

УДК 661.868.1

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ МИРОВОГО РЫНКА ГАЛЛИЯ

© 2014 г. **А.В. Наумов**

ООО «КВАР», г. Москва

Статья поступила в редакцию 23.04.13 г., подписана в печать 22.05.13 г.

Описаны текущее состояние и характер изменения рынка галлия под влиянием появляющихся новых секторов его применения, включая состояние и перспективы российского рынка. Показана динамика мирового производства и цен на галлий за последние годы. Выполнен анализ изменений в торгово-промышленной политике Китая как основного производителя этого металла. Оценена потребность в галлии в средне- и долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: галлий, арсенид галлия (GaAs), нитрид галлия (GaN), производство, рынок, солнечная энергетика, цены, прогноз.

The current state and changes of the gallium market under the effect of new sectors of gallium application are described. The state and prospects of the Russian market are described too. The dynamics of the world gallium production and prices within recent years is given. The analysis of changes in commercial and industrial policy of China as the main producer of gallium has been executed. The need in gallium for middle- and long-term prospect is estimated.

Key words: gallium, gallium arsenide (GsAs), gallium nitride (GaN), production, market, helioenergetics, prices, forecast.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением обзора [1] и ставит задачей оценку изменений рынка галлия — как мирового, так и стран СНГ, произошедших за последние 5 лет под влиянием появляющихся новых секторов применения этого металла.

Галлий, как отмечалось в [1], — типичный представитель редких элементов широкого рассеяния. Его содержание составляет 15 ppm от всей массы земной коры, что делает его одним из наиболее распространенных среди редких металлов. Галлий приурочен к образованиям, содержащим оксиды алюминия, кремния, сульфиды цинка и мышьяка, германия и меди.

Геологическая служба США (US Geological Survey, USGS) не дает общих оценок мировых ресурсов галлия. В бокситах они превышают 1 млн т, и приблизительно такое же количество Ga содержится в цинковых месторождениях. Большие запасы Ga имеются в угольных месторождениях. Отсутствие общих оценок связано с тем, что вследствие значительного объема мировых запасов бокситов, их основная часть не будет добываться в среднесрочной

перспективе и, следовательно, не будет доступа к содержащемуся в них галлию.

Однако, несмотря на широкое распространение, объем добычи галлия незначителен. Ввиду низкой его концентрации как в алюминиевых, так и в цин-

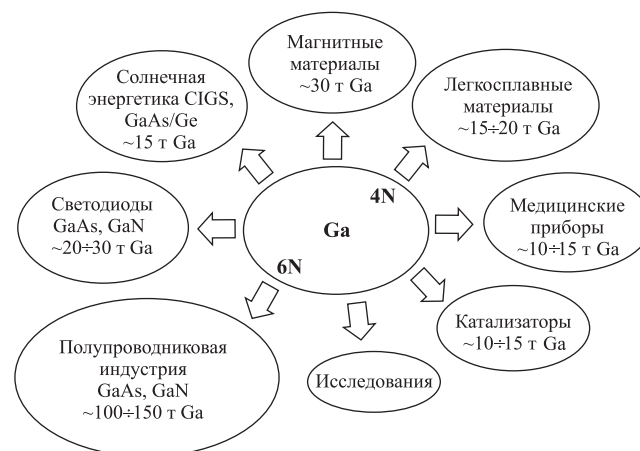


Рис. 1. Основные области применения галлия

Источник — ООО «Инфомайн», г. Москва

Наумов А.В. — начальник производства ООО «КВАР» (123458, г. Москва, ул. Таллинская, 24, оф. 108).
Тел.: (495) 232-91-08. E-mail: kvar@comail.ru; naumov_arkadii@mail.ru.

ковых рудах (среднее содержание в 1 т руды составляет 50 ppm Ga) экономически выгодным в настоящее время является извлечение лишь малой части имеющегося в них металла.

Галлий добывают из алюминатных растворов в процессе получения глинозема из бокситовых или нефелиновых руд. Технический галлий чистотой 99,0–99,99 % используется в различных сплавах и покрытиях и служит исходным сырьем для получения высокочистого металла (99,9999–99,99999 % Ga), который является компонентом соединений GaN и A_3B_5 — арсенида и фосфида галлия и др. — основных материалов для современной опто- и микроэлектроники (рис. 1).

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ГАЛЛИЯ

Общие мировые мощности для извлечения галлия составляют, по оценке USGS, свыше 480 т/год. Общемировое производство Ga существенно ниже, что иллюстрирует рис. 2 в период 2000–2013 гг. Значительная доля галлия возвращается в производство путем переработки отходов, содержащих его соединения. Мировые мощности для рециклинга составляют 198 т/год.

Основные производители галлия показаны на рис. 3. Крупнейшим из них является Китай.

Особенности современной технико-экономической политики Китая в производстве галлия

Китай, чье производство галлия в 1998 г. составляло 8 т, уделяет серьезное внимание вопросам развития производства не только Ga, но и других высокотехнологичных металлов (In, Ge и пр.), критичных для развития электроники. В период 2000–2005 гг. темп роста производства первичного галлия составил 22 % к уровню 2000 г., а в 2005–2010 гг. — 8,7 %. В 2011 и 2012 гг. страна совершила мощный рывок: в 2011 г. мощности составили 160 т, а после 2012 г., по собственным оценкам китайцев, — 350 т, или 83 % всего мирового объема (рис. 4). Китай движется к абсолютному доминированию в мировом производстве галлия, как это произошло с РЗМ и сурьмой (более 98 % мирового производства). При этом, видимо, китайских производителей и центральные власти абсолютно не пугают временные снижения цен из-за избытка предложения. Причины такого поведения будут обсуждаться ниже.

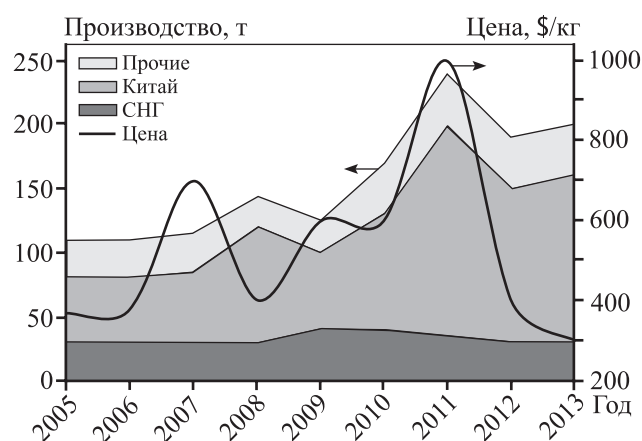


Рис. 2. Динамика производства галлия в мире в 2005–2013 гг. (по данным USGS) и изменение цен (источник — Metal-pages)

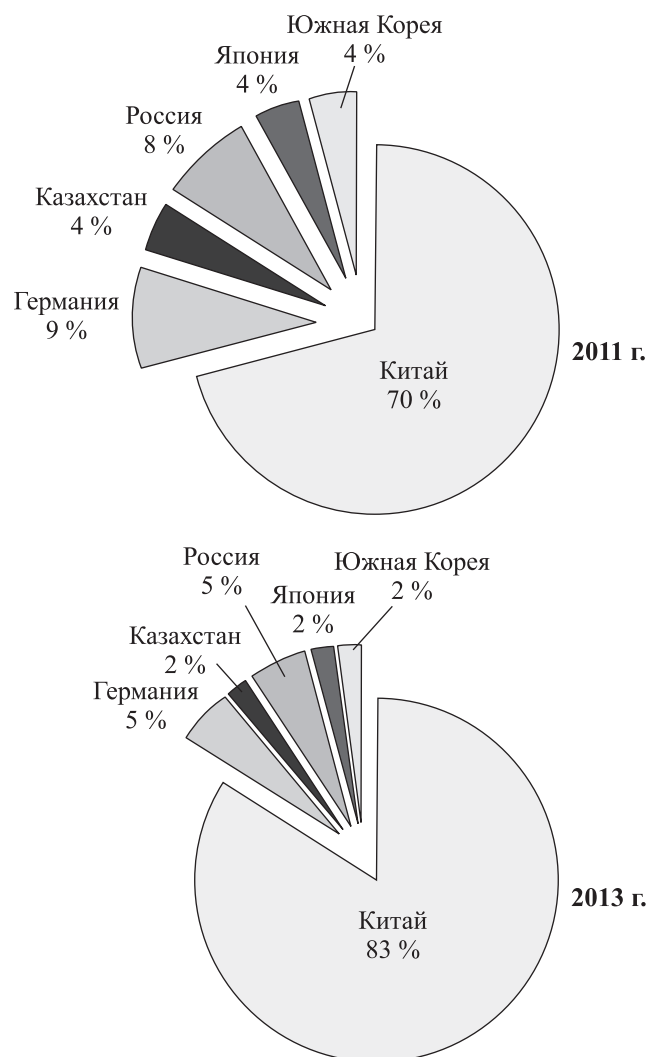


Рис. 3. Производители галлия в мире [2]

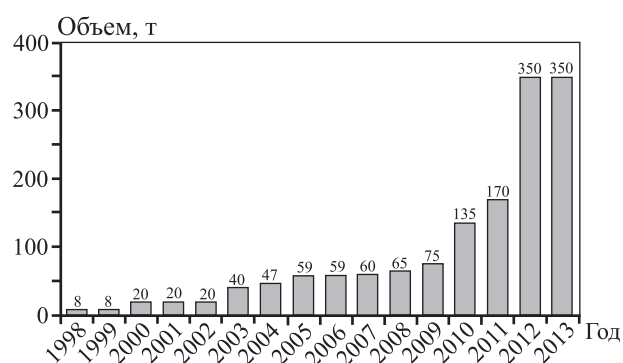


Рис. 4. Динамика роста мощностей производства первичного галлия в Китае (по данным USGS)

На макроэкономическом уровне регулируемый курс юаня к доллару США гарантирует производителям, что их производственные затраты останутся ниже мировых. На микроэкономическом уровне правительственная поддержка включает энергетические субсидии, особенно привлекательные для энергоемких отраслей (к которым относится производство галлия). При этом, одновременно, налицо тенденция к росту внутреннего потребления галлия для выпуска конечной продукции (интегральные схемы для мобильной телефонии, светодиоды). Критерием в данном случае может выступать увеличение количества используемых для получения полупроводниковых структур установок для металлоорганической эпитаксии Ga-содержащих слоев на различных подложках — MOCVD-реакторов. Так, если в 2007 г. в Китае имелась 51 установка для производства светодиодных структур методом эпитаксии GaN на сапфировых подложках (MOCVD-реак-

тор), то к 2015 г. их количество, как предполагается, может достичь 1642 тыс. [2, 3].

Производство галлия в России и странах СНГ

В России действует участок в ОАО «Пикалевский глинозем» мощностью до 12 т/год. В Украине в ОАО «Николаевский глиноземный завод (принадлежит УК «РУСАЛ») работает участок по производству Ga мощностью до 15 т/год, а в Казахстане крупным производителем этого металла является АО «Алюминий Казахстана» (ENRC). Эти данные сведены в таблицу.

ЦЕНЫ

Волатильность рынка галлия высока, главным образом из-за его небольшого объема и чередования дефицита и избыточного предложения. С 300 \$/кг Ga в середине 90-х гг. XX в. цены поднялись до 800–1000 \$/кг в период 2000–2001 гг. Затем в 2001–2004 гг. предложение на галлий превышало спрос и цены на него снижались. В 2007–2008 гг. они вновь пошли вверх, но с началом экономического кризиса в 2008 г. спрос упал и цены снизились до 300–350 \$/кг. Однако в последующем они опять выросли и в 2011 г. достигли уровня свыше 800 \$/кг. С этого момента, после существенного роста мощностей в Китае, предложение вновь превышает спрос (см. рис. 2) и цены начали падать. В период 2013–2014 гг. цены колеблются в диапазоне 270–310 \$/кг с тенденцией к понижению [4, 5].

Производители галлия в СНГ

Предприятие	Страна	Сырье для производства	Качество (чистота) галлия	Мощность, т/г	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	

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЛЛИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Основная часть произведенного Ga используется для синтеза соединений GaN и A_3B_5 — 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. 5). Основным потребителем галлия долгое время является Япония, но в последние годы заметно возрастает и доля Китая (рис. 6) [8].

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 положе-

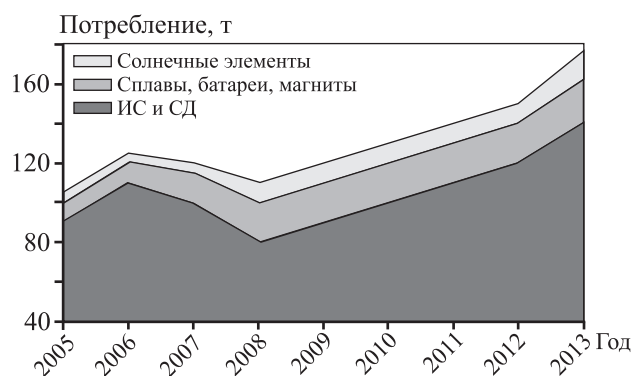


Рис. 5. Динамика потребления галлия по областям применения [8]

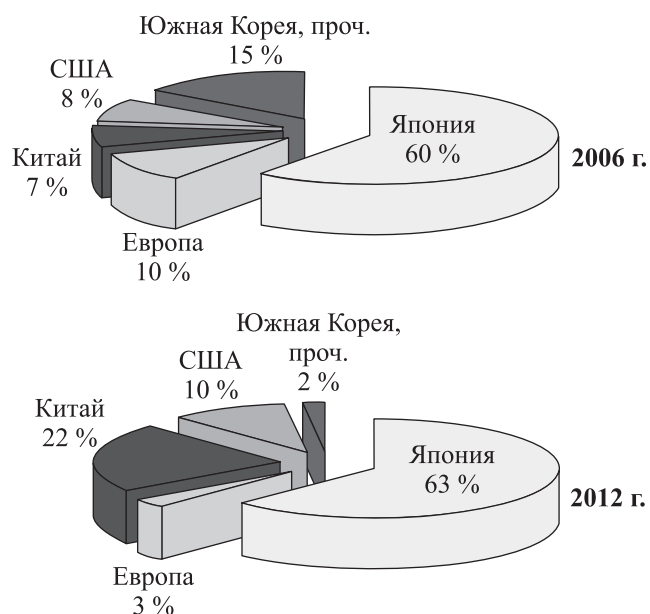


Рис. 6. Изменения географического потребления галлия в 2006 г. (230 т Ga) и 2012 г. (417 т Ga)

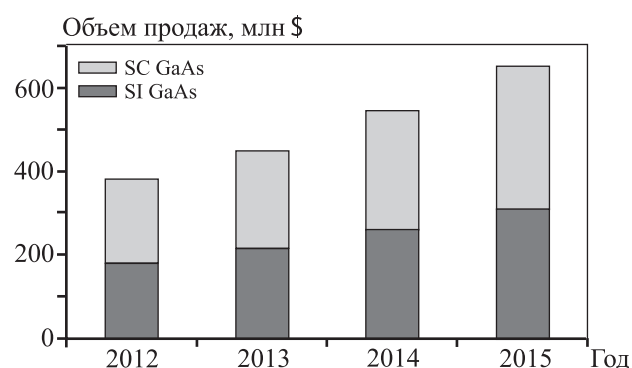


Рис. 7. Динамика роста рынка GaAs

SI — полупроводящий GaAs, SC — легированный GaAs
Источник — «АХТ Corp.»



Рис. 8. Динамика продаж светодиодов

ния — их 5, и соответственно, растет производство пластин GaAs (рис. 7).

Наиболее значимыми растущими секторами рынка являются светодиоды, электроника на основе нитрида галлия (GaN) и солнечные элементы [6–8]. Светодиод состоит из эпитаксиальных слоев GaAlAs, GaAsP или InGaAsP на подложке из GaAs либо GaP. Так называемый белый сверхяркий СД содержит эпитаксиальный слой GaN на сапфировой подложке. Используемый материал определяет длину излучаемой волны.

Общий рынок СД в 2013 г. превысил 21 млрд \$, а к 2020 г. он может достичь 46,05 млрд \$ (рис. 8). Белые СД высокой и сверхвысокой яркости, используемые для освещения, могут заменить традиционные лампы накаливания и люминесцентные лампы. Подсчитано, что только в США приблизительно 20 % всего электричества (и соответственно, около 7 % всей вырабатываемой энергии) тратится на освещение. Если только половина этого рынка освещения будет обеспечиваться белыми СД, то издержки на оплату электроэнергии сократятся на 100 млрд \$/год, мощности генерирующих предприятий — на

120 ГВт, а сокращение выбросов углерода — приблизительно на 350 т/год. Всего в мире сегодня более 2500 реакторов производят светодиодные структуры методом МOCVD-эпитаксии, и для обеспечения их работы используется более 60 т Ga/год [4, 5].

Бурно развивается электроника на нитриде галлия (рис. 9). Первые сообщения о синтезе GaN появились в 1932 г. Изучение свойств этого соединения выявило большую подвижность электронов, высокую стабильность свойств нитридов и пр. Транзисторы на GaN могут обеспечивать мощности примерно в 100 раз выше, чем на GaAs, и при этом они сохраняют работоспособность при температурах 400—500 °С. Для производства структур GaN также используют метод эпитаксии из металлорганической газовой фазы (MOCVD) на подложке из сапфира или карбида кремния.

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 (рис. 10). В период с 2004 по 2008 г. среднегодовая площадь солнечных батарей коммерческих операторов связи (без учета России) увеличилась с 655 до 1400 м². Эта тенденция сохранится и в среднесрочной перспективе, так как дальнейшее наращивание ретрансляционных ресурсов возможно, главным образом, за счет повышения мощностей спутников связи. По оценкам, в период 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 эко-

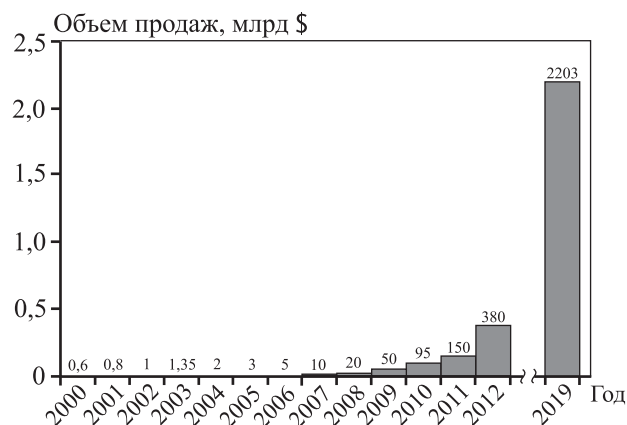


Рис. 9. Динамика роста рынка приборов на GaN

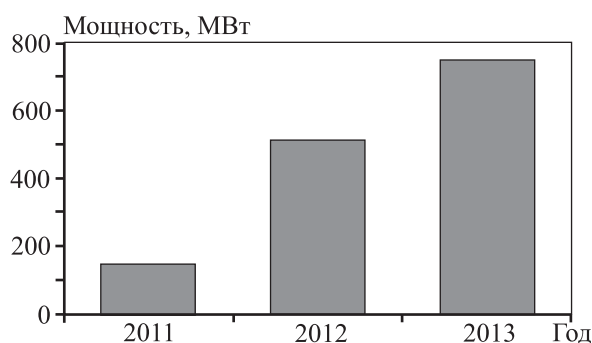


Рис. 10. Развитие космической энергетики на основе соединений GaAs (без учета России)

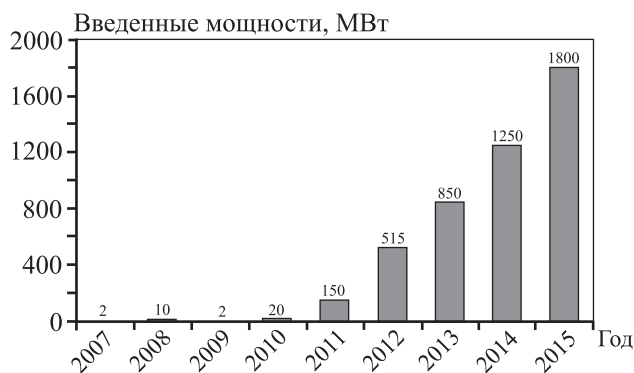


Рис. 11. Динамика и прогноз рынка солнечной энергетики на GaAs/Ge

номики. В 2012 г. общая мощность установленных солнечных панелей превысила 100 ГВт, а в 2013 г., по предварительным данным, установленная мощность солнечных батарей увеличилась еще на 40 ГВт [1, 5].

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 ге-

нерировать мощность 1300 ГВт, т.е. вырабатывать 2,5 млн ГВт электроэнергии в год, или 42 % всего внутреннего потребления США. Динамика и прогноз роста производства СЭ на основе GaAs приведены на рис. 11.

Таким образом, все перечисленное вызовет рост потребности в галлии в средне- и долгосрочной перспективе [5, 6, 8].

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ СТРАТЕГИИ КИТАЯ

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 гг.) инвестирует до 1,5 трлн \$ 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 3 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 [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

Представляется перспективным использование в этих целях сорбционных процессов на базе импрегнированных сорбентов. По сути они представляют расширение экстракционных технологий путем введения селективного экстрагента в матрицу синтетического ионита. Это расширит технологические возможности для извлечения галлия из растворов при сверхмалых его концентрациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Наумов А.В.* // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2005. № 3. С. 14—21; *Naumov A.V.* // *Rus. J. Non-Ferrous Metals*. 2005. Vol. 46, № 5. P. 7—14.
2. *Jing Nie*. Current Climate and Future Prospects for the Gallium Market: Electronic Metals Conf. (China, Guangzhou, Sept. 2012) // <http://conferences.metal-pages.com/papers/electronic-metals-2012/>
3. *Jie Zhang*. Gallium Arsenide industry development study // *Ibid*.
4. US Geological Survey Publ., annual. // www.usgs.gov
5. Обзор рынка солнечных фотоэлементов на некремниевой основе и материалов для их производства в мире // М.: Иссл. гр. «Инфомайн», 2011.
6. Обзор рынка галлия в России, СНГ и мире (презентация) // М.: Иссл. гр. «Инфомайн», 2012.
7. *Наумов А.В., Матсон С.А.* // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2011. № 3. С. 32—43.
8. *Harrower M.* Consumer Markets and Minor Metals // <http://www.indium.com/metals/gallium/>