



ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обзорная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-02-85>

УДК 553.04:553.689.2



Мировые ресурсы барита – критического минерального сырья

Г. Ю. Боярко , Л. М. Болсуновская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация
 gub@tpu.ru**Аннотация**

Актуальность работы обусловлена статусом барита как критического минерального сырья, принятым в большинстве промышленно развитых стран.

Цель: изучение динамики товарных потоков (производства, импорта, экспорта, потребления) барита по странам мира, его мировых цен, сырьевой базы барита и перспектив его добычи и потребления.

Методы: статистический, графический, логический.

Результаты. Производство баритового сырья с 0,3 млн т в 1920 г. непрерывно растет и достигло в 2010-х годах 8,0–9,6 млн т/год. Первоначально и добывающие, и перерабатывающие баритовое сырье производства располагались непосредственно в США, Германии, Британии, Италии и Франции, на которые приходилось свыше 90 % его мировой добычи и 80–95 % мирового потребления. В 1950-х годах началось резкое увеличение потребления барита в качестве утяжелителя буровых растворов, что привело к увеличению его добычи в крупных нефтегазодобывающих странах (США, СССР, Мексика, Канада), появлению экспортных потоков (из Марокко и других стран), прекращению экспорта из Германии, Британии и Франции. Доля международной торговли баритом также возросла с 0,3–0,5 млн т/год в 1950-е годы до 4,2–6,0 млн т/год (55–70 % от его мировой добычи) в 2010-е годы. Накопленная мировая добыча барита за 1920–2020 гг. составила 550 млн т, имеющиеся мировые ресурсы барита в подготовленных для эксплуатации месторождениях оцениваются в 740 млн т. Группа критичных стран-импортеров баритового сырья (импорт свыше 50 %) представляет 38,8 % ВВП мировой экономики (США, Европейский союз, Германия, Италия, Саудовская Аравия, Канада, Кувейт, Норвегия, Оман, Алжир, Малайзия, Индонезия, ОАЭ, Азербайджан, Аргентина). Группа стран-экспортеров баритового сырья включает 31,0 % ВВП мировой экономики (Индия, Марокко, Китай, Казахстан, Турция, Иран, Лаос, Мексика, Пакистан, Болгария). Снижение критичности обеспеченности баритовым сырьем возможно путем снижения его потребления (что и осуществляется в Японии, Франции, Италии и Чехии), увеличения мировой добычи барита с вводом в эксплуатацию других баритовых месторождений, учитывая значительные подготовленные ресурсы этого сырья в Иране, Казахстане и Пакистане, а также поиска новых месторождений барита, в том числе хемогенных морских донных осадков.

Ключевые слова

критический минеральный продукт, барит, ресурсы, добыча, мировая торговля, потребление

Благодарности

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).

Для цитирования

Boyarko G. Yu., Bolsunovskaya L.M. World's barite resources as critical raw material. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023;8(4):264–277. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-02-85>

GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

Review paper

World's barite resources as critical raw material

G. Yu. Boyarko , L. M. Bolsunovskaya

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation gub@tpu.ru**Abstract**

The relevance of the work is connected with the status of barite as a critical mineral raw material, as accepted in most industrialized countries.

Purpose: to study the dynamics of commodity flows (production, import, export, consumption) of barite throughout the countries, its world prices, sources of barite raw materials and the prospects for its production and consumption.



Methods: statistical, graphic, logical.

Results. The production of barite raw materials from 0,3 Mt/year in 1920s grew intensively and reached 8.0–9.6 Mt/year in the 2010. Initially, both the mining and processing of barite raw materials industries were located directly in the USA, Germany, Britain, Italy, and France. These countries accounted for over 90% of world production and 80–95% of world consumption. In the 1950s, a sharp increase in the consumption of barite as a weighting agent for drilling fluids began. This led to an increase in its production in large oil and gas producing countries (the USA, the USSR, Mexico, Canada), export flows (from Morocco and other countries), and cessation of exports from Germany, Britain and France. The share of international trade in barite also increased from 0,3–0,5 Mt/year in the 1950s to 4.2–6.0 Mt/year (55–70% of his income) in the 2010s. The cumulative world production of barite between 1920–2020 is expected to be 550 Mt. World barite resources in deposits prepared for exploitation are estimated at 740 Mt. The group of critical countries importing barite raw materials (imports over 50%) represents 38.8% of the GDP of the world economy (USA, European Union, Germany, Italy, Saudi Arabia, Canada, Kuwait, Norway, Oman, Algeria, Malaysia, Indonesia, UAE, Azerbaijan, Argentina). The group of countries exporting barite raw materials includes 31.0% of the GDP of the world economy (India, Morocco, China, Kazakhstan, Turkey, Iran, Laos, Mexico, Pakistan, Bulgaria). A decrease in the criticality of barite raw material supply is possible as a result in reducing consumption (Japan, France, Italy and the Czech Republic), increasing world barite production with the commissioning of new deposits, given the significant prepared resources of this raw material in Iran, Kazakhstan and Pakistan, as well as the search for new barite deposits, including chemogenic marine bottom sediments.

Keywords

critical minerals, barite, resources, production, world trade, consumption

Acknowledgements

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).

For citation

Boyarko G. Yu., Bolsunovskaya L.M. World's barite resources as critical raw material. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2023;8(4):264–277. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-02-85>

Введение

Барит (природный сульфат бария) в настоящее время используется преимущественно в качестве утяжелителя буровых растворов (75–88 % потребления), инертного наполнителя в лакокрасочной, резиновой, бумажной, стекольной, цементной и строительной промышленности, в производстве пластмасс, керамики (6–16 %) и в качестве химического сырья для производства соединений бария (до 6 %) [1–3].

Лидерами мировой добычи барита являются Китай, Индия и Марокко, а лидерами потребления – США, Китай, Индия и Саудовская Аравия. В США, несмотря на значительную собственную добычу барита (400–700 тыс. т/год), ввиду импорта до 87 % от его потребления этот товарный продукт относится к критическим материалам [3, 4]. Такая же ситуация имеет место с баритовым сырьем и в Европейском Союзе, импортирующем до 82 % от его потребления¹. В Китае, несмотря на его мировое лидерство в добыче, барит также является критическим (стратегическим) товарным продуктом [3, 5, 6]. В России спрос на бариты удовлетворяется его добычей из единственного источника (Толчинского месторождения в Республике Хакасия), что является рискован фактором появления значительной импортной зависимости [3].

Наиболее раннее упоминание о минеральном сырье как критическом материале приводится в слу-

шаниях Сената США при обсуждении «Запасов и доступности стратегических и критически важных материалов для Соединенных Штатов во время войны» в 1953 г.² В конце 1990-х годов понятие «критическое минеральное сырье» (Critical minerals raw materials) прочно утвердилось в экономиках ведущих промышленно развитых и бурно развивающихся стран, обозначая практически незаменимый для новейших промышленных технологий материал, но крайне рискованный в своем получении потребителем по логистике поставок [7]. Главным показателем критичности минерального сырья признается уровень его импортозависимости для национальной экономики. В списке критических минеральных продуктов США предложена градация импорта с порогами в 15, 50, 70, 85, 90 и 95 % от потребления³. Для России пред-

² Stockpile and accessibility of strategic and critical materials to the United States in time of war. Hearings before the Special Subcommittee on Minerals, Materials, and Fuel Economics of the Committee on Interior and Insular Affairs, United States Senate, Eighty-third Congress, first-[second] session, pursuant to S. Res. 143. A resolution to investigate the accessibility and availability of supplies of critical raw materials. Part 6. Petroleum, gas, and coal. Industrial and labor representatives; state administrative and production experts on petroleum, gas, coal, and synthetic fuels. United States. Congress. Senate. Committee on Interior and Insular Affairs. Washington, U.S. Govt. Print. Off.; 1953.

³ Final List of Critical Minerals 2018. Department of the Interior U.S. 83 Fed. Reg. 23295. 2018. URL: <https://www.federalregister.gov/documents/2018/05/18/2018-10667/final-list-of-critical-minerals-2018>

¹ Study on the review of the list of critical raw materials: critical raw materials factsheets. European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Publications Office; 2017. <https://doi.org/10.2873/398823>



ложена градация импортозависимости из трех диапазонов: незначительного импорта (до 25 %), существенного импорта (25–75 %) и тотального импорта (свыше 75 %) [8]. Вторым показателем критичности минерального сырья определяется уровень неопределенности его поставок от производителей к потребителям, причем имеет место субъективизм его оценки [9]. Поэтому и необходим анализ логистики критического минерального сырья для индивидуальных его видов.

Включение барита ведущими промышленными странами в перечень видов критического минерального сырья требует анализа мировой ресурсной базы баритового сырья, географии центров его добычи, тенденций спроса и предложения барита на мировом рынке, а также выработки предложений по решению проблемы импортозависимости.

Методы исследований

С целью изучения мировых ресурсов барита и его товарных рынков были обработаны данные по мировой добыче и мировой торговле баритового сырья за 1920–2020 гг., а также по его мировым ценам. Источники информации: бюллетени и обзоры Геологической службы США⁴ и Британии⁵, базы данных Федеральной таможенной службы России⁶, Госкомстата России⁷ и отдела международной торговли ООН⁸, обзоры информационных центров⁹. Проведен контент-анализ научных источников литературы, национальных зарубежных и российских отчетов и докладов, периодических и продолжающихся изданий, посвященных тематике мировой минерально-сырьевой базы барита. Ресурсы, запасы, объемы добычи, торговли и потребления баритового сырья приводятся в метрических тоннах, цены – в долларах США за тонну барита. Показатели доли импорта и экспорта барита для отдельных стран и мира определены соотношением их объемов к сумме предложения этого товара (производство + импорт). Среднемировые цены барита рассчитаны по данным суммарных объемов и стоимости мирового экспорта.

⁴ Геологическая служба США. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs>

⁵ Британская геологическая служба. URL: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>

⁶ Федеральная таможенная служба России. URL: <http://stat.customs.gov.ru/analysis>

⁷ Федеральная служба государственной статистики России. URL: <https://gks.ru/emiss>

⁸ UNdata. A world of information. URL: <https://data.un.org/Default.aspx>

⁹ Информационно-аналитический центр «Минерал». URL: <http://www.mineral.ru/Center/index.html>

Информационная группа «Инфомайн». URL: <https://infomine.ru/>

TrendEconomy – Портал открытых данных. URL: <https://trendeconomy.ru/>

Обзор мировых ресурсов и товарных потоков баритового сырья

Барит является довольно распространенным минералом, присутствующим во многих геологических формациях (осадочных, гидротермальных, экзогенных и др.) и формирующим самостоятельные мономинеральные месторождения, а также присутствующим в качестве попутного компонента в комплексных (преимущественно полиметаллических) месторождениях.

Промышленно значимые месторождения барита представлены четырьмя минеральными типами [3, 10]:

- стратиформные осадочные;
- стратиформные вулканогенно-осадочные;
- гидротермально-метасоматические (включая карбонатиты);
- остаточные (коры выветривания).

Геологических формаций баритовых месторождений можно выделить значительно больше (карбонатитовая, конкреционная, барит-флюоритовая, барит-целестиновая и др.) [10, 11], но основная масса добычи барита осуществляется преимущественно из месторождений вышеперечисленных четырех типов.

Баритовые месторождения в геологическом плане достаточно широко распространены и в плане размещения добывающих и потребляющих производств, и первоначально в мировом пространстве осваивались наиболее близкие объекты на собственной национальной территории (рис. 1).

За столетний период – с 1920 по 2020 г. – накопленная мировая добыча барита составила 550 млн т. На 01.01.2021 мировые ресурсы барита в подготовленных для эксплуатации месторождениях оцениваются в 740 млн т¹⁰ (рис. 2), что при современном уровне спроса достаточно на 70–80 лет потребления.

Если в 1920 г. мировое производство и потребление барита составляло 0,3 млн т, к 1940 г. увеличившись до 1,0 млн т/год, то уже с 1946 г. наметился их прогрессивный рост вплоть до локального максимума в 1981 г. (8,4 млн т), а после спада потребления бурового барита в 1980–1990-х годах до уровня 4,4–5,7 млн т/год опять возобновился рост, вплоть до 9,6 млн т в 2012 г. (рис. 3, 4).

В первой половине XX в. и добывающие, и перерабатывающие баритовое сырье производства располагались непосредственно в США, Германии, Британии, Италии и Франции, на которые проходило свыше 90 % его мировой добычи и 80–95 % мирового потребления. Использование барита шло в основном на производство лакокрасочного наполнителя (свыше 50 % потребления) и бариевых химикатов. Но со временем национальные ресурсы барита сокращались и происходила трансформация товарных потоков от производителей к потребителям [3].

¹⁰ Геологическая служба США. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs>

Информационно-аналитический центр «Минерал». URL: <http://www.mineral.ru/Center/index.html>

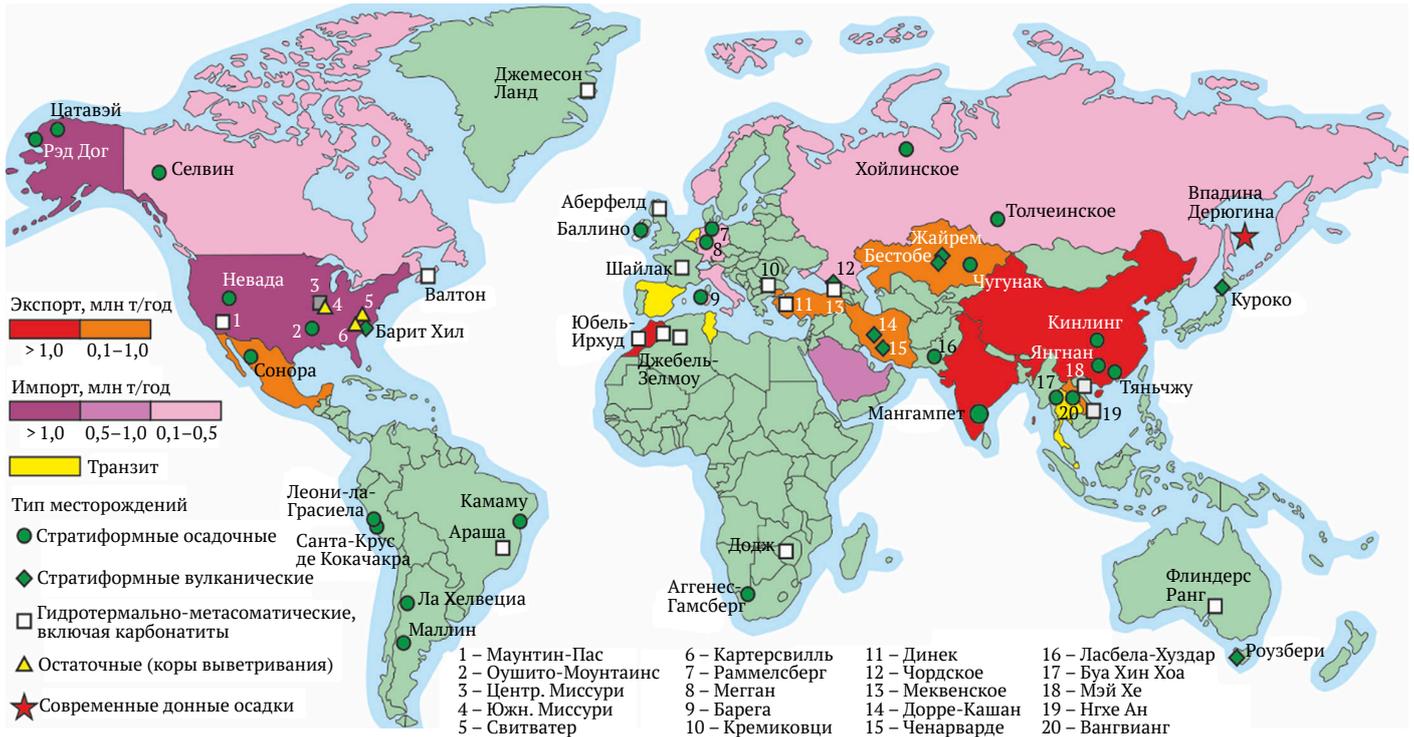


Рис. 1. Карта мира с локализацией баритовых месторождений и стран – лидеров международной торговли баритовым сырьем (экспортеры, импортеры и транзитеры)

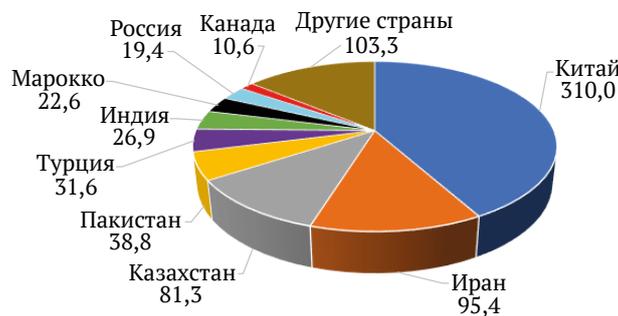


Рис. 2. Мировые ресурсы барита в подготовленных для эксплуатации месторождениях, млн т
 Составлено по данным Геологической службы США (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs>), Информационного центра «Минерал» (<http://www.mineral.ru/Center/index.html>) и Информационной группы «Инфомайн» (<https://infomine.ru/>)

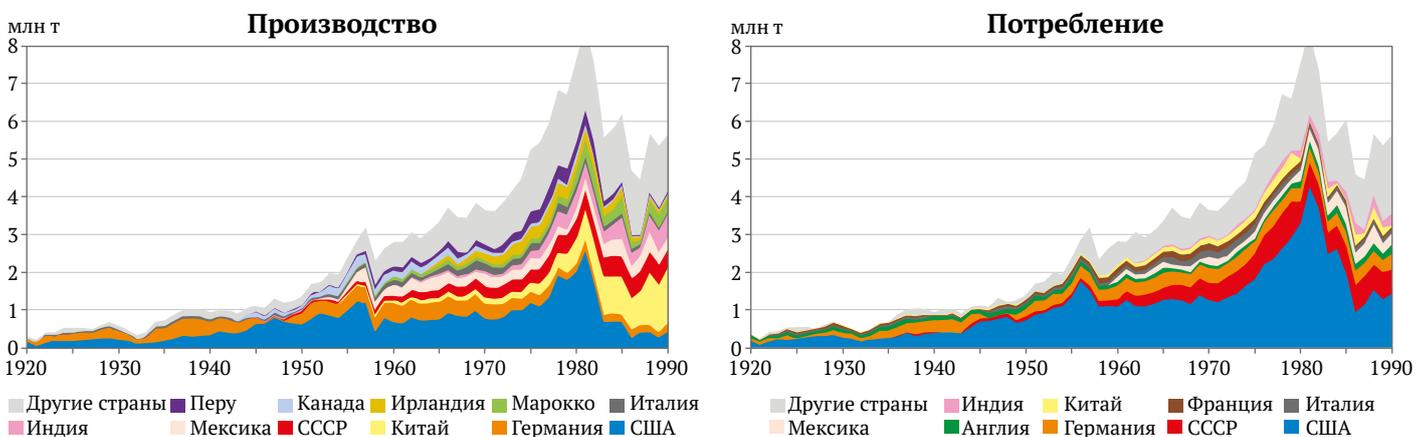


Рис. 3. Динамика мировой добычи и потребления барита за 1920–1990 гг.

Составлено по данным Геологических служб США (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs>) и Британии (<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>), Госкомстата РФ (<http://stat.customs.gov.ru/analysis>)

В конце 1950-х годов началось резкое увеличение потребления барита в качестве утяжелителя буровых растворов, что привело к увеличению его добычи в крупных нефтегазодобывающих странах (США, СССР, Мексика, Канада), появлению новых экспортных потоков (из Марокко, Мексики, Канады и других стран), импортных потоков в другие добывающие страны (Алжир, Венесуэла, Тринидад/Табаго), а также формированию транзитных потоков баритового сырья через Нидерланды, Бельгию и Сингапур [3].

В 1980-е годы вследствие завершения энергетического кризиса 70-х годов произошло сокращение объемов буровых работ и, соответственно, потребления баритового сырья, в первую очередь в США.

В 1990-е годы и в начале XXI в. происходит трансформация мировой экономики, в первую очередь промышленного потенциала Китая. Резко выросла собственная добыча барита в самом Китае, а также в Индии, Казахстане, Иране, Пакистане.

В последние годы ввиду истощения длительно разрабатываемых нефтяных месторождений значительно возросли объемы эксплуатационного бурения и произошло увеличение потребления баритового утяжеля-

теля (и, соответственно – импорта) не только в США, Канаде, России, но и в Саудовской Аравии, Казахстане, Кувейте, Аргентине, Индонезии, ОАЭ и Омане [3].

Главные баритодобывающие страны. США являются безусловным мировым лидером потребления барита в течение всего исследуемого периода, а в 1941 г. стали еще и лидером по добыче, утратив последний только в 1983 г. Накопленная национальная добыча составила 63,3 млн т, накопленное потребление – 146,6 млн т, а остаточные ресурсы месторождений – 7,6 млн т. На территории США разрабатывались многочисленные месторождения барита стратиформного (Уошито Моунтаинс, Ред Дог, Бассейн Цатавэй и в штате Невада), вулканогенно-осадочного (Барит Хилл), гидротермального (Моунтаин Пасс и в штате Миссури) и остаточного (Светватер, Цартерсвилль и в штате Миссури) типа [1, 12, 13, 14]. В период с 1939 по 1964 г. разработка только группы месторождений Уошито Моунтаинс давала около 25 % мировой добычи [13]. Максимальный уровень добычи баритового сырья в США был достигнут в 1981 г. (2,6 млн т), но к 1985 г. он упал до минимума в 269 тыс. т. В дальнейшем уровень добычи барита в США составляет

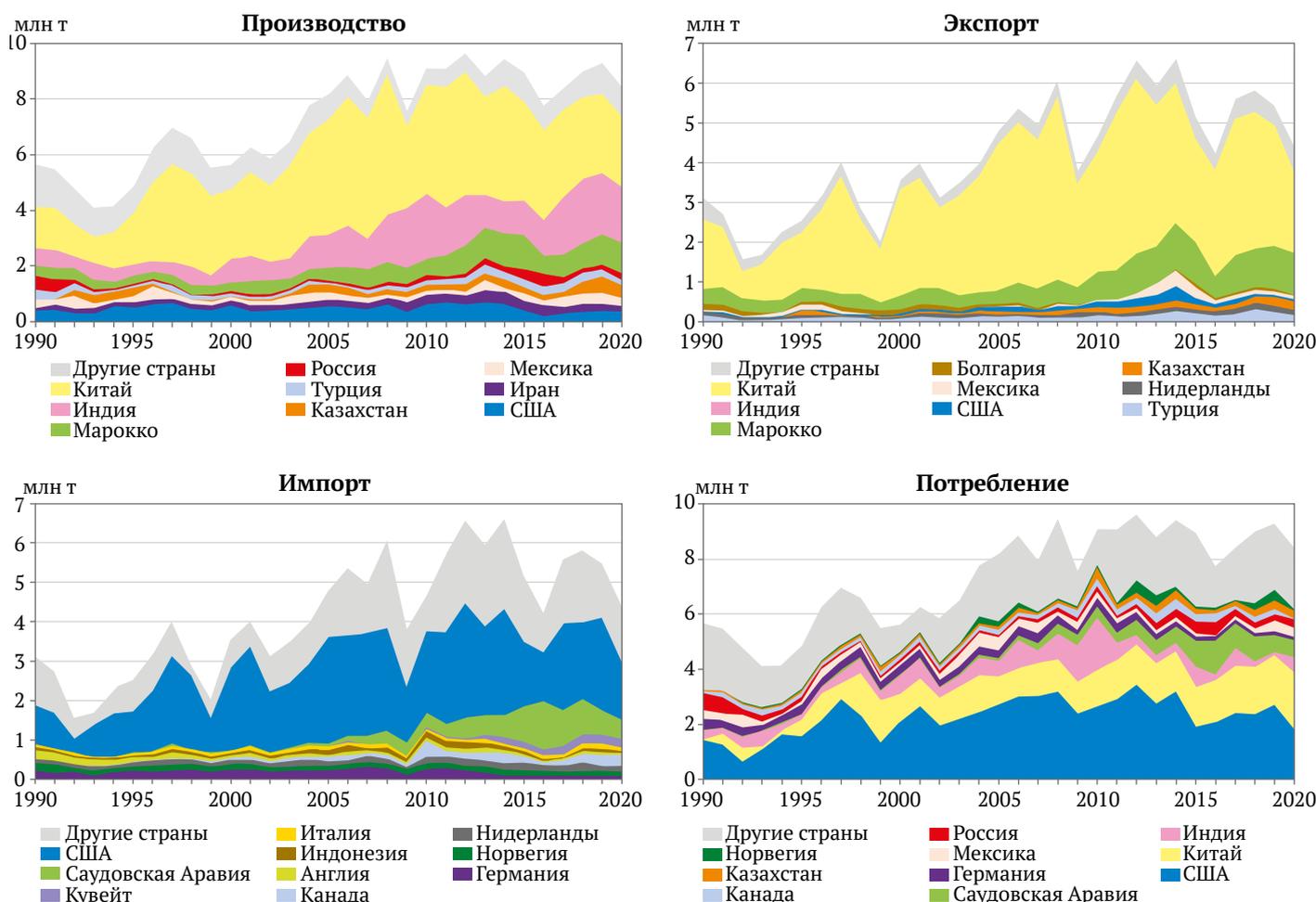


Рис. 4. Динамика мировой добычи, экспорта, импорта и потребления потоков барита за 1990–2020 гг.

Составлено по данным Геологических служб США (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tin/index.html#mcs>) и Британии (<http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>), Госкомстата РФ (<https://gks.ru/emiss>) и Таможенной службы РФ (<http://stat.customs.gov.ru/analysis>), отдела международной торговли ООН (<https://data.un.org/Default.aspx>)



400–700 тыс. т/год. Начиная с 1986 г. США является нетто-импортером баритового сырья, ввоза 0,9–2,9 млн т/год (70–90 % от потребления). Национальное потребление барита в США выросло на фоне бурного роста нефтедобывающей промышленности с 0,7 млн т в 1946 г. до 1,7 млн т в 1956 г., в 1957–1974 гг. находилось на уровне 1,1–1,7 млн т/год, в связи с развитием вторичных и третичных технологий добычи нефти с 1975 г. начался рост потребления вплоть до 4,3 млн т в 1981 г. с последующим спадом до 0,9–1,5 млн т/год в 1986–1995 гг. В XXI в. национальное потребление баритового сырья в США составляет 1,7–3,4 млн т/год.

Китай, добывший в 1955 г. всего 25 тыс. т баритового сырья, интенсифицировал в 1980-е годы работы по развитию баритодобывающей отрасли и нарастил объемы его добычи, став мировым лидером в 1983 г., продолжая увеличение объемов производства вплоть до максимума в 5,0 млн т в 2008 г. [3]. Накопленная национальная добыча барита в Китае составляет 108,3 млн т, накопленное потребление – 39,1 млн т, остаточные ресурсы – 310 млн т. Основной объем добычи баритового сырья в основном приходится на месторождения Кинлинг, Янгнан и Тяньчжу [12, 15–17]. Большая часть добытого барита направляется на экспорт, при этом с 1980 по 2017 г. Китай был мировым лидером международной торговли. Доля экспорта баритового сырья из Китая в 1980–1987 гг. составляла 20–36 % от мировой торговли, в 1988–2012 гг. она увеличилась до 45–66 %, но начиная с 2013 г., ввиду увеличения внутреннего потребления барита, снизилась до 12–39 %. Национальное потребление баритового сырья в Китае выросло с уровня 100–200 тыс. т/год в 1964–1994 гг. до 1,5 млн т в 1998 г., стабилизировалось на уровне 1,0–1,3 млн т/год в 2000–2009 гг. и продолжило рост вплоть до 2,0 млн т в 2020 г. Преимущественное направление использования барита в Китае – в качестве лакокрасочного наполнителя.

В СССР, как и в Китае, массовая добыча барита началась поздно, после Второй мировой войны и наращивалась с 30 тыс. т в 1946 г. вплоть до максимума в 540 тыс. т в 1978 г. В дальнейшем в России произошел спад промышленного баритового производства, сопровождавшийся снижением уровня добычи до 50–85 тыс. т/год в 1993–2007 гг., но с 2008 г. наметился рост производства вплоть до 434 тыс. т в 2016 г. Накопленная добыча барита в СССР/России составила 16,9 млн т, накопленное потребление – 24,3 млн т, остаточные ресурсы – 19,4 млн т. Добыча баритового сырья ведется на Толчеинском месторождении в Республике Хакасия, работы на других ранее разрабатываемых месторождениях (Хойлинское, Кварцитовая Сопка) остановлены [3]. Осуществлялся также импорт барита: в 1940–1950-е годы – 20–70 тыс. т/год (30–88 % от потребления), в 1960–1980-е годы – 100–400 тыс. т/год (6–38 %), в 1990-е и в XXI в. – 25–65 тыс. т/год (10–30 %). Национальное потребление барита в СССР в 1920–1940-е годы составляло 5–20 тыс. т/год, с 1944 г. начало увеличиваться с 55–78 тыс. т/год в 1944–1957 гг. до 950 тыс. т в 1979 г. и находилось на уровне 550–750 тыс. т/год в 1980-е го-

ды. Национальное потребление барита в России в 1990-е годы и в XXI в. составляет 100–450 тыс. т/год.

Индия также начала интенсифицировать добычу баритового сырья в 1975 г., доведя ее до максимума в 2,3 млн т в 2010 г. Большая часть добытого барита идет на экспорт и начиная с 2018 г. Индия стала мировым лидером международной торговли баритовым сырьем (до 37 % рынка), опередив Китай [3]. Накопленная добыча барита в Индии составила 43,0 млн т, накопленное потребление – 20,0 млн т, остаточные ресурсы – 26,9 млн т. Основной объем добычи баритового сырья приходится на уникальное месторождение Мангампет [12, 18]. Национальное потребление барита в Индии в 1920–1950-е годы составляло 5–20 тыс. т/год, в 1960–1970-е – 30–55 тыс. т/год, с 1977 г. начался его рост – до 547 тыс. т в 1993 г. и до 1,9 млн т в 2010 г. В дальнейшем потребление барита в Индии находится на уровне 500–600 тыс. т/год.

Марокко, начав в 1958 г. разработку собственных месторождений барита Джебель-Ирхуд и Джебель-Зельму, полностью ориентировалось на экспорт этого сырья [19, 20]. Длительное время (1980–2005 гг.) уровень добычи и экспорта барита составлял 0,4–0,5 млн т/год, в дальнейшем он увеличился до 0,7–1,2 млн т/год, и Марокко традиционно занимает третье место в международной торговле баритовым сырьем (10–24 % рынка) [3]. Накопленная добыча барита в Марокко составила 24,6 млн т, накопленное потребление – 2,8 млн т, остаточные ресурсы – 22,6 млн т, имеется возможность значительного наращивания ресурсной базы барита [21, 22].

Мексика, начав в 1953 г. разработку месторождения Сонора [23], быстро довела к 1960-м годам уровень добычи барита до 200–400 тыс. т/год и сохраняет такую производительность до настоящего времени, направляя значительную часть (100–200 тыс. т/год) для потребления в национальной нефтяной отрасли. Накопленная добыча баритового сырья в Мексике составляет 17,4 млн т, накопленное потребление – 12,9 млн т, остаточные ресурсы – 3,8 млн т. В 1950–1970-е годы на экспорт отправлялось (в основном в США) 100–200 тыс. т/год, но ввиду увеличения национального потребления нефтяной отрасли объемы экспорта сократились в 1980-е годы до 30–65 тыс. т/год, а в 1997 г. экспорт баритового сырья был практически прекращен, возобновившись лишь после 2011 г.

Турция удачно располагает близ европейских потребителей баритового сырья. С 1973 г. в разработке находится месторождение Динек [24], поставляется на экспорт 100–300 тыс. т/год, для собственного потребления направляется 50–100 тыс. т/год. Накопленная добыча Турции – 9,2 млн т, накопленное потребление – 3,4 млн т, остаточные ресурсы баритового сырья – 31,6 млн т.

Баритодобывающие страны, утратившие статус экспортера. Многие страны – экспортеры баритового сырья ввиду истощения собственных месторождений практически ушли с этого рынка международной торговли: Югославия в 1966 г., Германия в 1973 г., Греция в 1976 г., Перу в 1985 г., Ирландия в 1995 г. и Болгария в 2009 г. [3].



Германия в 1920–1930-е годы была мировым лидером добычи и потребления барита. Добыча осуществлялась на месторождениях Раммелсберг и Мегган [25, 26]. К 2020 г. национальная накопленная добыча баритового сырья составила 23,3 млн т, накопленное потребление – 26,8 млн т, а остаточные ресурсы собственных месторождений – 1,2 млн т. Объемы добычи барита увеличились со 100 тыс. т/год в 1920-х годах до 400 тыс. т/год в 1930–1960-х годах (с просадкой вплоть до 2 тыс. т/год во время Второй мировой войны), но с 1972 г. начали снижаться – вплоть до 34 тыс. т в 2017 г. В это же время появился импортный поток баритового сырья (с 10 % импорта от потребления в 1960-х годах до 70 % в конце 1990-х годов) и уже к 1979 г. Германия стала его нетто-импортером. Ввозится 100–300 тыс. т/год барита. Уровень потребления баритового сырья Германии длительное время составляет 300–400 тыс. т/год с просадкой лишь во время экономического кризиса 2008–2009 гг. (174 тыс. т в 2009 г.) и снижением спроса начиная с 2014 г. до настоящего времени (до 130–160 тыс. т/год).

Перу, начав в 1951 г. разработку месторождения Леони-ла-Грасиела (100–435 тыс. т/год, подавляющая часть шла на экспорт), вплоть до 1985 г. была значимым экспортером барита (до 13 % мирового рынка). Накопленная добыча Перу составила 7,1 млн т, остаточные ресурсы – 3,4 млн т. В настоящее время в Перу разрабатывается месторождение Санта-Крус де Кокачакра с уровнем добычи 15–105 тыс. т/год.

Ирландия, начав в 1955 г. разработку месторождения Баллино (100–370 тыс. т/год), практически весь добытый барит отправляла на экспорт (наполняя иногда до 22 % мирового рынка) вплоть до остановки производства в 1994 г. Накопленная добыча Ирландии составила 5,7 млн т, остаточные ресурсы – 1,0 млн т.

Болгария с 1974 г. добывает барит в качестве попутного полезного компонента на железорудном месторождении Кремиковци (100–250 тыс. т/год), большую часть которого направляет на экспорт. В 2009 г. в результате мирового экономического кризиса производство было остановлено и возобновилось лишь в 2014 г. на уровне 40–70 тыс. т/год. Накопленная добыча Болгарии составила 4,5 млн т, остаточные ресурсы – 9,5 млн т.

Новые страны, добывающие баритовое сырье.

Появились новые страны с масштабной добычей баритового сырья: Казахстан, Иран (до 450 тыс. т/год) и Лаос (до 400 тыс. т/год) [3].

В Казахстане в 1990-е годы в экономически неблагоприятной обстановке добыча на имеющихся разрабатываемых баритовых месторождениях (Карагайлы, Жайрем, Бестобе и Чугунак [27]) составляла всего 10–50 тыс. т/год. Но начиная с 2003 г. выпуск баритового сырья увеличился до 170–270 тыс. т/год, а к 2019 г. вырос до 600 тыс. т/год. Значительная часть добытого барита (100–220 тыс. т/год) отправляется на экспорт в Азербайджан, Туркмению, Узбекистан и Россию. Ведутся интенсивные геологоразведочные работы для наращивания сырьевой базы баритового сырья Казахстана. Накопленная добыча барита в Казахстане

за достаточно небольшой срок – с 1992 г. – составила 6,0 млн т, накопленное потребление 3,6 млн т, остаточные же ресурсы весьма велики – 81,3 млн т.

Иран, разрабатывающий с 1991 г. (15–90 тыс. т/год) уникальные месторождения Дорре Кашан и Ченарварде [28, 29], ранее выпускавший до 75 тыс. т/год, начиная с 1991 г. увеличил выпуск баритового сырья до 150–230 тыс. т/год, а с 2009 г. – до 300–435 тыс. т/год. Часть добытого барита идет на экспорт – 50–150 тыс. т/год. Накопленная добыча барита в Иране составляет 10,0 млн т, накопленное потребление 8,5 млн т, остаточные ресурсы весьма велики – 95,4 млн т.

В Лаосе, ранее не представлявшем интереса в части полезных ископаемых, после обнаружения месторождения Вангвианг [30] начался бурный рост добычи барита – с 27 тыс. т в 2013 г. до 420 тыс. т в 2019 г. На экспорт отправляется 60–100 тыс. т/год.

Страны транзитной торговли баритовым сырьем. Между добывающими странами и конечными потребителями баритового сырья появились и торговые посредники – Нидерланды, Испания, Тунис, Таиланд, Бельгия, Гонконг и Сингапур.

Нидерланды находятся в удобной логистической позиции получения товарных грузов в крупнейших портах Амстердам и Роттердам с дальнейшей их перевалкой в страны центральной части Европейского Союза. При отсутствии добычи барита и минимальных объемах национального потребления 10–40 тыс. т/год объемы импорта и экспорта составляют 100–200 тыс. т/год.

Испания до 2009 г. самостоятельно добывала до 50–100 тыс. т/год барита при собственном потреблении 50–70 тыс. т/год. В 2010 г. национальное производство баритового сырья было прекращено, потребление сократилось до 20–40 тыс. т/год, но увеличился импорт до 50–100 тыс. т/год и экспорт (30–50 тыс. т/год).

Тунис добывает до 10 тыс. т/год баритового сырья при потреблении до 5 тыс. т/год, но с 2008 г. импортирует и экспортирует 30–80 тыс. т/год барита.

Таиланд осуществляет добычу барита на месторождении Буа Хин Хоа – 50–200 тыс. т/год при внутреннем потреблении 50–150 тыс. т/год. Импорт и экспорт баритового сырья ранее находился на уровне 20–30 тыс. т/год, но с 2010 г. объемы увеличились до 60–130 тыс. т/год. Отчасти это результат транзитной торговли баритом, поступающим из Лаоса, причем первое время сырую лаосскую руду обогащали непосредственно на предприятиях Таиланда.

Транзитные потоки баритового сырья через Бельгию, Сингапур и Гонконг небольшие – 20–40 тыс. т/год.

Другие баритодобывающие страны из числа G20. Британия в 1920–1930-е годы производила баритового сырья 40–80 тыс. т/год, максимальный уровень добычи 100–120 тыс. т/год был достигнут в 1940-е годы, после чего идет стабильное производство 30–60 тыс. т/год вплоть до настоящего времени. В разработке находится месторождение Аберфелд [31]. Национальное потребление также держится на достаточно стабильном уровне – 90–130 тыс. т/год, что требует обеспечения по импорту 60–90 тыс. т/год. Накопленная добыча Британии составила 6,4 млн т,



накопленное потребление – 12,3 млн т, остаточные ресурсы – 2,4 млн т.

Канада, разрабатывающая с 1944 г. месторождения Селвун и Валтон (100–300 тыс. т/год), с 1982 г. сократила добычу до 30–50 тыс. т/год, сохраняя этот уровень до настоящего времени. В 1940–1970-е годы добытое баритовое сырье направлялось на экспорт (100–200 тыс. т/год), преимущественно в США. Но потребности национальной нефтегазовой промышленности Канады переориентировали товарные потоки, с 1979 г. экспорт практически прекратился, а с 1999 г. начали расти объемы импорта барита (100–400 тыс. т/год). Накопленная добыча Канады составила 6,8 млн т, накопленное потребление – 6,0 млн т, остаточные ресурсы баритового сырья – 10,6 млн т.

Италия в 1920–1950-е годы производила баритового сырья 20–100 тыс. т/год, в 1960–1980-е годы – 100–200 тыс. т/год, в 1990-е снизила уровень добычи до 40–70 тыс. т/год. В разработке находились месторождения Барега и Монт-Эга. По импорту баритового сырья приобреталось всего 20–40 тыс. т/год. До 1950-х годов уровень национального потребления барита в Италии составлял 20–50 тыс. т/год, но в 1960–1980-е годы на фоне развития химической промышленности он увеличился до 100–200 тыс. т/год, в дальнейшем стабилизировался на уровне 90–110 тыс. т/год. Накопленная добыча Италии составила 7,2 млн т, накопленное потребление – 8,8 млн т, остаточные ресурсы – 2,0 млн т.

Франция в 1920–1960-е годы производила баритового сырья 30–100 тыс. т/год, в 1970–1980-е годы – 100–200 тыс. т/год, в 1990-е годы 40–70 тыс. т/год, а в 2007 г. полностью прекратила добычные работы. В разработке находилось месторождение Шайлак. По импорту баритового сырья приобреталось всего 20–40 тыс. т/год. Накопленная добыча Франции составила 6,4 млн т, накопленное потребление – 7,3 млн т, остаточные ресурсы – 0,8 млн т.

Европейский союз (ЕС) представляет собой сложный конгломерат, среди которых есть страны, добывающие барит (Болгария, Британия, Германия, Словакия), страны, только потребляющие баритовое сырье (Италия, Польша, Чехия, Австрия), и страны транзитной торговли (Нидерланды, Испания, Бельгия). В ре-

зультате, несмотря на критичность для ЕС баритового сырья в целом (68–82 % импорта от спроса), имеет место и значительный встречный экспортный поток (до 25 %). Накопленная добыча ЕС составляет 63,0 млн т, накопленное потребление – 77,5 млн т, остаточные ресурсы – 0,8 млн т.

Страны – чистые импортеры баритового сырья. *Саудовская Аравия*, длительное время потреблявшая баритовое сырье на уровне 10–30 тыс. т/год, с 2004 г. в связи с переходом на вторичные и третичные технологии добычи нефти значительно увеличила объемы буровых работ и, соответственно, потребления барита (вплоть до максимума в 1,2 млн т в 2016 г.). Накопленное национальное потребление баритового сырья в Саудовской Аравии составляет 9,8 млн т.

Норвегия, начавшая осваивать нефтегазовые месторождения Северного моря, с 1979 г. импортирует значительные объемы баритового сырья (100–300 тыс. т/год) [3]. Накопленное национальное потребление барита в Норвегии составляет 5,6 млн т.

В последнее время наращиваются объемы потребления барита также в Кувейте (до 215 тыс. т/год), Аргентине (до 180 тыс. т/год), Индонезии (до 150 тыс. т/год) и ОАЭ (до 80 тыс. т/год) [3].

Критичность мировой торговли баритовым сырьем. Доля международной торговли баритовым сырьем непрерывно растет – с 5–14 % в 1940-х годах до 55–70 % в 2010-х годах (рис. 5).

По соотношению долей импорта и экспорта баритового сырья (рис. 6) можно выделить следующие группы стран:

- страны-импортеры критического уровня (импорт свыше 50 %) – Алжир, Германия, США, Европейский союз, Малайзия, Канада, Аргентина, Италия, Азербайджан, Оман, Кувейт, Саудовская Аравия, Индонезия, ОАЭ, Норвегия;

- страны-импортеры с умеренным импортом – Британия, Россия, Бразилия;

- страны-экспортеры с малой долей экспорта (до 50 %) – Болгария, Китай, Мексика, Казахстан;

- страны-экспортеры с высокой долей экспорта – Марокко, Турция, Индия, Пакистан, Лаос, Иран;

- страны транзитной торговли баритовым сырьем – Нидерланды, Тунис, Испания, Таиланд.

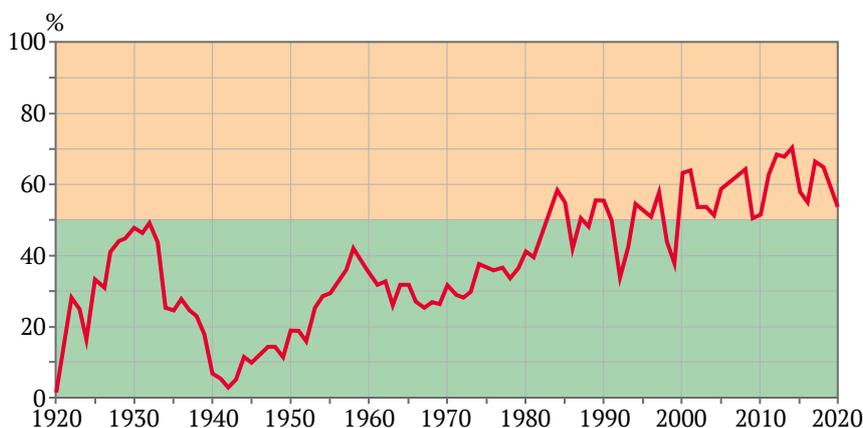


Рис. 5. Соотношение объемов международной торговли (экспорта/импорта) и предложения (добычи) баритового сырья, %

Суммарный валовой национальный продукт стран-импортеров баритового сырья критического уровня составляет 38,8 % от мирового ВВП, стран-экспортеров (и с малой, и с высокой долями экспорта) – 31,0 %, стран транзитной торговли – 3,2 %. Таким образом, критичность рынка международной торговли баритом весьма высока, в первую очередь для членов G20 (США, Европейский союз, Саудовская Аравия, Индонезия и Аргентина).

Снижение критичности обеспеченности баритовым сырьем возможно путем снижения его потребления и увеличения добычи барита с вводом в эксплуатацию новых месторождений.

Сокращение потребления баритового сырья путем нахождения заменителей или отказа от его использования. В лакокрасочной промышленности баритовый наполнитель успешно замещается диоксидом титана и отбеленным каолином, но этот процесс весьма медленный. Все упирается в традиционный консерватизм потребителей, привыкших к знакомым товарным продуктам. Тем не менее Япония с потреблением барита 100–150 тыс. т/год в 1980–1990-годы сократила к 2010-м годам его спрос до 25–40 тыс. т/год. Сократилось потребление баритового сырья также во Франции, Италии, Чехии. В Южной Корее изначально были малые объемы использования барита (25–40 тыс. т/год), что свидетельствует о планируемом

ограничении его применимости (плановом ограничении его применения). В принципе, возможно также замещение барита в главном сегменте его потребления – в буровых растворах – чешуйчатым гематитом (по физическим и эксплуатационным свойствам), но на практике такая замена не получила распространения. Даже в новых сверхтяжелых буровых растворах на основе бромидов используется барит, по сути, дело уже не в качестве утяжелителя, а в наполнителе и загустителе жидкости.

Имеющихся подготовленных мировых ресурсов баритового сырья (740 млн т) при современном уровне его спроса достаточно на 70–80 лет потребления. Наиболее благоприятная ситуация с ресурсами барита в Китае, Иране и Казахстане. Сложности проявляются в том, что большая их часть находится вне национальных территорий критичных стран-импортеров барита. Их освоение является проблемой – относительная дешевизна баритового сырья делает проекты их освоения малопривлекательными. Проблемными являются проекты разработки баритовых месторождений в условиях Заполярья – Хойлинская группа в России, Бассейна Джемесон Лэнд в Гренландии и Бассейна Цутавэй на Аляске. По условиям логистики тоже есть проблемы, к примеру, центры добычи баритового сырья в Казахстане находятся вдали от морских портов, что значительно увеличи-



Рис. 6. Диаграмма соотношения объемов импорта экспорта и объемов предложения (добыча + импорт) баритового сырья в 2020 г. для стран с товарными потоками барита свыше 50 тыс. т, %



вает транспортную составляющую в себестоимости отгружаемой продукции. Кроме того, негативными сигналами являются политические санкции против отдельных стран (Ирана, России, Китая и др.), что уже привело к снижению экспортных поставок барита из Китая и Ирана. Тем не менее имеются возможности решать эти сложные вопросы, возобновить добычу на остановленных производствах в Австралии, ЮАР, Грузии, а также осуществлять новые геолого-разведочные проекты на территориях новых стран (по примеру открытий баритовых месторождений в Лаосе).

Принципиально новым источником баритового сырья могут стать современные хемогенные осадки барита, обнаруженные на дне впадины Дерюгина в Охотском море (см. рис. 1) [32]. Они обнаружены на площади до 16 км² на относительно небольших глубинах 1470–1480 м в виде травертиноподобных скоплений, конкреций и корок. Ресурсы баритовых осадков этого поля составляют до 10 млн т BaSO₄, что отвечает средней концентрации баритовых образований до 600 кг/м² [33, 34]. Подобные современные морские баритовые осадки обнаружены и на других участках морского дна мирового океана [35], причем кроме хемогенного их образования предлагается и биогенный генезис современного морского барита [36]. Ранее бариты донных осадков морей даже не рассматривались как потенциально полезный ресурс. По аналогии с проектами освоения месторождений глубоководных железомарганцевых конкреций разработка подводных баритовых осадков технически и экономически возможна. Кроме того, появление нового хемогенного типа баритовых месторождения требует переосмысления геологических прогнозов поиска подобных месторождений в древних батинальных и абиссальных осадочных формациях.

Выводы

Производство баритового сырья непрерывно растет и достигло в 2010-х годах 8,0–9,6 млн т/год, доля международной торговли баритом также возросла до 4,2–6,0 млн т/год, или до 55–70 % от его мировой добычи. Накопленная мировая добыча барита за 1920–2020 гг. составила 550 млн т, имеющиеся мировые ресурсы барита в подготовленных для эксплуатации месторождениях оцениваются в 740 млн т.

Признаки критичности товарных потоков баритового сырья для национальных экономик стран – высокая доля импорта от предложения (свыше 50 %) при достаточно значительных объемах импорта (свыше 50 тыс. т/год) и превышение накопленных объемов национального потребления над национальной добычей.

Группа критичных стран-импортеров баритового сырья (импорт свыше 50 %) представляет 38,8 % ВВП мировой экономики. В 2020 г. они импортировали: США – 1,5 млн т, 68 % от спроса, Европейский Союз – 512 тыс. т, 75 %, в т.ч. Германия – 91 тыс. т, 70 %) и Италия – 96 тыс. т, 97 %, Саудовская Аравия – 500 тыс. т, 100 %, Канада – 290 тыс. т, 88 %, Кувейт – 208 тыс. т, 100 %, Норвегия – 118 тыс. т, 100 %,

Оман – 95 тыс. т, 100 %, Алжир – 75 тыс. т, 65 %, Малайзия – 70 тыс. т, 82 %, Индонезия – 62 тыс. т, 100 %, ОАЭ – 91 тыс. т, 100 %, Азербайджан – 59 тыс. т, 100 %, Аргентина – 51 тыс. т, 88 %.

Группа стран-экспортеров баритового сырья включает 31,0 % ВВП мировой экономики. В 2020 г. они экспортировали: Индия – 1,46 млн т, 73 % от производства, Марокко – 1,07 млн т, 97 %, Китай – 541 тыс. т, 21 %, Казахстан – 217 тыс. т, 48 %, Турция – 181 тыс. т, 87 %, Иран – 162 тыс. т, 54 %, Лаос – 100 тыс. т, 56 %, Мексика – 101 тыс. т, 35 %, Пакистан – 91 тыс. т, 63 %.

Баритовое сырье фактически невозможно заменить в сегменте основного его применения для производства буровых растворов. Имеется тенденция увеличения мирового потребления утяжеленных буровых растворов ввиду системных изменений разработки нефтегазовых месторождений, связанных с общим увеличением глубинности бурения для вскрытия нефтегазовых залежей с 1–2 до 3–5 км и интенсивным вовлечением в разработку трудноизвлекаемых запасов сланцевой нефти и газа, требующих по технологической схеме проходки в 5–8 раз большего количества эксплуатационных скважин.

Мировой спрос барита в ближайшем будущем будет только увеличиваться ввиду роста его потребления из-за системных изменений разработки нефтегазовых месторождений, связанных с общим увеличением глубинности бурения и интенсивным вовлечением в разработку трудноизвлекаемых запасов сланцевой нефти и газа. Соответственно, растут потребление и импорт критического баритового сырья в нефтегазодобывающие страны – США, Саудовскую Аравию, Кувейт, Индонезию, Англию, Канаду и Норвегию.

Мировая сырьевая база баритового сырья позволяет наращивать его добычу как в традиционных добывающих странах (Марокко, Мексика), так и в новых странах – лидерах экспорта барита (Индия, Китай). Состояние добычи барита в России хоть и критично (единственное добывающее предприятие), но вполне решаемо с позиции его будущего обеспечения путем ввода в эксплуатацию новых месторождений и формированием управляемых импортных потоков барита из дружественных стран (Казахстан, Индия, Китай, Иран).

Снижение критичности обеспеченности баритовым сырьем возможно путем снижения его потребления в лакокрасочном использовании (что и осуществляется в Японии, Франции, Италии и Чехии), а также увеличения мировой добычи барита с вводом в эксплуатацию новых месторождений, учитывая значительные подготовленные ресурсы этого сырья в Иране, Казахстане и Пакистане. Возможны обнаружение новых месторождений барита на слабоизученных в геологическом отношении территориях (Монголии, Лаоса, Мьянмы, Западной Сахары, шельфа побережья Марокко и др.), а также поиски нового хемогенного типа баритовых месторождений на дне морей и в древних батинальных и абиссальных осадочных формациях.



Список литературы

1. Bearden S.D. Barite: World sources and the US market. *Mining Engineering*. 1997;49(11):87–88.
2. Bonel K.A. *Mineral profile: Barites*. British Geological Survey; 2005. 28 p.
3. Боярко Г. Ю., Хатьков В. Ю. Обзор состояния производства и потребления баритового сырья в России. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(10):180–191. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3403>
4. Schulz K.J., DeYoung J.H., Seal R.R., Bradley D.C. (eds.) *Critical mineral resources of the United States – economic and environmental geology and prospects for future supply*. United States Geological Survey; 2017. 862 p. <https://doi.org/10.3133/pp1802>
5. Chen J.B., Huo W.M., Feng D.D. Analysis of strategic (critical) mineral resources situation in China and the U.S. and the EU. *Natural Resources. Economy of China*. 2020;33(8):9–17. (In Chinese)
6. Jiang Y., Wang T., Long T. Research on listing barite as a strategic mineral resource. *Acta Geoscientica Sinica*. 2021;42(2):297–302. (In Chinese) <https://doi.org/10.3975/cagsb.2020.110204>
7. Еремин Н. И. Критические металлы. *Геология рудных месторождений*. 2016;58(6):595–596. <https://doi.org/10.7868/S0016777016060034>
8. Хатьков В. Ю. О товарных потоках импортозависимых минеральных продуктов. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2017;(5):66–71.
9. Singh R. K., Kumar A., Garza-Reyes J.A., de S'a M. M. Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity. *Resources Policy*. 2020;69(4):101752. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101752>
10. Касымов М. А. Формационные типы баритовых месторождений. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2014;(33):108–112.
11. Ахманов Г. Г., Васильев Н. Г. *Минеральное сырье. Барит. Справочник*. М.: Геоинформмарк; 1997. 39 с.
12. Clark S.H.B., Poole F.G., Wang Z. Comparison of some sediment-hosted, stratiform barite deposits in China, the United States, and India. *Ore Geology Reviews*. 2004;24(1–2):85–101. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2003.08.009>
13. Howard K. W., Hanor J.S. Compositional zoning in the Fancy Hill stratiform barite deposit, Ouachita Mountains, Arkansas, and evidence for the lack of associated massive sulfides (USA). *Economic Geology*. 1987;82(5):1377–1385. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.82.5.1377>
14. Koski R.A., Hein J.R. Stratiform barite deposits in the Roberts Mountains allochthon, Nevada: a review of potential analogs in modern sea-floor environments. *Chapter H of Contributions to industrial-minerals research. United States Geological Survey Bulletin*. 2003;2209-H.
15. Wang F.-L., Huang Y., Fu Y. et al. A study of the enrichment mechanism of early Cambrian barite in Eastern Guizhou: Constraint from sulfur isotope. *Acta Geoscientica Sinica*. 2020;41(5):686–698. <https://doi.org/10.3975/cagsb.2020.081701> (In Chinese)
16. Zhou X., Li R., Tang D., Huang K.-J. et al. Cold seep activity in the early Cambrian: Evidence from the world-class shale-hosted Tianzhu barite deposit, South China. *Sedimentary Geology*. 2022;439:106220. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2022.106220>
17. Li Y., Zou H., Said N., Liu H. A new classification of barite deposits in China. *Ore and Energy Resource Geology*. 2023;14(3). <https://doi.org/10.1016/j.oreoa.2023.100019>
18. George B.G., Shalini N., Pandian M.S. et al. Strontium and Sulphur isotopic constraints on the formation of the Mangampeta barite deposit, Cuddapah basin. *Current Science*. 2013;105(4):499–504.
19. Rajlich P., Legierski J., Šmejkal V. Stable isotope study of base metal deposits from the Eastern High Atlas, Morocco. *Mineralium Deposita*. 1983;18(2):161–171. <https://doi.org/10.1007/BF00206206>
20. Jaillard L. The barite massive orebody at Tarhwacht, Western High Atlas, Morocco, hosted by an albitite of sedimentary origin. *Comptes Rendus – Academie des Sciences, Serie II*. 1987;304(14):847–853.
21. Jébrak M., el Wartiti M., Marcoux E., Zaharoui M. The Bouznika Cambrian barite deposit (Morocco), an early mineralization on the Iapetus margin. *Journal of African Earth Sciences*. 2011;60(3):53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2011.02.001>
22. Ibrahim D., Ahmed B., Habiba A. et al. Contribution of geophysics to the study of barite mineralization in the paleozoic formations of Asdaf Tinejdad (Eastern Anti Atlas Morocco). *Economic and Environmental Geology*. 2020;53(3):259–269. <https://doi.org/10.9719/EEG.2020.53.3.259>
23. González-Sánchez F., González-Partida E., Canet C. et al. Geological setting and genesis of stratabound barite deposits at Múzquiz, Coahuila in northeastern Mexico. *Ore Geology Reviews*. 2017;81(3):1184–1192. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.10.008>
24. Elmas N., Kumral M., Suner F., Tasdelen S. Stratiform barite deposits hosted in metamorphic assemblages of Dinek and surrounding regions, Isparta, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2012;48(4):150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.11.013>
25. Kekeliya S.A., Tvalchrelidze A.G., Yaroshevich V.Z. The geological and physicochemical conditions of formation of massive-sulfide-barite-base-metal deposits. *International Geology Review*. 1984;26(12):1437–1444. <https://doi.org/10.1080/00206818409466664>



26. Large D., Walcher E. The Rammelsberg massive sulphide Cu-Zn-Pb-Ba-Deposit, Germany: an example of sediment-hosted, massive sulphide mineralization. *Mineralium Deposita*. 1999;34(5/6):522–538. <https://doi.org/10.1007/s001260050218>
27. Tolmacheva T., Ryazantsev A., Degtyarev K., Nikitina O. Hydrothermal barite deposits in Upper Cambrian-Lower Ordovician siliceous successions of southern Kazakhstan. *Doklady Earth Sciences*. 2014;458(1):1077–1081. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14090347>
28. Jamali H., Zohouri F.S., Tabatabaei Manesh S.M. Exhalative deposits in eocene volcano-sedimentary rocks in the middle part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt: Detailed evidence from Nabar deposit, west of Kashan, Urumieh – Dokhtar Magmatic Belt. *Journal of African Earth Sciences*. 2019;154(5):120–135. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.011>
29. Derakhshi M.G., Mohammad R.H., Moayyed M., Maghfouri S. Metallogenesis of Precambrian SEDEX-type Barite-(Pb-Cu-Zn) deposits in the Mishu mountain, NW Iran: Constrains on the geochemistry and tectonic evolution of mineralization. *Ore Geology Reviews*. 2019;107:310–335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.024>
30. Ma Z., Ravelo A.C., Liu Z. et al. Export production fluctuations in the eastern equatorial Pacific during the Pliocene-Pleistocene: Reconstruction using barite accumulation rates. *Paleoceanography*. 2015;30(11):1455–1469. <https://doi.org/10.1002/2015PA002860>
31. Moles N.R. *Geology, geochemistry and petrology of the Foss stratiform barite-base metal deposit and adjacent Dalradian metasediments, near Aberfeldy, Scotland*. [Dissertation.] University of Edinburgh; 1985. URL: <http://hdl.handle.net/1842/11180>
32. Baranov B., Aloisi V., Degrachev A. Giant barite deposit mapped and the Derugin Basin (Okhotsk Sea). In: *Minerals of the Ocean – integrated strategies – 2*. 25–30 April, 2004. Saint Petersburg, Russia.
33. Астахов А.С., Ивин В.В., Карнаух В.Н., и др. Современные геологические процессы и условия формирования баритовой залежи в котловине Дерюгина Охотского моря. *Геология и геофизика*. 2017;58(2):200–214. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.01.002>
34. Андреев С.И., Казакова В.Е., Иванова А.М., Смирнов А.Н. Геология и полезные ископаемые дальневосточных морей России. В: *70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане*. Сборник научных трудов. СПб: ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга; 2018. С. 444–454.
35. Gwiazda P.X., Paull C.K., Caress D., Preston C.M., Johnson's S.B., Lundsten E.M., Anderson K. The Extent of Fault-Associated Modern Authigenic Barite Deposits Offshore Northern Baja California Revealed by High-Resolution Mapping. *Frontiers in Marine Science*. 2019;6:460. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00460>
36. Gonzalez-Muñoz M.T., Martinez-Ruiz F., Morcillo F., et al. Precipitation of barite by marine bacteria: A possible mechanism for marine barite formation. *Geology*. 2012;40(8):675–678. <https://doi.org/10.1130/G33006.1>

References

1. Bearden S.D. Barite: World sources and the US market. *Mining Engineering*. 1997;49(11):87–88.
2. Bonel K.A. *Mineral profile: Barites*. British Geological Survey; 2005. 28 p.
3. Boyarko G. Yu., Khatkov V. Yu. Current state of production and consumption of barite raw materials in Russia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(10):180–191. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3403>
4. Schulz K.J., DeYoung J.H., Seal R.R., Bradley D.C. (eds.) *Critical mineral resources of the United States – economic and environmental geology and prospects for future supply*. United States Geological Survey; 2017. 862 p. <https://doi.org/10.3133/pp1802>
5. Chen J.B., Huo W.M., Feng D.D. Analysis of strategic (critical) mineral resources situation in China and the U.S. and the EU. *Natural Resources. Economy of China*. 2020;33(8):9–17. (In Chinese)
6. Jiang Y., Wang T., Long T. Research on listing barite as a strategic mineral resource. *Acta Geoscientica Sinica*. 2021;42(2):297–302. (In Chinese) <https://doi.org/10.3975/cagsb.2020.110204>
7. Eremin N.I. Critical metals. *Geologiya Rudnyh Mestorozhdenij*. 2016;58(6):595–596. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0016777016060034>
8. Khatkov V.Y. Trade flows of import-dependent mineral products. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2017;(5):66–71. (In Russ.)
9. Singh R.K., Kumar A., Garza-Reyes J.A., de S'a M.M. Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity. *Resources Policy*. 2020;69(4):101752. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101752>
10. Kasymov M.A. Formation types of barite deposits. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*. 2014;(33):108–112. (In Russ.)
11. Akhmanov G.G., Vasiliev N.G. *Mineral raw materials. Barite*. Handbook. Moscow: Geoinformmark; 1997. 39 p. (In Russ.)



12. Clark S.H.B., Poole F.G., Wang Z. Comparison of some sediment-hosted, stratiform barite deposits in China, the United States, and India. *Ore Geology Reviews*. 2004;24(1–2):85–101. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2003.08.009>
13. Howard K.W., Hanor J.S. Compositional zoning in the Fancy Hill stratiform barite deposit, Ouachita Mountains, Arkansas, and evidence for the lack of associated massive sulfides (USA). *Economic Geology*. 1987;82(5):1377–1385. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.82.5.1377>
14. Koski R.A., Hein J.R. Stratiform barite deposits in the Roberts Mountains allochthon, Nevada: a review of potential analogs in modern sea-floor environments. *Chapter H of Contributions to industrial-minerals research. United States Geological Survey Bulletin*. 2003;2209-H.
15. Wang F.-L., Huang Y., Fu Y. et al. A study of the enrichment mechanism of early Cambrian barite in Eastern Guizhou: Constraint from sulfur isotope. *Acta Geoscientica Sinica*. 2020;41(5):686–698. <https://doi.org/10.3975/cagsb.2020.081701> (In Chinese)
16. Zhou X., Li R., Tang D., Huang K.-J. et al. Cold seep activity in the early Cambrian: Evidence from the world-class shale-hosted Tianzhu barite deposit, South China. *Sedimentary Geology*. 2022;439:106220. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2022.106220>
17. Li Y., Zou H., Said N., Liu H. A new classification of barite deposits in China. *Ore and Energy Resource Geology*. 2023;14(3). <https://doi.org/10.1016/j.oreoa.2023.100019>
18. George B.G., Shalini N., Pandian M.S. et al. Strontium and Sulphur isotopic constraints on the formation of the Mangampeta barite deposit, Cuddapah basin. *Current Science*. 2013;105(4):499–504.
19. Rajlich P., Legierski J., Šmejkal V. Stable isotope study of base metal deposits from the Eastern High Atlas, Morocco. *Mineralium Deposita*. 1983;18(2):161–171. <https://doi.org/10.1007/BF00206206>
20. Jaillard L. The barite massive orebody at Tarhwacht, Western High Atlas, Morocco, hosted by an albitite of sedimentary origin. *Comptes Rendus – Academie des Sciences, Serie II*. 1987;304(14):847–853.
21. Jébrak M., el Wartiti M., Marcoux E., Zaharoui M. The Bouznika Cambrian barite deposit (Morocco), an early mineralization on the Iapetus margin. *Journal of African Earth Sciences*. 2011;60(3):53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2011.02.001>
22. Ibrahim D., Ahmed B., Habiba A. et al. Contribution of geophysics to the study of barite mineralization in the paleozoic formations of Asdaf Tinejdad (Eastern Anti Atlas Morocco). *Economic and Environmental Geology*. 2020;53(3):259–269. <https://doi.org/10.9719/EEG.2020.53.3.259>
23. González-Sánchez F., González-Partida E., Canet C. et al. Geological setting and genesis of stratabound barite deposits at Múzquiz, Coahuila in northeastern Mexico. *Ore Geology Reviews*. 2017;81(3):1184–1192. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.10.008>
24. Elmas N., Kumral M., Suner F., Tasdelen S. Stratiform barite deposits hosted in metamorphic assemblages of Dinek and surrounding regions, Isparta, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2012;48(4):150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.11.013>
25. Kekeliya S.A., Tvalchrelidze A.G., Yaroshevich V.Z. The geological and physicochemical conditions of formation of massive-sulfide-barite-base-metal deposits. *International Geology Review*. 1984;26(12):1437–1444. <https://doi.org/10.1080/00206818409466664>
26. Large D., Walcher E. The Rammelsberg massive sulphide Cu-Zn-Pb-Ba-Deposit, Germany: an example of sediment-hosted, massive sulphide mineralization. *Mineralium Deposita*. 1999;34(5/6):522–538. <https://doi.org/10.1007/s001260050218>
27. Tolmacheva T., Ryazantsev A., Degtyarev K., Nikitina O. Hydrothermal barite deposits in Upper Cambrian-Lower Ordovician siliceous successions of southern Kazakhstan. *Doklady Earth Sciences*. 2014;458(1):1077–1081. <https://doi.org/10.1134/S1028334X14090347>
28. Jamali H., Zohouri F.S., Tabatabaei Manesh S.M. Exhalative deposits in eocene volcano-sedimentary rocks in the middle part of the Urumieh-Dokhtar magmatic belt: Detailed evidence from Nabar deposit, west of Kashan, Urumieh – Dokhtar Magmatic Belt. *Journal of African Earth Sciences*. 2019;154(5):120–135. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.011>
29. Derakhshi M.G., Mohammad R.H., Moayyed M., Maghfouri S. Metallogenesis of Precambrian SEDEX-type Barite-(Pb-Cu-Zn) deposits in the Mishu mountain, NW Iran: Constrains on the geochemistry and tectonic evolution of mineralization. *Ore Geology Reviews*. 2019;107:310–335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.024>
30. Ma Z., Ravelo A.C., Liu Z. et al. Export production fluctuations in the eastern equatorial Pacific during the Pliocene-Pleistocene: Reconstruction using barite accumulation rates. *Paleoceanography*. 2015;30(11):1455–1469. <https://doi.org/10.1002/2015PA002860>
31. Moles N.R. *Geology, geochemistry and petrology of the Foss stratiform barite-base metal deposit and adjacent Dalradian metasediments, near Aberfeldy, Scotland*. [Dissertation.] University of Edinburgh; 1985. URL: <http://hdl.handle.net/1842/11180>
32. Baranov B., Aloisi V., Degrachev A. Giant barite deposit mapped and the Derugin Basin (Okhotsk Sea). In: *Minerals of the Ocean – integrated strategies – 2*. 25–30 April, 2004. Saint Petersburg, Russia.



33. Astakhov A.S., Ivin V.V., Karnaukh V.N., et al. Barite mineralization in the Deryugin Basin of the Okhotsk Sea: Active processes and formation conditions. *Russian Geology and Geophysics*. 2017;58(2):200–214. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.01.002>

34. Andreev S.I., Kazakova V.E., Ivanova A.M., Smirnov A.N. Geology and minerals of the Far Eastern seas of Russia. In: *70 years in the Arctic, Antarctic and oceans. Collection of scientific papers*. St. Petersburg: All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Academician I.S. Gramberg; 2018. Pp. 444–454.

35. Gwiazda P.X., Paull C.K., Caress D., Preston C.M., Johnson's S.B., Lundsten E.M., Anderson K. The Extent of Fault-Associated Modern Authigenic Barite Deposits Offshore Northern Baja California Revealed by High-Resolution Mapping. *Frontiers in Marine Science*. 2019;6:460. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00460>

36. Gonzalez-Muñoz M.T., Martinez-Ruiz F., Morcillo F., et al. Precipitation of barite by marine bacteria: A possible mechanism for marine barite formation. *Geology*. 2012;40(8):675–678. <https://doi.org/10.1130/G33006.1>

Информация об авторах

Григорий Юрьевич Боярко – доктор экономических наук, кандидат геолого-минералогических наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-0715-7807](https://orcid.org/0000-0002-0715-7807), Scopus ID [56350674500](https://scopus.com/authorid/56350674500); e-mail gub@tpu.ru

Людмила Михайловна Болсуновская – кандидат филологических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-1499-8970](https://orcid.org/0000-0002-1499-8970), Scopus ID [56350747600](https://scopus.com/authorid/56350747600); e-mail bolsunovskl@tpu.ru

Information about the authors

Grigory Yu. Boyarko – Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Geol. and Min.), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-0715-7807](https://orcid.org/0000-0002-0715-7807), Scopus ID [56350674500](https://scopus.com/authorid/56350674500); e-mail gub@tpu.ru

Liudmila M. Bolsunovskaya – Cand. Sci. (Philolog.), Assistant Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-1499-8970](https://orcid.org/0000-0002-1499-8970), Scopus ID [56350747600](https://scopus.com/authorid/56350747600); e-mail bolsunovskl@tpu.ru

Поступила в редакцию 24.02.2023
Поступила после рецензирования 20.03.2022
Принята к публикации 21.03.2022

Received 24.02.2023
Revised 20.03.2022
Accepted 21.03.2022