





Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии

Ольга С. Зубкова¹zubkova-phd@mail.ru 0000-0002-5833-528XМария А. Торопчина¹toropchina_maria@bk.ru 0000-0003-2228-7930¹ Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

Аннотация. В настоящей статье рассматривается проблема утилизации глинистого шлама обогащения алмазоносной руды. Сгущение сапонитового шлама посредством химической обработки на сегодняшний день рассматривается как наиболее эффективный способ осветления объемов воды, достаточных для поддержания оборотного водоснабжения предприятия, и, как следствие, сокращения объемов дополнительно вводимой в процесс воды. Авторами предлагается новый коагулянт для осаждения сапонитового шлама – содосульфатная смесь, являющаяся побочным продуктом алюминиевого производства. Использование содосульфатной смеси позволит сократить количество отходов как для обогащательной фабрики алмазодобывающего предприятия, так и для глиноземного производства. Рассмотрен вопрос механизма взаимодействия частиц сапонитового шлама с предлагаемым реагентом. Целью исследования является поиск физико-химических закономерностей взаимодействия глинистых частиц шлама с содосульфатной смесью. В работе определен химический и минеральный состав используемого сырья, поверхностный заряд глинистых частиц, гранулометрический состав опытных образцов и их электрокинетический потенциал. Результаты проведенных исследований показали, что в минеральный состав шлама включены следующие минералы: сапонит, каолин, серпентин, бейделлит, доломит. Поверхностный заряд глинистых частиц отрицательный. Химический состав содосульфатной смеси представлен в форме оксидов: Na_2O , SO_3 , CO_2 , Al_2O_3 . Выявлена зависимость электрокинетического потенциала от массы вводимой в шлам минеральной добавки. Было отмечено, что абсолютное значение ζ -потенциала остается выше 30 мВ несмотря на увеличение концентрации добавки, однако происходит коагуляция глинистых частиц и рассматриваемая система теряет седиментационную устойчивость при концентрации содосульфатной смеси 14,4 г/л.

Ключевые слова: сапонитовая глина, глинистая суспензия, коагуляция, седиментационная устойчивость, электрокинетический потенциал.

Influence of soda-sulfate mixture on physicochemical properties of saponite suspension

Olga S. Zubkova¹zubkova-phd@mail.ru 0000-0002-5833-528XMaria A. Toropchina¹toropchina_maria@bk.ru 0000-0003-2228-7930¹ Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia

Abstract. This article deals with the problem of clayey sludge utilization of diamondiferous ore enrichment. Thickening of saponite sludge by means of chemical treatment is currently considered as the most effective way to clarify the volume of water sufficient to maintain the recycling water supply of the enterprise and, as a consequence, to reduce the volume of additional water introduced into the process. The authors propose a new coagulant for settling saponite sludge - sodium sulfate mixture, which is a by-product of aluminum production. The use of sodosulfate mixture will reduce the amount of waste for both the diamond mining plant's concentrator and the alumina production. The question of the mechanism of interaction of saponite sludge particles with the proposed reagent is considered. The aim of the research is to find physical and chemical regularities of interaction of clayey slime particles with sodosulfate mixture. Chemical and mineral composition of used raw materials, surface charge of clay particles, granulometric composition of experimental samples and their electrokinetic potential were determined in the work. The results of the studies showed that the mineral composition of the clay slurry includes the following minerals: saponite, kaolin, serpentine, beidelite, dolomite. The surface charge of clay particles is negative. The chemical composition of the soda-sulfate mixture is represented in the form of oxides: Na_2O , SO_3 , CO_2 , Al_2O_3 . The dependence of the electrokinetic potential on the mass of the mineral additive introduced into the slurry was revealed. It was noted that the absolute value of ζ -potential remains above 30 mV despite increasing the concentration of the additive, but coagulation of clay particles occurs and the system in question loses sedimentation stability at a concentration of sodium sulfate mixture of 14.4 g/l.

Keywords: saponite clay, clay suspension, coagulation, sedimentation stability, electrokinetic potential.

Введение

На сегодняшний день перед промышленностью стоит ряд задач, среди которых совершенствование технологий добычи и переработки полезных ископаемых [1–3]. Также

развивается направление исследований, связанных с утилизацией и вторичным использованием отходов производств [4, 5]. Складирование побочных продуктов, как правило, осуществляется на открытой территории, что наносит ущерб окружающей среде [6, 7].

Для цитирования

Зубкова О.С., Торопчина М.А. Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 178–184. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-178-184

For citation

Zubkova O.S., Toropchina M.A. Influence of soda-sulfate mixture on physicochemical properties of saponite suspension. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 178–184. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-178-184

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Россия является одним из мировых лидеров в области добычи алмазов. Карьерный способ добычи приводит к нарушению ландшафта и экосистемы региона. Большинство алмазодобывающих предприятий имеет оборотное технологическое водоснабжение. В процессе обогащения руды образуется шлам, направляющийся в хвостохранилище для отстаивания. После чего отстоявшаяся вода с поверхности снова отправляется в голову процесса [8, 9].

Особенность месторождений европейского севера состоит в том, что алмазоносная порода содержит в своем составе большое количество глинистого минерала сапонита, который характеризуется высокоразвитой способностью к ионному обмену [10, 11]. Примечательной особенностью сапонита является его способность к образованию в воде суспензии, сохраняющей седиментационную устойчивость с течением времени. Вследствие чего, отстаивание такого шлама затруднительно, площадь хвостохранилищ огромна, содержание взвешенных веществ в оборотной воде велико настолько, что усложняет процесс обогащения руды [12, 13]. Так, по состоянию на 2020 год на участке хвостового хозяйства Ломоносовского месторождения было уложено 32,83 млн т шлама. Таким образом, хранение отходов обогащения алмазоносной породы в хвостохранилище наносит окружающей среде колоссальный ущерб, поэтому проблема утилизации шлама является актуальной на сегодняшний день.

В качестве одного из наиболее эффективных путей утилизации сапонитового шлама предлагается сгущение пульпы с целью увеличения количества оборотной воды [14]. Основным способом сгущения сапонитового шлама является коагуляция в присутствии химических реагентов. В качестве коагулянтов предлагаются как полимерные реагенты (полиакриламиды), так и ряд минеральных реагентов: сульфат калия, сульфат натрия, сульфат алюминия и т. д. [15, 16].

В данном исследовании в качестве коагулянта рассматривается содосульфатная смесь, которая является побочным продуктом глиноземного производства. Как правило, материал имеет следующий состав: 70–75 % Na_2SO_4 , 20–25 % Na_2CO_3 , примеси Al_2O_3 [17].

Цель исследования – рассмотрение содосульфатной смеси в качестве коагулянта сапонитового шлама путем поиска физико-химических закономерностей ее взаимодействия с глинистыми частицами.

Материалы и методы

Материалы. При проведении исследований были использованы следующие виды сырья: сапонитовая глина и содосульфатная смесь. Сапонитовая глина была отобрана на Ломоносовском месторождении, Архангельская область. Содосульфатная смесь предоставлена Богословским алюминиевым заводом, Свердловская область.

Определение минерального состава глинистого сырья проводилось методом рентгеновской дифрактометрии на XRD-7000 (Shimadzu). Интерпретация данных рентгенограммы была проведена с использованием открытых баз данных [18–20].

Определение химического состава используемого сырья осуществлялось на рентгенофлуоресцентном спектральном анализаторе Lab Center XRF-1800. (Shimadzu).

Определение знака поверхностного заряда сапонитовых частиц проводилось при воздействии на разбавленную глинистую суспензию электролитов: водных растворов хлорида натрия, сульфата натрия, хлорида магния, хлорида алюминия, фосфата натрия. Исходная концентрация электролитов составляла $C_{эл} = 0,5$ моль/л, затем были получены растворы данных электролитов при разбавлении исходных растворов в 5; 25; 125; 625 раз соответственно; в качестве раствора сравнения была принята вода (таблица 1). В соответствии с правилом Шульце–Гарди 1) коагуляцию вызывает ион со знаком заряда, противоположным знаку заряда гранулы; 2) чем выше заряд противоиона, тем меньшая концентрация электролита требуется для начала коагуляции [21].

Гранулометрический состав рассмотренных образцов суспензии определялся с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer 201. В приёмную камеру анализатора небольшими порциями вносится исследуемый образец, количество которого должно быть таким, чтобы амплитуда максимальных сигналов в 1–38 каналах находилась в пределах отметок 625–750 шкалы амплитуд, что соответствует 4–5 капель исследуемых образцов. Результатом анализа на данном приборе является получение дифференциальной кривой распределения размеров частиц, присутствующих в суспензии.

Электрокинетический потенциал (ζ -потенциал) был определен с помощью метода лазерного доплеровского электрофореза на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments) при предварительном термостатировании (2 мин) при 20 °C в универсальной капиллярной U-образной кювете (DTS1070) с интегрированными позолоченными электродами.

Результаты и обсуждение

Визуализацию процесса коагуляции глинистых частиц при введении содосульфатной смеси продемонстрировали результаты фотосъемки камерой оптического микроскопа Axio Lab A1 (Carl Zeiss) в реальном времени.

Минеральный состав сырья. Определение структуры взвешенных частиц необходимо для интерпретации свойств глинистых суспензий как дисперсных систем, а также для объяснения механизма взаимодействия исходных минералов с вводимым химическим реагентом.

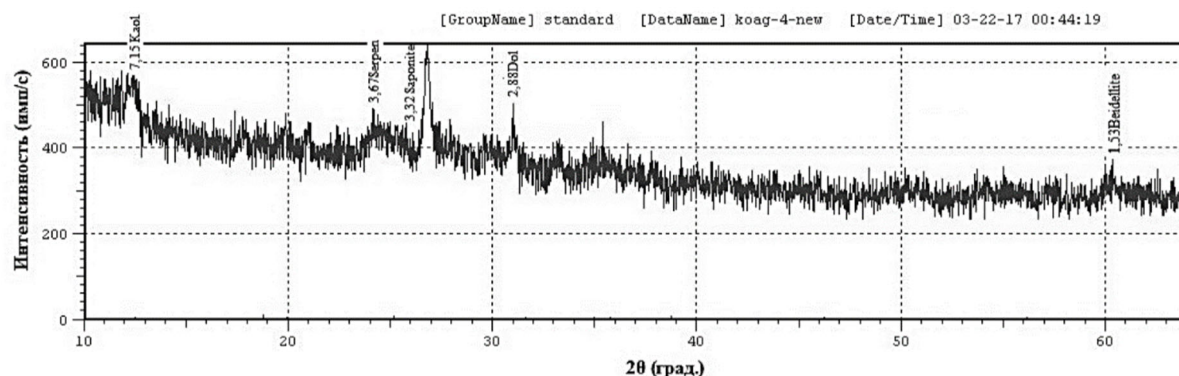


Рисунок 1. Рентгенограмма сапонитовой глины

Figure 1. X-ray analysis of saponite clay

Результат, полученный в ходе рентгеноструктурного анализа взвеси, представлен на рис. 1. Анализ минерального состава глинистого сырья подтвердил, что основным минералом является сапонит. Кроме того, более 50 % сырья представлено глинистыми минералами, обладающими развитым диффузным слоем ионов, наличие которого свидетельствует о тенденции к проявлению катионного обмена.

Химический состав сырья. По данным рентгенофлуоресцентного анализа был установлен оксидный состав сапонитового шлама, представленный в виде гистограммы на рис. 2.

Основными оксидами в составе сапонитовой глины являются SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 . Полученный результат согласуется с общей формулой сапонита, которая может быть представлена в следующем виде: $(\text{Ca}, \text{Na})_{0,3}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Также с помощью рентгенофлуоресцентного анализа был определен оксидный состав содосульфатной смеси. Результат анализа отображен на гистограмме (рисунок 3).

В составе содосульфатной смеси преобладающим элементом является натрий, предположительно вызывающий коагуляцию глинистых частиц суспензии.

Поверхностный заряд глинистых частиц определялся для суспензии концентрацией 5 г/л. Результат представлен в таблице 1. Согласно таблице 1 факт коагуляции проявляется при меньших концентрациях с ростом заряда катиона, следовательно, поверхностный заряд частицы сапонита отрицательный.

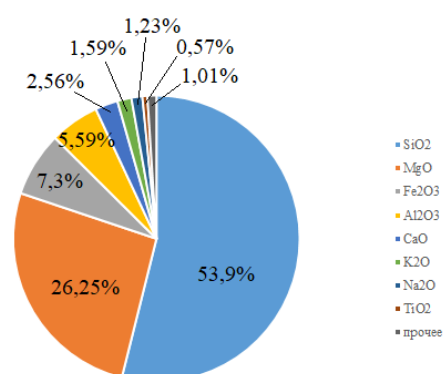


Рисунок 2. Оксидный состав сапонитовой глины

Figure 2. The oxide composition of the saponite clay

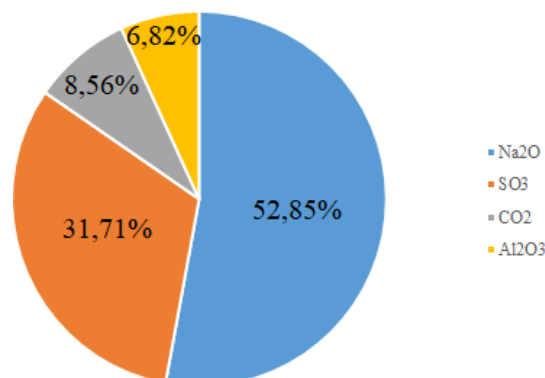


Рисунок 3. Оксидный состав содосульфатной смеси

Figure 3. Oxide composition of soda-sulfate mixture

Это объясняется частичной диссоциацией частиц сапонита в результате выхода ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} из кристаллической решетки минерала.

Определение гранулометрического состава суспензий. Содержание взвешенных веществ в полученной суспензии составило 85 г./л. Для измерений было подготовлено 5 образцов: глинистая суспензия; суспензия с добавлением содосульфатной смеси в концентрациях 2,8; 5,7; 10,0; 14,4 г/л. Анализ проводился спустя 10 минут после приготовления образцов. Результаты измерений представлены на рис. 4.

Таблица 1.

Результаты опыта по определению поверхностного заряда частиц сапонита

Table 1.

Results of the experiment to determine the surface charge of saponite particles

Условная концентрация Conditional concentration	Факт коагуляции (+/-) Coagulation fact(+/-)				
	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	AlCl ₃	Na ₃ PO ₄
$C_{эл}$	+	+	+	+	+
$C_{эл}/5$	+	+	+	+	-
$C_{эл}/25$	+	+	+	+	-
$C_{эл}/125$	-	+	+	+	-
$C_{эл}/625$	-	-	-	+	-
0 (H ₂ O)	-	-	-	-	-

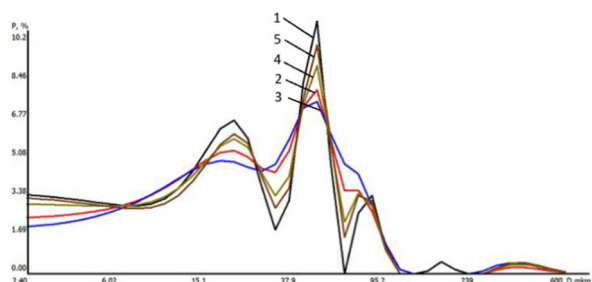


Рисунок 4. Дифференциальное распределение размеров частиц образцов: 1 – исходная суспензия; 2 – концентрация добавки 2.8 г./л; 3 – концентрация добавки 5.7 г./л; 4 – концентрация добавки 10 г./л; 5 – концентрация добавки 14.4 г./л

Figure 4. Differential distribution of particle sizes of samples: 1 – initial slurry; 2 – additive concentration 2.8 g/L; 3 – additive concentration 5.7 g/L; 4 – additive concentration 10 g/L; 5 – additive concentration 14.4 g/L

Из графиков рисунка 4 видно, что все полученные образцы являются полидисперсными системами с основным размером частиц 43–50 мкм. Следовательно, анализируемые образцы относятся к классу грубодисперсных коллоидных систем. Учитывая тот факт, что гранулометрический состав всех образцов при введении содосульфатной смеси мало отличен от гранулометрического состава исходной суспензии, седиментационная устойчивость в данном случае имеет большее значение, чем агрегативная.

Электрокинетический потенциал (ζ -потенциал). По результатам измерения электрофоретической подвижности частиц в разбавленной водной дисперсии (содержание твердой фазы не превышало 0.02 мас. %) был рассчитан ζ -потенциал глинистых частиц и построен график, представленный на рисунке 5.

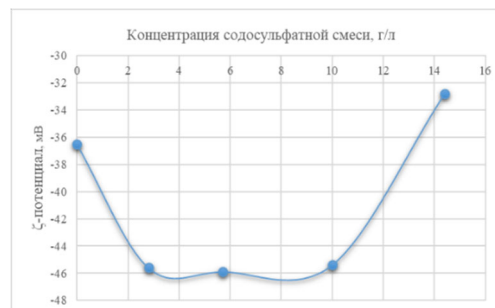


Рисунок 5. График зависимости ζ -потенциала от концентрации содосульфатной смеси в образце

Figure 5. Graph of the ζ -potential dependence on the concentration of sodium sulfate mixture in the sample

ζ -потенциал рассчитан по уравнению Смолуховского:

$$\zeta = \frac{\eta}{\varepsilon \varepsilon_0} U_e \quad (1)$$

где η – вязкость среды; ε – диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; U_e – электрофоретическая подвижность частиц.

Согласно полученным данным, электрокинетический потенциал частиц каждого из образцов достаточно высок по своему абсолютному значению, из чего следует, что анализируемые системы должны быть агрегативно устойчивы. Однако коагуляция частиц имеет место, несмотря на высокие абсолютные значения ζ -потенциала (более 30 мВ). Следовательно, коагуляция происходит за счет роста ионной силы раствора электролита. Кроме того, концентрация взвешенных веществ сгущаемого шлама значительно выше, чем в образцах суспензии, приготовленных для измерения ζ -потенциала, что является одним из факторов, вызывающих коагуляцию частиц. Седиментационная устойчивость сохраняется системой также в диапазоне концентраций содосульфатной смеси 2.8–10 г./л. При содержании реагента 14.4 г./л система утрачивает седиментационную устойчивость, что приводит к образованию осадка. Катионы натрия, имеющие заряд противоположный заряду глинистых частиц, проникают в адсорбционный слой, тем самым нейтрализуя потенциалопределяющие ионы, за счет чего резко снижается значение ζ -потенциала.

На рисунке 6 представлены снимки с камеры оптического микроскопа, демонстрирующий факт коагуляции сапонитовой суспензии при введении электролита – содосульфатной смеси.

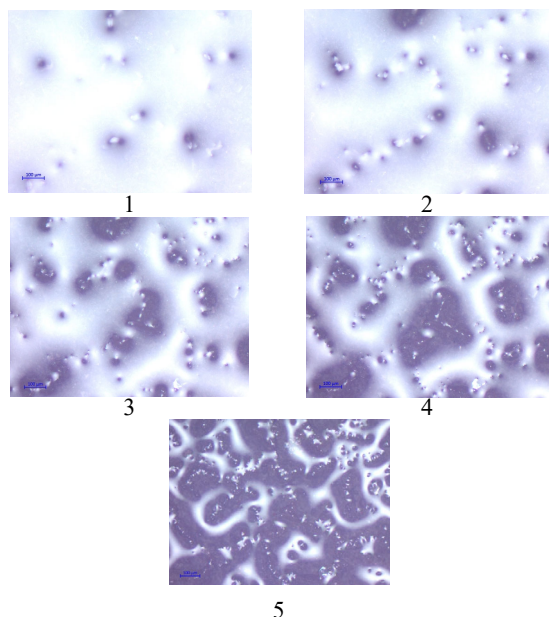


Рисунок 6. Фотофиксация процесса коагуляции сапонитовой суспензии при воздействии содосульфатной смеси: 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 10$ с; 3 – $t = 30$ с; 4 – $t = 50$ с; 5 – $t = 80$ с

Figure 6. Photo of the coagulation process of saponite suspension when exposed to sodosulfate mixture: 1 – $t = 0$ sec; 2 – $t = 10$ sec; 3 – $t = 30$ sec; 4 – $t = 50$ sec; 5 – $t = 80$ sec

Заключение

Проведенные в настоящей работе исследования доказывают возможность применения содосульфатной смеси в качестве коагулянта сапонитового шлама. Использование данного материала позволит решить проблему складирования отходов на двух предприятиях.

Установлено, что сапонитовые частицы имеют отрицательный поверхностный заряд за счет частичной диссоциации поверхностных гидроксогрупп. Поэтому коагулирующим ионом является катион натрия, появляющийся в системе в результате растворения содосульфатной смеси.

Абсолютная величина электрокинетического потенциала системы остается выше 30 мВ как для исходной суспензии, так и при добавлении содосульфатной смеси. Частицы взвеси коагулируют за счет высокой концентрации (85 г./л) и роста ионной силы раствора, который приводит к потере седиментационной устойчивости системы. Концентрация содосульфатной смеси, при которой происходит коагуляция глинистой суспензии, составила 14.4 г./л.

Благодарности

Авторы выражают благодарность

д.т.н., профессору кафедры общей и физической химии Санкт-Петербургского горного университета Литвиновой Татьяне Евгеньевне за консультации по вопросам, связанным с коллоидной химией;

д.х.н., научному руководителю проекта аппарата управления научного центра «Оценка техногенной трансформации экосистем» Санкт-Петербургского горного университета Поварову Владимиру Глебовичу за проведение рентгено-структурного и рентгено-флуоресцентного анализа;

к.х.н., доценту кафедры коллоидной химии Института химии Санкт-Петербургского государственного университета Волковой Анне Валериевне за измерение ζ -потенциала и консультации по вопросам, связанным с коллоидной химией.

Литература


- 1 Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления. // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399–404.
- 2 Сизяков В.М., Бричкин В.Н. О роли гидрокарбоалюминатов кальция в совершенствовании технологии комплексной переработки нефелинов. // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 292–298.
- 3 Алексеев А.И. Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе создания замкнутых технологических схем // Записки Горного института. 2015. Том 215. С. 75.
- 4 Литвинова Т.Е., Сучков Д.В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6–1. С. 331–348.
- 5 Пашкевич М.А. и др. Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель. // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 106–112.
- 6 Коган В.Е., Шахпаронова Т.С. Химия как основа для решения экологических проблем. // Записки Горного института. 2017. 224. С. 223–228.
- 7 Трушко В.Л., Утков В.А., Бажин В.Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства. // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 547–553.
- 8 Облицов Ю.А., Рогалев В.А. Перспективные направления утилизации отходов обогащения алмазонасной породы месторождения имени М.В. Ломоносова // Записки Горного института. 2012. Т. 195. С. 163 – 167.


- 9 Вержак Д.В., Гаранин К.В. Алмазные месторождения Архангельской области и экологические проблемы их освоения // Вестник Московского университета. Геология. 2005. С. 18–27.
- 10 Малов А.И., Сидкина Е.С., Рыженко Б.Н. Модель месторождения алмазов им. МВ Ломоносова как системы "вода-порода": формы миграции, насыщенность подземных вод относительно породообразующих и рудных минералов, экологическая оценка качества вод // Геохимия. 2017. №. 12. С. 1128–1140.
- 11 Поляков В.Е., Тарасевич Ю.И. Ионообменные равновесия с участием однозарядных катионов на сапоните // Химия и технология воды. 2012. С. 18–27.
- 12 Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Перспективы повторного использования хвостов алмазной глины на Ломоносовском месторождении на Северо-Западе России. Минералы. 2020. № 10. С. 517–534.
- 13 Шевелёва А.В., Шварцман Ю.Г. Проблемы экологической безопасности при разработке месторождения алмазов имени Ломоносова // Arctic Environmental Research. 2012. №. 2. С. 40–46.
- 14 Сизяков В.М., Иваник С.А., Фокина С.Б. Исследование процессов сгущения и фильтрации тонкодисперсных окисленных пульп // Обогащение руд. 2012. № 2. С. 24–28.
- 15 Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Бутакова Л.А. Влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистых суспензий // Науки о Земле и недропользование. 2020. № 43(2). С. 230–241.
- 16 Zubkova O. et al. Complex processing of saponite waste from a diamond-mining enterprise // Applied Sciences. 2021. T. 11. №. 14. С. 6615
- 17 Ибрагимов Р.А. и др. Использование сульфатно-содовой смеси в качестве ускорителя твердения в технологии тяжелого бетона // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 167–170.
- 18 Ruff-Integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. [Электронный ресурс]. URL: <http://ruff.info/>. (дата обращения 12.09.2022).
- 19 Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов: справочник. Москва: Недра, 1989. 479 с.
- 20 Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. Москва: Гостехиздат, 1957. 868 с.
- 21 Яковлева А.А., Ту В.Д. Влияние электролитов на устойчивость суспензий на основе глины Слюдянского месторождения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. №. 6 (46). С. 209–213.

References

- 1 Cheban A.Y. Technology of development of a complex-structured apatite deposit and excavation-sorting complex for its implementation. Journal of the Mining Institute. 2019. vol. 238. pp. 399–404. (in Russian).
- 2 Sizyakov V.M., Brichkin V.N. On the role of calcium hydrocarboaluminates in improving the technology of complex processing of nepheline. Journal of the Mining Institute. 2018. vol. 231. pp. 292–298. (in Russian).
- 3 Alekseev A.I. Complex processing of apatite-nepheline ores on the basis of the creation of closed technological schemes Journal of the Mining Institute. 2015. vol. 215. pp. 75. (in Russian).
- 4 Litvinova T.E., Suchkov D.V. Integrated approach to the utilization of man-made waste of the mineral complex // Mining Information and Analytical Bulletin. 2022. no. 6–1. pp. 331–348. (in Russian).
- 5 Pashkevich M.A., Petrova T.A., Rudzish E. Evaluation of the potential use of lignin-slimes for forestry reclamation of disturbed lands. Journal of the Mining Institute. 2019. vol. 235. pp. 106–112. (in Russian).
- 6 Kogan V.E., Shakhparonova T.S. Chemistry as a basis for solving environmental problems. Journal of the Mining Institute. 2017. 224. pp. 223–228. (in Russian).
- 7 Trushko V.L., Utkov V.A., Bazhin V. Yu. Relevance and possibilities of complete processing of red sludge of alumina production. Journal of the Mining Institute. 2017. vol. 227. pp. 547–553. (in Russian).
- 8 Oblitsov Yu. A., Rogalyov V.A. Prospective directions of utilization of waste diamond-bearing rock enrichment of the Lomonosov deposit Journal of the Mining Institute. 2012. vol. 195. pp. 163 – 167. (in Russian).
- 9 Verzhak D.V., Garanin K.V. Diamond deposits of the Arkhangelsk region and the environmental problems of their development Bulletin of Moscow University. Geology. 2005. pp. 18–27. (in Russian).
- 10 Malov A.I., Sidkina E.S., Ryzhenko B.N. Model of the Lomonosov diamond deposit as a "water-rock system": migration forms, groundwater saturation relative to rock-forming and ore minerals, and environmental assessment of water quality Geochemistry. 2017. no. 12. pp. 1128–1140. (in Russian).
- 11 Polyakov V.E., Tarasevich Y.I. Ion-exchange equilibria involving single-charged cations on saponite // Chemistry and Technology of Water. 2012. pp. 18–27. (in Russian).
- 12 Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Prospects for reuse of diamond clay tails at the Lomonosov deposit in Northwest Russia. Minerals. 2020. no. 10. pp. 517–534. (in Russian).
- 13 Sheveleva A.V., Shvartsman Yu. G. Problems of environmental safety in the development of the Lomonosov diamond field Arctic Environmental Research. 2012. no. 2. pp. 40–46. (in Russian).
- 14 Sizyakov V.M., Ivanik S.A., Fokina S.B. Study of thickening and filtration of fine oxidized pulps // Ore Enrichment. 2012. no. 2. pp. 24–28. (in Russian).
- 15 Averkina E.V., Shakirova E.V., Butakova L.A. Influence of reagents-flocculants on parameters of clay suspensions Earth Sciences and Subsoil. 2020. № 43(2). pp. 230–241. (in Russian).
- 16 Zubkova O. et al. Complex processing of saponite waste from a diamond-mining enterprise // Applied Sciences. 2021. T. 11. №. 14. С. 6615.
- 17 Ibragimov R.A., Izotov V.S., Khuzyakhmetov R.H. Using sulfate-soda mixture as a hardening gas pedal in the technology of heavy concrete Bulletin of technological university. 2015. vol. 18. no. 9. pp. 167–170. (in Russian).
- 18 Ruff-Integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. [Electronic resource]. URL: <http://ruff.info/> (accessed 12.09.2022).
- 19 Feklichev V.G. Diagnostic constants of minerals: the manual. Moscow: Nedra, 1989. 479 p.
- 20 Mikheev V.I. Roentgenometric Determinant of Minerals. Moscow: Gostekhizdat, 1957. 868 p.
- 21 Yakovleva A.A., Tu V.D. The influence of electrolytes on the stability of suspensions based on clay Slyudyansky deposit // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2010. no. 6 (46). pp. 209–213. (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга С. Зубкова к.т.н., научный сотрудник, НЦ «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов», Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия, zubkova-phd@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5833-528X>

Мария А. Торопчина аспирант, кафедра химических технологий и переработки энергоносителей, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия, toropchina_maria@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2228-7930>

Вклад авторов

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga S. Zubkova Cand. Sci. (Engin.), staff scientist, Scientific Center «Problems of mineral and technogenic resources processing», Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia, zubkova-phd@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5833-528X>

Maria A. Toropchina PhD student, Department of Chemical Technology and Energy Processing, Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia, toropchina_maria@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2228-7930>

Contribution

Authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/09/2022	После редакции 12/10/2022	Принята в печать 21/10/2022
Received 25/09/2022	Accepted in revised 12/10/2022	Accepted 21/10/2022