

УДК 553.04:553.463:622.013

ОБЗОР МИРОВОГО РЫНКА ВОЛЬФРАМА. ЧАСТЬ 1. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ДОБЫЧА

Боярко Григорий Юрьевич¹,
gub@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения проблем весьма изменчивого мирового рынка вольфрамового сырья.

Цель: изучение состояния мировой минерально-сырьевой базы вольфрама и его добычи, оценка критичности мирового предложения вольфрамового сырья.

Методы: контент-анализ информации по динамике добычи вольфрамового сырья, а также по сведениям о его запасах и ресурсах, собранных из открытых источников.

Результаты. За период с 1913 по 2020 гг. в мире было добыто 3,9 млн т вольфрама. Объемы мировой добычи увеличились с 4–7 тыс. т/год в 1913–1915 гг. до 75–90 тыс. т/год в 2011–2020 гг. Лидирует в производстве вольфрамовой продукции Китай, поставивший до 1980-х годов 25–35 % от мирового производства вольфрамового сырья, а с 1983 г. занявший главенствующее положение в предложении вольфрамовых продуктов (75–85 %). Россия поставляет 5–10 % мирового предложения вольфрамовых концентратов. Появились новые страны-поставщики вольфрамового сырья: Вьетнам (до 6,5 % от мирового предложения), Монголия, Руанда, Зимбабве. В XXI в. в условиях высоких цен на вольфрамовые продукты наметилась тенденция реанимации старых производств добычи вольфрама в Британии, Испании, Боливии, Австралии, Канаде, Мьянме, рассматривается проект возобновления работы Тырнаузского ГОКа в России. Имеющихся в мире подготовленных запасов (3,66 млн т W) и прогнозных ресурсов (10,92 млн т W) вольфрамового сырья хватит более чем на 70 лет при текущем уровне потребления. Из них 32,7 % запасов и 57,5 % потенциальных ресурсов приходятся на Китай. В нем находятся пять из десяти крупнейших в мире месторождений вольфрама. Значительными запасами и прогнозными ресурсами вольфрама обладают Россия, Казахстан, Канада и Боливия. Возможны открытия новых месторождений на малоизученных территориях Мьянмы, Монголии и Индии в Азии, Конго, Руанды, Бурунди и Зимбабве в Африке. Ввиду значительной доли мирового производства вольфрамового сырья и весьма высокой доли мировой торговли вольфрамовыми продуктами от их производства в одной стране – Китае, и вольфрамовое сырье, и другие товарные продукты вольфрама в обозримом будущем будут продолжать оставаться критическими товарами в промышленно развитых странах.

Ключевые слова:

Вольфрам, минерально-сырьевая база, запасы, прогнозные ресурсы, добыча из месторождений, вторичное сырье, Китай.

Введение

Мировое производство вольфрамового сырья, несмотря на достаточно большие объемы производства (до 90 тыс. т/год первичного предложения и до 20 тыс. т/год вторичного выпуска при переработке отходов), отличается сложностью рыночных отношений, обусловленным доминированием предложения сырья из одной страны (Китая) и значительными динамическими изменениями объемов спроса и предложения вольфрамовых продуктов в последние 50 лет. В 1990-е гг. произошло резкое сокращение спроса на вольфрамовые продукты в военной сфере, сменились приоритеты товаров в торговле вольфрамовым сырьем, сократилась роль России на вольфрамовом рынке на фоне стагнации российской экономики. В 2000-е и 2010-е гг. произошел бурный рост спроса и предложения вольфрамовых товарных продуктов ввиду экспоненциального наращивания возможностей китайской промышленности, и это сопровождалось динамическими изменениями мирового рынка вольфрамовых продуктов. Требуется оценить состояние мировой минерально-сырьевой базы вольфрама, произвести анализ динамики мирового рынка множественности товарных вольфрамовых продуктов (вольфрамовых руд и концентратов, паравольфрамата аммония, ферровольфрама, вольфрама металлического, карбида вольфра-

ма, вольфрамовых отходов и скрапа) и определить уровень критичности вольфрамовых товаров с позиции их спроса и предложения.

Методы исследования

С целью изучения мирового рынка вольфрамовых продуктов были обработаны данные по мировой добыче вольфрамового сырья за период 1913–2020 гг., по динамике мировых цен на вольфрамовые продукты. Для показателей объемов добычи за базовый вариант брались данные Британской геологической службы (British Geological Survey, BGS) [1], имеющиеся для всего изучаемого периода. Они сравнивались с данными Геологической службы США (U.S. Geological Survey, USGS) за 1930–2020 гг. [2], информационной службы ООН (UN) за 1988–2019 гг. [3], а также другими национальными источниками, включая доклады Федерального агентства недропользования России [4]. При наличии различий с данными BGS в сводке данных выставлялись сведения национальных источников или данные, присутствующие сразу в двух источниках (USGS и UN). Ввиду различий представления информации по единицам измерений производства вольфрамовых продуктов (метрических и коротких тонн, 1000 фунтов, пересчетов объемов продуктов на 100 % W) объемы их товарных

потоков приведены к метрическим тоннам, а для оценки запасов и исторического производства вольфрамовых концентратов и руд по странам – в тоннах 100 % W. Данные по объемам запасов и прогнозных ресурсов отдельных стран оценивались по величинам наиболее поздних данных Информационно-аналитического центра «Минерал» [5], Исследовательской группы «ИнфоМайн» [6] и Геологической службы США [2], скорректированных на объемы добычи (погашения запасов) и объявленных приростов запасов в результате национальных геологоразведочных работ, вплоть до состояния на 2020 г. Запасы и ресурсы вольфрама по отдельным месторождениям приводятся на основе данных бюллетеней и обзоров Геологической службы США [2], а также из национальных источников информации, в т. ч. по России – по докладом Федерального агентства недропользования России [4] с пересчетом на 100 % W.

Обзор мировой добычи вольфрамового сырья

За период с 1913 по 2020 гг. в мире было добыто 3,9 млн т вольфрамовых концентратов в пересчете на содержащийся в них W (рис. 1). От уровня добычи 4–7 тыс. т/год в 1913–1915 гг. поставки вольфрамово-

го сырья выросли до 75–90 тыс. т/год в 2011–2020 гг. (рис. 2, а) с темпом прироста +2,9 %/год.



Рис. 1. Накопленная за 1913–2020 гг. добыча вольфрама по странам мира, тыс. т, в пересчете на 100 % W. Составлено по данным Геологических служб Британии [1] и США [2], информационной службы ООН [3]

Fig. 1. Accumulated for 1913–2020 tungsten production by countries of the world, thousand tons, in terms of 100 % W. Compiled according to the Geological Services of Britain [1] and the USA [2], the UN Information Service [3]

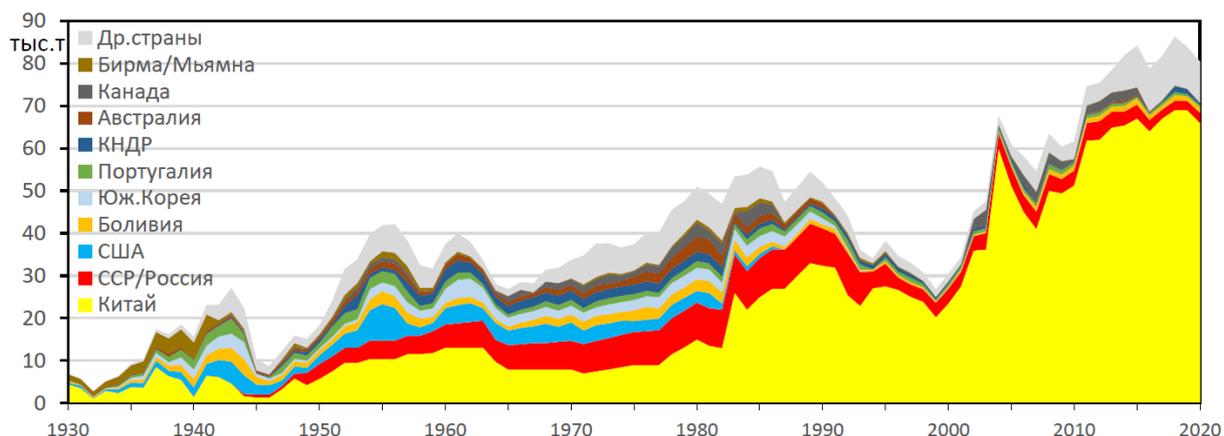


Рис. 2. Динамика мирового объемов производства вольфрамовых концентратов по странам-лидерам накопленной добычи за 1930–2020 гг. (в пересчете на тонны содержащегося в концентратах вольфрама). Составлено по данным Геологических служб Британии [1] и США [2], информационной службы ООН [3]

Fig. 2. Dynamics of global production volumes of tungsten concentrates by the leading countries of accumulated production for 1930–2020 (in terms of tons of tungsten contained in concentrates). Compiled according to the Geological Services of Britain [1] and the USA [2], the UN Information Service [3]

В настоящее время динамика изменений объемов производства вольфрамового сырья зависит в первую очередь от его добычи в Китае, но в 1930–1940 гг. имела место значимая доля производства вольфрамовых руд в Бирме (ныне – Мьянме), в 1940–1985 гг. – в США, а в 1949–2004 гг. – в СССР/России. К 1960-м гг. в связи с выработкой богатых руд произошло значительное сокращение поставок вольфрамовых концентратов из Бирмы (Мьянмы). В конце 1980-х гг. ввиду роста предложения вольфрамового сырья из Китая было сокращено производство (вплоть до полного

прекращения) в США, Южной Корее, Таиланде, Канаде, Франции, Аргентине, Бразилии. Из новых участников поставок вольфрамового сырья следует отметить Австрию (с 1975 г.), Монголию (с 1980 г.), Руанду (с 2006 г.), Вьетнам (с 2012 г.) и Британию (с 2015 г.) [7–10]. Увеличивается роль вторичной переработки вольфрамовой продукции из скрапа и лома металлического вольфрама и карбида вольфрама. По оценке Геологической службы США, из вторичных источников получается от 15 до 25 % мирового потребления вольфрамовых продуктов [11].

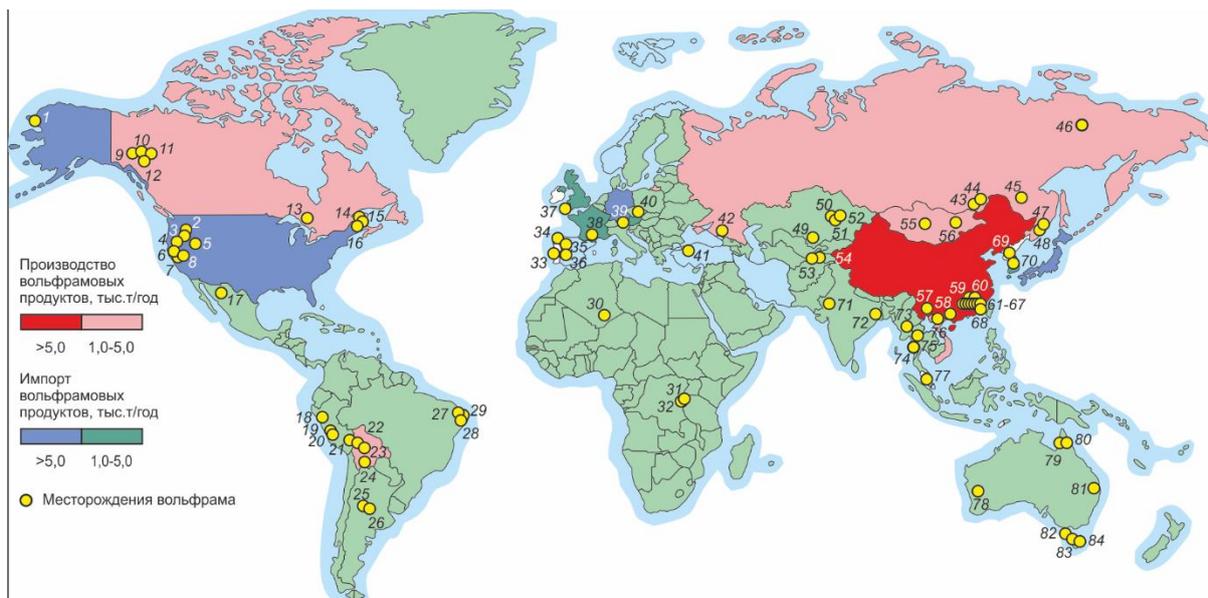


Рис. 3. Карта мира с локализацией вольфрамовых месторождений и стран-лидеров производства вольфрамового сырья и импорта вольфрамовых продуктов. Месторождения вольфрама: 1–8 – США (1 – Лост Ривер, 2 – Браунс Лэйк, 3 – Индиан Спингс, 4 – Милл Сити, 5 – Клаймакс, 6 – Стрейбери, 7 – Паин Крик, 8 – Сearлес Лэйк); 9–16 – Канада (9 – Мар, 10 – Мактунг, 11 – Кантунг, 12 – Логтунг, 13 – Фостунг, 14 – Сиссион Брук, 15 – Барнт Хилл, 16 – Моунт Плезант); 17 – Мексика, Найка; 18–21 – Перу (18 – Пасто Буено, 19 – Морокоча, 20 – Сан Кристобал, 21 – Палка Уанс); 22–24 – Боливия (22 – Болса-Негра, 23 – Чикоте Гранде, 24 – Чойлла); 25–27 – Бразилия (25 – Бодо, 26 – Барра Верде, 27 – Бреджуи); 28, 29 – Аргентина (28 – Лос Авеструз, 29 – Лос Кондорес); 30 – Алжир, Лауни; 31, 32 – Руанда (31 – Ньякабинго, 32 – Гифурве); 33 – Португалия, Панаскуиера; 34–36 – Испания (34 – Санта Комба, 35 – Ла Парилла, 36 – Бармекопардо); 37 – Британия, Хемердон; 38 – Франция, Фумаде; 39 – Австрия, Миттерзилль; 40 – Чехия, Красно; 41 – Турция, Улудаг; 42–48 – Россия (42 – Тьрнауз, 43 – Инкурское, 44 – Барун-Нарынское, 45 – Гетканчик, 46 – Агылкит, 47 – Спокойнинское, 48 – Восток-2); 49–52 – Казахстан (49 – Богуты, 50 – Северный Катпар, 51 – Верхние Кайракты, 52 – Акчатау); 53, 54 – Таджикистан (53 – Чарух-Дайрон, 54 – Майхура); 55, 56 – Монголия (55 – Онгон-Хайрхан, 56 – Югодзир); 57–68 – Китай (57 – Бай Ша По, 58 – Дамингшан, 59 – Янчулинг, 60 – Хинглуокенг, 62 – Шижуань, 63 – Зюйден Джангхи Регион, 64 – Баошань, 65 – Хуангша, 66 – Шангпинг, 67 – Пангуашань, 68 – Лианхуашань); 69 – КНДР, Маннён; 70 – Южная Корея, Сангдонг; 71, 72 – Индия (71 – Дегана, 72 – Банкура); 73, 74 – Мьяма (73 – Мавчи, 74 – Бассейн Гейнца); 75 – Таиланд, Мае Лама; 76 – Вьетнам, Нуи Пхао; 77 – Малайзия, Пулаи; 78–84 – Австралия (78 – Маунт Мулгине, 79 – Вольфрам Камп, 80 – Моунт Карбине, 81 – Торрингтон, 82 – Кинг Айлэнд, 83 – Кара, 84 – Мойна)

Fig. 3. World map with localization of tungsten deposits and leading countries in the production of tungsten raw materials and imports of tungsten products. Tungsten deposits: 1–8 – USA (1 – Lost River, 2 – Browns Lake, 3 – Indian Spings, 4 – Mill City, 5 – Climax, 6 – Strawberry, 7 – Pine Creek, 8 – Searles Lake); 9–16 – Canada (9 – Mar, 10 – Mactung, 11 – Cantung, 12 – Logtung, 13 – Fostung, 14 – Sisson Brook, 15 – Burnt Hill, 16 – Mount Pleasant); 17 – Mexico; 18–21 – Peru (18 – Pasto Bueno, 19 – Morococha, 20 – San Cristobal, 21 – Palca Once); 22–24 – Bolivia (22 – Bolsa Negra, 23 – Chicote Grande, 24 – Tasna); 25–27 – Brazil (25 – Bodo, 26 – Barra Verde, 27 – Brejui); 28, 29 – Argentina (28 – Los Avestruces, 29 – Los Condores); 30 – Algeria, Laouini; 31, 32 – Rwanda (31 – Nyakabingo, 32 – Gifurwe); 33 – Portugal, Panasqueira; 34–36 – Spain (34 – Santa Comba, 35 – La Parilla, 36 – Barmecopardo); 37 – Britain, Hemerdon; 38 – France, Fumade; 39 – Austria, Mittersill; 40 – Czech Republic, Krasno; 41 – Turkey, Uludag; 42–48 – Russia (42 – Tьrnauz, 43 – Inkurskoe, 44 – Barun-Narynskoe, 45 – Getkanchik, 46 – Agylkit, 47 – Spokoyinskoe, 48 – Vostok-2); 49–52 – Kazakhstan (49 – Boguty, 50 – Severny-Katpar, 51 – Verkhnie-Kayraky, 52 – Akchatau); 53, 54 – Tajikistan (53 – Charuh-Dajron, 54 – Maykhura); 55, 56 – Mongolia (55 – Ongon-Khayrkhan, 56 – Yugodzyr); 57–68 – China (57 – Bai Sha Po, 58 – Damingshan, 59 – Yangchuling, 60 – Xingluokeng, 61 – Shizhuyuan, 62 – Southern Jiangxi Region, 63 – Zuiden Janghi Region, 64 – Baoshan, 65 – Huangsha, 66 – Shangping, 67 – Pangushan, 68 – Lianhuashan); 69 – DPRK, Gogsan Mannjon; 70 – Republic of Korea, Sangdong; 71, 72 – India (71 – Degana, 72 – Bankura); 73, 74 – Myamna (73 – Mawchi, 74 – Heinze Basin); 75 – Thailand, Mae Lama; 76 – Vietnam, Nui Phao; 77 – Malaysia, Pulai; 78–84 – Australia (78 – Mount Mulgine, 79 – Wolfram Camp, 80 – Mount Carbine, 81 – Torrington, 82 – King Island, 83 – Kara, 84 – Moina)

На *Китае* приходится 50 % накопленной добычи мирового вольфрамового сырья (2061 тыс. т W). На территории в разработке находятся пять из десяти крупнейших в мире месторождений вольфрама – Шижуань (запасы 502 тыс. т W), Янчулинг (160 тыс. т W), Хинглуокенг (144 тыс. т W), Даминьшань (116 тыс. т W)

и Тайевгоу (102 тыс. т W), а также более 20 других крупных месторождений (Бай Ша По, Шижуанг, Ляньхуашань, Баошань, Хуангша, Шангпинг и Пангуашань и др.) (рис. 3). Большинство месторождений вольфрама в Китае включают руды высокого качества (со средним содержанием 1–2 % W). Следует отме-

тить, что ресурсная база имеет высокий потенциал открытия новых месторождений вольфрама [12, 13]. В период 1920–1940 гг. Китай был главным мировым источником вольфрама при уровне добычи до 4 тыс. т W (34–57 % от мирового производства) [7]. Практически всё вольфрамовое сырье шло на экспорт. С 1940 по 1951 гг. (период Второй мировой и последующей гражданской войны) производство вольфрамового сырья в Китае было неупорядоченно с колебаниями годовых поставок от 1,2 до 6,4 тыс. т W. В связи с интенсификацией добычи вольфрама в других странах (в первую очередь, в США и СССР) доля Китая в мировом вольфрамовом производстве упала до 7–26 % [7]. В 1950-е гг. объемы добычи вольфрамового сырья возросли до 10–13 тыс. т/год, но начиная с 1963 г. упали до 7–8 тыс. т/год в связи с прекращением экспорта в СССР. Новый рост объемов производства наметился в 1980-е гг. – с 8 тыс. т W (22 % от мирового производства) в 1977 г. до 30 тыс. т W (81 % мировой добычи) в 1998 г., и серьезно ускорился в условиях бурного роста цен на вольфрамовые продукты в первые годы XXI в., достигнув максимума в 90,4 тыс. т W (91 % от мирового производства) в 2004 г. (рис. 3). В 1992 г. экспорт вольфрамового концентрата из Китая практически прекратился, а начиная с 1995 г. начал расти его импорт, вплоть до 12 тыс. т W в 2006 г. Рост цен на вольфрамовые продукты начиная с 2005 г. привел также к запуску многочисленных проектов добычи вольфрама в других странах, и государственные органы Китая начали программу регулирования национального вольфрамового производства с установлением квот на добычу и экспорт, запрета на участие иностранных компаний в национальных проектах и рекомендации по представлению на экспорт вольфрамовых продуктов с большей прибавочной стоимостью (вольфрам металлический, карбид вольфрама и др.) [13, 14]. Объемы добычи снизились до 41 тыс. т W (76 % от мирового производства) в 2007 г., но с 2008 г. рост производства вольфрамового сырья возобновился, достигнув 69 тыс. т W (86 %) в 2018 г. [8–10]. В условиях избытка мирового предложения вольфрамового сырья и падения цен на вольфрамовые продукты в 2015–2017 гг. руководство Китая начало административно ограничивать экспорт вольфрамового сырья. В 2020 г. вольфрамовые концентраты из Китая не вывозились, но на экспорт было отправлено 2,6 тыс. т паравольфрамата аммония, 0,4 тыс. т вольфрамовых отходов и скрапа, 1,5 тыс. т ферровольфрама, 4,4 тыс. т вольфрама металлического и 12,0 тыс. т карбида вольфрама. Таким образом, на национальное потребление направляется 66,7 % производимых вольфрамовых продуктов. Увеличилась доля рециклинга вольфрама из скрапа вольфрамовых материалов. Если в 2005 г. из вторсырья в Китае было произведено 1,1 тыс. т вольфрамовых продуктов в пересчете на W (2,0 % от суммарного производства), то в 2013 г. – 17,5 тыс. т (19,7 %) [11], а в 2021 г. китайским правительством была установлена квота утилизации вольфрамовых отходов в 24,8 тыс. т [15]. Несмотря на начавшийся государственный контроль китайского рынка вольфрамовых продуктов, наблюда-

ется их перепроизводство (~13–15 тыс. т), и часть продукции направляется в запасы.

СССР начал создавать базу добычи вольфрамового сырья в 1930-е гг. с освоением рядовых месторождений на Урале, в Забайкалье и в Средней Азии. Знаковым событием было введение в эксплуатацию в 1940 г. Тырнаузского месторождения молибденит-шеелитовых руд на Северном Кавказе (остаточные запасы 244 тыс. т W), а в 1965 г. – месторождения Восток-2 в Приморском крае (102 тыс. т W) – оба входят в десятку крупнейших в мире (рис. 3). С расширением производства вольфрамовой продукции доля СССР от мирового производства составляла 5,7 % в 1940-е гг., 12 % в 1950-е гг., 18–20 % в 1960–1980-е гг. Максимальная добыча вольфрамового сырья в 32 тыс. т W была достигнута в 1990 г., преимущественно с месторождений на территории РСФСР (поставки из Казахстана составляли до 0,35 тыс. т/год, из Узбекистана – до 0,25 тыс. т/год, из Таджикистана – до 0,2 тыс. т/год). В 1990-е гг. производство вольфрама в среднеазиатских республиках было прекращено, а в России добыча вольфрамового сырья испытывала и подъемы (до 5,6 тыс. т W, или 8 % от мирового производства в 2003 г.) и спады (до 2,6 тыс. т W, или 3 % от мировой добычи в 2015 г.) [16]. Всего в СССР/России за весь анализируемый период было представлено к реализации 416 тыс. т W (1,2 % от накопленной мировой добычи). В результате перестройки экономики в 1990-е гг. в последнее время наметился системный спад российского производства вольфрамового сырья, обусловленный изменением структуры и географии его потребления, усугубленный транспортной логистикой, когда основные добывающие предприятия находятся на Дальнем Востоке, а потребители вольфрамовых продуктов – в Европейской части России. В настоящее время в разработке находятся вольфрамовые месторождения Восток-2 и Спокойнинское в Приморском крае, из подготавливаемых геологоразведочными работами – Агылкитское в Республике Саха-Якутия и Гетканчик в Амурской области [17].

США, поставивший на рынок 186 тыс. т W (5,2 % накопленной мировой добычи) вольфрамового сырья (рис. 1), являются одним из главных мировых потребителей вольфрамовых продуктов, но активная добыча на собственной территории (месторождения Сирлс-Лейк, Браунс-Лейк, Стрейбери) здесь начата лишь в 1937 г. [7] (рис. 3). Если при добыче в 1930 г. в США было импортировано 316 т W вольфрамового сырья, содержащего 1,2 тыс. т W, то уже к 1943 г. эти показатели возросли до 5 тыс. т W. В динамике добычи в США имеются локальные максимумы в 4–5 тыс. т W в 1942–1944 гг. и 7–9 тыс. т W в 1953–1956 гг., а также спады производства до 1–2 тыс. т W в 1945–1950 гг. и в 1958–1959 гг. В 1960-е и 1970-е гг. уровень добычи вольфрамового сырья в США составлял 2,5–4,5 тыс. т/год. Доля США от мирового производства вольфрамового сырья составляла в 1940-е гг. 15,4 %, а к 1970-м гг. упала до 2 %. В 1988 г. на фоне падения цен и роста предложения вольфрамового сырья из Китая системная добыча вольфрама в США полностью прекратилась, и в последствии на

рынок поступают лишь мелкие партии добытого попутно вольфрамового концентрата. Импорт вольфрамового сырья в США составляет ~6 тыс. т/год вольфрамовых концентратов, паравольфрамата аммония и вольфрамового скрапа, годовое производство вольфрамовых продуктов из собственного и импортированного первичного и вторичного сырья – ~7 тыс. т, на экспорт отправляется ~35 % от производства. Таким образом, в балансе США импорт вольфрамовых товаров составляет ~75 % от национального потребления. В то же время вольфрам не включен в перечень критических минеральных продуктов США [18], очевидно, ввиду наличия собственных гранично-рентабельных вольфрамовых месторождений.

Боливия, традиционный поставщик минерального сырья, по объемам накопленной добычи в 145 тыс. т W (3,9 % от мировой) находится на 4-м месте после главных мировых производителей и потребителей вольфрамовой продукции [7]. Здесь еще с XIX в. разрабатывались вольфрам-оловянные месторождения Энрамада-Лилиана и Вилоке, а также собственно вольфрамовые: Чикоте Гранде, Больша-Негра и Чойлла (рис. 3). С 1938 г. по настоящее время уровень добычи вольфрамового сырья составлял 1–3 тыс. т W с локальным максимумом в 3,0 тыс. т W в 1976 г. и просадками объемов производства менее 1 тыс. т W в 1987–1988 и 1992–2007 гг. В настоящее время продолжается добыча вольфрама на известных месторождениях, а также рассматриваются варианты добычи попутного вольфрамового концентрата на месторождениях других полезных ископаемых [19, 20].

На 5-м месте по накопленной добыче (122 тыс. т W, или 3,4 % от мировой) находится *Южная Корея*. Наиболее крупные месторождения вольфрама – Сангдонг (рис. 3), Дал Сунг и Окбанг, менее известные – Бу Дак, Веолаг, Дае Хва, Саннае и Тальсон. С начала добычи в 1933 г. выпуск вольфрамового сырья только увеличивался, достигнув первого максимума в 4,0 тыс. т W в 1944 г. После сворачивания добычи в условиях войны до 0,4–0,7 тыс. т/год рост вольфрамового производства возобновился только в 1954 г. до второго максимума – 4,3 тыс. т W в 1962 г. В дальнейшем до 1989 г. сохранялся уровень добычи 2,0–2,7 тыс. т/год, после чего он начал сокращаться, вплоть до полного прекращения в 1994 г. [2].

Другим традиционным поставщиком вольфрамового сырья является *Португалия*, реализовавшая к настоящему времени 119 тыс. т W (3,4 % от накопленной мировой добычи). Самое известное крупное месторождение – Панаскуиера (рис. 3), периодически ведется эксплуатация месторождений Ароака, Брага, Борралья, Баралейра, Валпасуш и Ковас. Наиболее интенсивная добыча приходится на 1939–1944 гг. – 1,9–3,6 тыс. т W (с максимумом в 1943 г.) и 2,4–2,9 тыс. т W в 1955–1957 гг. До 1993 г. сохранялся уровень добычи 1,0–1,8 тыс. т/год, после чего он упал до 0,5–0,8 тыс. т/год [2].

КНДР также входит в группу лидеров по накопленной добыче вольфрамового сырья (96 тыс. т W, или 2,6 %, от мировой) Наиболее крупное месторождение – Маннён (рис. 3), где добыта большая часть

вольфрамовых концентратов, а также разрабатывались месторождения Кёнсу, Кумганг, Санг-Нонг, Тахунг, Чончхан, Шинхунг и Янгдок. Добыча вольфрамового сырья на территории КНДР была начата в 1940 г., но ее интенсификация началась лишь с 1949 г. с достижением максимума 3,2 тыс. т W в 1953 г. Высокий уровень добычи – 1,9–2,2 тыс. т/год – сохранялся до 1982 г., после чего она стала снижаться до 0,5–1,0 тыс. т/год вплоть до 2006 г. и находится сейчас на уровне 0,1–0,2 тыс. т/год [2].

Мьянма (до 1989 г. именовалось как Бирма) до 1941 г. занимала второе в мире место по уровню добычи вольфрамового сырья, поставляя ежегодно на рынок 1,2–4,4 тыс. т W (16–24 % от мировой добычи) с максимумом в 1939 г. Разрабатывались олововольфрамовое месторождение Мавчи и россыпи Basin бассейна Гейнца (Камбау, Мьей, Хамьянджи, Хьензе и Ядамабон) (рис. 3). В 1950-х гг. добыча упала до 0,8–1,5 тыс. т/год, а в последующих составляла первые сотни кг W в год [2]. Тем не менее на территории Мьянмы добыто 2,4 % накопленной мировой добычи вольфрамового сырья (88 тыс. т W) и на старых объектах возможно восстановление производства. Кроме этого, геологические комплексы на территории Мьянмы имеют высокий потенциал открытия новых месторождений вольфрама [21, 22].

В *Канаде* (80 тыс. т W накопленной добычи) находятся два из десяти крупнейших в мире вольфрамовых месторождений – Мактунг (запасы + ресурсы 617 тыс. т W) и Кантанг (запасы + ресурсы 168 тыс. т W) (рис. 3). Добыча с этих богатых (1,0–1,5 % W), но сложных в эксплуатации (подземная добыча) месторождений была начата в 1960-х гг., поставляя на рынок свыше 1,0 тыс. тW/год в 1965–1986 гг., достигнув максимума 3,7 тыс. т W в 1984 г. В 1987 г. добыча вольфрамового сырья была прекращена и возобновилась только в 2002 г., после повышения цен на вольфрамовую продукцию, с поставками до 2,1 тыс. т/год. Впрочем, после падения цен на вольфрамовое сырье в 2016 г. его добыча также легко была остановлена. Начаты исследования и на новых перспективных вольфрамовых объектах (месторождения Мар, Логтунг, Фостунг, Барнт Хилл, Флэт-Ривер, Маунт-Плезант и Сайсион) [2].

Австралия также имеет достаточно большой объем накопленной добычи вольфрамового сырья (78 тыс. т W, или 2,2 % от мировой). Поставки на рынок свыше 1,0 тыс. т W осуществлялись в 1952–1957, 1960–1963 и 1966–1990 гг. с максимумом 3,6 тыс. т W в 1980 г. Разрабатывались месторождения Кинг-Исленд, Монт-Карбин, Монт-Малгин, Кара и другие (рис. 3). В 1994 г. добыча вольфрамового сырья в Австралии была прекращена, но с 2012 г. начались поставки с реанимированных рудников до 0,5 тыс. т/год [2].

Из других стран-производителей вольфрамового сырья следует отметить высокий ресурсный потенциал Казахстана, новых (Монголия, Руанда, Вьетнам) и старых (Австрия, Британия) «игроков» на рынке вольфрамовых продуктов.

В *Казахстане* находится крупнейшее в мире (ресурсы 872 тыс. т W), но относительно бедное по каче-

ству руд (0,128 % WO_3 и 0,004 Мо) вольфрам-молибденовое месторождение Верхние Кайракты (рис. 3). Аналогично и другие прогнозно оцениваемые вольфрамовые объекты являются проблемными для освоения – Северный Катпар (90 тыс. т W при содержании WO_3 – 0,239 %, Мо – 0,038 %), Акчатау (65 тыс. т W при содержании WO_3 – 0,2 %, Мо – 0,05 %), Коктенколь (62 тыс. т W при содержании WO_3 – 0,042 %, Мо – 0,071 %). Тем не менее суммарные ресурсы вольфрамового сырья Казахстана составляют 2,2 млн т W (второе место в мире), и в случае высоких цен на вольфрам и молибден эти комплексы месторождения представляют определенный интерес [23, 24].

Австрия в 1975 г. начала работы по добыче средних по качеству вольфрамовых руд на месторождении Миттерзилль (первоначально богатых руд с 0,7–1,0 % WO_3 , в настоящее время средние по качеству – ~0,5 % WO_3) [25] (рис. 3). Уровень добычи составляет 0,8–2,5 тыс. т/год, максимум поставок приходится на 1980 г. Известны также месторождения Ароака, Борралха, Ковас и Санта-Леокадия. По накопленной добыче за последние 15 лет Австрия находится на четвертом месте среди стран-поставщиков вольфрамового сырья [2].

С 1980 г. *Монголия* осуществляет добычу на вольфрам-молибденовых месторождениях Онгон-Хайрхан, Югодзыр и Бурэндогт [26] (рис. 3), осуществляя поставки 1,0–2,0 тыс. т/год в 1981–1990 гг. В 1991 г. добыча вольфрамовых концентратов была значительно сокращена – до 0,1–0,5 тыс. т/год [2]. Существуют также проекты разработки вольфрамовых месторождений Кховд-Гол и Цаган-Даба. Территория Монголии изучена довольно слабо и здесь возможны новые открытия.

В колониальный период добыча вольфрамового сырья на территории *Руанды* учитывалась в статистике производств Бельгийского Конго (с 1971 г. – Заир, ныне Демократическая Республика Конго) и лишь с 1959 г. – как собственная национальная продукция. Разрабатывались месторождения Гифурве, Луциро, Нуокабинго. Уровень добычи вольфрамового сырья в 1959–1985 гг. составлял 0,1–0,4 тыс. т/год, а с 1987 г. их эксплуатация прекратилась. Но с 2006 г. на реанимированном руднике Нуокабинго возобновлена добыча на уровне 0,5–1,0 тыс. т/год [2].

Во *Вьетнаме* разработка вольфрамовых месторождений (Нуи Пхао, Да Триа и др.) начата только в 2010 г. и уже к 2017 г. достигла уровня 7,2 тыс. т/год, выведя эту страну на второе место по уровню добычи вольфрамового сырья, оттеснив на третье место Россию. Следует отметить, что большая часть добытого сырья перерабатывается на вьетнамских заводах на паравольфраматы и ферровольфрам [2].

Бурный рост цен на вольфрамовые продукты в начале XXI в. вызвал интерес к закрытым еще в XIX в. оловянным рудникам в *Британии*, где попутный вольфрам не считался товарным продуктом [27, 28]. В последнее время были активизированы геологоразведочные работы, выведшие Британию на 10-е место в мире по запасам вольфрамового сырья, и запускаются проекты исследований Ваймет, Мирекс и Хе-

мердон, а в 2015 г. появились первые поставки вольфрамового концентрата с месторождения Хемердон (рис. 3), достигнув в 2017 г. 1,1 тыс. т W.

Кроме выше рассмотренных стран добыча вольфрамового сырья осуществляется в настоящее время в Бразилии (месторождения Бодо, Барра-Верде, Бреджуи, Боса-де-Ладж, Педро Плата), Перу (Морокоча, Палца Онце, Пасто Буэно, Сан-Кристоваль), Таиланде (Кхао Сон, Дои Тхан Тгуам), Испании (Санта-Комба, Ла-Парита, Барркомпадро), Конго (Бишаша), Уганде (Наямолило) и Бурунди (район Кирандо). Из других стран следует отметить Японию (месторождения Канеучи, Куга), Францию (Фумаде, Монтредон-Лабессонниэ) и Аргентину (Лос Авеструсес, Лос Кондорес), где в отдельные периоды осуществлялась добыча вольфрамового сырья (свыше 1 тыс. т/год), но к настоящему времени на большинстве этих объектов она прекращена [2, 7].

Ожидается увеличение добычи вольфрамовых продуктов в Австралии (Кинг-Исленд, Дракенлендс, проект Килба), Испании (Бармекопардо, Санта Комба и Ла Парилла), Южной Корее (Сангдонг), Руанде (Нуокабинго), Бурунди (район Кирандо) Зимбабве (проект Камативи), а также организация производства вольфрамовых концентратов из хвостов отработанных месторождений, где они ранее не извлекались [27, 28]. В технологических схемах новых проектов отмечается наличие организации передела вольфрамовых концентратов в паравольфрамат аммония непосредственно на месте их обогащения [29, 30].

Подготовленные запасы и выявленные прогнозные ресурсы. Имеющихся в мире подготовленных (доказанных) запасов вольфрамового сырья (3,66 млн т W) хватит на 35 лет текущего уровня потребления с приращением +2,5 %/год (рис. 4). Из них 1,9 млн т W, или 57,8 %, традиционно приходится на Китай с его гигантской базой крупных и уникальных месторождений с высоким качеством руд. На втором месте по запасам находится Россия с двумя вольфрамовыми месторождениями (Тырнауз и Восток-2), на балансе которой (по категориям A+B+C₁) находится 743 тыс. т в пересчете на 100 % W, или 22,6 % от мировых, но на разрабатываемые и подготавливаемые месторождения приходится, соответственно, всего 24 и 279 тыс. т в пересчете на 100 % W [3]. Конечно, большая часть учтенных запасов приходится на относительно бедные вольфрамовые руды Тырнаузского (0,44 % WO_3) и Кти-Тебердинского (0,36 % WO_3) месторождений, но вероятность реанимации Тырнаузского ГОК проглядывается [17]. На третьем месте находится Канада, также располагающая двумя уникальными вольфрамовыми месторождениями (Мактунг и Кантанг), с национальными запасами в 260 тыс. т W, или 7,9 % от мировых. В США добыча вольфрама в настоящее время не ведется, но на момент прекращения разработок в 1988 г. были подготовлены запасы в 160 тыс. т W, или 4,5 % (4-е место в мире). В десятку стран-лидеров по подготовленным (доказанным) запасам вольфрамового сырья входят также: Вьетнам (3,0 % мировых запасов), Австралия (2,3 %), Монголия (2,0 %), Испания (1,6 %), Боливия (1,5 %) и Британия (1,4 %).

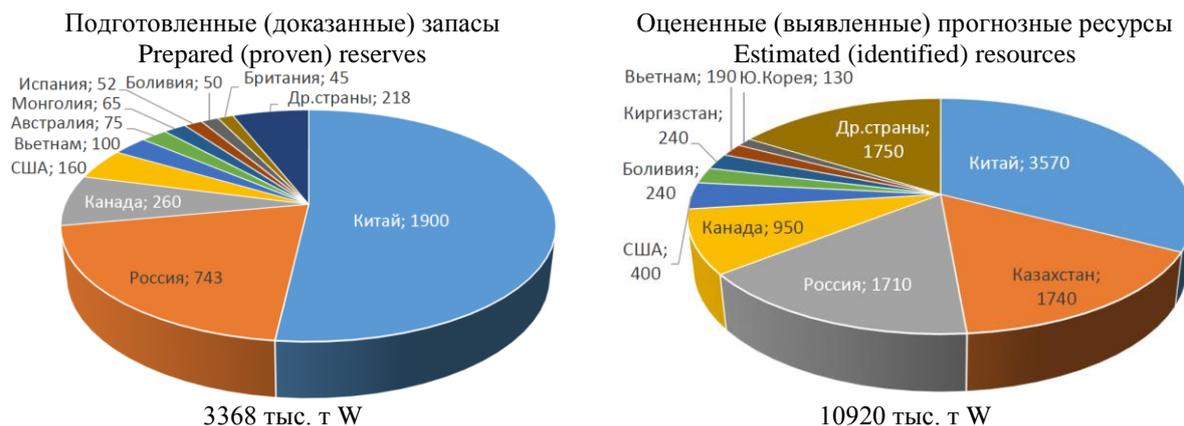


Рис. 4. Мировые подготовленные (доказанные) запасы и оцененные (выявленные) прогнозные ресурсы вольфрамового сырья в пересчете на вольфрам по состоянию на 2021 г. Составлено с уточнениями по данным Геологической службы США [2], Информационно-аналитического центра «Минерал» [5] и Исследовательской группы «ИнфоМайн» [6]

Fig. 4. World prepared (proven) reserves and estimated (identified) resources of tungsten raw materials in terms of tungsten as of 2021. Compiled with clarifications according to the US Geological Survey [1], Mineral-Info [5] and InfoMain [6]

В ресурсной базе вольфрамового сырья (10,92 млн т W) имеются отличия в рейтинге от рейтинга стран-лидеров подготовленных запасов (рис. 4). При неизменном лидерстве Китая с его ресурсами в 3,57 млн т W, или 32,7 % от мировых, на втором месте находится Казахстан (не осуществляющий значительную по объемам добычу вольфрама) – 1,74 млн т W, или 15,9 %, на территории которого находятся крупные месторождения (включая уникальное месторождение Верхние Кайракты) с бедными вольфрам-молибденовыми рудами, которые могут стать предметом разработки при увеличении цены на вольфрамовую продукцию. На третьем и четвертом месте – добывающие вольфрам страны – Россия (1,71 млн т W, или 15,7 % от мировых ресурсов) и Канада (0,95 млн т W, или 8,7 %). На пятом – США, ранее интенсивно эксплуатирующие национальные месторождения, но к настоящему времени прекратившие добычу, ресурсы оцениваются в 0,4 млн т W, или 3,7 % от мировых). В десятку стран-лидеров по ресурсам вольфрамового сырья входят также: Боливия (2,2 %), Киргизия (2,2 %), Вьетнам (1,7 %), Южная Корея (1,2 %) и Испания (0,9 %). Ресурсы многих стран остаются недооценёнными из-за слабой геологической изученности одних и политических проблем других. Поэтому на территории Мьянмы, Монголии и Индии в Азии, Конго, Руанды, Бурунди и Зимбабве в Африке возможны открытия новых месторождений.

Обсуждение результатов и выводы

За период с 1913 по 2020 гг. в мире было добыто 3,9 млн т вольфрама. Объемы мировой добычи увеличились с 4–7 тыс. т/год в 1913–1915 гг. до 75–90 тыс. т/год в 2011–2020 гг. Лидирует в производстве вольфрамовой продукции Китай, поставлявший до 1980-х гг. 25–35 % от мирового производства вольфрамового сырья, а с 1983 г. занявший главенствующее положение в предложении вольфрамовых продуктов (75–85 %). СССР с 1950-х гг. занимал 2-е место в мировом рейтинге по добыче вольфрамового сырья (15–20 % от мирового производства), как

и Россия (на 2-м месте до 2014 г.) с объемами 5–10 % мирового предложения. США, занимавшие в 1940–1950-е гг. 2-е место в мире по добыче вольфрама (до 25 % от мирового предложения), к 1970-м гг. уменьшили долю до 5–10 %, а в 1987 г. его национальная добыча была полностью прекращена.

Появились новые страны-поставщики вольфрамового сырья: Вьетнам, Монголия, Руанда, Зимбабве. Вьетнам, начавший добычу вольфрама в 2010 г., уже к 2014 г. вышел на 2-е место в мире (до 6,5 % от мирового предложения).

В XXI в. в условиях высоких цен на вольфрамовые продукты наметилась тенденция реанимации старых производств добычи вольфрама в Британии, Испании, Боливии, Австралии, Канаде, Мьянме, рассматривается проект возобновления работы Тырнаузского ГОК в России.

Имеющихся в мире подготовленных запасов (3,66 млн т W) и прогнозных ресурсов (10,92 млн т W) вольфрамового сырья хватит более чем на 70 лет при текущем уровне потребления. Из них 32,7 % запасов и 57,5 % потенциальных ресурсов приходится на Китай. В нем находятся пять из десяти крупнейших в мире месторождений вольфрама. Значительными запасами и прогнозными ресурсами вольфрама обладают Россия, Казахстан, Канада и Боливия. Возможно открытие новых месторождений на малоизученных территориях Мьянмы, Монголии и Индии в Азии, Конго, Руанды, Бурунди и Зимбабве в Африке.

Добыча первичного вольфрамового сырья выросла с 4–7 тыс. т/год в 1913–1915 гг. поставки до 75–90 тыс. т/год в 2011–2020 гг. с темпом прироста +2,9 %/год.

Ввиду значительной доли мирового производства вольфрамового сырья в одной стране – Китае (свыше 80 %) – и весьма высокой доли мировой торговли вольфрамовыми продуктами от их производства (свыше 50 %) сырье и конечные товарные продукты вольфрама в обозримом будущем будут продолжать оставаться критическими товарами в промышленно развитых странах.

Политические противостояния в мире накладывают свое влияние и на будущее состояние рынка вольфрамового сырья. Для стран БРИКС, ШОС и ЕАЭС сырьевая база вольфрама доступна и обеспечена действующими добывающими производствами Китая, Вьетнама и России, а также потенциалом развития его добычи в Казахстане, Монголии, Индии и Мьянме. Для промышленно развитых стран Запада (США, страны Европейского Союза и Японии) ситуация с вольфрамовым сырьем весьма критична – его потребности большей частью удовлетворяются по импорту. Наиболее надежный импорт для стран Запада возможен только из Канады и Австралии. Возможно в ограниченных масштабах

возобновление собственной добычи вольфрамового сырья путем реанимации старых производств в США, Англии, Франции, Австрии, Португалии и Южной Кореи. Риски обеспечения поставок вольфрамового сырья в мировой торговле возрастают в результате политических санкций и ответов на них, приводящих к расстройству логистики мирового рынка вольфрамовых продуктов.

Статья написана в рамках выполнения гранта Российского научного фонда на 2022–2023 гг. по теме «Критические минеральные продукты в российском и мировом хозяйстве» (проект № 22-28-01742).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая служба Британии (BGS). URL: World mineral statistics archive | MineralsUK (bgs.ac.uk) (дата обращения 20.03.2023).
2. Геологическая служба США (U.S. Geological Survey). URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs> (дата обращения 20.03.2023).
3. Tungsten. A world of information. UNdata. URL: UNdata | search results (дата обращения 20.03.2023)
4. Государственные доклады «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации». 2000–2020 гг. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resurso_v_rossiyskoy_federatsii/ (дата обращения 20.03.2023).
5. Вольфрам. Информационно-аналитический центр «Минерал». URL: <https://mineral.ru/Facts/stat/124/204/index.html> (дата обращения 20.03.2023).
6. Обзор рынка вольфрама в СНГ. 12 издание. – М.: ИГ «Информайн». 2017. 274 с.
7. Werner A.B.T., Sinclair W.D., Amey E.B. International strategic mineral issues summary report. Tungsten. U.S. Geological Survey. – 2014. – 86 p. URL: https://www.researchgate.net/publication/337702593_International_Strategic_Mineral_Issues_Summary_Report_-_Tungsten (дата обращения 20.03.2023).
8. Zafirov B. The strategic challenges on world tungsten market // International journal on Information technologies and security. – 2010. – № 3. – P. 69–80.
9. Shedd K.B. Tungsten [Advance Release] 2017. Minerals Yearbook. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. – 2020. – 24 p. URL: https://ibm.gov.in/writereaddata/files/03072018100602Tungsten_2017.pdf (дата обращения 20.03.2023).
10. Global tungsten demand and supply forecast / J. Dvořáček, R. Soušedíková, T. Vrátný, Z. Jureková // Archives of Mining Sciences. – 2017. – V. 62. – № 1. – P. 3–12.
11. Shedd K.B. Tungsten recycling in the United States in 2000. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. – 2011. – 26 p. URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1196R> (дата обращения 20.03.2023).
12. Geology, geochemistry, and genesis of tungsten-tin deposits in the Baigantu District, Northern Kunlun Belt, Northwestern China / Y. Gao, W. Li, Z. Li, J. Wang, K. Hattori, Z. Zhang, J. Geng // Economic Geology. – 2014. – V. 109. – № 6. – P. 1787–1799.
13. Deposit density of tungsten polymetallic deposits in the eastern Nanling metallogenic belt, China / T. Li, Q. Xia, L. Chang, X. Wang, Z. Liu, S. Wang // Ore geology reviews. – 2018. – V. 94. – P. 73–92.
14. Joint application of fractal analysis and weights-of-evidence method for revealing the geological controls on regional-scale tungsten-mineralization in southern Jiangxi province, China / T. Sun, K. Wu, L. Chen, W. Liu, Y. Wang, C. Zhang // Minerals. – 2017. – V. 7. – № 12. – Article number 243.
15. Xi-Jie C., Li-Qiong J. China raised the first batch production quota over rare-earths and tungsten in 2021 // China geology. – 2021. – V. 4. – № 1. – P. 193–194. DOI: 10.31035/cg2021031.
16. Лаптева А.М. Ситуация на мировом вольфрамовом рынке и возможности российской сырьевой базы вольфрама // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 29–39.
17. Хатьков В.Ю., Боярко Г.Ю. Современное состояние вольфрамовой промышленности России // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 2. – С. 124–137. DOI: 10.18799/24131830/2019/2/114.
18. Critical mineral resources of the United States – economic and environmental geology and prospects for future supply / K.J. Schulz, J.H. De Young, R.R. Seal, D.C. Bradley // U.S. Geological Survey. – Reston, Virginia, 2017. – 862 p. URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802> (дата обращения 20.03.2023).
19. Comprehensive utilization of copper, tungsten and tin polymetallic tailings in Bolivia / J.-H. Xiao, Q.-M. Feng, S.-P. Fan, L.-H. Xu, Z. Wang // Chinese journal of nonferrous metals [Zhongguo youse jinshu xuebao]. – 2013. – V. 23. – № 10. – P. 2949–2961.
20. Main ore deposit types and resource potential analysis of gold copper tin iron deposits in Bolivia / J. Du, D. Mao, Z. Yao, C. Zhang, F. Zu, C. Lian, Y. Jing // Geological bulletin of China. – 2017. – V. 36. – № 12. – P. 2308–2321.
21. Gardiner N.J., Robb L.J., Searle M.P. The metallogenic provinces of Myanmar // Transactions of the institutions of mining and metallurgy. Section B: Applied Earth science. – 2014. – V. 123. – № 1. – P. 25–38.
22. Htun T., Htay T., Zaw K. Tin-tungsten deposits of Myanmar // Geological society memoir. – 2017. – V. 48. – № 1. – P. 625–647.
23. Burmistrov A.A., Ivanov V.N., Frolov A.A. Structural and mineralogical types of molybdenum-tungsten deposits of central Kazakhstan // International geology review. – 1990. – V. 32. – № 1. – P. 92–99.
24. Прогнозирование ресурсов редкометаллических месторождений на основе анализа рудоконтролирующих факторов / М.Ш. Омисериков, А. Душмал-Черничкевич, Л.Д. Исаева, С.К. Асубаева, К.С. Тогизов // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. – 2017. – № 3. – С. 35–43.
25. Thalhammer O.A.R., Stumpf E.F., Jahoda R. The Mittersill scheelite deposit, Austria // Economic geology. – 1989. – V. 84. – № 5. – P. 1153–1171.
26. Koval P.V., Yakimov V.M. Tungsten and tin mineralization of Mongolia and its relationship to igneous activity // International geology review. – 1984. – V. 26. – № 2. – P. 227–237.
27. Investment in new tungsten mining projects / A. Suarez Sanchez, A. Krzemien, P. Riesgo Fernandez, F.J. Iglesias Rodriguez, F. Sanchez Lasheras, F.J. de Cos Juez // Resources policy. – 2015. – V. 46. – P. 177–190.
28. Beyond the pan-european standard for reporting of exploration results, mineral resources and reserves / A. Krzemien, P. Riesgo Fernandez, A. Suárez Sánchez, I. Diego Álvarez // Resources policy. – 2016. – V. 49. – P. 81–91.
29. Singh Gaur R.P. Modern hydrometallurgical production methods for tungsten // JOM. – 2006. – V. 58. – № 9. – P. 45–49.
30. Gaur R.P.S. Modern methods of hydrometallurgical production of ammonium paratungstate (APT) // Proceedings of the 8th International Conference on Tungsten, Refractory and Hardmaterials 2011. – San Francisco, CA, United States, 18–21 May 2011. – Code 98754. – P. 21–26.

Поступила: 31.10.2022 г.

Прошла рецензирование: 06.03.2023 г.

Информация об авторе

Боярко Г.Ю., доктор экономических наук, кандидат геолого-минералогических наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

UDC 553.04:553.463:622.013

OVERVIEW OF THE GLOBAL TUNGSTEN MARKET. PART 1. MINERAL RESOURCE BASE AND MINING

Grigory Yu. Boyarko¹,
gub@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the work is caused by the need to study the problems of quite volatile world market of tungsten raw materials.

Objective: to study the state of the world mineral resource base of tungsten and its extraction, to assess the criticality of the tungsten raw material world supply.

Methods: content analysis of information collected from open sources on the dynamics of mining tungsten raw materials, as well as information on its reserves and resources.

Results. 3.9 million tons of tungsten were mined in the world from 1913 to 2020. World production volumes increased from 4 to 7 thousand tons/year in 1913–1915 to 75 to 90 thousand tons/year in 2011–2020. China is the leader in the production of tungsten products, which supplied 25–35 % of the world production of tungsten raw materials until the 1980s, and since 1983 has occupied a dominant position in the supply of tungsten products (75–85 %). Russia supplies 5–10 % of the world supply of tungsten concentrates. New countries-suppliers of tungsten raw materials: Vietnam (up to 6,5 % of the world supply), Mongolia, Rwanda, Zimbabwe, have emerged. In the XXI century, in the conditions of high prices for tungsten products, there has been a tendency to revive old tungsten production facilities in Britain, Spain, Bolivia, Australia, Canada, Myanmar. A project of resumption of operation of the Tirmauz Mining in Russia is under consideration. The world's existing reserves (3,66 million tons W) and resources (10,92 million tons W) of tungsten raw materials are enough for more than 70 years at the current level of consumption. 32,7 % of these reserves and 57,5 % of potential resources fall on China. Five of ten largest tungsten deposits in the world are located in China. Russia, Kazakhstan, Canada and Bolivia have significant reserves and forecast resources of tungsten. New deposits may be discovered in the little-explored territories of Myanmar, Mongolia and India in Asia, Congo, Rwanda, Burundi and Zimbabwe in Africa. Due to the significant share of tungsten raw material world production and a very high share of world trade in tungsten products from their production in one country – China, both tungsten raw materials and other commercial tungsten products will continue to be critical goods in industrialized countries in the foreseeable future.

Key words:

Tungsten, mineral resource base, reserves, resources, extraction from deposits, secondary raw materials, China.

The article was written as part of the grant from the Russian Science Foundation for 2022–2023 on the topic «Critical Mineral Products in the Russian and World Economy» (project no. 22-28-01742).

REFERENCES

1. *British Geological Survey*. Available at: World mineral statistics archive | MineralsUK (bgs.ac.uk) (accessed 20 March 2023).
2. *U.S. Geological Survey*. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs> (accessed 20 March 2023).
3. *Tungsten. A world of information*. UNdata. Available at: UNdata | search results (accessed 20 March 2023).
4. *Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ispolzovanii mineralno-syrevykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2000–2020 godu»* [State report «On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2000–2020»]. Available at: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/ (accessed 20 March 2023).
5. *Volfram. Informatsionno-analiticheskiy tsentr «Mineral»* [Tungsten. Information and analytical center “Mineral”]. Available at: <https://mineral.ru/Facts/stat/124/204/index.html> (accessed 20 March 2023).
6. *Obzor rynka volframa v SNG* [Overview of the tungsten market in the CIS]. Moscow, Infomayn, 2017. 274 p.
7. Werner A.B.T., Sinclair W.D., Amey E.B. *International strategic mineral issues summary report. Tungsten*. U.S. Geological Survey, 2014, 86 p. Available at: International strategic mineral issues summary report– Tungsten (usgs.gov) (accessed 20 March 2023).
8. Zafirov B. The strategic challenges on world tungsten market. *International journal on Information technologies and security*, 2010, no 3, pp. 69–80.
9. Shedd K.B. *Tungsten* [Advance release]. 2017. Minerals Yearbook. U.S. Geological Survey. Reston, Virginia, 2020, 24 p. Available at: <commodity> 2017 (amazonaws.com) (accessed 20 March 2023).
10. Dvořáček J., Sousedíková R., Vrátný T., Jureková Z. Global tungsten demand and supply forecast. *Archives of mining sciences*, 2017, vol. 62, no. 1, pp. 3–12.
11. Shedd K.B. *Tungsten recycling in the United States in 2000*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2011. 26 p. Available at: circular_1196-R.pdf (usgs.gov) (accessed 20 March 2023).
12. Gao Y., Li W., Li Z., Wang J., Hattori K., Zhang Z., Geng J. Geology, geochemistry, and genesis of tungsten-tin deposits in the Baiganghu District, Northern Kunlun Belt, Northwestern China. *Economic geology*, 2014, vol. 109, no. 6, pp. 1787–1799.
13. Li T., Xia Q., Chang L., Wang X., Liu Z., Wang S. Deposit density of tungsten polymetallic deposits in the eastern Nanling metallogenic belt, China. *Ore geology reviews*, 2018, vol. 94, pp. 73–92.
14. Sun T., Wu K., Chen L., Liu W., Wang Y., Zhang C. Joint application of fractal analysis and weights-of-evidence method for revealing the geological controls on regional-scale tungsten-mineralization in southern Jiangxi province, China. *Minerals*, 2017, vol. 7, no. 12, article no. 243.
15. Xi-Jie C., Li-Qiong J. China raised the first batch production quota over rare-earths and tungsten in 2021. *China geology*, 2021, vol. 4, no. 1, pp. 193–194. DOI: 10.31035/cg2021031.
16. Lapteva A.M. The situation on the global tungsten market and the possibilities of the Russian raw material base of tungsten. *Russian domestic geology*, 2018, no. 1, pp. 29–39. In Rus.
17. Khatkov V.Yu., Boyarko G.Yu. Current state of tungsten industry in Russia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 2, pp. 124–137. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2019/2/114.
18. Schulz K.J., De Young J.H., Seal R.R., Bradley D.C. *Critical mineral resources of the United States – economic and environmental geology and prospects for future supply*. Reston, Virginia, U.S.

- Geological Survey, 2017. 862 p. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802> (accessed 20 March 2023).
19. Xiao J.-H., Feng Q.-M., Fan S.-P., Xu L.-H., Wang Z. Comprehensive utilization of copper, tungsten and tin polymetallic tailings in Bolivia. *Chinese journal of nonferrous metals [Zhongguo yose jinshu xuebao]*, 2013, vol. 23, no. 10, pp. 2949–2961.
 20. Du J., Mao D., Yao Z., Zhang C., Zu F., Lian C., Jing Y. Main ore deposit types and resource potential analysis of gold copper tin iron deposits in Bolivia. *Geological bulletin of China*, 2017, vol. 36, no. 12, pp. 2308–2321.
 21. Gardiner N.J., Robb L.J., Searle M.P. The metallogenic provinces of Myanmar. *Transactions of the Institutions of mining and metallurgy. Section B: Applied Earth science*, 2014, vol. 123, no. 1, pp. 25–38.
 22. Htun T., Htay T., Zaw K. Tin-tungsten deposits of Myanmar. *Geological society memoir*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 625–647.
 23. Burmistrov A.A., Ivanov V.N., Frolov A.A. Structural and mineralogical types of molybdenum-tungsten deposits of central Kazakhstan. *International geology review*, 1990, vol. 32, no. 1, pp. 92–99.
 24. Omirserikov M.Sh., Dushmal-Chernichkevich A., Isaeva L.D., Asubaeva S.K., Togizov K.S. Forecasting the resources of rare metal deposits based on the analysis of ore-controlling factors. *Proceedings of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 2017, no. 3, pp. 35–43. In Rus.
 25. Thalhammer O.A.R., Stumpf E.F., Jahoda R. The Mittersill scheelite deposit, Austria. *Economic Geology*, 1989, vol. 84, no. 5, pp. 1153–1171.
 26. Koval P.V., Yakimov V.M. Tungsten and tin mineralization of Mongolia and its relationship to igneous activity. *International geology review*, 1984, vol. 26, no 2, pp. 227–237.
 27. Suarez Sanchez A., Krzemien A., Riesgo Fernandez P., Iglesias Rodriguez F.J., Sanchez Lasheras F., de Cos Juez F.J. Investment in new tungsten mining projects. *Resources policy*, 2015, vol. 46, pp. 177–190.
 28. Krzemien A., Riesgo Fernandez P., Suárez Sánchez A., Diego Álvarez I. Beyond the pan-european standard for reporting of exploration results, mineral resources and reserves. *Resources policy*, 2016, vol. 49, pp. 81–91.
 29. Singh Gaur R.P. Modern hydrometallurgical production methods for tungsten. *Journal of metals*, 2006, vol. 58, no. 9, pp. 45–49.
 30. Gaur R.P.S. Modern methods of hydrometallurgical production of ammonium paratungstate (APT). *Proceedings of the 8th International Conference on Tungsten, Refractory and Hardmaterials 2011*. San Francisco, CA, United States, 18–21 May 2011. Code 98754, pp. 21–216.

Received: 31 October 2022.

Reviewed: 6 March 2023.

Information about the author

Grigory Yu. Boyarko, Dr. Sc., Cand. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.