

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОГО И МИРОВОГО РЫНКА ГАЛЛИЯ

Ф. Д. Ларичкин, А. Е. Череповицын, В. Д. Новосельцева, Л. И. Гончарова

State and prospects of Russian and world gallium market

F. D. Larichkin, A. E. Cherepovitsyn, V. D. Novosel'tseva, L. I. Goncharova

The authors consider the state of Russian and world mineral and raw materials base of gallium, the main spheres of application in various branches and industries of the national economy. The article presents the generalization and analysis of trends in world and Russian production, consumption of rare metal and its compounds, the world trade and global market of gallium and products based on it, consuming it in new science-intensive innovative industries, including the production of military equipment. The unique chemical properties of gallium remained unclaimed for a long time. Only after the discovery of the semiconductor properties of gallium compounds has the situation radically changed: the rate of growth in production and consumption of metallic gallium at the end of the twentieth and beginning of the 21st century amounted to an average of more than 8% per year. The largest area of consumption of gallium is the production of semiconductor materials – gallium arsenide (GaAs) and gallium nitride (GaN). The areas of application of gallium not related to the semiconductor industry are very small. Industry structure of consumption of GaAs and GaN: in integrated circuits is 66%; optoelectronic devices (light-emitting diodes, laser diodes, photodetectors and solar batteries) – 20%; the remaining 14% – scientific research, special alloys, etc. Optoelectronic devices are used in aerospace industry, consumer goods, industrial and medical equipment and telecommunications. Integral circuits are used in the military industry, high-power computers and electronic communications. The most significant growing sectors of the market are LEDs, electronics based on gallium nitride and solar cells. Solar energy has become the fastest growing branch of the world economy. The volumes of gallium production in Russia do not correspond to its raw material, scientific and technological potential as the country and require the development activation based on state support.

Keywords: gallium; Russian and world resources; production; consumption; prices; markets; main trends; Russian opportunities and prospects.

Рассмотрены состояние российской и мировой минерально-сырьевой базы галлия, основные сферы применения в различных отраслях и производствах народного хозяйства. Выполнены обобщение и анализ тенденций мирового и российского производства, потребления редкого металла и его соединений, мировой торговли и глобального рынка галлия и продукции на его основе, потребляемых в новых наукоемких инновационных производствах, включая производство военной техники. Уникальные химические свойства галлия долгое время оставались невостребованными. Только после обнаружения полупроводниковых свойств соединений галлия ситуация в корне изменилась: темпы прироста добычи и потребления металлического галлия в конце XX и начале XXI в. составляли в среднем более 8 % в год. Крупнейшей областью потребления галлия является производство полупроводниковых материалов – арсенида галлия (GaAs) и нитрида галлия (GaN). Области применения галлия, не связанные с полупроводниковой промышленностью, очень небольшие. Отраслевая структура потребления GaAs и GaN: в интегральных схемах – 66 %; оптоэлектронных устройствах (светодиодах, лазерных диодах, фотодетекторах и солнечных батареях) – 20 %; остальные 14 % – в научно-исследовательских работах, специальных сплавах и др. Оптоэлектронные устройства используются в аэрокосмической промышленности, потребительских товарах, промышленном и медицинском оборудовании и телекоммуникациях. Интегральные схемы применяются в военной промышленности, высокомошных компьютерах и электронной связи. Наиболее значимыми растущими секторами рынка являются светодиоды, электроника на основе нитрида галлия и солнечные элементы. Солнечная энергетика стала самой быстрорастущей отраслью мировой экономики. Объемы производства галлия в России не соответствуют ее сырьевому, научно-технологическому потенциалу страны и требуют активизации развития на основе государственной поддержки.

Ключевые слова: галлий; российские и мировые ресурсы; производство; потребление; цены; рынки; основные тенденции; российские возможности и перспективы.

Введение
Галлий (Ga) – сравнительно мягкий и пластичный металл, образует сплавы со многими металлами в широком диапазоне температур (30–600 °С), отличается низкой температурой плавления (29,8 °С) широким температурным интервалом нахождения в жидком состоянии и способностью к расширению при затвердевании. При обычной температуре галлий устойчив к окислению, при нагревании энергично соединяется с кислородом, серой и йодом, легко растворяется в соляной и серной кислотах, но медленно в азотной и хлорной кислотах. Соли галлия (GaAs, GaAsP) в отличие от солей алюминия больше подвержены гидролизу. Уникальные химические свойства галлия долгое время оставались невостребованными. Только после обнаружения полупроводниковых свойств соединений галлия ситуация в корне изменилась: темпы прироста добычи и потребления металлического галлия за 1990–2008 гг. составляли в среднем 8,2 % в год, а в абсолютном выражении за это время увеличились с 6,5 до 270 т (без России и СНГ).

Ресурсы

Кларк галлия – 19 г/т с широким диапазоном содержания: от 2 г/т в ультраосновных до 18 г/т в средних горных породах. Средне содержание Ga в апатито-нефелиновых рудах 15 г/т, в нефелиновом концентрате – 35 г/т. Основным источником галлия и его соединений являются бокситы, а также нефелиновые концентраты и полиметаллические руды, в которых галлий является попутным компонентом. В качестве потенциального источника галлия рассматриваются угли, медистые сланцы, фосфориты, литиевые руды. Основные мировые резервы галлия связывают с месторождениями бокситов, запасы которых настолько велики, что не будут истощены в течение многих десятилетий. Однако большая часть галлия, содержащегося в боксите, остается недоступной вследствие недостатка производственных мощностей, объем которых диктуется экономическими причинами. Реальные запасы галлия трудно поддаются оценке. По мнению специалистов U.S. Geological Surveys, мировые ресурсы галлия, связанные с месторождениями бокситов, составляют 1 млн т. Значительными запасами галлия обладают Китай, США, Россия, Украина, Казахстан.

Свыше 90 % мирового выпуска Ga обеспечивается за счет переработки бокситов и частично нефелинов (10 %). Мировые ресурсы Ga не оцениваются, поскольку для его производства используется менее 1/10 части перерабатываемых бокситов, обеспеченность запасами которых является долгосрочной. По оценке Горного бюро США, прогнозные ресурсы Ga в ведущих сырьевых странах мира превышают 0,5 млн т, из них извлекаемые – 385 тыс. т. Такая оценка является, безусловно, заниженной, поскольку в ней не учтены запасы России (125 тыс. т) и Китая (100 тыс. т). Ведущими сырьевыми странами являются США, Австралия, Гвинея, Бразилия, Ямайка и Индия; а также Камерун, Гвинея, Индонезия, Гана и Греция. Основная часть запасов галлия, изоморфно замещающего алюминий в кристаллической структуре глиноземных минералов, связана с бокситами (более 90 %), а также с нефелинами, алунидами и полиметаллическими рудами [1–3]. По обновленным сведениям [4], общемировые ресурсы галлия, сосредоточенные в бокситах, превышают 1 млн т при содержании галлия до 50 г/т; по оптимистичным данным, они оцениваются от 1 до 3 млн т. Содержания оксида галлия в бокситах зарубежных месторождений варьируют в интервале 30–80 г/т руды. Кроме того, часть запасов галлия с содержанием до 50 г/т приурочена к цинковым рудам (США, Канада, Австралия). В целом подтвержденные общемировые запасы галлия

Таблица 1. Распределение запасов галлия по промышленным типам руд в РФ¹.

Геолого-промышленные типы руд (количество месторождений)	Содержание галлия в руде, г/т	Доля в запасах ABC ₁ , %	Месторождения
Апатито-нефелиновые (7)	23,6	61	Группа Хибинских месторождений (разрабатываются 6)
Бокситовые (14)	52,8	33	Иксинское, Тихвинское и др. (разрабатываются 9)
Уртитовые (1)	19,1	4	Баянкольское месторождение (резервное)
Медноколчеданные (14)	9,4	1,5	Подольское, Юбилейное, Урупское и др. (разрабатываются 5)
Полиметаллические (7)	17,5	0,5	Корбалихинское, Золотушинское и др. (разрабатываются 2)
Всего в России (43)	27,9	100	Разрабатываемые (21), резервные (22)

превышают современный уровень его производства (270 т/год) на три порядка (в 3–5 тысяч раз), бокситов – в 300 раз (!), поэтому обеспеченность запасами не должна вызывать опасений в их исчерпаемости в обозримой перспективе. Однако следует иметь в виду, что возможности получения галлия из бокситового сырья ограничены мощностями основного глиноземного производства. В настоящее же время из бокситов извлекается до 20 % галлия, содержащегося в исходном сырье. При полном же использовании можно получить не менее 1400 т.

Собственные минералы галлия (галлит, майгрюн, корневалит и зенгеит) в природе редки и не имеют практического значения; они обнаружены только в полиметаллическом месторождении (Намибия) и в медно-кобальтовом месторождении (Заир). В качестве изоморфной примеси галлий входит в состав многих минералов, в которых его содержание незначительно (десятые-сотые доли процента): германит, ставролит, ярозит, корунд, сподумен, натролит, гагманит, диаспор, сподумен, алунит, дистен и др. По количеству запасов Ga Россия занимает лидирующее положение в мире. Однако структура отечественной МСБ принципиально иная: большая их часть связана с нефелином Хибинских апатитовых месторождений и бокситами Республики Коми, Архангельской, Свердловской, Челябинской областей и Красноярского края (30 %), с уртитам Баянкольского месторождения Республики Тыва (4 %); менее 2 % запасов приходится на низкосортные по содержанию галлия полиметаллические руды Ставрополя, Башкирии и Читинской области (табл. 1).

По состоянию на начало 2010 г. утвержденные ГКЗ РФ по промышленным категориям балансовые запасы Ga₂O₃ в России составили 118,3 тыс. т, из них 75,1 тыс. т в разрабатываемых ме-

сторождениях. В объеме ежегодной добычи 25–28 млн т хибинских апатито-нефелиновых руд из недр извлекается 350–400 т Ga₂O₃, а в годовом выпуске нефелинового концентрата (1,5 млн т) содержится 50–55 т. В структуре запасов и производстве галлия в странах СНГ доля России является преобладающей (соответственно 98,8 и 85,1 %) [5].

Производство

Основное количество галлия производится при переработке бокситов как побочный (попутный) продукт, меньшая часть его извлекается из цинковых руд. Ведущими продуцентами первичного галлия являются Китай, Германия, Япония, Казахстан и Украина. Данные по производству первичного галлия на большинстве предприятий засекречены, поэтому ежегодные объемы его производства трудно поддаются оценке. По оценкам Геологической службы США, производство первичного и рафинированного галлия, включая переработку скрапа, представлено в табл. 2. Основными производителями рафинированного галлия были Китай, Япония и США. Кроме того, галлий извлекали из нового скрапа в Германии, Японии, Великобритании и США.

Согласно данным маркетинговой фирмы Strategy Analytics, в 2009 г. рынок GaAs сократился на 23 % по сравнению 2008 г. Причем снижение начало происходить в конце 2008 г. [6]. С 2008 по 2011 г. наблюдалась повышательная динамика первичного производства (кроме 2009 г.) от 111 т галлия до 292 т с последующим снижением на 10–20 т. Более 60 % общемировых поставок галлия приходится на Китай, который является основным производителем данного металла [7].

Китайские мощности по производству первичного галлия (в качестве побочного продукта оксида алюминия), по оценкам, возросли с одной трети до 80 % от общемирового объема в период

Производство галлия, т¹.

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Первичное производство	880	80	111	79	182	292	273	280
Рафинировочное производство	103	103	135	118	161	378	354	Н/д

Данные US Geological Survey [5]; н/д – нет данных.

жду 2009 и 2013 г. (рис. 1) [8]. Примерно 220 т из этого объема было произведено в Китае, где накапливаются запасы. Значительные количества галлия производятся также в России, Венгрии и Словакии. В США первичный металл не производится.

Производителей галлия в мире немного. Лидером принято считать компанию GEO Gallium (дочерняя компания американской фирмы GEO Speciality Chemicals (GEOSC)), чьи мощности по извлечению галлия из алюминатных растворов в производстве глинозема расположены на предприятиях в Германии и Франции (выпуск 50 т металла в год) и в Австралии (проектное производство – 50 т в год). Японская фирма Dowa Mining является единственным в мире производителем первичного галлия из цинковых концентратов. Ее мощности оцениваются на уровне 20 т/год. В целом Dowa Mining контролирует 40 % японского рынка и 27 % мирового. На Украине Николаевский глиноземный завод (владелец – российская компания «РУСАЛ») по методу Байера перерабатывает бокситы, импортируемые из-за рубежа. На этом заводе выпуск галлия в 2006 г. составлял 12 т. Вторичное производство, особенно в Японии, является важной частью мирового предложения [9].

В России источниками галлия служат продукты глиноземного производства: бокситы (60–65 %) и нефелины (35 %); в ограниченном объеме используются отходы свинцово-цинкового производства. Себестоимость получения галлия из полиметаллических руд в 6–8 раз выше себестоимости металла из бокситов и нефелина. Производство технического галлия освоено на заводах: алюминиевых – Волховском, Уральском, Надвоицком и Кандалакшском; глиноземных – Бокситогорском и Пикалёвском и на Челябинском цинковом заводе [10]. Холдинг «РУСАЛ» способен выпускать до 21,5 т галлия в год благодаря мощностям Николаевского (15 т), Ачинского (1,5 т) и Бокситогорского (5 т) глиноземных комбинатов. Компания «СУАЛ» может производить около 11 т металла, располагая мощностями Пикалёвского глиноземного (9 т) и Уральского алюминиевого (2 т) заводов [11].

Институтом «ВАМИ» выполнены варианты расчеты извлечения галлия из бокситов и из нефелина Хибин, других альтернативных видов алюминиевого сырья – кианита Кейв (Мурманская обл.), уррита Кия-Шалтырского месторождения (Кемеровская обл.), сыннырита (Бурятия), а также алунита и каолина. Установлена перспективность использования высококальциевых

¹ Государственный баланс запасов РФ. Рассеянные элементы. М., 2010.

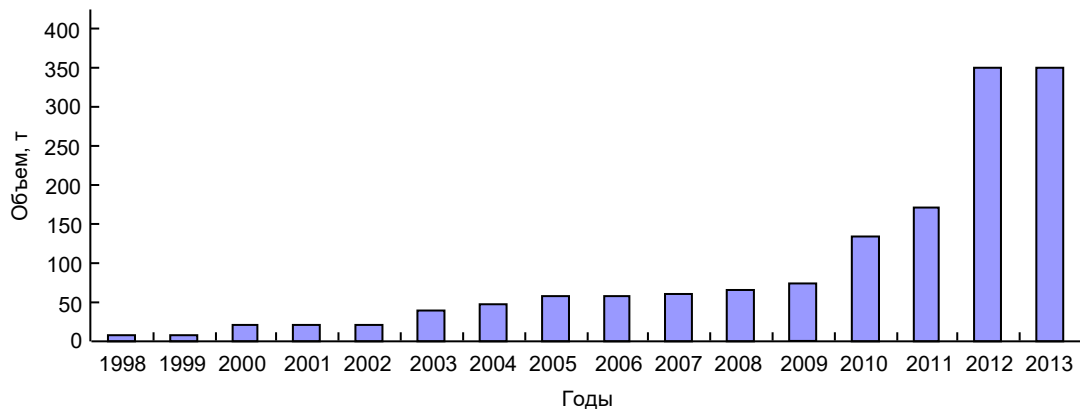


Рисунок 1. Динамика роста мощностей производства первичного галлия в Китае (по данным USGS).

синьритов, но вовлечение их в освоение по традиционной технологии спекания нецелесообразно по сравнению с нефелиновым концентратом. В целом на планете после бума 2001 г. накоплены большие, но избыточные мощности по производству галлия. Безусловно, рынки мобильных и оптико-волоконной связи растут, вслед за ними растет и рынок галлия. Общие мировые мощности для извлечения галлия составляют, по оценке USGS, свыше 480 т/год (2012). Мировые мощности для рециклинга составляют 198 т/год [5].

Потребление

Арсенид галлия GaAs – перспективный материал для полупроводниковой электроники [8]. Нитрид галлия обладает превосходными химическими и механическими свойствами, типичными для всех нитридных соединений, и используется в создании полупроводниковых лазеров и светодиодов. Изотоп галлий-71 является важнейшим материалом для регистрации нейтрино. Поскольку содержание ⁷¹Ga составляет около 39,9 % в природной смеси изотопов, выделение чистого изотопа и использование его в качестве детектора нейтрино способно повысить чувствительность регистрации в 2,5 раза. Галлий – превосходный смазочный материал. На основе галлия и никеля, галлия и скандия созданы практически очень важные металлические клеи. Металлическим галлием также заполняют кварцевые термометры (вместо ртути) для измерения высоких температур [11]. Это связано с тем, что галлий имеет значительно более высокую температуру кипения по сравнению с ртутью. Оксид галлия входит в состав ряда стратегически важных лазерных материалов группы гранатов – ГСГГ, ИАГ, ИСГГ и др.

Галлий используется в производстве высокоскоростных компьютеров, сотовых телефонов, солнечных батарей, оборудования спутниковой связи. Приборы на основе арсенида галлия (GaAs) обладают высокой радиационной стойкостью в широком диапазоне температур (до +1000 °С), а по быстрдействию на порядок превосходят альтернативные электронные устройства. В оптической электронике Ga используется для изготовления

лазеров для цифровых электрофонов, запоминающих устройств, в волоконной и инфракрасной оптике, в приборах СВЧ-техники (микроволновые диоды, быстродействующие транзисторы, индикаторы магнитофонов), в производстве высокоэффективных солнечных батарей.

В последнее время GaAs находит все большее применение в приборах нового поколения средств электронного противодействия, систем связи и радиолокаторов. Интегральные схемы на основе GaAs не имеют заменителей в оборонной промышленности для производства боеприпасов точного наведения, полевых транзисторов, светодиодов. Галлий используется также в качестве теплоносителя в ядерных реакторах, в металлургии легких сплавов для изготовления терморегуляторов, припоев «холодной пайки».

Потребление галлия ведущими странами (Япония, Германия, Франция, США, Канада, Китай) увеличивается исключительно высокими темпами. По оценке Горного бюро США, суммарные заводские мощности по выпуску галлия в условиях быстрорастущего спроса могут быть доведены до 400 т. В ряде стран галлий широко внедряется в гражданское и промышленное строительство. Увеличение спроса на галлий и впредь будет продолжаться, хотя и замедленными темпами, так как возможно использование альтернативных заменителей, например высокочистого кремния.

Крупнейшей областью потребления галлия (до 98 %) является производство полупроводниковых материалов – арсенида галлия (GaAs) и нитрида галлия (GaN). Области применения галлия, не связанные с полупроводниковой промышленностью, очень небольшие [1]. Из общего объема потребления галлия в мире немногим больше половины приходится на первичный (высокоочищенный) галлий, остальное – на вторичный, извлекаемый из скрапа [9]. Динамика мирового потребления галлия представлена ниже.

Отраслевая структура потребления GaAs и GaN: в интегральных схемах – 66 %; оптоэлектронных устройствах (светодиодах, лазерных диодах, фотодетекторах и солнечных батареях)

Динамика мирового потребления галлия, т*.

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Мировое потребление ...	150	150	190,2	176,8	280,0	218,0	220,0	250–300	300	Н/д

*Сводные данные [13]; н/д – нет данных.

– 20 %; остальные 14 % – в научно-исследовательских работах, специальных сплавах и др. [11]. Оптоэлектронные устройства используются в аэрокосмической промышленности, потребительских товарах, промышленном и медицинском оборудовании и телекоммуникациях. Интегральные схемы применяются в военной промышленности, высокопроизводительных компьютерах и электронной связи [1]. Основными потребителями рафинированного галлия являются США и Япония [11]. Увеличение потребления галлия обусловлено растущим спросом на смартфоны и

многополосные, многорежимные телефонные трубки, а также в результате увеличения использования LEDs в освещении и экранах дисплея. В Китае приблизительно половина идентифицированного потребления находится в NdFeB магнитных материалах – образце, не повторенный в другом месте в мире, но у которого есть потенциал для роста в Японии [13, 14].

В период между 2010 и 2013 гг. китайские мощности по производству первичного галлия утроились в ожидании растущего спроса на металл в светодиодах (GaN) для подсветки в жидко-

Таблица 2. Производители галлия в СНГ [8].

Предприятие	Страна	Сырье для производства	Качество (чистота) галлия	Мощность, т/Т	Примечание
ОАО «Пикалевский глинозем», Ленинградская обл.	Россия	Нефелиновый концентрат	99,9999	9–12	–
ООО «Галлий», г. Каменск-Уральский, Свердловская обл.	Россия	Бокситы	99,99	4	Прекращено производство Ga в 2012 г.
ОАО «Новосибирский оловянный комбинат»	Россия	Вторичное сырье	99,9999	0,5	Рециклинг
ОАО «Николаевский глиноземный завод» (УК «РУСАЛ»)	Украина	Бокситы (импортные)	99,9 99,99	14–15	–
АО «Алюминий Казахстана» (ENRC)	Казахстан	Бокситы	99,9999	20–22	–

кристаллических дисплеях (LCD), используемых в планшетных компьютерах, мобильных телефонах и телевизорах. В результате при значительном росте использования металла в этом секторе поставки галлия сильно превысили спрос. Глобальный переход от ламп накаливания и люминесцентных ламп к светодиодам в сфере общего освещения в период до 2020 г., как ожидается, вернет некоторый баланс рынку галлия, но поставки, вероятно, будут более соответствовать потреблению [15]. Мировой спрос для галлия в 2013–2014 гг., по оценкам, увеличился на 50 % по сравнению с 2009 г. Увеличение произошло и от восстановления существующих рынков в Японии, США и Европе после спада в 2008 и 2009 гг. и от развития новых областей применения как в этих регионах, так и в Китае. Приблизительно 90 % галлия потребляется в полупроводниках (SC) или полупроводниках (SI) [15]. Основные производители галлия в СНГ (Россия и Казахстан) представлены в табл. 2. Российские потребители галлия – заводы «Аметист», «Оптон» и «Элма-Малахит» (г. Зеленоград).

Потребности России в галлии в 2015 г. оцениваются в 8–10 т в год. В настоящее время современные устройства и приборы (компьютеры, мобильные телефоны, теле- и радиотехника и др.) в Россию импортируются, а отсутствие проблем с энергообеспечением не стимулирует объективное развитие новых технологий.

Динамика среднегодовых цен на галлий, долл./кг [1].

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Цена	600	600–700	300–350	350	Н/д	688	556	270	310	190 (макс. 255)

галлий восстановился в 2011 г. Производители светодиодов нового поколения в свое время инвестировали значительные средства в новые производственные линии в расчете на то, что рост сектора самых современных осветительных устройств даст долгосрочную поддержку повышению цен. Но ослабление экономических условий в Азии, особенно в Японии, привело к задержке некоторых таких проектов, хотя в Китае по-прежнему входят в эксплуатацию новые производства [17]. В 2012 г. цены на галлий на мировом рынке немного опустились – в среднем до 556 долл./кг, однако остались на достаточно высоком уровне. В период 2013–2014 гг. цены колеблются в диапазоне 270–310 долл./кг с тенденцией к понижению [11, 18]. В 2015–2016 гг. цены на галлий снижались (январь 2015 г. – 255 долл./кг; январь 2016 г. – 139 долл./кг) из-за превышения предложения галлия над спросом. Динамика цен на галлий за 2015 г. и за первое полугодие 2016 г. представлена на рис. 2, 3.

За период 23.02.16–12.06.16 разница между максимальной и минимальной ценой на галлий на мировом рынке, по данным InfoGeo.ru, составила 5 долл., или 3,8 %.

Прогнозы на рынке арсенида галлия

Основная часть произведенного Ga используется для синтеза соединений GaN и AlGaAs – арсенида и фосфида галлия. Из GaAs изготавливаются интегральные схемы (ИС) для оптоволоконной связи и сотовой телефонии, а из GaN – светодиоды (СД). Всюду в этих секторах используется металл высокой чистоты (рис. 4).

Крупнейшим рынком для галлия является Япония, но ее доля на мировом рынке, по оценкам, снизилась с 80 % в середине 2000-х гг. до 50 % в 2013 г. Япония, вероятно, останется доминирующим игроком на мировом рынке галлия в течение ближайших нескольких лет, но существенный рост оптоэлектроники и электронной промышленности в Китае вместе с сильным внутренним спросом на галлий показывает, что китайский рынок, в конечном итоге, станет крупнейшим. Япония останется основной страной потребления галлия, но ее доля рынка упадет с 47 % в 2014 г. до 41 % в 2020 г., в то время как доля Китая, как прогнозируется, увеличится с 19 до 35 %, главным образом, за счет роста использования в освещении. Мировой рынок галлия, по прогнозам, увеличится на 40 % (примерно до 422 т в год) к 2020 г., при этом доля использования металла в освещении вырастет с 18 до 33 % от общего спроса. Использование галлия для управления электронной мощностью останется крупнейшим рынком, но его доля будет снижаться с 50 до 43 % от общего объема [16].

Цены

Волатильность рынка галлия высока, главным образом, из-за его небольшого объема и чередования дефицита и избыточного предложения [1]. Ниже приведена динамика среднегодовых цен на галлий.

После падения цен в 2008–2009 гг., в значительной мере обусловленного мировым финансовым кризисом, уровень цен на

Основным потребителем галлия долгое время является Япония, но в последние годы заметно возрастает и доля Китая (рис. 5) [8, 20]. Количество продаж мобильных телефонов, смартфонов, iPhone и iPod растет. В каждом мобильном телефоне 2-го поколения имеются 2 усилителя на основе арсенида галлия, а в аппарате 3-го поколения их 5, и, соответственно, растет производство пластин GaAs (рис. 6) [8]. Наиболее значимыми растущими секторами рынка являются светодиоды, электроника на основе нитрида галлия (GaN) и солнечные элементы [8, 19, 20]. По сравнению с традиционным телевизором с жидкокристаллическим экраном телевизор, имеющий экран на основе светодиодов, потребляет на 40 % меньше электроэнергии, что имеет существенное значение для современной экономики [6].

Общий рынок СД в 2013 г. превысил 21 млрд долл., а к 2020 г. он может достичь 46,05 млрд долл. [8, 19].

Бурно развивается электроника на нитриде галлия. Транзисторы на нитриде галлия могут обеспечивать мощности примерно в 100 раз выше, чем на GaAs, и при этом они сохраняют работоспособность при температурах 400–500 °С. Светодиоды и электроника на нитриде галлия – не единственные сферы применения галлия, и в дальнейшем они будут расширяться. Солнечные элементы (СЭ) на основе соединений GaAs используются для бортового питания телекоммуникационных космических аппаратов [8]. Только период с 2004 по 2008 г. среднегодовая площадь солнечных батарей коммерческих операторов связи

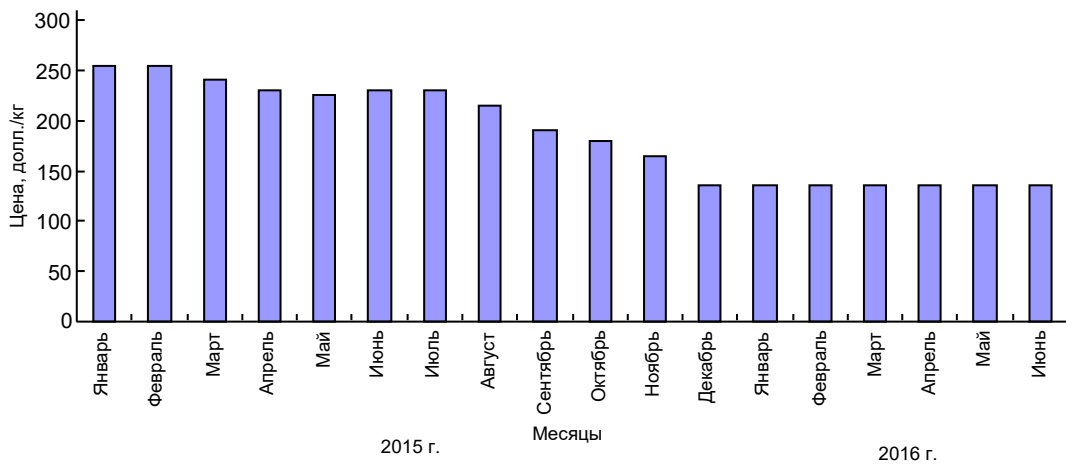


Рисунок 2. Динамика изменения цен на галлий на мировом рынке в 2015–2016 гг.

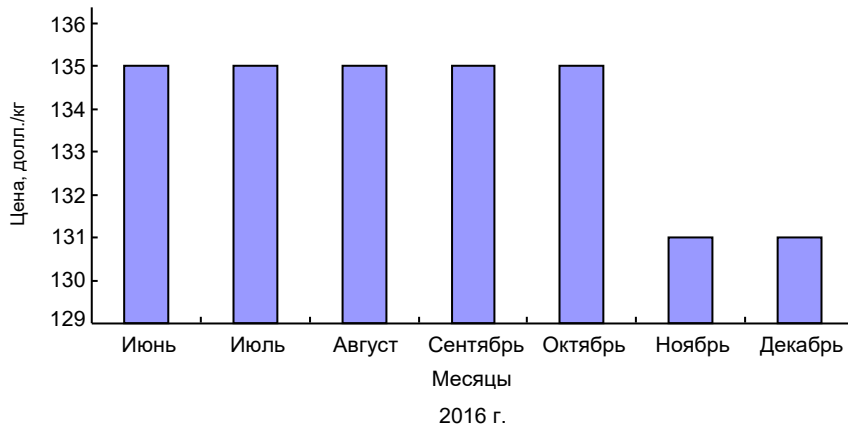


Рисунок 3. Динамика изменения цен на галлий на мировом рынке в 2016 г.

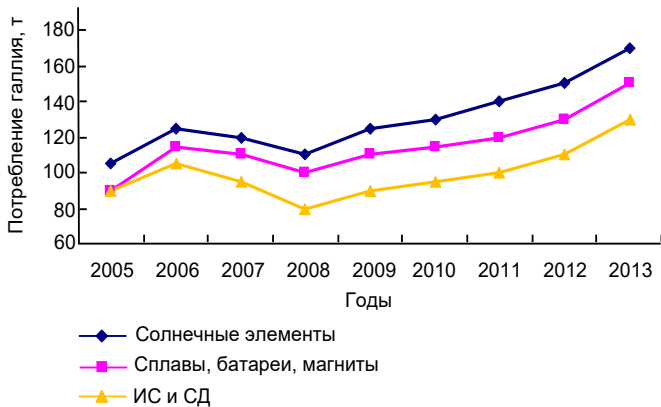


Рисунок 4. Динамика потребления галлия по областям применения в 2005–2013 гг. [8, 19].

(без учета России) увеличилась более чем в 2 раза (с 655 до 1400 м²). Эта тенденция сохранится и в среднесрочной перспективе. В частности, до 2015 г. годовой спрос на СЭ на основе GaAs на мировом рынке вырастет до ~2400 м². В России такие СЭ производят ОАО «НПП Квант» (г. Москва) и ОАО «Сатурн» (г. Краснодар). С 2011 г. в НПП «Квант» работает технологическая линия изготовления по собственной технологии многослойных СЭ на основе InGaP/InGaAs/Ge.

Существует также рынок наземной солнечной энергетики на основе GaAs. В связи с загрязнением окружающей среды, истощением доступных и дешевых углеводородных энергоносителей в долгосрочной перспективе (до 2100 г.) предполагается, что энергия солнца потеснит традиционные источники – газ,

нефть, уголь. Солнечные элементы не имеют движущихся частей, пригодны для создания установок любой мощности, способны обеспечить потребителя электричеством практически в любом месте на Земле, не вызывая эмиссию вредных газов в атмосферу. Поэтому солнечная энергетика стала самой быстрорастущей отраслью мировой экономики. В 2012 г. общая мощность установленных солнечных панелей превысила 100 ГВт, а в 2013 г., по предварительным данным, увеличилась еще на 40 ГВт [8, 18, 21]. Эффективность применения СЭ на GaAs выглядит очень высокой. Так, по оценкам «Sharp», их установка к 2030 г. на 5 % площадей таких штатов, как Невада, Аризона, Нью-Мексико, позволит вырабатывать 42 % всего внутреннего потребления США.

Таким образом, рынки галлия, равно как и рынки алюминия и цинка, развиваются циклично, о чем свидетельствуют происходящие изменения за период 2006–2016 гг. Характер же циклов определяется своеобразным «наложением» закономерностей, присущих рынкам базовых металлов, на закономерности развития рынка конкретного редкого элемента. Основными факторами являются соотношение *спрос–предложение*, развитие отраслей науки и техники, потребляющих данные материалы, игра различных участников на рынках металлов [8]. Однако европейский спрос на галлий и состояние бизнеса являются устойчиво-приемлемыми, и все перечисленное вызовет рост потребности в галлии в средне- и долгосрочной перспективе.

Особенности современной торгово-промышленной стратегии Китая [8]

Обсуждения заслуживает техническая и экономическая стратегии Китая, который, несмотря на существующий избыток предложения, значительно увеличивает производственные мощности по галлию. Представляется, что это частный случай проявления общей торгово-экономической политики Правительства КНР, которое в период 12-й пятилетки (2011–2015)

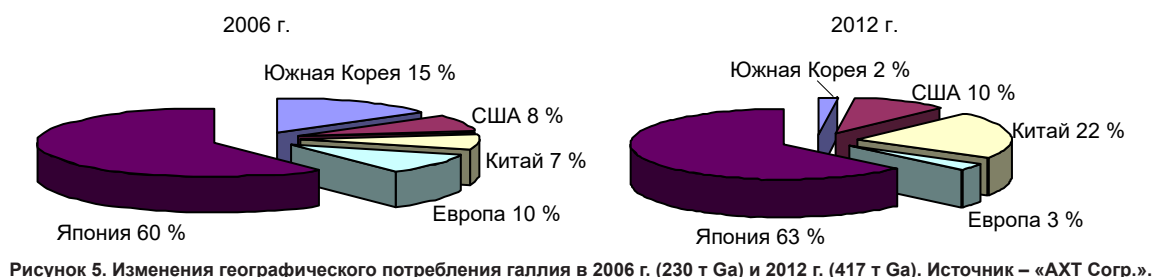


Рисунок 5. Изменения географического потребления галлия в 2006 г. (230 т Ga) и 2012 г. (417 т Ga). Источник – «АХТ Согр.».

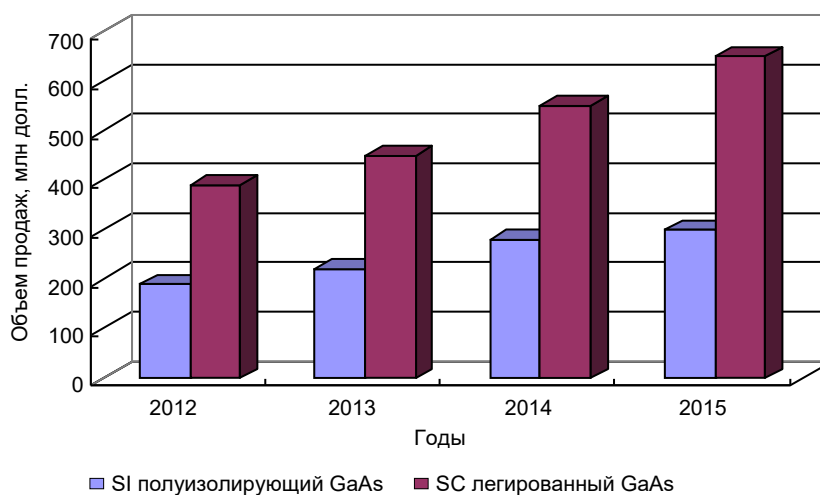


Рисунок 6. Динамика роста рынка GaAs в 2012–2015 гг., млн долл.

инвестирует до 1,5 трлн долл. в развитие отраслей экономики, связанных с высокими технологиями, – альтернативную энергетику, производство высокотехнологичного оборудования, энергосберегающие и экологичные технологии. Правительство Китая ставит задачей превращение страны из производителя дешевых массовых товаров в производителя высокотехнологической инновационной продукции.

Можно выделить три стадии в стратегической торговой политике КНР. Первой является поддержка внутреннего производства сырьевых материалов через благоприятную политическую и экономическую обстановку. Вторая стадия – как только страна занимает основную долю глобального мирового производства того или иного сырья, Министерство торговли Китая начинает ограничивать его экспорт, уменьшая возврат НДС на экспорте, увеличивая вывозные пошлины и вводя экспортные квоты. Наконец, на третьем этапе число экспортных квот начнет снижаться и станет расти налоговое давление на экспорт сырья. Это поддержит китайских производителей конечной продукции, а других производителей во всем мире вынудит перемещать производство в Китай, чтобы гарантировать устойчивые поставки и сбыт. Представляется, что все происходящее в индустрии галлия в КНР в последние годы следует рассматривать как подготовку к переходу к третьему этапу.

Выводы

В средне- и долгосрочной перспективе весьма вероятен рост потребности в галлии, вызванный появлением новых секторов применения и изменением роли Китая в мировой экономике. Из-за растущего спроса на галлий, вероятно, можно предположить увеличивающуюся мировую зависимость от китайского производства галлия и в следующие 5 лет. Для удовлетворения повышенного спроса на этот металл, возможно, возникнет необходимость в разработке новых, более эффективных технологий и совершенствовании традиционных методов извлечения галлия из растворов [8]. По оценкам специалистов, перспективным является использование в этих целях сорбционных процессов на базе импрегнированных сорбентов. Они представляют собой расширение экстракционных технологий путем введения селективного экстрагента в матрицу синтетического ионита. Это рас-

ширит технологические возможности для извлечения галлия из растворов при сверхмалых его концентрациях.

Производство и потребление галлия и в целом редких металлов в России не соответствует ее сырьевому и научно-техническому потенциалу и требует решительного изменения на государственном уровне управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mining Journal, 2007, December, 21/28. Mineral Commodity Summaries, 2008, January. URL: <http://www.adv-engineering.ru/novosti/novinka/Ga1.html>
2. Вершковская О. В., Зуева Т. И., Прокопчук В. П. Минеральное сырье. Галлий: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 17 с.
3. USGS. Mineral Commodity Summaries, 2008. URL: <http://www.minerals.usgs.gov/>
4. Редкие металлы на мировом рынке / отв. ред. Т. Ю. Усова. М.: ИМГРЭ, 2008. Кн. 1. 195 с.; кн. 2. 162 с.
5. Мировой рынок галлия // Статистика мировых товарных рынков. URL: <http://www.cmmarket.ru/stat.php?commod=ga&table=gapugs>
6. Рынок галлия почти мертв, но имеет великолепные перспективы? / Металлургический бюллетень. 2010. 30 июня. URL: <http://www.metalbulletin.ru/news/color/10043029/>
7. Будущее рынка галлия. 2008. URL: http://www.metalltrade.ru/news/data_html/aaaaaaafw.html
8. Наумов А. В. О современном состоянии мирового рынка галлия // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2014. № 2. С. 59–64. URL: <http://cvmet.misis.ru/jour/manager/files/articles/64/submission/copyedit/64-137-1-CE.pdf>
9. Walawalker R. Gallium still looks to a glowing future // Metal Bulletin Monthly. 1999. Vol. 51. P. 48–49.
10. Букин В. И., Лысакова Е. И., Резник А. М. О возможности извлечения некоторых редких металлов при комплексной переработке алюминиевого сырья // Национальная металлургия. 2003. № 1. С. 61–65.
11. Ершова Я. Ю. Физико-химические основы экстракции галлия и алюминия из щелочно-карбонатных растворов азотсодержащими экстрагентами фенольного типа: дис. ... канд. хим. наук. М., 2015. 132 с.
12. Kang M. S., Lee C.-H., Park J. B., Yoo H., Yi G.-C. Gallium nitride nanostructures for light-emitting diode applications // Nano Energy. 2012. Vol. 1. P. 391–400.
13. Мировой рынок галлия. URL: <http://www.cmmarket.ru/markets/gaworld.htm>
14. Ситуация на японском рынке галлия. URL: <http://www.metaltorg.ru/analyt-ics/publication/index.php?id=2930>
15. Производство галлия преобладает в Китае. URL: https://yandex.ru/images/search?img_ur
16. Потребление галлия в основном в Японии, но Китай догоняет. URL: https://yandex.ru/images/search?img_ur
17. Цены на галлий снижаются из-за потенциального избытка металла? URL: <http://www.fin.org.ua/news/903422>
18. Обзор рынка солнечных фотоэлементов на кремниевой основе и мате-

риалов для их производства в мире. М.: Исслед. группа «Инфомайн», 2011. 121 с.
 19. Harrower M. Consumer Markets and Minor Metals. URL: <http://www.indium.com/metals/gallium/>
 20. Обзор рынка галлия в России, СНГ и мире (презентация). М.: Исслед. группа «Инфомайн», 2012. 40 с.
 21. Наумов А. В. Обзор мирового рынка галлия (экономика галлия) // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2005. № 3. С. 14–21.

REFERENCES

1. 2007, Mining Journal. 2008, Mineral Commodity Summaries, Available at: <http://www.adv-engineering.ru/novosti/novrinka/Ga1.html>
 2. Vershkovskaya O. V., Zueva T. I., Prokopchuk V. P. 1998, *Mineral'noe syr'e. Galliy: spravochnik* [Mineral raw materials. Gallium: A Handbook], Moscow, 17 p.
 3. 2008, USGS. Mineral Commodity Summaries, Available at: <http://www.minerals.usgs.gov/>
 4. Usova T. Yu. 2008, *Redkie metally na mirovom rynke* [Rare metals in the world market], Moscow, vol. 1, 195 p.; vol. 2, 162 p.
 5. *Statistika mirovykh tovarnykh rynkov* [Statistics of world commodity markets], Available at: <http://www.cmmarket.ru/stat.php?commod=ga&table=gapugs>
 6. 2010, *Rynok galliya pochni mertv, no imeet velikolepnye perspektivy? / Metallurgicheskiy bulleten'* [The gallium market is almost dead, but has great prospects? / Metallurgical bulletin], Available at: <http://www.metalbulletin.ru/news/color/10043029/>
 7. 2008, *Budushchee rynka galliya* [The future of gallium market]. Available at: http://www.metalltrade.ru/news/data_html/aaaaaafw.html
 8. Naumov A. V. 2014, *O sovremennoe sostoyanii mirovogo rynka galliya* [On the current state of the global gallium market]. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Schools Nonferrous Metallurgy], no. 2, pp. 59–64.
 9. Walawalker R. Gallium still looks to a glowing future // *Metal Bulletin Montly*. 1999. Vol. 51. P. 48–49.
 10. Bukin V. I., Lysakova E. I., Reznik A. M. 2003, *O vozmozhnosti izvlecheniya nekotorykh redkikh metallov pri kompleksnoy pererabotke alyuminievogo syr'ya* [On the possibility of extracting some rare metals during complex processing of

aluminum raw materials]. *Natsional'naya metallurgiya* [National Metallurgy], no. 1, pp. 61–65.
 11. Ershova Ya. Yu. 2015, *Fiziko-khimicheskie osnovy ekstraktsii galliya i aluminia iz shchelochno-karbonatnykh rastvorov azotsoderzhashchimi ekstragentami fenol'nogo tipa* [Physical and chemical bases of extraction of gallium and aluminum from alkaline-carbonate solutions by nitrogen-containing phenolic type extractants]. *Dis. ... kand. ekon. nauk* [Dissertation for the degree of candidate of economic sciences]. Moscow, 132 p.
 12. Kang M. S., Lee C.-H., Park J. B., Yoo H., Yi G.-C. 2012, Gallium nitride nano-structures for light-emitting diode applications. *Nano Energy*, vol. 1, pp. 391–400.
 13. Mirovoy rynek galliya [World market of gallium], Available at: <http://www.cmmarket.ru/markets/gaworld.htm>
 14. 2007, *Situatsiya na yaponskom rynke galliya* [The situation in the Japanese gallium market], Available at: <http://www.metaltorg.ru/analytics/publication/index.php?id=2930>.
 15. *Proizvodstvo galliya preobladat v Kitae* [Gallium production prevails in China], Available at: https://yandex.ru/images/search?img_ur
 16. *Potreblenie galliya v osnovnom v Yaponii, no Kitay dogonyayet* [Gallium consumption is mainly in Japan, but China is catching up], Available at: https://yandex.ru/images/search?img_ur
 17. 2011, *Tseny na galliy snizhayutsya iz-za potentsial'nogo izbytko metalla* [The prices for gallium are reduced because of the potential excess of metal?], Available at: <http://www.fin.org.ua/news/903422>.
 18. 2011, *Obzor rynka solnechnykh fotoelementov na nekreminnoy osnove i materialov dlya ikh proizvodstva v mire* [Overview of the market for solar photocells on non-siliceous basis and materials for their production in the world], Moscow, 121 p.
 19. Harrower M. Consumer Markets and Minor Metals, Available at: <http://www.indium.com/metals/gallium/>
 20. 2012, *Obzor rynka galliya v Rossii, SNG i mire (prezentatsiya)* [Review of the Gallium Market in Russia, the CIS and the World (presentation)]. Moscow, 40 p.
 21. Naumov A. V. 2005, *Obzor mirovogo rynka galliya (ekonomika galliya)* [Review of the world market of gallium (the economy of gallium)]. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Schools Nonferrous Metallurgy], no. 3, pp. 14–21.

Федор Дмитриевич Ларичкин,

lfid@iep.kolasc.net.ru

Алексей Евгеньевич Череповицын,

alekseicherepov@inbox.ru

Валентина Дмитриевна Новосельцева,

novoceltzeva@iep.kolasc.net.ru

Лариса Ивановна Гончарова

goncharova@iep.kolasc.net.ru

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН

Россия, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 24-а

Fedor Dmitrievich Larichkin,

lfid@iep.kolasc.net.ru

Aleksey Evgen'evich Cherepovitsyn,

alekseicherepov@inbox.ru

Valentina Dmitrievna Novosel'tseva,

novoceltzeva@iep.kolasc.net.ru

Larisa Ivanovna Goncharova

goncharova@iep.kolasc.net.ru

G. P. Luzin Institute of Economic Problems of Kola Scientific Centre of RAS

Apatity, Murmansk region, Russia