситерита. К ним и микротрещинам приурочена основная часть минеральных включений.

В матрице касситерита получила развитие более поздняя его генерация (рис. 2б, 3б, 5а). Касситерит поздней генерации короткопризматический, размером 0,4–2 мкм, приурочен к трещинам в микрозонах с пластинчатой морфоструктурой и ассоциирует иногда с микровключениями рутила, ильменорутила. Часто поздняя генерация касситерита расположена на границе микроблоков и ассоциирует с аморфным углеродистым веществом, графитизированным углеродистым веществом, дисперсными выделениями

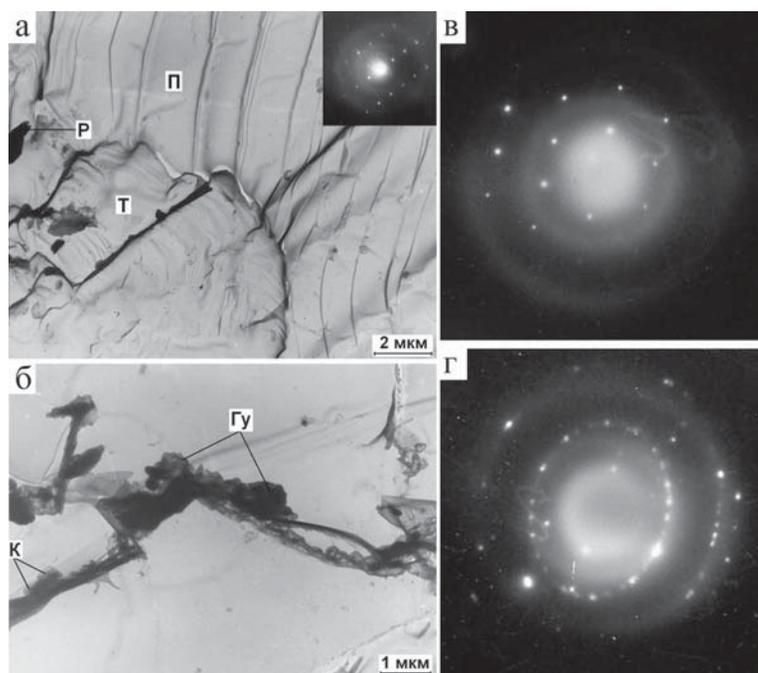


Рис. 3. Таблитчатая (Т) и пластинчатая (П) морфоструктуры касситерита с микровключениями рутила (Р) и его МДК (а); микровключения касситерита поздней генерации (К) и графитизированного углеродистого вещества (Gu) на границе микроблоков (б). МДК касситерита (v) и графитизированного углеродистого вещества (г)

оксидов и гидроксидов железа. Кристаллы размером около 0,8 мкм имеют иногда удлиненный призматический габитус. МДК поздней генерации касситерита свидетельствует о хорошей раскристаллизации и монокристалльности.

В результате электронно-микроскопических исследований выявлен ряд минеральных микрофаз: графит и графитизированное углеродистое вещество, аморфное углеродистое вещество, гематит, гётит, ферроксигит, тапиолит, слоистые алюмосиликаты, ильменорутил, рутил, шпинель, анатаз, апатит. Намечены тенденции их распределения.

Графит и графитизированное углеродистое вещество является распространенным образованием в матрице касситерита, хотя в настоящей работе выделено впервые. Тяготеет она к границам блоков и наблюдается как в виде достаточно хорошо оформленных полупрозрачных кристаллов размером 1–5 мкм, так и агрегатов мелких полупрозрачных чешуек, трассирующих границы блоков и зоны роста (рис. 3б). Образования характеризуются четкими точечными и точечно-кольцевыми, нередко текстурированными микродифракционными МДК, по которым проведена их диагностика.

Аморфное углеродистое вещество встречается достаточно часто, но в касситерите выделено впервые. Оно фиксируется в микроразонах с пластинчатой морфоструктурой на границе микроблоков и в минерализованных микротрещинах (рис. 4а, 6б). Аморфное углеродистое вещество представлено изометричными полупрозрачными образованиями в случае извлеченных на реплику частиц и обладающими гладкой поверхностью в случае получения с них реплик. Размер выделений 0,2–5 мкм. Нередко в аморфном углеродистом веществе фиксируются мельчайшие минеральные образования, в частности, тапиолита и апатита (рис. 4а). Оно также ассоциирует с касситеритом поздней генерации.

Гематит встречается достаточно часто на поверхности микротрещин касситерита в виде мельчайшей «сыпи». Иногда минерал образует сплошные пленоч-

ные выделения, состоящие из удлиненных, редко чешуйчатых образований. В наиболее раскристаллизованных участках устанавливается веретеновидная форма микровыделений гематита размером до 1 мкм. Минерал диагностирован по точно-кольцевым текстурированным МДК (рис. 4е).

Гётит отмечается в минерализованных микротрещинах в виде мельчайших (0,1–0,2 мкм) полупрозрачных округлых выделений и пленочных образований до 1 мкм. Гётит встречается также совместно с ферроксигитом (рис. 5г) и гематитом. Фазовая диагностика гётита проведена по текстурированным точно-кольцевым МДК. Отметим, что образование оксидов и гидроксидов железа в микротрещинах и микроблоках с пластинчатой морфоструктурой, возможно, связано со сбросом лишнего железа из кристаллической структуры касситерита.

Ферроксигит и гётит отмечаются на поверхности скола касситерита в виде агрегата мельчайших полупрозрачных округлых образований, формирующих более крупные обособления размером до 1 мкм (рис. 5г). МДК, полученные из различных частей обособления, свидетельствуют о присутствии ферроксигита (рис. 5д) и гётита (рис. 5е).

Тапиолит встречается в виде слабо удлиненных призматических кристаллов размером около 1 мкм в микроблоках с пластинчатой морфоструктурой и на границе микроблоков в ассоциации с выделениями аморфного углеродистого вещества, апатита (рис. 4а) и оксида железа. С кристаллов тапиолита получены точечные МДК, по которым проведена фазовая диагностика.

Слоистые алюмосиликаты зафиксированы в единичном случае на участке распространения гидроксидов железа. Они представлены мелкими чешуйчатыми выделениями размером 0,7–2 мкм (рис. 6а), с которых получены четкие точечные МДК.

Ильменорутил встречается в виде дисперсных (0,2 мкм) выделений в микротрещинах (рис. 5а) и удлиненных призматических кристаллов размером до

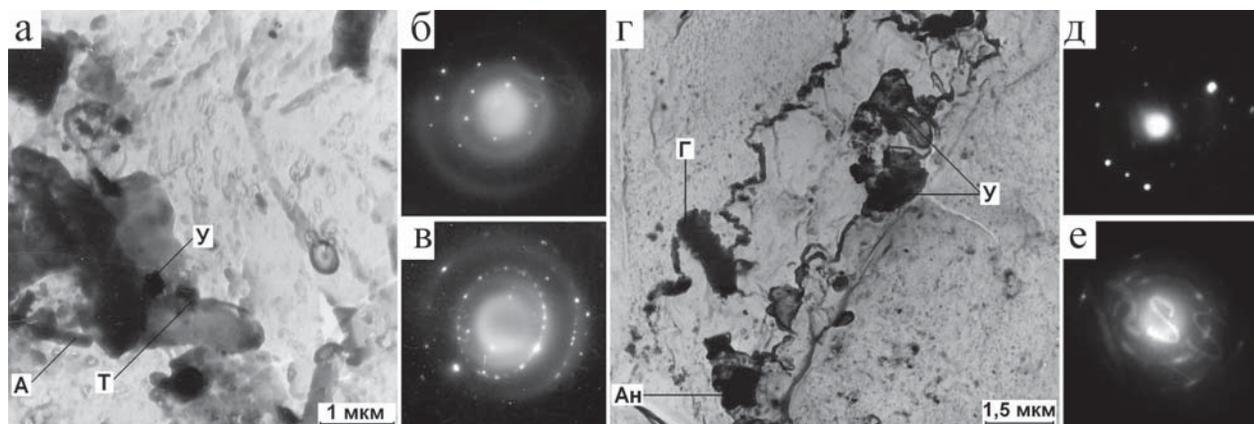


Рис. 4. Выделения аморфного углеродистого вещества (У) с микровключениями тапиолита (Т) и апатита (А) на границе микроблоков касситерита (а); микровключения анатаза (Ан), гематита (г) и аморфного углеродистого вещества (У) в минерализованной микротрещине (г). МДК тапиолита (б), апатита (в), анатаза (д) и гематита (е)

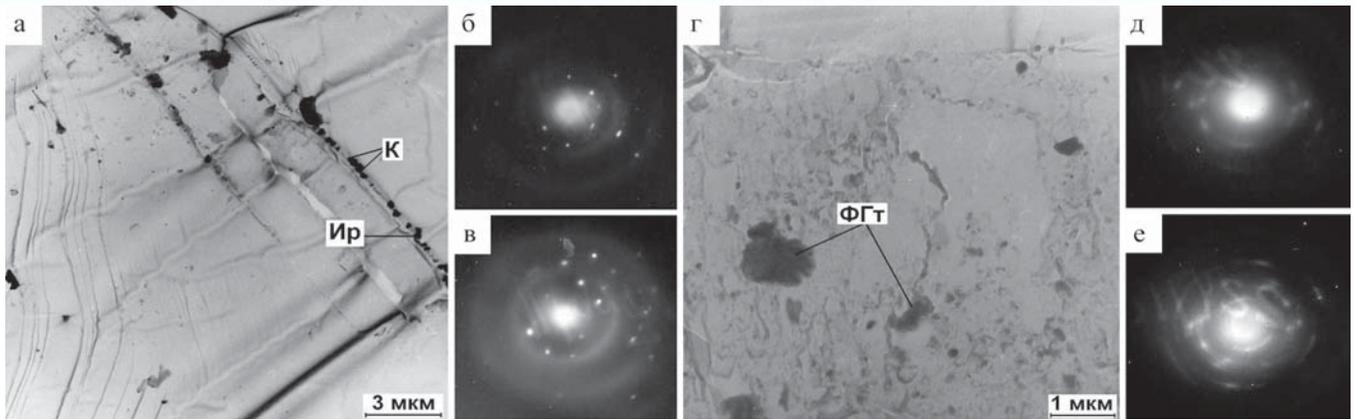


Рис. 5. Микровключения касситерита поздней генерации (К) и ильменорутила (Ир) в микрозоне с пластинчатой морфоструктурой (а); микровключения ферроксигита и гëтита (ФГт) в минерализованной микротрещине (г). МДК касситерита (б), ильменорутила (в), ферроксигита (д) и гëтита (е)

2 мкм. Часто ассоциирует с касситеритом поздней генерации и оксидами, и гидроксидами железа. Диагностика минерала проведена по достаточно четким точечным МДК.

Рутил зафиксирован на контакте микроблоков с таблитчатой и пластинчатой морфоструктурами в виде удлиненного выделения размером 1,2 мкм (рис. 3а). С него получена четкая точечная МДК рутила с осью зоны [113].

Шпинель размером 0,2 мкм установлена по точечной МДК, полученной с выколки в микроблоке с пластинчатой морфоструктурой (рис. 6б). На МДК помимо точечных отражений шпинельной фазы с осью зоны [011] отмечаются слабо проявленные рефлексы касситерита. Полученные межплоскостные расстояния соответствуют фазе шпинели с достаточно высоким параметром кристаллической решетки и, возможно, представленной оловосодержащей разновидностью. Формирование шпинели, по-видимому, обусловлено частичным распадом кристалла касситерита.

Анатаз зафиксирован в единичном случае в минерализованной микротрещине. Минерал короткопризматический, размером 0,4 мкм, ассоциирует с полупрозрачными образованиями аморфного углеродистого вещества и удлиненным выделением гематита, состоящим из агрегата мельчайших округлых образований (рис. 4г). Фазовая диагностика анатаза проведена по точечной МДК (рис. 4д), гематита — по кольцевой текстурированной (рис. 4е).

Апатит зафиксирован в единичном случае в аморфном углеродистом веществе в виде удлиненного кристалла размером 0,4 мкм (рис. 4а, в).

Выводы

Касситерит по данным электронно-микроскопических исследований представляет хорошо раскристаллизованный монокристалл с характерным концентрическим ребристо-ступенчатым изломом, в пределах которого наблюдаются микрозоны поперечной пластинчатости. Такие зоны широко распространены в касситерите, являясь структурным выражением зон роста кристалла. Толщина отдельных пластин составляет десятки доли микрометра и сопоставима с длиной волны света, что может оказывать существенное влияние на его прохождение в кристалле.

Подавляющее большинство минеральных микровключений: поздние генерации касситерита, тапиолит, гематит, слоистые алюмосиликаты, аморфное углеродистое вещество (выделено впервые), графит и графитизированное углеродистое вещество (выделено впервые), ильменорутил, апатит, анатаз, шпинель, гëтит, ферроксигит, рутил приурочены к зонам структурных нарушений. Формирование оксидов и гидроксидов железа связано со сбросом избыточного железа из структуры кристалла касситерита в ослабленные зоны.

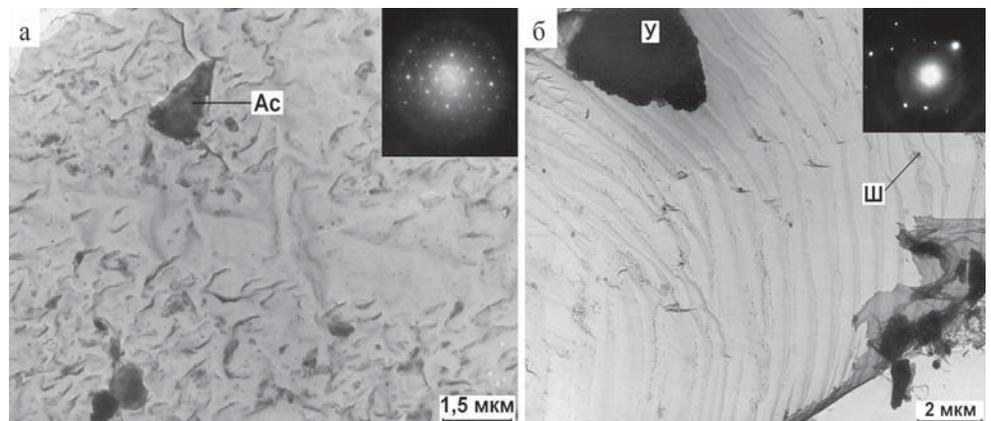


Рис. 6. Микровключения слоистого алюмосиликата (Ас) и его МДК (а); микровключения шпинели (Ш) и аморфного углеродистого вещества (У) в зоне с пластинчатой морфоструктурой, МДК шпинели (б)

В темных участках касситерита чаще встречаются минерализованные микротрещины, микрзоны с пластинчатой и таблитчатой морфоструктурами, а также зафиксировано большее количество микровключений различных минералов. В светлых участках касситерита наблюдаются значительные по площади микроблоки с ровной поверхностью скола. Со структурными особенностями касситерита, выраженными зонами поперечной пластинчатости и содержащимися в них микровключениями связаны псевдохроматический плеохроизм, уровень тона, цветовые оттенки и прозрачность кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов, В.В. Цветные камни / В.В. Буканов. — СПб.: Энциклопедия, 2008. — 416 с.
2. Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. С.Ф. Лугова. — Т. 2. — Кн. 1. Оловорудные месторождения СССР. — М.: Недра, 1986. — 429 с.

3. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 27. Коллекционные камни / Под ред. Н.И. Кашева, В.П. Дроздова. — М.: Союзкварцсамоцветы, 1987. — 76 с.
4. Петроченков, Д.А. Формационные типы оловорудных месторождений, перспективные на коллекционные и ювелирные касситериты / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2007. — № 2. — С. 31–35.
5. Петроченков, Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты месторождения Иультин / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2018. — № 1. — С. 76–80.
6. Полянин, В.С. Минерально-сырьевая база цветных камней России: перспективы ее освоения и развития / В.С. Полянин, Т.А. Полянина, Е.Н. Дусманов и др. // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 9. — С. 66–76.
7. Kolin, J.H. Cassiterite from Viloco, Bolivia / J.H. Kolin // Gems and Gemology. Summer. 2002. — P. 175–176.
8. Miler, M. Standard Catalog of Gem Values. / M. Miler, S. Sinkankas // Geoscience Press. Inc. Tucson, Arizona, 1977. — P. 271.

© Петроченков Д.А., Ружицкий В.В., 2019

Петроченков Дмитрий Александрович // p-d-a@mail.ru
Ружицкий Владимир Васильевич // vims@df.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 338.33: 553.04

Краснов О.С. (АО «ВНИГРИ»), Салихов В.А., Король Л.Н. (Новокузнецкий филиал ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (НФИ КемГУ))

МЕХАНИЗМ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕННЫХ РЕДКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ

В связи с дефицитом для промышленности РФ многих цветных и редких металлов предложен механизм оптимизации использования этих металлов, содержащихся в техногенных месторождениях. Проведен анализ потребления цветных и редких металлов в мире и России. Оценена эффективность разработки техногенных месторождений в сравнении с рудными. Определено, что выбор объектов, методов разработки, а также видов получаемой продукции и направлений ее использования, проводится путем комбинирования с учетом социально-экологического эффекта. Дана оценка влияния проектов по извлечению ценных металлов на социально-экономическое развитие региона. **Ключевые слова:** металлы, техногенные отходы, оптимизация, эффективность.

Krasnov O.S. (VNIGRI), Salikhov V.A., Korol L.N. (Novokuznetsk Institute (branch) Kemerovo State University)
THE MECHANISM FOR OPTIMIZING THE USE OF VALUABLE RARE AND NON-FERROUS METALS CONTAINED IN MINERAL RAW MATERIALS AND INDUSTRIAL WASTES

Due to the shortage of many non-ferrous and rare metals for the RF industry, a mechanism has been proposed to optimize the use of these metals contained in man-made deposits. The

analysis of consumption of non-ferrous and rare metals in the world and Russia is done. The efficiency of the development of technogenic deposits in comparison with ore ones is estimated. It has been determined that the selection of objects, development methods, as well as the types of the products obtained and the directions of their use, is carried out by combining taking into account the socio-ecological effect. The assessment of the impact of projects on the extraction of valuable metals on the regional socio-economic development is given. Key-words: metals, industrial waste, optimization, efficiency.

В XXI в. продолжается развитие металлургического и машиностроительного комплексов, развивается космическая и авиационная техника, электроника и другие отрасли промышленности. Растет потребность в цветных и, особенно, в редких металлах — как в развитых, так и в развивающихся странах (например, в Китае). Прогнозируемый рост экономики в России предполагает рост потребностей в цветных и редких металлах.

Таким образом, проблема воспроизводства минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов становится все более актуальной в мире и России. В условиях рыночной экономики становятся нерентабельными многие ранее разведанные месторождения с балансовыми запасами металлов (возрастают расходы на электроэнергию, на транспортировку минерального сырья и т.д.). При этом по мере отработки промышленных запасов руд ухудшаются горно-геологические условия эксплуатации, снижается не только количество, но и качество руд. Поэтому все больший интерес в качестве ресурса этого дефицитного минерального сырья представляют техногенные месторождения.

Концепция оптимизации использования ценных металлов, содержащихся в техногенных отходах, пред-