

«Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырьё» (ОЧК – особо чистый кварц)



Ерёмин Николай Иосифович

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

Содержание:

1. Кремний, Si (silicon, silicium)
2. Солнечная энергетика
3. Кварцевое стекло
4. **ОЧК** – особо чистый кварц (особо чистый кварцевый концентрат)
5. Геолого-промышленные типы месторождений кварца как плавочного сырья в России
6. МСБ кварца для плавки (мир, Россия)

Кремний, Si (silicon, silicium)

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетические уровни	
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			а
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б				
1	1	H ВОДОРОД 1,008																He ГЕЛИЙ 4,003	2
2	2	Li ЛИТИЙ 6,941	Be БЕРИЛЛИЙ 9,0122	B БОР 10,811	C УГЛЕРОД 12,011	N АЗОТ 14,007	O КИСЛОРОД 15,999	F ФТОР 18,998										Ne НЕОН 20,179	10
3	3	Na НАТРИЙ 22,99	Mg МАГНИЙ 24,312	Al АЛЮМИНИЙ 26,982	Si КРЕМНИЙ 28,086	P ФОСФОР 30,974	S СЕРА 32,064	Cl ХЛОР 35,453										Ar АРГОН 39,948	18
4	4	K КАЛИЙ 39,102	Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	Sc СКАНДИЙ 44,956	Ti ТИТАН 47,887	V ВАНАДИЙ 50,941	Cr ХРОМ 51,996	Mn МАРГАНЕЦ 54,938	Fe ЖЕЛЕЗО 55,849	Co КОБАЛЬТ 58,933	Ni НИКЕЛЬ 58,7								
	5	Cu МЕДЬ 63,546	Zn ЦИНК 65,37	Ga ГАЛЛИЙ 69,72	Ge Германий 72,59	As Мышьяк 74,922	Se СЕЛЕН 78,96	Br БРОМ 79,904											Kr КРИПТОН 83,8
5	6	Rb РУБИДИЙ 85,468	Sr СТРОНЦИЙ 87,62	Y ИТРИЙ 88,906	Zr ЦИРКОНИЙ 91,22	Nb НИОБИЙ 92,906	Mo МОЛИБДЕН 95,94	Tc ТЕХНЕЦИЙ [99]	Ru РУТЕНИЙ 101,07	Rh РОДИЙ 102,906	Pd ПАЛЛАДИЙ 106,4								
	7	Ag СЕРЕБРО 107,868	Cd КАДМИЙ 112,41	In ИНДИЙ 114,82	Sn ОЛОВО 118,69	Sb СУРЬМА 121,75	Te ТЕЛЛУР 127,6	I ИОД 126,905											Xe КСЕНОН 131,3
6	8	Cs ЦЕЗИЙ 132,905	Ba БАРИЙ 137,34	La-71 ЛАНТАНОИДЫ	Hf ГАФНИЙ 178,49	Ta ТАНТАЛ 180,948	W ВОЛЬФРАМ 183,85	Re РЕНИЙ 186,207	Os ОСМИЙ 190,2	Ir ИРИДИЙ 192,22	Pt ПЛАТИНА 195,09								
	9	Au ЗОЛОТО 196,967	Hg РУТУТЬ 200,59	Tl ТАЛЛИЙ 204,37	Pb СВИНЕЦ 207,19	Bi ВИСМУТ 208,98	Po ПОЛОНИЙ [210]	At АСТАТ [210]											Rn РАДОН [222]
7	10	Fr ФРАНЦИЙ [223]	Ra РАДИЙ [226]	89-103 АКТИНОИДЫ	Rf РЕЗЕРФОРДИЙ [261]	Db ДУБИНИЙ [262]	Sg СИБОРГИЙ [263]	Bh БОРИЙ [262]	Hn ХАНИЙ [265]	Mt МЕЙТТЕРИЙ [265]									
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7	RO_4										
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						RH_4	RH_3	H_2R	HR										



Д.И. Менделеев
1834–1907



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

ЛАНТАНОИДЫ

57 La ЛАНТАН 138,906	58 Ce ЦЕРИЙ 140,12	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,908	60 Nd НЕОДИМ 144,24	61 Pm ПРОМЕТИЙ [145]	62 Sm САМАРИЙ 150,4	63 Eu ЕВРОПИЙ 151,96	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 Tb ТЕРБИЙ 158,926	66 Dy ДИСПРОЗИЙ 162,5	67 Ho ГОЛЬМИЙ 164,93	68 Er ЭРБИЙ 167,26	69 Tm ТУЛИЙ 168,934	70 Yb ИТТЕРБИЙ 173,04	71 Lu ЛЮТЕЦИЙ 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

АКТИНОИДЫ

89 Ac АКТИНИЙ [227]	90 Th ТОРИЙ 232,038	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ [231]	92 U УРАН 238,29	93 Np НЕПУНИЙ [237]	94 Pu ПЛУТОНИЙ [244]	95 Am АМЕРИЦИЙ [243]	96 Cm КЮРИЙ [247]	97 Bk БЕРКЛИЙ [247]	98 Cf КАЛИФОРНИЙ [251]	99 Es ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	100 Fm ФЕРМИЙ [257]	101 Md МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	102 No НОБЕЛИЙ [259]	103 Lr ЛОУРЕНСИЙ [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

- **Кремний, Si** (silicium) – химический элемент IV группы периодической системы Менделеева, атомный номер 14, атомная масса 28,086. В природе встречаются три стабильных изотопа **28Si** (92,27%), **29Si** (4,68%), **30Si** (3,05). Кремний – полупроводник, электрические свойства которого сильно зависят от примесей.
- По распространению в природе кремний находится на втором месте после кислорода, его кларк **29,5%** массы земной коры. Известно свыше 400 минералов, содержащих кремний. Около 12% литосферы составляет *кварц* **SiO₂** и его скрытокристаллические разновидности (*халцедон, опал* и т.д.), а 75% составляют различные силикаты и алюмосиликаты (*полевые шпаты, слюды, амфиболы* и т.д.).

Элементарные (простые) полупроводники

– 12 химических элементов средней части
Периодической системы Д.И.Менделеева

Периоды (Ряды)	Группы (подгруппы) элементов			
	IV (a)	V (a)	VI (a)	VII (a)
2 (2)	C 6 углерод			
3 (3)	Si 14 кремний	P 15 фосфор	S 16 сера	
4 (5)	Ge 32 германий	As 33 мышьяк	Se 34 Селен	
5 (7)	Sn 50 Олово	Sb 51 сурьма	Te 52 теллур	I 53 йод

О полупроводниках

- Полупроводники – вещества, электропроводность которых при комнатной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов (10^6 - 10^4 Ом⁻¹ см⁻¹) и диэлектриков (10^{-8} - 10^{-12} Ом⁻¹ см⁻¹) и возрастает при повышении температуры. Носителями заряда в полупроводниках являются электроны проводимости и дырки (носители положительного заряда)
- Способность изменять свои свойства в чрезвычайно широких пределах под влиянием различных воздействий (температуры, освещения, электрического и магнитного поля и др.) обусловила широкое применение полупроводников. На основе различных полупроводниковых материалов разработано огромное количество разнообразных полупроводниковых приборов.

- Производство кремния – это вопрос стратегический, поскольку затрагивает экономическую независимость и безопасность страны.
- Кремний – это 70% всех потребляемых микроэлектроникой материалов. Кремний используют для изготовления интегральных схем, диодов, транзисторов, солнечных батарей, фотопроемников и др., а также линз в приборах ИК техники.
- Кремний применяется как легирующая добавка в производстве сталей и сплавов цветных металлов.

- **Промышленные типы кремния:**

1. **Технический кремний** получают, восстанавливая расплав SiO_2 коксом при температуре $\sim 1800^\circ\text{C}$ в руднотермических печах шахтного типа. Чистота полученного кремния – до 99,9%. Примеси – углерод, металлы. Кремний технической чистоты (**SiO_2 96-99%**) используется в черной металлургии для получения сплавов на нежелезной основе (силумин), легирования (кремнистые стали и сплавы) и раскисления сталей и сплавов (удаление кислорода).
2. **Полупроводниковый кремний** получают восстановлением водородом **SiCl_4** или **SiHCl_3** , разложением **SiH_4** . Кремний **солнечной** градации (**SoG**) – содержание Si на фоне примесей от 99,99999% до 99,9999999% (чистота от **7N** до **8N**); Кремний **электронной** градации (**EG**) - сод. Si на фоне примесей от 99,9999999% до 99,999999999% (чистота от **9N** до **11N**).

3. *Поликристаллический кремний* – высокочистый продукт сложного химического производства. Он является сырьём для производства как монокристаллической, так и мульткристаллической модификаций кремния – основных полупроводниковых материалов, применяемых в солнечной энергетике, микроэлектронике и силовой электронике. На основе этих модификаций производится более 90% всех полупроводниковых устройств и солнечных элементов в мире.

4. *Микрокристаллический кремний* - слиток, состоящий из отдельных зерен монокристаллов, размер которых составляет от 0,1мкм до 10 мкм.

- 5. Монокристаллический кремний** - слиток, полученный методом Чохральского или методом бестигельной зонной плавки, имеющий единую кристаллическую структуру, ориентированную в определённой кристаллографической плоскости. Самый совершенный и стабильный тип кремния. Как и мульткристаллический кремний, производится из поликристаллического кремния, либо из скрапа монокристаллического кремния.
- 6. Мульткристаллический кремний** - слиток, состоящий из отдельных зерен монокристаллов, размер которых составляет, как правило, более 5 мм.

По данным Геологической службы США (USGS Mineral Commodity Summaries-2020)

Подавляющая доля феррокремния (ferrosilicon) используется в литейном деле и производстве стали; сорта феррокремния (Si,%): 55-80; 80-90; более 90. Страны-лидеры по производству феррокремния - Китай, РФ и Норвегия.

Главными потребителями металлического кремния (Si) являются получение Al-сплавов и химическая промышленность; в производстве полупроводников и в солнечной энергетике из металлического кремния высокой чистоты изготавливают чипы для компьютеров и фотоэлектрических ячеек; сорта металлического кремния (Si,%): 99,00-99,99; более 99,99. Страны-лидеры по производству металлического кремния – Китай, Норвегия и Бразилия.

Без учета США доля феррокремния в общей мировой Si-продукции около 55%. В 2019 году производство этой продукции составило: 7 тыс.т; по странам: Китай – 4,5 тыс.т (64,3%), РФ – 0,6 (8,6), Норвегия – 0,37 (5,3), США – 0,32 (4,6), Бразилия – 0,21 (3,0), Малайзия – 0,15 (2,1), Франция – 0,14 (2,0) и др. Доля названных стран оставляет около 90%.

Источником кремния (silicon) является кремнезем (silica) в различных его природных формах, например, в кварцитах. Запасы (reserves) и ресурсы (resources) такого сырья в странах-производителях достаточны, но неизвестны (не публикуются).

Солнечная энергетика

«Человечество вынуждено интенсифицировать изыскания источников энергии, альтернативных традиционным. Известно, что количество солнечной энергии, которое поступает на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана. Главным ресурсом, способным внести значительный вклад в мировое энергопотребление, обладает солнечная энергетика»
(Академик Ж. Алферов)

- **Солнечная энергия.** Излучение (радиация) идущая от Солнца, имеющая корпускулярную (поток протонов) и электромагнитную природу, является основным источником энергии для процессов, происходящих на Земле. Установлено, что в диапазоне спектральной чувствительности кремниевых солнечных элементов 0,3 – 1,1 мкм суммарная мощность электромагнитной составляющей солнечного излучения на поверхности Земли составляет около 1000 Вт/м².

- **Солнечная батарея.** Генерирующая постоянный ток электрическая установка, состоящая из ориентированных по солнцу солнечных модулей, имеющая общую несущую конструкцию. Электрическая мощность солнечной батареи может достигать несколько киловатт.
- **Солнечный модуль.** Герметичная сборка электрически соединённых между собой солнечных элементов, имеющая нормируемые геометрические установочные размеры, электрические параметры, показатели надежности при воздействии внешней среды и гарантируемый производителем срок эксплуатации. Электрическая мощность солнечного модуля - от 10 до 300 Вт, срок эксплуатации – от 20 до 30 лет...

- **Солнечный элемент или фотоэлектрический преобразователь (ФЭП).** Полупроводниковый прибор, который преобразует световую энергию солнца в электрическую энергию. Конструкция и характеристики солнечных элементов определяются структурой и свойствами полупроводниковых материалов. Более 90% солнечных элементов производится на основе кристаллического моно- и мультикремния. Кремниевые промышленные солнечные элементы имеют эффективность (КПД) преобразования 14-16% для мультикристаллического кремния и 16-18% для монокристаллического кремния.

- Кремний солнечной градации (**SG**) по содержанию электрически активных примесей занимает промежуточное значение между кремнием металлургической градации (**MG**) и кремнием электронной градации (**EG**).
- Для фотоэлектрических преобразователей (**ФЭП**), кремниевых пластин, солнечных элементов, солнечных панелей, также как и для производства электроники необходим поликристаллический кремний, марка **5N** (99,999%), **6N** (99,9999%), **8N**, **9N**, **11N** ЧИСТОТЫ.

Из газеты «Ъ» от 25.08.2011 No 157 (4698)

Частно-государственным проектом «**Кавказская Кремниевая долина**» предусмотрено создание на Северном Кавказе высокотехнологичного производственного кластера кремниевой продукции для солнечной энергетики. В реализации проекта будут участвовать Ставропольский край (производство **поликристаллического кремния**), Кабардино-Балкария (**монокристаллический кремний**), Карачаево-Черкесия (**мультикристаллический кремний**), Северная Осетия-Алания (производство **фотоэлектрических преобразователей**) и Дагестан (**солнечные модули**).

Как пояснил координатор Ассоциации солнечной энергетики России, за **2011 год мировой рынок солнечной энергетики** увеличится на 30% и составит **62 ГВт**. Для сравнения, общая мощность всех **АЭС в России – 24,2 ГВт**. В России сейчас только создается сырьевая и производственная база рынка альтернативной энергетики, например, за счет проектов «Усолъе-Сибирский силикон» и строящегося завода по производству солнечных батарей в Новочебоксарске (совместное предприятие ГК «Ренова» и «Роснано»).

В Германии, на которую приходится **17 ГВт** мирового рынка потребления солнечной энергии, уже через два года планируют достичь уровня сетевого паритета (стоимость альтернативной энергии равна стоимости традиционной).

Кварцевое стекло

- Кристаллический кварц и кварцевое стекло – различные формы кремнезема (silica)– диоксида кремния (SiO_2). В кварцевом стекле диоксид кремния находится в аморфной форме и поэтому оно не растрескивается при резком перепаде температур, как кристаллический кварц, имеет чрезвычайно низкий коэффициент температурного расширения и теплопроводности.
- В отличие от обычного стекла, состоящего из смеси различных компонент, кварцевое стекло состоит только из диоксида кремния, а количество примесей других химических элементов в нем чрезвычайно мало.

- ***Кварцевое стекло характеризуется:***
 - чрезвычайно широким спектром пропускания (через стекла из кварцевого стекла можно даже загорать),
 - малым поглощением света (обычное оконное стекло поглощает столько же света, сколько и кварцевое стекло толщиной в 100 м),
 - высокой оптической гомогенностью,
 - стойкостью к ионизирующим излучениям и лазерному излучению высокой интенсивности,
 - низким коэффициентом температурного расширения (примерно в 20 раз меньшим по сравнению с обычным стеклом),
 - высокой рабочей температурой (более 1200°C, что в 4 раза больше, чем для обычного стекла) и т.д.

Все это обуславливает широкое применение кварцевого стекла в полупроводниковой промышленности и оптике.

- Кварцевое стекло является однокомпонентным силикатным стеклом, состоит практически из одного кремнезема и получается путем плавления природных его разновидностей - горного хрусталя, жильного кварца и кварцевых песков, а также синтетической двуокиси кремния.
- Различают два основных вида кварцевого стекла – прозрачное и непрозрачное. В зависимости от свойств и назначения прозрачное стекло бывает: техническое оптическое (общего назначения); прозрачное в инфракрасной или в короткой ультрафиолетовой (увиолевое стекло) области; не темнеющее от радиоактивных излучений и **особо чистое**.

- Кварцевое стекло применяется:
 - при изготовлении кислотоупорной термостойкой аппаратуры, трубопроводов, змеевиков, холодильников и подогревателей;
 - производстве химико-лабораторной посуды, приборов и аппаратуры (тиглей, чаш, колб, реторт, перегонных аппаратов, холодильников);
 - изготовлении нитей тканей и пористого кварцевого огнеупора для теплоизоляции;
 - производстве приборов и аппаратуры, связанных с УФ излучением.

ОЧК

Особо чистые кварцевые концентраты (ОЧК) как плавочное сырье для получения специальных прозрачных кварцевых стекол, поли- и монокристаллического кремния, широко используются в различных отраслях промышленности высоких технологий – радиоэлектронной (в том числе в микроэлектронике), полупроводниковой, электро- и светотехнической (высокоинтенсивные источники света), оптической (и волоконно-оптической) и др.

Фактическим монополистом на мировом рынке ОЧК является фирма «Юнимин» (США), производящая концентраты йота-кварца.

- Потребление **ОЧК** в различных отраслях: электронная (50%), светотехническая (30%), волоконно-оптическая (10%), оптическая (5%), прочие (5%).
- Кварцевые **нанопорошки** с размером частиц менее 100 нанометров ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) имеют широкое применение в области микроэлектроники и строительстве и эксплуатации нефтяных и газовых скважин. \ \ Метод гидромеханического упрочнения ствола в процессе бурения скважин с использованием в буровых растворах модифицированного дисперсного кремнезема (МДК) является перспективным направлением в совершенствовании технологии буровых работ \ \
- Кварцевый **микророшок**, представляющий собой очищенный продукт измельчения природного кварца, с размером частиц менее 100 микрон ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$), применяется в качестве наполнителя при производстве интегральных схем.

- **Основная проблема МСБ кварца России** – обеспечение отечественной промышленности высококачественным сырьем для наплава специальных прозрачных кварцевых стекол, используемых в первую очередь в микроэлектронике.
- **Ведущее место в мире по добыче и переработке кварца** занимают **США**. Компанией «ЮНИМИН» разработана технология глубокой очистки кварца с получением концентратов высокой химической чистоты сорта йота-кварц. Этот мировой стандарт для плавки прозрачного кварцевого стекла характеризуется высокой химической чистотой и стабильностью качества. Сырьем для получения кварцевых концентратов служили отходы керамического (каолинового) производства, а затем коренные породы – плагиопегматиты с содержанием кварца 18-20%. (См. Н.И.Ерёмин «Неметаллические полезные ископаемые», с. 137-138: месторождение Спрус Пайн).

Стандарты ОЧК компании UNIMIN (ЮНИМИН, США), ppm:

сорт	Al	B	Ca	Cr	Cu	Fe	K
JOTA 8	7,0	< 0,04	0,5	< 0,003	< 0,002	< 0,03	< 0,04
JOTA 6	8,0	0,04	0,6	< 0,05	< 0,05	0,15	0,07
JOTA 4	8,0	0,04	0,6	< 0,05	< 0,05	0,30	0,35
JOTA std	16,2	0,08	0,5	< 0,05	< 0,05	0,30	0,60

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Ti	Zr
< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,03	< 0,02	0,05	1,2	< 1,0
0,15	< 0,05	< 0,05	0,08	< 0,05	0,05	1,4	0,1
0,15	< 0,05	< 0,05	0,9	< 0,05	0,05	1,4	0,1
0,90	< 0,05	< 0,05	0,9	< 0,05	0,10	1,3	1,3

- **В России к плавочным сортам ОЧК** предъявляются жесткие требования, регламентируемые ТУ-5726-002-11496665-97 и лимитируют содержание элементов-примесей в кварцевых концентратах до 24-30 ppm, минеральных примесей меньше 0,00 п %, коэффициент светопропускания 89% и газонасыщенность не более 50-70 ppm.
- **Примеси в кварце** подразделяются на ***минеральные, структурные и флюидные.*** Минеральные примеси должны удаляться при глубоком обогащении. Количество структурных примесей в кварце – важный критерий качества, так как их содержание определяет предел обогатимости кварца и при превышении их количества по сравнению с требованиями, предусмотренными ТУ, такой кварц не может быть отнесен к особо чистому. В ОЧК лимитируется также содержание остаточной флюидной фазы, косвенным показателем количества которой служит коэффициент светопропускания.

Вопросы для дальнейшего рассмотрения

- Каковы же доля и проявление ОЧК в общей массе кристалло-кварцевого сырья – горного хрусталя, пьезооптического, гранулированного, прозрачного (рекристаллизованного) и молочно-белого (непрозрачного) жильного кварца?
- Какова перспективность кварцевого сырья месторождений различных геолого-промышленных и генетических типов (включая так называемые «суперкварциты») на получение концентратов ОЧК мирового уровня (ЮТА-кварц)?

Геолого-промышленные типы месторождений кварца как плавочного сырья в России

(по классификации Е.П.Мельникова)

1. Слюдоносно-пегматитовый метаморфизованный тип.

Кварцевые ядра пегматитов - преимущественно мелкозернистый гранулированный кварц (уфалейский тип) с незначительным количеством минеральных примесей (до 1,4%), высоким светопропусканием (80-87%), химической чистотой и легкой обогатимостью. Ограниченное распространение (месторождения Уфимское, Беркутинское на Южном Урале) и незначительные запасы.

2. Силектитовый метаморфизованный тип.

Существенно кварцевые метаморфогенные пегматиты, кварц которых позднее неоднократно перекристаллизован в условиях амфиболитовой/гранулитовой фаций. Это - тонкозернистые и мелкозернистые гранулированные образования (уфалейский тип) с высоким светопропусканием (до 82%), структурной и гранулометрической однородностью, но повышенным содержанием минеральных примесей (до 8%, в сред. 2-3%). Хорошая обогатимость. Месторождения Южного Урала с значительными запасами плавочного сырья (жила 175 Кыштымского месторождения). Пригодны для наплава прозрачных стекол. При глубоком обогащении по новейшим технологиям возможно получение ОЧК, соответствующих лучшим зарубежным аналогам.

3. Карцево-жильный метаморфизованный тип.

Связан с гнейсо-мигматитовыми и эклогит-сланцевыми комплексами подвижных поясов (Средний и Южный Урал). Кварцевые жилы – среди сланцевого обрамления комплекса, в гнейсовом ядре, в зонах развития эклогитов - сложены различными типами кварца: гранулированным, молочно-белым, полупрозрачным, стекловидным. Жилы неоднородны: отмечается гранулированный кварц как уфалейского, так и кыштымского типов, участки молочно-белого кварца. Для ОЧК наиболее интересны жилы гранулированного мелкозернистого и среднезернистого кварца, развитые преимущественно в ядрах гнейсо-мигматитовых комплексов. Кварц с высоким светопропусканием (до 94%, в среднем 72-75%), с широким разбросом содержания элементов-примесей (преимущественно Al, Na, K). При совершенствовании технологий обогащения – реальный источник получения ОЧК.

4. Кварцево-жильный первично кристаллизованный тип. Месторождения – среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ Южного и Приполярного Урала в зонах глубинных разломов, сопровождаемых глаукофан-зеленосланцевым метаморфизмом. Практически мономинеральные жилы крупно- и гигантзернистого кварца, стекловатого, полупрозрачного, содержащего минеральные примеси в десятых долях %. Светопропускание невысокое и колеблется в различных участках от 30 до 90%. Доля и размеры (до нескольких дм³) участков прозрачного кварца невелики, что не позволяет селективно извлекать их. На месторождениях Приполярного Урала, где сосредоточены основные запасы этого кварца, выход ОЧК колеблется от 0,7 до 7,4%. Сырье даже с низким светопропусканием благодаря химической чистоте – шихта для синтеза ИКК.

5. Метасоматически

перекристаллизованные кварциты

(так называемые «суперкварциты») как новый, потенциально перспективный тип ОЧК. Выявлен в Восточном. Саяне (месторождение Бурал-Сардыкское).

Суперкварциты характеризуются высокой минеральной и химической чистотой, что позволяет получать ОЧК. Однако их технологические свойства изучены слабо.

- **Основными** геолого-промышленными и технологическими **типами** для получения ОЧК являются ***жильный гранулированный*** и ***прозрачный фрагментарно-стекловидный*** кварц метаморфогенного генезиса.
- **При образовании ОЧК определяющим фактором** является ***высокое давление***, реализация которого определяется по наличию минеральных парагенезисов с глаукофаном, дистеном, эклогитоподобных пород, на основании чего был сделан вывод о приуроченности ОЧК к высокобарическим зонам, то-есть локализация высокочистого кварца возможна в зонах с высоким давлением – в эклогит-гнейсовых и эклогит-глаукофан-сланцевых комплексах.

КЫШТЫМСКИЙ ГОК

- 1. Добыча.** Отработка подземным способом на руднике ОАО «КГОК» по технологии «Проект отработки подземным способом жилы 175» (ИГД УрО РАН, 2000 г.). Добытый кварц предварительно сортируется на руднике, после которой кусковый кварц доставляется на фабрику сухого обогащения.
- 2. Сухое обогащение.** Измельчение – классификация – сухая магнитная сепарация ... доставка на участок глубокой очистки в виде кварцевой крупки.
- 3. Глубокое обогащение.** Очистка кварцевой крупки до необходимого качества с использованием так называемых «мокрых» процессов обогащения (в зависимости от сорта кварцевого концентрата крупка проходит различные стадии обработки): флотацию – кислотное травление – прокалку – магнитную сепарацию – промывку деионизированной водой.
- 4. Контроль качества** продуктов на каждой стадии обогащения и конечной продукции осуществляется в промышленной лаборатории предприятия.

5. Базовые сорта высокочистых кварцевых концентратов, выпускаемых ОАО «Кыштымский ГОК»:

Основная фракция 0,1 – 0,3 мм; доля – 97% (96%); остальное – 3%(4%).

Сорт SSQ-2k – не прошедший высокотемпературного прокаливания *ppm*;

сорт SSQ-2kc - прошедший высокотемпературное прокаливание при $t = 1100^{\circ}\text{C}$ (цифры в скобках) *ppm*:

Al – 19,9 (6,0); Fe – 2,9 (0,5); Ti – 2,9 (2,9); Na – 9,0 (0,5); K – 4,9 (0,4); Li – 0,25 (0,3); Ca – 4,9 (0,8); Mg - n/a (0,1); Cu – 0,12 (<0,01); Mn - n/a (<0,01); Cr – 0,05 (1); B – 0,12 (<0,1); Zr - n/a (<0,05); P - n/a (<0,1).

Для сравнения **UNIMIN (ЮНИМИН, США), ppm** :

JOTA std Al – 16,2; Fe – 0,30; Ti – 1,3; Na – 0,9; K – 0,60; Li – 0,90; Ca – 0,5; Mg – до 0,05; Cu – до 0,05; Mn - до 0,05; Cr – до 0,05; B – 0,08; Zr – 1,3; P – 0,10.

Из издания «NanoWeek», 19-25.01 2010, № 95

Российский проект модернизации производства высокочистых кварцевых концентратов и освоения выпуска кварцевых микро- и нанопорошков (ОАО «Полярный кварц» при участии ОАО «Корпорация Урал Промышленный – Урал Полярный» и ГК «Роснотех») успешно реализуется: действует цех дробления и фотометрического обогащения в Усть-Пуйве, строится обогатительная фабрика в Нягани, на месторождении Додо осуществляются вскрышные работы и промышленная добыча кварцевого сырья, поставляемого для дальнейшей переработки в Усть-Пуйву и в Кыштымский ГОК.

Главные производственные мощности проекта размещаются на территории муниципального образования Березовский район и муниципального образования г. Нягань Ханты-Мансийского автономного округа-Югры.

Мировая МСБ кварца для плавки* (По Н.М.Серых и др., 2009)

	Россия	США	КНР	Индия	другие страны	всего
<i>тыс. т</i>	16500	12400	8800	1000	700	39400
%%	41,88	31,47	22,33	2,54	1,78	100,00

*ресурсный потенциал

	жильный квца	пегматиты	Каолиновые коры выветривания	**горный хрусталь	всего
<i>тыс. т</i>	28900	7600	2900	100	39500
%%	73,17	19,24	7,34	0,25	100,00

**В связи с тем, что природный пьезооптический кварц вытеснен синтетическими монокристаллами (ИКК), а горный хрусталь по своему химическому составу редко отвечает современным требованиям промышленности к плавочному сырью, данный блок МСБ кварцевого сырья можно считать полностью законсервированным.

Ресурсный потенциал (ресурсы+запасы) кварца для плавки России, тыс. т (%%) (По Н.М.Серых и др., 2009)

	Южно-Уральская субпровинция	Приполярно- Уральская субпровинция	Карело- Кольская провинци я	Прибайкальская провинция	Россия, всего
¹ Ресурсный потенциал	7379 (44,85)	6765 (41,12)	998 (6,06)	1311 (7,97)	16453 (100)
² Прогнозные ресурсы	4562 (38,49)	5228 (44,11)	937 (7,91)	1125 (9,49)	11851 (100)
² Балансовые запасы	2817 (61,21)	1537 (33,40)	61 (1,34)	186 (4,05)	4602 (100)
в т.ч.активные запасы ОЧК	422 (76,59)	62 (11,25)	- (-)	67 (12,16)	³ 551 (100)

¹на 01.01.2006 г. ² на 01.01.2008 г. ³ локализованные запасы ОЧК, рентабельные к отработке в современных условиях, составляют лишь 12% запасов учтенных Госбалансом.

По данным Геологической службы США (USGS Mineral Commodity Summaries-2020)

Промышленные искусственные кристаллы кварца (*cultured quartz*) это кристаллы электронной градации, которые не добываются, а производятся из кварцевого сырья неэлектронной градации (*lascas*), необходимого также для плавки. Большая часть таких (пьезоэлектрических) искусственных кристаллов используется в электронике (частотные фильтры, контроль частот, таймеры в электронных цепях коммуникационного оборудования, компьютеры, телевизоры и др.), оставшаяся – в оптике.

Потребности электроники в этом кварце (*cultured quartz*) остаются стабильными, однако в двух важнейших сферах (сотовые телефоны и другие мобильные устройства, контроль стабилизации автомобилей) он вытесняется металлическим кремнием (*silicon*). Рост потребительского рынка электроники (персональные и настольные компьютеры, электронные игры) вероятно продолжит поддержку глобального производства искусственных кристаллов кварца (*cultured quartz*).

Информация по рудничной добыче и запасам (*reserves*) кристаллокварцевого сырья (*lascas*) недоступна, но вероятно они значительны. Ограниченные ресурсы (*resources*) природных кристаллов кварца, пригодных для прямого использования в электронике и оптике, известны и доступны в мире. Однако мировая зависимость от этих ресурсов будет снижаться из-за возрастания доступа промышленных искусственных кристаллов кварца (*cultured quartz*) как альтернативного сырья.

Заключение

- Кремний – полупроводник, электрические свойства которого сильно зависят от примесей. Производство кремния – это вопрос стратегический, поскольку затрагивает экономическую независимость и безопасность страны.
- Главным ресурсом, способным внести значительный вклад в мировое энергопотребление, обладает солнечная энергетика.
- Особо чистые специальные прозрачные кварцевые стекла, поли- и монокристаллический кремний, широко используются и незаменимы в различных отраслях промышленности высоких технологий.
- Основная проблема МСБ кварца России – обеспечение отечественной промышленности высококачественным (ОЧК) сырьем для наплава специальных прозрачных кварцевых стекол, используемых в первую очередь в микроэлектронике.
- Сведения о балансовых запасах в недрах и добыче ОЧК в РФ составляют государственную тайну.

Литература

1. **Обзор рынка особо чистого кварца в СНГ.** ИнфоМайн М., сентябрь, 2009. www.infomine.ru
2. **Обзор рынка кварца особочистого в России и мире.** ИнфоМайн. 6 издание.М., ноябрь, 2016. www.infomine.ru
3. **К проблеме использования кварцевого песка для получения особо чистого кварца.** В.Г.Гадиятов, Д.А.Княх, С.А.Жидкова. Вестник ВГУ, 2010, No 2. С.с.324-327.
4. **Кварцевые концентраты из кварцитов Восточного Саяна.** Ф.П. Жабоедов, А.И. Непомнящих, О.Н.Соломеин. Известия РАН, серия физическая, 2017, том 81, No 9. С.с.1232-1237.
5. **Sibelco – IOTA. High Purity Quarts | Fused quarts products.** <https://www.sibelco.com/iota-high-purity-quarts/>
6. **Market of high purity quarts innovative applications.** Konstantinos I. Vatalis, George Charalambides, Nikolas Ploutarch Benetis. Elsevier. Procedia Economics and Finance 24 (2015), 734-742/

Перечень основных видов *стратегического* МС,

утвержденный распоряжением
Правительства РФ от 16.01.1996 г. No 50-
р, включает 29 наименований:

**нефть, природный газ, U, Mn, Cr, Ti,
бокситы (Al), Cu, Ni, Pb, Mo, W, Sn, Zr,
Ta, Nb, Co, Sc, Be, Sb, Li, Ge, Re, REEY,
Au, Ag, PGE, алмазы (C), особо чистое
кварцевое сырье (SiO₂).**

***Спасибо за
внимание !***