**УДК 669.782**

**кварцевое сырье для производства кремния в руднотермических печах**

**М.С. Леонова[[1]](#footnote-1), Е.А. Потапова[[2]](#footnote-2)**

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Описана роль кремния в различных отраслях промышленности и характеристика состава его примесей, удовлетворяющего требованиям рынка. Описаны крупнейшие месторождения России по добыче кварцевого сырья для производства металлургического кремния. Также приведены некоторые разновидности этого сырья и их химический состав. Представлен анализ кварцевых песков месторождений Иркутской области на предмет их пригодности и возможности использования в производстве кремния.

Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

*Ключевые слова: металлургический кремний; кварцевое сырье; кварцитовидные песчаники; кремнезем; окускованная шихта.*

**QUARTZ RAW MATERIAL FOR SILICON PRODUCTION IN ORE-SMELTING FURNACES**

**M. Leonova, E. Potapova**

National Research Irkutsk State Technical University, Department of Nonferrous Metals  
664074, Irkutsk, Lermontov str., 83

The article describes the role of silicon in various industries and characteristics of its impurities that meet the market requirements.

The authors outline the greatest deposits in Russia for the extraction of raw materials for metallurgical silicon production; also present some types of raw materials and their chemical composition.

They analyze quartz sand deposits in Irkutsk region for their suitability and feasibility for silicon production.

*Keywords: metallurgical silicon, quartz raw materials, quartz sandstones, silica; agglomerate charge mixture*

Основные тенденции научно-технического прогресса, предусматривающие развитие машиностроительных отраслей промышленности и направленные на значительное уменьшение веса машин благодаря применению легких металлов, повышению их долговечности; созданию новейших приборов высокой надежности на базе полупроводниковой и вычислительной техники; применения новых композиционных видов органических полимерных материалов с уникальными свойствами привели к резкому увеличению производства и потребления в стране и за рубежом легких металлов, и прежде всего, кремния. Поэтому в настоящее время по-прежнему остро стоит проблема интенсификации и оптимизации электротермического производства металлургического кремния в связи с возросшей потребностью в нем многих отраслей промышленности.

Для получения кремния, полностью отвечающего требованиям рынка, необходимо для плавки использовать сырье более высокого качества, характеризующееся содержанием диоксида кремния не менее 99,5 % и суммой лимитируемых примесей (оксидов железа, алюминия и кальция) не более 0,5 %.

Для металлургических целей наибольший интерес представляет скопление свободного и чистого кремнезёма в виде жильного кварца, кварцитов, кварцитовидных песчаников, кварцевых песков и в последнее время гранулированного кварца.

*Кварц* как разновидность кремнезёма является самым распространённым минералом в земной коре. Плотность – 2,59-2,65 г/см3; температура плавления – 1750-1760 ˚С. Состав жильного кварца определяется количеством и составом минеральных фаз:

1) минералов-спутников;

2) минералов-включений;

3) газово-жидких включений (ГЖВ), газов и паров, сорбированных активными поверхностями минеральных индивидов;

4) механических дисперсных частиц в трещинах, пустотах и на поверхности кварцевых индивидов.

Основное количество высококачественного кварцевого сырья добывается на Урале. Кварц уральских месторождений достаточно хорошо изучен; так, по количеству и качеству запасов жила 175 Кыштымского месторождения является эталонной. В Республике Коми расположено крупнейшее в России месторождение прозрачного жильного кварца Желанное. Также известно Таштыбутакское месторождение жильного кварца в Нагайбакском районе Челябинской обл. Имеются запасы жильного кварца в Ханты-Мансийском автономном округе. В Восточной Сибири разведаны и оценены кварцевые месторождения: Мало-Чипехетское, Гоуджекитское, Чулбонское, кварц Патомского нагорья.

*Горный хрусталь* – прозрачный бесцветный кварц, кристаллы которого имеют форму призм с шестигранными конусами на концах, характеризуется низким содержанием ГЖВ. Составы кристаллов горного хрусталя и индивидов жильного кварца довольно близки. Крупные месторождения горного хрусталя расположены в Бразилии (используется для получения высокочистого кварцевого стекла).

В нашей стране запасы горного хрусталя имеются на Урале, Алдане. В Южной Якутии в районах развития кварцитовых толщ докембрия широко развиты проявления горного хрусталя, отдельные месторождения его разрабатывались как пьезооптическое сырье. Для получения кремния данный вид сырья в нашей стране не используется.

*Кварцит* – регионально метаморфизованная горная порода, сложенная в основном зёрнами кварца (от 0,1 до 1 мм), макроскопически неразличимыми между собой и сливающимися в сплошную массу с занозистым или раковистым изломом. Эти зёрна сцементированы глинистым или кремниевым цементом. Плотность – 2,66 г/см3, кажущаяся пористость – до 1,2 %,водопоглощение – 0,1-0,5 % (довольно низкое); температура начала его расширения – 1150 ˚С.

Кварциты характеризуются большим содержанием SiO2 (95–99 %). Кроме кварца в составе кварцита часто встречаются и другие минералы. Типичные минералы-примеси: корунд (Al2O3), топаз (Al2 F,OH)2 SiO4), рутил (TiO2), гематитом (Fe2O3), включёнными в зёрна кварца или зажатыми между ними в виде примазок, заполнивших пустоты (глина, земля, пустая порода и т.д.).

Месторождения кварцитов: Антоновское, Черемшанское, Баническое. Разведаны в регионе Восточной Сибири: Право-Иликтинское, Сарминское, Халхазур-Ангинское (Куртунское), Уватское.

*Кварцитовидные песчаники* образовались из кварцевых зёрен (песков). Месторождения: Тулунское, Иликтинское, Черемшанское, кварцевые пески Западного Прибайкалья (Харгинское, Пользенское, Малоиликтинское и др.)

Месторождения кварцевого сырья, пригодного для выплавки кристаллического кремния и используемые в настоящее время для получения технического кремнияв нашей стране, следующие: гора Караульная (Антоновское) в Свердловской обл. – для нужд ОАО «Кремний-Урал»; Черемшанское в Забайкалье – основная рудная база для ЗАО «Кремний».

Кварциты Банического месторождения на Украине являлись основной сырьевой базой для получения кремния на Запорожском алюмокремниевом комбинате (ЗАлК).

*Гранулированный кварц*. При изучении и внедрении в сферу промышленного освоения нового вида сырья – гранулированного кварца – установлено, что он по качеству практически не уступает горному хрусталю, а по некоторым параметрам превосходит его. Гранулированный кварц – это кварц, претерпевший преобразования в условиях различных периодов формирования земной коры, которые привели к полной рекристаллизации первичного субстрата и, как следствие, к глубокому очищению его химического состава и повышению прозрачности минеральных индивидов.

В зоне влияния АООТ «Кыштымский горно-обогатительный комплекс (ГОК)» также находится ряд месторождений гранулированного кварца: Кузнечихинское, Агардяшское, Маукское, Аргазинское, Вязовское, Ектульское.

В Восточной Сибири расположено Малокутулахское месторождение гранулированного кварца, которое может рассматриваться как перспективное для получения кристаллического кремния высоких марок.

В последнее время, особенно в связи с предложениями по технологии электроплавки кремния на основе брикетированной шихты, большой интерес представляет возможность использования при выплавке кремния чистых кварцевых песков, месторождения которых в изобилии имеются в Восточной Сибири.

В таблице приведен химический состав кварцевых песков по месторождениям России [1].

**Химический состав кварцевых песков**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование месторождений добычи  кварцевых песков в Восточной Сибири. | Концентрация | | | |
| *Fe2O3* | *Al2O3* | *CaO* | *TiO2* |
| Новоселовское (Харьковская обл.) | 0,038 | 0,22 | 0,137 | 0,024 |
| Вольногорское (Днепропетровская обл.) | 0,03 | 0,21 | - | 0,1 |
| Новомихайловское (Донецкая обл.) | 0,04 | 0,7 | 0,06 | 0,14 |
| Серное (Дагестан) | 0,27 | 0,63 | - | 0,09 |
| Игирминское (Иркутская обл.) | 0,32 | 0,9 | 0,12 | 0,07 |
| Комбинат «Фосфорит» (Ленинградская обл.) | 0,18 | 0,278 | 2,76 | 0,09 |
| Неболчинское (Новгородская обл.) | 0,027 | 0,255 | - | 0,021 |
| Ташлинское (Ульяновская обл.) | 0,016 | 0,11 | 0,07 | - |
| Туганское (Томская обл.) | 0,018 | 0,211-0,587 | 0,023 | 0,09 |
| Апановское (Казахстан) | 0,26 | 0,88 | 0,036 | 0,15 |

Анализ состава кварцевых песков на предмет их пригодности и возможности использования в производстве кремния показывает, что лучшими из них являются пески следующих месторождений: Иликтинского (SiO2 – 98,5-99,0 %; Fe2O3 – 0,05 %после обработки песка в ультразвуковом поле и последующей магнитной сепарации), Черемшанского (SiO2 – 99,2 %; Fe2O3 – 0,1 %), Тулунского (SiO2 – 98,8 %; Fe2O3 – 0,12 %) [4].

Известно, что разновидности кремнеземсодержащего сырья с близким химическим составом обнаруживают существенно отличающиеся линии поведения в процессе восстановительной плавки кремния и сплавов на его основе, что обусловлено наличием морфологических особенностей кварцитов, различием их температуры плавления и термостойкости. Участвуя в различных стадиях восстановительного процесса, по мере нагрева рудное сырье претерпевает полиморфные превращения, плавление и газификацию [2]. Поэтому оценку технологической благоприятности использования того или иного вида рудного сырья возможно получить только на основе представлений о динамике структурных преобразований и фазовых превращений сырья в процессе высокотемпературного воздействия.

Целью наших исследований является определение пригодности кварцевых песков региона Восточной Сибири в качестве рудной части шихты для выплавки кремния (в составе окомкованных шихт). Изучение свойств кремнеземсодержащего сырья перспективных месторождений позволит выявить наиболее оптимальные сырьевые источники и расширить сырьевую базу для производства кремния.

**Библиографический список**

1. *Немчинова Н.В*., Клец В.Э. Кремний: свойства, получение, применение: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 271 с.
2. *Катков О.М.* Выплавка технического кремния: учеб.пособие. – 2-е изд. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1997. – 243 с.
3. *Немчинова Н.В., Л.В. Черняховский,* *В.Э. Клёц.* К вопросу о рациональном использовании кварцевых месторождений Восточной Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (3-10 окт. 2004 г., о. Крит (Греция)) / Фундаментальные исслед. – М.: Академия Естествознания, 2004. – № 3.
4. *Немчинова Н.В.*Высококачественные кварциты Восточной Сибири как рудное сырьё для выплавки кремния высокой чистоты. Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (22-24 апр. 2009 г., г. Екатеринбург). – Екатеринбург: ООО «Таилс КО», 2009.

*Работа выполнена по НИР № 14.В37.21.1064 в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы*

1. Леонова Мария Сергеевна, студентка кафедры металлургии цветных металлов, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

   Leonova Maria, a student of Metallurgy of Nonferrous Metals Department, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu) [↑](#footnote-ref-1)
2. Потапова Екатерина Александровна, студентка кафедры металлургии цветных металлов, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

   Potapova Ekaterina, a student of Metallurgy of Nonferrous Metals Department, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu) [↑](#footnote-ref-2)