УДК 662.772

В.С. Римкевич, А.А. Пушкин, И.В. Гиренко

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ КРЕМНЕЗЕМА И КРЕМНИЯ

Аннотация. Теоретически и экспериментально исследованы физико-химические особенности процессов фторидно-аммониевой переработки кремнеземсодержащего сырья на примере кварцевых песков Чалганского месторождения (Амурская область). Выявлены основные закономерности получения гексафторосиликата аммония спеканием кварцевого песка с гидродифторидом аммония. Установлены оптимальные условия прохождения процесса гидролизациигексафторосиликата аммония под действием аммиачной воды с образованием высокочистого нанодисперсного аморфного кремнезема. Из аморфного кремнезема путем алюмотермической обработки получен поликристаллический кремний высокой химической чистоты. Дополнительные реагенты восстанавливаются и поступают на определенные стадии технологического процесса. Составлена схема материальных потоков химических реакций фторидно-аммониевого обогащения кварцевых песков и промежуточных продуктов до получения высокочистого аморфного кремнезема и поликристаллического кремния. В результате проведенных исследований разработан инновационный метод комплексной переработки кремнеземсодержащего сырья.

Ключевые слова: кремнеземсодержащее сырье, фторидно-аммониевая переработка, комплексное извлечение, аморфный кремнезем, поликристаллический кремний, инновационный метод.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-73-80

Среди месторождений кремнеземсодержащего сырья (кварцевые пески, песчаники, кварциты, жильный кварц и др.) выделяются следующие геолого-генетические типы: эндогенные (гидротермальные формации жильного кварца, метаморфические породы и кварциты), экзогенные (осадочные формации и горные породы выветривания) и экзогенно-эндогенные (вулканогенно-осадочные породы) [1]. Самыми распространенными породами, содержащими свободный кварц, являются кварцевые пески. Месторождения особо чистого кварца (пьезокварца) — ценнейшее кондиционное сырье для получения металлургического кремния, из которого, в основном, извлекают поликристаллический кремний высокой химической чистоты.

Различные виды кремнеземсодержащего сырья обладают определенными перспективами для получения аморфного кремнезема и высокочистого поликристаллического кремния, которые широко используются в различных отраслях промышленности: химической, радиоэлектронной, космической, медицинской, косметической и других, и имеют большой спрос на внутреннем российском рынке и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Известные способы получения аморфного кремнезема связаны с использованием сложных многоступенчатых

© В.С. Римкевич, А.А. Пушкин, И.В. Гиренко. 2018.

процессов, требуют применения дорогостоящих реагентов, специфического исходного сырья и оборудования [2, 3 и др.]. Извлекаемый по существующим методам поликристаллический кремний обладает высокой себестоимостью вследствие больших энергетических и материальных затрат, и процессы его производства не обеспечивают полную технологическую и экологическую безопасность [4—6 и др.]. Проблема изучения процессов комплексной переработки кремнеземсодержащего сырья для получения различной кремнесодержащей продукции является весьма актуальной в настоящее время.

Цель исследований — разработка рационального метода извлечения аморфного кремнезема и высокочистого кремния путем фторидно-аммониевого обогащения широко распространенного и дешевого кремнеземсодержащего сырья — кварцевых песков, содержащих небольшое количество примесей.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлись кварцевые пески из Чалганского месторождения кварц-каолин-полевошпатового сырья (Амурская область), которое расположено на Транссибирской железнодорожной магистрали, в непосредственной близости от автомагистрали Москва–Владивосток и в 400 км к северо-западу от г. Благовещенск. По условиям образования кварц-каолин-полевошпатовые пески являются типичными озерно-континентальными осадочными отложениями сазанковской свиты миоценового возраста [7].

Запасы, утвержденные в ГКЗ, формовочного песка по категориям $A+B+C_1$ составляют 9,8 млн т, C_2 — 10,3 млн т, стекольного песка по категориям $A+B+C_1$ — 8,3 млн т, C_2 — 8,2 млн т. Общие запасы кварцевых песков достигают 36,6 млн т, каолина — 65, полевого шпата — 3,6 млн т. Прогнозные ресурсы минерального сырья Чалганского месторождения составляют 190 млн т.

Результаты гранулометрического анализа кварцевых формовочных песков свидетельствуют о значительном преобладании в их составе фракции крупности –1,0+0,15 мм, массовая доля которой составляет 77,95% при содержании кварца 95—96 мас.%. Содержание кварца во фракции +1,0 мм (выход к общему количеству 16,92%) составляет 99 мас.%, во фракции –0,15 мм (выход к общему количеству 5,13%) — 75 мас.%.

В опытах использовалась основная фракция, измельченная до размеров менее 0,1 мм, химического состава, мас.%: SiO_2 — 95,80; Al_2O_3 — 2,26; Fe_2O_3 — 0,17; TiO_2 — 0,23; Na_2O — 0,09; K_2O — 0,97; ппп — 0,40, содержащая по данным спектрального анализа небольшое количество примесей. По данным минералогического и рентгенофазового анализов основным породообразующим компонентом кварцевого песка является каркасный силикат кварц, присутствующий в форме β-SiO_2.

В качестве реагентов применяли гидродифторид аммония (NH_4HF_2) марки акционных смесей, а при нагревании становится мощным фторирующим реагентом, сравнимым по силе воздействия с газообразным фтором [8, 9]. Температура плавления гидродифторида аммония составляет 126,8 °С, температура разложения — 238 °С.

Исходные компоненты, взятые в заданных соотношениях, растирали, перемешивали и помещали в тефлоновые, стеклоуглеродные или платиновые тигли или чашки. Фторидно-аммониевое обогащение осуществляли на лабораторной установке специальной конструкции с реактором из никелевого сплава, в котором исходное сырье спекали с гидродифторидом аммония и полученные смеси термически обрабатывали

при заданных температурах и времени выдержки. Для разделения и сбора летучих продуктов применяли конденсатор, изготовленный из нержавеющей стали и фторопласта. Выделяющийся газообразный аммиак и пары воды улавливали во фторопластовом устройстве, заполненном водным раствором. Регенерацию гидродифторида аммония осуществляли в лабораторном выпаривателе-кристаллизаторе, синтез аморфного кремнезема проводили в гидролизном аппарате, выполненном из фторопласта, получение кремния осуществляли в термическом устройстве специальной конструкции.

Исходное сырье, промежуточные фазы и конечные продукты исследовали химическим, рентгенофазовым, спектральным, электронно-микроскопическим и другими методами анализа.

Химический анализ на содержание элементов (Si, Al, Fe, Ca, Na. K и др.) в пробах проводили на спектрометре XRF-1800 SIMADZU. Для рентгенофазового анализа применялся рентгеновский дифрактометр MAXIMAXRD-700 (CuK_{α}-излучение, λ = 1,54060Å) с базой данных для фазового анализа ICDDPDF 2008.

Спектральный анализ микропримесей выполнялся на спектрографе СТЭ-1 со скрещенной дисперсией со стандартным определением 44 элементов. В результате электронно-микроскопических исследований на сканирующем электронном микроскопе GSM-6390 LVJEOL устанавливались породообразующие элементы, на атомно-силовом микроскопе SOLVER P47 — размеры наночастиц.

Расчеты термодинамических параметров, констант скорости и энергии активации химических реакций осуществлялись с помощью программ, разработанных нами на основе приложения MicrosoftAccess 2007.

Результаты экспериментов и их обсуждение

В результате экспериментальных исследований разработана технологическая схема материальный потоков при комплексной переработке кварцевых песков с извлечением полезных компонентов (рис. 1), где под формулами

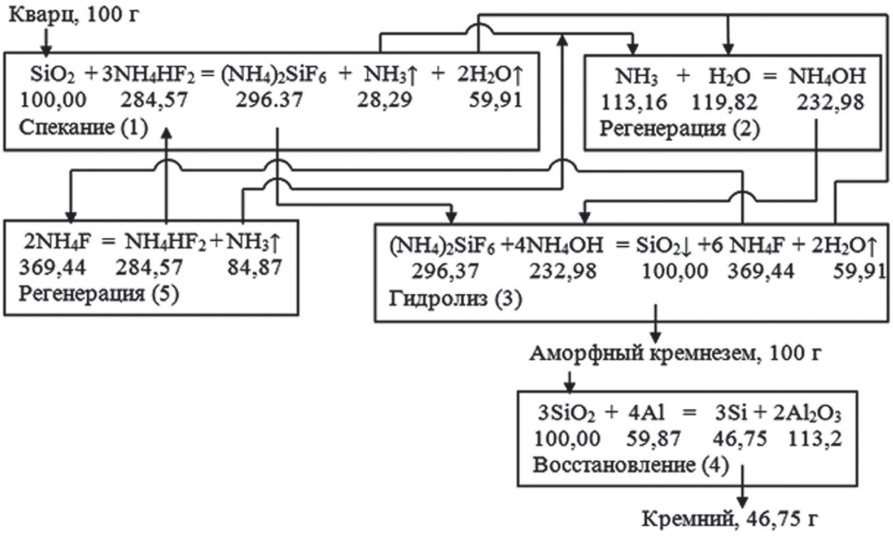

Рис. 1. Технологическая схема материальных потоков при комплексной переработке кварцевых песков
Fig. 1. The technological scheme of material flow at complex processing of quartz sands

химических соединений приводятся расходные коэффициенты на 100 г кварцевого песка стехиометрического состава без примесей. На схеме в скобках обозначены химические реакции комплексной переработки исходного сырья, которые по данным термодинамических расчетов идут в сторону образования конечных продуктов.

Спекание исходного кварцевого песка с гидродифторидом аммония проводилось при температурах 100—200 °С. С учетом констант скоростей и энергии активации (K_c = 0,00823 мин$^{-1}$ при 200 °С, E_α = 18,3 кДж/моль) реакция (1) протекает в диффузионной области. Способ ускорения процесса — повышение температуры. В расплаве NH_4HF_2 взаимодействие протекает с максимальной скоростью, и при температуре 200 °С за 3,5 ч достигаются оптимальные условия процесса. Выделяющийся газообразный аммиак и пары воды улавливаются с образованием аммиачной воды (NH_4OH) (реакция 2).

По данным рентгенофазового и химического анализов, полученный в восстановительных или инертных условиях порошкообразный спек состоит из гексафторосиликата аммония (($(NH_4)_2SiF_6$), а примесные соединения образуют фториды Al, Fe, Na и K. Очистку $(NH_4)_2SiF_6$ от примесей проводили путем термической обработки, в результате которой в температурном интервале 350—550 °С происходит сублимация гексафторосиликата аммония, что согласуется с данными [10, 11]. Процесс характеризуется высокими значениями констант скоростей реакции и низкой энергией активации (K_c = 0,061729 мин$^{-1}$ при 500 °С, E_α = 10,8 кДж/моль). Температура 500 °С является наиболее благоприятной для образования летучего $(NH_4)_2SiF_6$, которое происходит за короткие промежутки времени и через 0,5 ч достигается расчетное теоретическое количество этого продукта. Соединения фторидов не подвергаются сублимации и остаются в нелетучем осадке. Летучий $(NH_4)_2SiF_6$ улавливался и собирался в конденсаторе.

Электронно-микроскопические исследования показывают, что гексафторосиликат аммония состоит из микроразмерных пластин толщиной менее 100 nm, которые образуют кристаллические агрегаты волокнистой, пирамидальной и дендритовидной форм.

По данным химического и спектрального анализов $(NH_4)_2SiF_6$ имеет высокую химическую чистоту — содержание металлических примесей (Al, Fe, Mn, Mg, Cu) не превышает 10^{-3}—10^{-5} мас.%. Повторная сублимационная очистка позволяет получить $(NH_4)_2SiF_6$ с содержанием примесей менее 10^{-6}—10^{-8} мас.%.

Водный раствор гексафторосиликата аммония (3—33 мас.% $(NH_4)_2SiF_6$) взаимодействует с аммиачной водой (25 мас.% NH_3) при температуре 20—80 °С и pH 8—9 по реакции 3. Образовавшийся гель выпадает в осадок, выдерживается в течение 0,5—1,5 ч и затем путем фильтрования отделяется от раствора NH_4F, который поступает на дальнейшую переработку (реакция 5) с образованием гидродифторида аммония.

В результате происходит синтез нанодисперсного аморфного кремнезема высокой химической чистоты. По данным анализа на атомно-силовом микроскопе SOLVER R-47 средний размер наночастиц составляет 17—89 нм и зависит от исходной концентрации $(NH_4)_2SiF_6$ и температуры опыта при заданном pH. Эмиссионный спектральный анализ нанодисперсных порошков аморфного кремнезема подтверждает наличие в них минимального количества примесей (менее 10—4 мас.%); на дифрактограммах наблюдается рентгеноаморфноегало с отсутствием кристаллических фаз. По данным химического анализа в аморфном кремнеземе содержится

более 99,99 мас.% SiO_2 и обнаружены следы фтора. Извлеченный аморфный кремнезем по техническим характеристикам соответствует высококачественным сортам «белой сажи» и аэросила [12, 13].

Из химически чистого аморфного кремнезема получали поликристаллический кремний путем алюмотермической обработки (реакция 4). Для этого готовилась смесь из аморфного кремнезема, порошкообразного алюминия и серы в массовых соотношениях 0,9:1,0:1,2 соответственно, которая перемешивалась и помещалась в фарфоровый или алундовый тигель. Сверху засыпали слой зажигательной смеси специального состава, поджигаемый магниевой лентой. При горении зажигательной смеси проходила реакция с образованием сульфида алюминия (Al_2S_3).

Реакция идет с большим выделением тепла. В результате образовывался сплав кремния и шлак, состоящий из соединений алюминия. Затем тигель разбивали и его содержимое помещали в водный раствор. При этом выделялся сероводород (H_2S), а сульфат алюминия гидролизовался с образованием гидроксида алюминия ($Al(OH)_3$). Куски сплава промывали водой для отделения гидроксида алюминия, после этого сплав обрабатывали раствором соляной кислоты, чтобы удалить оставшийся алюминий и не отмывшийся $Al(OH)_3$. Далее нерастворенный порошок кремния отфильтровывали, промывали водой и высушивали до постоянной массы. Из гидроксида алюминия путем кальцинации извлекали кондиционный металлургический глинозем (Al_2O_3) [11].

На рис. 2 показаны морфологические особенности микроразмерных кристаллов кремния, а на энергодисперсном спектре и дифрактограмме монофазы поликристаллического Siне фиксируется

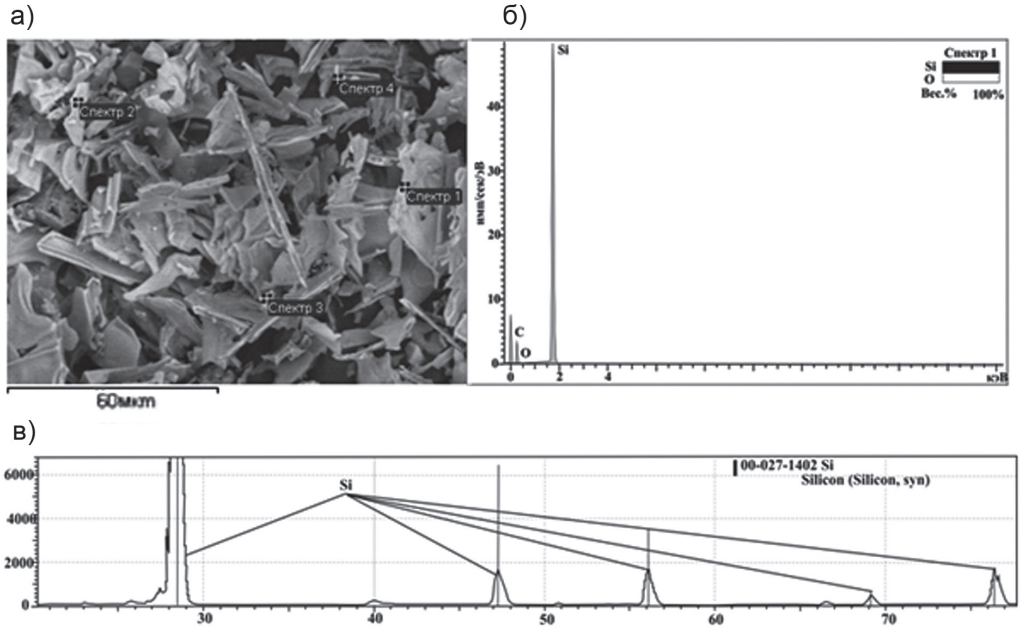

Рис. 2. Морфологические особенности кристаллов (а), энергодисперсный спектр (б) и дифрактограмма (в) образца кремния, полученного методом алюмотермии

Fig. 2. The morphological features of crystalline (a), energy-dispersion spectr (b) and diffractogram (v) of silicon sample receiving by alumothermymethod

наличие примесей. По данным химических анализов и электронно-микроскопических исследований содержание кремния в полученных образцах составляет более 99,97 мас.% Si, что соответствует высокочистому поликристаллическому кремнию.

Высокая химическая чистота извлекаемого поликристаллического кремния достигается использованием полученного высокочистого аморфного кремнезема (более 99,99 мас.% SiO_2) и применением особо чистых химических реактивов [14].

Заключение

Теоретическими и экспериментальными исследованиями выявлены оптимальные физико-химические условия комплексной переработки кремнеземсодержащего сырья. В результате разработан инновационный метод извлечения высокочистого аморфного кремнезема и поликристаллического кремния из кварцевых песков, который позволяет существенно уменьшить материальные и энергетические затраты на получение конечной продукции по сравнению с существующими способами.

Поликристаллический кремний высокой химической чистоты извлекается непосредственно из кремнеземсодержащего сырья, в том числе и некондиционного, минуя стадию образования металлургического кремния.

Применяемые низко- и среднетемпературные режимы фторидно-аммониевого обогащения позволяют использовать сравнительно дешевые конструкционные материалы, обеспечивающие малоотходность и экологическую безопасность технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еремин Н. И.*, *Дергачев А. Л.* Экономика минерального сырья. — М.: Книжный дом университет, 2007. — 504 с.

2. *Мельниченко Е. И.* Фторидная переработка редкометальных руд Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 267 с.

3. *Лягуша К. Н.* Патент РФ № 2480408 С1. 17.08.2011. Способ получения аморфного диоксида кремния из рисовой шелухи. 2013. Бюл. № 12.

4. *Немчинова Н. В.*, *Бельский С. С.*, *Тимофеев А. К.* Карботермическое получение кремния в электродуговых печах // Технология металлов. — 2012. — № 6. — С. 3—8.

5. *Марончук И. И.*, *Марончук И. Е.*, *Саникович Д. Д.*, *Широков И. Б.* Разработка методики очистки металлургического кремния до кремния марки «солнечный» // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. — 2015. — Т. 18. — № 3(71). — С. 189—194.

6. *Маянов Е. П.*, *Пархоменко Ю. Н.*, *Наумов А. В.* Краеугольный кремний: промышленное полупроводниковое материаловедение в России // Электроника: Наука, технология, бизнес. — 2017. — № 4(164). — С. 98—104.

7. *Васильев И. А.*, *Капанин В. П.*, *Ковтонюк Г. П. и др.* Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков. — Благовещенск: Зея, 2000. — 168 с.

8. *Zhang W., Hu Z., Liu Y., Chen H., Gao S., Gaschnig R.* Total rock dissolution using ammonium bifluoride (NH4HF2) in screw-top teflon vials: a new development in open-vessel digestion // Analytical Chemistry. 2012. Vol. 84. no 24. Pp. 10686—10693.

9. O'*Hara M. J.*, *Kellogg C. M.*, *Parker C. M.*, *Morrison S. S.*, *Corbey J. F.*, *Grate J. W.* Decomposition of diverse solid inorganic matrices with molten ammonium bifluoride salt for constituent elemental analysis // Chemical Geology. 2017. Vol. 466, Pp. 341—351.

10. *Федин А. С.*, *Ворошилов Ф. А.*, *Кантаев А. С.*, *Ожерельев О. А.* Исследование процесса сублимации гексафторосиликата аммония // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2013. — Т. 323. — № 3. — С. 23—27.

11. *Римкевич В. С.*, *Пушкин А. А.*, *Гиренко И. В.* Комплексная переработка анортозитов фторидно-аммониевым методом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 6. — С. 113—123.

12. *Demyanova L. P.*, *Rimkevich V. S.*, *Buynovskiy A. S.* Elaboration of nanometric amorphous silica from quartz-based minerals using the fluorination method // Journal of Fluorine Chemistry. 2011. Vol. 132, no 12. Pp. 1067—1071.

13. *Arunmtha S., Karthik A., Srither S., Vinoth M., Suriyaprabha R., Manivasakan P., Rajendran V.* Size-dependent physicochemical properties of mesoporous nanosilica produced from natural quartz sand using three different methods // RSC Advances. 2015. Vol. 5, no 59. Pp. 47390—47397.

14. *Леонтьев М. А.*, *Римкевич В. С.* Инновационный метод комплексной переработки кремнеземсодержащего сырья // Инновационная наука. — 2015. — № 10. — Ч. 3. — С. 238—242. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Римкевич Вячеслав Сергеевич[1] — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории, e-mail: vrimk@yandex.ru,
Пушкин Александр Андреевич[1] — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: pushkin@ascnet.ru,
Гиренко Ирина Витальевна[1] — ведущий инженер, e-mail: girenko66@inbox.ru,
[1] Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 9, pp. 73–80.

Integrated treatment of silica-containing materials with extraction of silica and silicon

Rimkevich V.S.[1], Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory, e-mail: vrimk@yandex.ru,
Pushkin A.A.[1], Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, e-mail: pushkin@ascnet.ru,
Girenko I.V.[1], Leading engineer, e-mail: girenko66@inbox.ru,
[1] Institute of Geology and Nature Management of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (IGNM FEB RAS), 675000, Blagoveshensk, Amur region, Russia.

Abstract. Physicochemical processes of fluoride-and-ammonium treatment of silica-containing materials are theoretically and experimentally studied in terms of quartz sand of the Chalgan deposit, Amur Region. Basic patterns of production of ammonium hexafluorosilicate by agglomeration of quartz sand and ammonium hydrofluoride are revealed. The optimal conditions of ammonium hexafluorosilicate hydrolization under the action of ammonium liquor with the formation of high-purity nano-dispersion amorphous silica are determined. Alumothermic process treatment of amorphous silica produces polycrystal silicon of high chemical purity. Additional agents are recovered and fed to certain stages of the process flow chart. The scheme of material flows in chemical reactions of fluoric–ammonium processing of quartz sand and middlings until production of high-purity amorphous silica and polycrystal silicon is composed. As a result of the implemented research, an innovative method of integrated treatment of silica-containing materials is developed.

Key words: Silica-containing materials, fluoride-and-ammonium treatment, integrated extraction, amorphous silica, polycrystal silicon, innovative method.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-73-80

REFERENCES

1. Eremin N. I., Dergachev A. L. *Ekonomika mineral'nogo syr'ya* [Minerals economy], Moscow, Knizhnyy dom universitet, 2007, 504 p.

2. Mel'nichenko E. I. *Ftoridnaya pererabotka redkometal'nykh rud Dal'nego Vostoka* [Fluoride treatment of rare metal ore of the Russian Far East], Vladivostok, Dal'nauka, 2002, 267 p.

3. Lyagusha K. N. *Patent RU 2480408 S1*. 17.08.2011.

4. Nemchinova N. V., Bel'skiy S. S., Timofeev A. K. Karbotermicheskoe poluchenie kremniya v elektrodugovykh pechakh [Carbothermal preparation of silicon in arc furnaces]. *Tekhnologiya metallov*. 2012, no 6, pp. 3—8. [In Russ].

5. Maronchuk I.I., Maronchuk I.E., Sanikovich D.D., Shirokov I.B. Razrabotka metodiki ochistki metallurgicheskogo kremniya do kremniya marki «solnechnyy» [Procedure for purification of metallurgical silicon up to Solar Grade Silicon]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Materialy elektronnoy tekhniki*. 2015, vol. 18, no 3(71), pp. 189—194. [In Russ].

6. Mayanov E.P., Parkhomenko YU.N., Naumov A.V. Kraeugol'nyy kremniy: promyshlennoe poluprovodnikovoe materialovedenie v Rossii [Fundamental silicon: industrial semiconductor material science in Russia]. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes*. 2017, no 4(164), pp. 98—104. [In Russ].

7. Vasil'ev I.A., Kapanin V.P., Kovtonyuk G.P. *Mineral'no-syr'evaya baza Amurskoy oblasti na rubezhe vekov* [Mineral-resources base of the Amur Region at the turn of centuries], Blagoveshchensk, Zeya, 2000, 168 p.

8. Zhang W., Hu Z., Liu Y., Chen H., Gao S., Gaschnig R. Total rock dissolution using ammonium bifluoride (NH4HF2) in screw-top teflon vials: a new development in open-vessel digestion. *Analytical Chemistry*. 2012. Vol. 84. no 24. Pp. 10686—10693.

9. O'Hara M.J., Kellogg C.M., Parker C.M., Morrison S.S., Corbey J.F., Grate J.W. Decomposition of diverse solid inorganic matrices with molten ammonium bifluoride salt for constituent elemental analysis. *Chemical Geology*. 2017. Vol. 466, Pp. 341—351.

10. Fedin A.S., Voroshilov F.A., Kantaev A.S., Ozherel'ev O.A. Issledovanie protsessa sublimatsii geksaftorosilikata ammoniya [Analysis of ammonium hexafluorosilicate sublimation], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2013, vol. 323, no 3, pp. 23—27. [In Russ].

11. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Girenko I.V. Kompleksnaya pererabotka anortozitov ftoridno-ammonievym metodom [Integrated fluoride-and-ammonium treatment of anorthosite]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 6, pp. 113—123. [In Russ].

12. Demyanova L.P., Rimkevich V.S., Buynovskiy A.S. Elaboration of nanometric amorphous silica from quartz-based minerals using the fluorination method. *Journal of Fluorine Chemistry*. 2011. Vol. 132, no 12. Pp. 1067—1071.

13. Arunmtha S., Karthik A., Srither S., Vinoth M., Suriyaprabha R., Manivasakan P., Rajendran V. Size-dependent physicochemical properties of mesoporous nanosilica produced from natural quartz sand using three different methods. *RSC Advances*. 2015. Vol. 5, no 59. Pp. 47390—47397.

14. Leont'ev M.A., Rimkevich V.S. Innovatsionnyy metod kompleksnoy pererabotki kremnezemsoderzhashchego syr'ya [Innovative integrated processing method for silica-containing materials]. *Innovatsionnaya nauka*. 2015, no 10, part 3, pp. 238—242. [In Russ].

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

(2018, № 6, СВ 32, 104 с.)

Коллектив авторов

Установлена взаимосвязь технологических процессов в угольных шахтах с количественной оценкой метановыделения из различных источников. Предложены мероприятия для повышения газоотдачи угольного и породного массивов. Произведена оценка выбросоопасности угольных пластов. Разработана система контроля и мониторинга угольного массива в отработанных полях и техногенных коллекторах. Дана оценка факторов, влияющих на выбор режимов работы систем дегазации угольных шахт. Приведена уточненная методика расчета ударно-воздушных волн при проведении буровзрывных работ у шахтах и рудниках. Рассмотрены основные особенности аэрологии карьеров.

MINING SAFETY AND ENVIRONMENT

Team of autors

The interrelation of technological processes in coal mines with the quantitative assessment of methane emission from various sources is established. Measures to increase the gas yield of coal and rock mass are proposed. The estimation of the outburst hazard of coal seams. The system of control and monitoring of coal mass in the waste fields and man-made reservoirs is developed. The estimation of the factors influencing the choice of operating modes of coal mine degassing systems is given. The refined method of calculation of shock-air waves during drilling and blasting operations at mines is given. Describes the main features of the aerology of quarries.