

March 2024

PRODUCTION OF CAUSTIC SODA AND BURKEITE BY CAUSTIFICATION OF A MIXTURE OF SODIUM CARBONATE AND SODIUM SULFATE

Dildora TURSUNOVA

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, tdadildora@mail.ru

Aktam ERKAEV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, aerkaev_1960@mail.ru

Abdusattar ABDURAKHMONOV

Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, abduraxmonovsim@gmail.com

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

TURSUNOVA, Dildora; ERKAEV, Aktam; and ABDURAKHMONOV, Abdusattar (2024) "PRODUCTION OF CAUSTIC SODA AND BURKEITE BY CAUSTIFICATION OF A MIXTURE OF SODIUM CARBONATE AND SODIUM SULFATE," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2023: No. 2, Article 1.

DOI: 10.34920/cce202321

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2023/iss2/1>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

PRODUCTION OF CAUSTIC SODA AND BURKEITE BY CAUSTIFICATION OF A MIXTURE OF SODIUM CARBONATE AND SODIUM SULFATE

Dildora TURSUNOVA (tdadildora@mail.ru)
Aktam ERKAEV (Aerkaev_1960@mail.ru)
Abdusattar ABDURAKHMONOV (abduraxmonovsim@gmail.com)
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan

The aim of the work is to study the physical and chemical foundations of the simultaneous production of sodium hydroxide - caustic soda and burkeite by the conversion of soda ash with calcium hydroxide - milk of lime in the presence of natural ore - mirabilite. Analysis of the solubility diagrams of the corresponding systems and experimentally proved the possibility of obtaining caustic soda and burkeite based on these components. At the same time, the optimal values of temperature, $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ ratio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ concentration and duration of the technological process were established. The rheological properties of intermediate solutions and pulps were determined, which showed their sufficient fluidity for transportation. Chemical and physico-chemical methods of analysis identified the mineralogical composition of the obtained products.

Keywords: soda ash, mirabilite, milk of lime, sodium hydroxide, conversion

ПОЛУЧЕНИЕ КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ И БУРКЕИТА КАУСТИФИКАЦИЕЙ СМЕСИ КАРБОНАТА И СУЛЬФАТА НАТРИЯ

Дилдора ТУРСУНОВА (tdadildora@mail.ru)
Актам ЭРКАЕВ (Aerkaev_1960@mail.ru)
Абдусаттар АБДУРАХМОНОВ (abduraxmonovsim@gmail.com)
Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

Целью работы является исследование физико-химических основ одновременного получения гидроксида натрия – каустической соды и буркеита конверсией кальцинированной соды гидроксидом кальция – известковым молоком в присутствии природной руды – мирабилита. Анализами диаграмм растворимости соответствующих систем и экспериментально доказана возможность получения каустической соды и буркеита на основе указанных компонентов. При этом установлены оптимальные значения температуры, соотношения $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$, концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и продолжительности проведения технологического процесса. Определены реологические свойства промежуточных растворов и пульпы, которые показали их достаточную текучесть для транспортировки. Химическими и физико-химическими методами анализов идентифицирован минералогический состав полученных продуктов.

Ключевые слова: кальцинированная сода, мирабилит, известковое молоко, гидроксид натрия, конверсия

NATRIY KARBONAT VA NATRIY SULFAT ARASHMASINI KUSTIFIKATSIYA QILIB KUSTIK SODA VA BURKEIT ISHLAB CHIQRISH

Dildora TURSUNOVA (tdadildora@mail.ru)
Aktam ERKAEV (Aerkaev_1960@mail.ru)
Abdusattar ABDURAXMONOV (abduraxmonovsim@gmail.com)
Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston

Ishning maqsadi tabiiy ruda - mirabilit ishtirokida kalsiy gidroksidi – ohak suti bilan sodali suvni aylantirish yo'li bilan bir vaqtning o'zida natriy gidroksid – o'yuvchi natriy va burkit ishlab chiqarishning fizik-kimyoviy asoslarini o'rganishdir. Tegishli tizimlarning eruvchanlik diagrammalarini tahlil qilish va bu komponentlar asosida kaustik soda va burkeit olish imkoniyatini eksperimental ravishda isbotladi. Shu bilan birga, haroratning optimal qiymatlari, $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ nisbati, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ konsentratsiyasi va texnologik jarayonning davomiyligi o'rnatildi. O'raliq eritmalar va pulpalarning reologik xususiyatlari aniqlandi, bu ularning tashish uchun etarli darajada suyuqligini ko'rsatdi. Kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil usullari natijasida olingan mahsulotlarning mineralogik tarkibi aniqlandi.

Kalit so'zlar: kaltsinatsiyalangan soda, mirabilit, ohak suti, natriy gidroksid, konversiya

DOI: 10.34920/cee202321

Введение

Потребность Республики Узбекистан в каустической соде и буркеите обусловлена ее широким применением в развивающихся химической, нефтехимической, металлургической промышленности и других отраслях экономики. В настоящее время в Узбекистане каустическая сода производится электрохимическим способом в незначительном количестве, а производство буркеита отсутствует [1-4]. Основное количество каустической соды и

буркеита импортируется в Узбекистан [5]. Во всем мире наблюдается большой спрос к соде продуктам на ее основе. В данном случае развитие экономики трудно представить без химической промышленности, отрасли которой должны быть основаны на высоких технологиях, а выпускаемая продукция по номенклатуре должна соответствовать мировым стандартам с низкой себестоимостью [6]. Для этого требуется модернизация производств химической продукции на уровне программы локализации сырье-

вой базы предприятий по производству синтетических моющих средств (СМС), где необходимо получить ингредиенты такие как каустическая сода, тенардит, буркеит на основе комплексной переработки природного сульфатсодержащего сырья [7-25].

Методы исследования

Опыты проводили в круглодонном трёхгорловом реакторе с перемешивающим устройством, погруженным в термостатированную глицериновую ванну. Температуру процесса поддерживали 93-96 °С с продолжительностью 1,5 часа. После завершения процесса сначала исследовали процесс отстаивания, далее сгущенную часть фильтровали и фильтрат анализировали на содержание NaOH, Na₂CO₃, CaO, SO₄²⁻. Жидкая и твёрдая фазы анализировались на содержание ионов Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, OH⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻ общеизвестными методами [25-27].

Рентгенофазовый анализ проводили на основе дифрактограмм, которые снимали на аппарате XRD-6100 (Shimadzu, Japan). Применяли CuKα-излучение (β-фильтр, Ni, 1.54178, режим тока и напряжение трубки 30 mA, 30 kV) и постоянную скорость вращения детектора 4 град/мин с шагом 0,02 град. (ω/2θ-сцепление), а угол сканирования изменялся от 4 до 80°. Идентификацию минералов осуществляли на основе базы данных IC:предприятие (версия 8.3.23).

Результаты и обсуждение

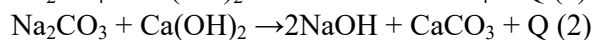
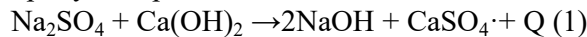
Ранее нами была показана принципиальная возможность получения каустической соды известковым способом в присутствии сульфата натрия [28-32].

При этом для предотвращения образования персонита Na₂CO₃·CaCO₃·2H₂O получали слабые щелока, содержащие примерно 130 г/л NaOH, 30 г/л Na₂CO₃ и 11,3 г/л Na₂SO₄ [28, 29, 33]. Поэтому перед подачей на выпарку в осветленный слабый щелок добавляли недостающее количество сульфата натрия. В процессе выпаривания раствора каустификации важно не только максимально выделить примеси в твердую фазу, но и получить крупные быстро осаждающиеся кристаллы Na₂CO₃, Na₂SO₄ и Na₂CO₃·2Na₂SO₄, для чего необходимо поддерживать соотношение Na₂SO₄:Na₂CO₃ не менее

0,5 [26, 34-38].

Как показывает проведенный анализ диаграммы растворимости системы 2Na⁺, Ca²⁺/SO₄²⁻, 2OH⁻-H₂O, при взаимодействии сульфата и карбоната натрия с гидроксидом кальция практически не протекают реакции образования гидроксида натрия, сульфата и карбоната кальция [39-43].

Это подтверждают значения произведений растворимости исходных компонентов и продуктов реакций:



Произведения растворимости исходных компонентов по реакции (1) оказались меньше чем произведения растворимости продуктов реакции, а с повышением температуры эта разница увеличивается. Во второй реакции, наоборот, произведения растворимости продуктов реакции намного меньше чем исходных компонентов и их разница также уменьшается с повышением температуры [44-52].

Кроме того, данные показывают, что первая реакция термодинамически маловероятна, а вторая вполне возможна с термодинамической и технологической точек зрения.

При получении каустической соды из кальцинированной соды известковым способом в присутствии сульфата натрия он практически полностью переходит в жидкую фазу.

Исследования [27-29] показали, что при каустификации кальцинированной соды и сульфата натрия в зависимости от соотношения исходных компонентов и температуры процесса образуются растворы NaOH, Na₂CO₃, Na₂SO₄, практически очищенные от ионов кальция и магния [53-57].

Результаты экспериментов и анализ четырехкомпонентной системы NaOH-Na₂CO₃-Na₂SO₄-H₂O показали, что при упарке полученного раствора образуется также Na₂CO₃·2Na₂SO₄ – буркеит.

Следовательно, из кальцинированной соды и природного низкокачественного мирабилита возможно одновременно получить раствор гидроксида натрия и буркеита. Поэтому в дальнейшем экспериментально изучался процесс каустификации раствора кальцинированной соды известковым молоком в присутствии мирабилита. В экспериментах определяли массовое соотношение Na₂CO₃:Na₂SO₄, норму,

концентрацию известкового молока, скорость осветления и фильтрации суспензии.

Экспериментально установлено, что со снижением соотношения $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ от 1:0 до 0:1 скорость фильтрации сначала повышается от 238,1 до 627,1 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$, а затем повышение соотношения приводило к постепенному снижению скорости фильтрации до 113,6 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$.

В интервалах колебаний приведенных соотношений при норме $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 90 и 110% увеличивается доля мелких частиц гидроксида кальция, что ухудшает скорость фильтрации, увеличивает влажность осадков от 12-13 до 36-48% при фильтрации и промывке осадков.

Содержание ионов OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} в зависимости от стехиометрической нормы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и соотношения $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ колеблется в пределах 0,33-3,49; 0-10,7 и 0,11-2,62% соответственно. Кинетика процесса отстаивания характеризуется осветлением в течение 5 часов при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4=1:0$. Степень осветления при этом достигает только 60% и образуется мутная жидкая фаза, а сгущенная часть четко не отделяется. С увеличением доли сульфата натрия до соотношения $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,5:0,5$ прозрачность жидкой фазы увеличивается до 40-45%. Дальнейшее увеличение указанного соотношения приводит к уменьшению доли сгущенной части до 5-10% в течении 5 часов.

При проведении каустификации с 90% нормой $\text{Ca}(\text{OH})_2$ скорость осветления щелока увеличивается до 60%, а при 10% избытке $\text{Ca}(\text{OH})_2$ она снижается до 40% в течении 5 часов за счет медленного осаждения частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образования более мелких частиц CaCO_3 при соотношениях $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ равном 1:0 и 0,8:0,2. Однако при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ более 0,5:0,5 резко снижается скорость осветления, поскольку, как отмечалось выше, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ не реагирует с Na_2SO_4 и норма гидроксида кальция относительно Na_2CO_3 повышается пропорционально содержанию сульфата натрия и в системе увеличивается количество мелких частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которые тормозят процесс осаждения твердой фазы и резко снижают скорость фильтрации до 36 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$.

При каустификации соотношение Ж:Т в системе колеблется в интервале (9-1,39):1, а

скорость фильтрации не превышает 40-120 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$. Одной из причин низкой скорости фильтрации является высокое значение Ж:Т и содержание частиц с различными диаметрами, из которых мелкие частицы осаждаются со значительно меньшими скоростями.

Большое влияние на реологические свойства и скорость фильтрации оказывает соотношение Ж:Т суспензии. В экспериментах соотношения Ж:Т суспензии и температуру варьировали в пределах 2-13:1 и 30-90 °С соответственно.

Скорость фильтрации в процессе без использования оборотного раствора колеблется в пределах 119-411 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$ при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ равном 1:0 в интервалах Ж:Т = 2-13:1.

При соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,8:0,2$ скорость фильтрации выше на 25-82 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$ чем при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4 = 1:0$. Однако, при Ж:Т = 13:1 она на 19 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$ ниже. Необходимо отметить, что при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:2\text{Na}_2\text{SO}_4$ равном 0,5:0,5 скорость фильтрации почти в 2-4 раза ниже чем при соотношениях 1:0; 0,8:0,2 в интервале Ж:Т = 2-13:1.

С целью повышения содержания NaOH до 8,2% в слабом щелоке процесс каустификации проводили оборотным раствором с концентрацией 3,7 и 11% NaOH (табл. 1, рис. 1). При соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:2\text{Na}_2\text{SO}_4$ 1:0 и 0,8:0,2 и концентрации оборотного раствора 3 и 7% NaOH в течение 20 часов степень осветления достигает 80,60,70 и 30% соответственно, а при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:2\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,5:0,5$ не превышает 30 и 20 % (рис. 1).

С повышением содержания NaOH в оборотном растворе скорость фильтрации снижается при всех выбранных соотношениях $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$ и колеблется в интервале 103,8-318,0 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$ (табл. 1), а самая высокая скорость проявляется при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,8:0,2$. При этих соотношениях в изученных интервалах варьирования концентраций NaOH в оборотном растворе скорость фильтрации колеблется в пределах 215-318 $\text{кг}/\text{м}^2\text{ч}$, влажность осадка составляет 8-28%, Ж:Т в суспензии равно 7-8:1. Содержание ионов OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} составляет (мас.%); 3,30-6,70, 2,1-2,4 и 0,11-0,64 соответственно (табл. 1, 2).

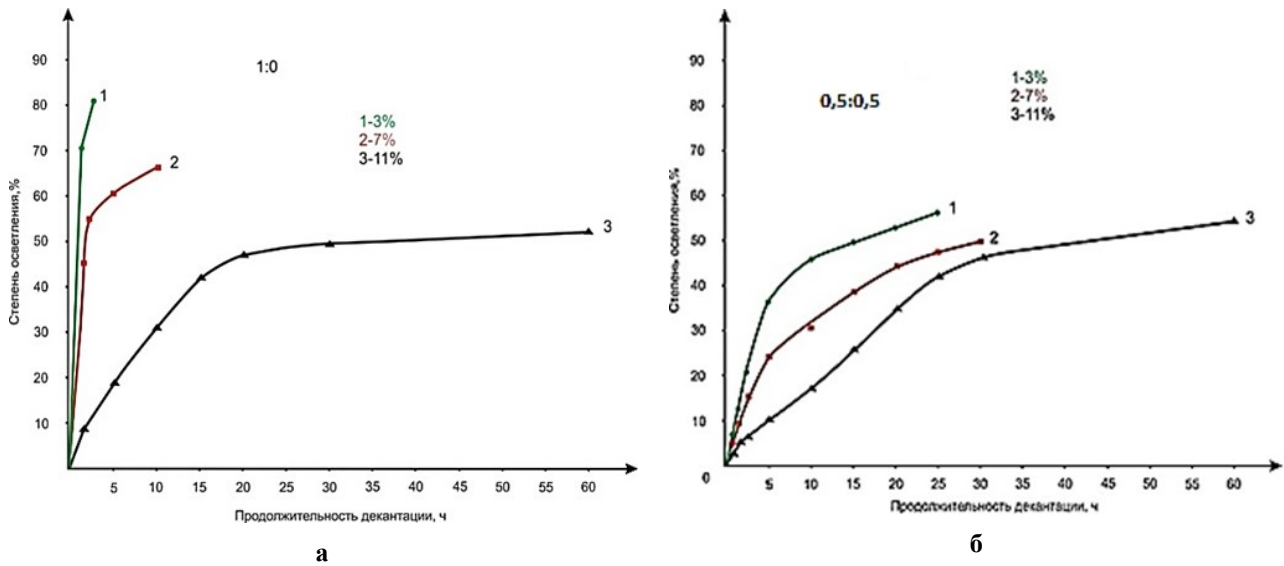


Рисунок 1. Кинетика осветления суспензии при соотношении $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$: а – 1:0; б – 0,5:0,5.

Таблица 1
Влияние технологических параметров на аналитические параметры процесса каустификации смеси карбоната и сульфата натрия известковым молоком

Номер образца	Соотношение $\text{Na}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{SO}_4$	Содержание NaOH в циркулирующем растворе, мас. %	Содержание компонентов мас. %					Скорость фильтрации, $\text{кг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$
			Na^+	Ca^+	OH^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	
1	1:0	3	7,76	0,019	4,05	0,81	2,50	144,01
2		7	9,61	0,04	5,71	0,71	2,01	162,10
3		11	11,5	0,04	7,41	0,60	1,60	153,3
4	0,8:0,2	3	6,07	0,03	3,30	2,4	0,64	318,4
5		7	8,47	0,04	5,11	2,30	0,60	248,3
6		11	10,39	0,02	6,70	2,13	0,51	215,4
7	0,5:0,5	3	6,4	0,04	2,78	4,65	0,54	127,4
8		7	8,58	0,02	4,5	4,60	0,50	110,5
9		11	10,81	0,03	6,20	4,30	0,49	103,8

Другие технологические параметры: концентрация известкового молока – 18%; температура процесса – 90 °С; продолжительность процесса – 90 мин.

В интервалах варьирования технологических параметров плотность и вязкость суспензии колеблются в пределах 1,090-1,218 $\text{г}/\text{см}^3$ и 2,21-13,90 сПз (табл. 2).

Для определения минералогического состава осадков применяли рентгенофазовый метод исследования [8, 9].

Как показывают рентгенограммы осадков (рис. 2 и табл. 3), основным

Таблица 3
Содержание минералов в пробах (мас. %)

Код и наименования минералов	Номера проб.	
	1	2
01-076-2712 $\text{Ca}(\text{CO}_3)$	78	35
01-084-1273 $\text{Ca}(\text{OH})_2$	17	11
01-078-6180 $\text{Ca}(\text{SO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$	5	6
01-085-1732 $\text{Na}_2(\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$	-	27

Таблица 2

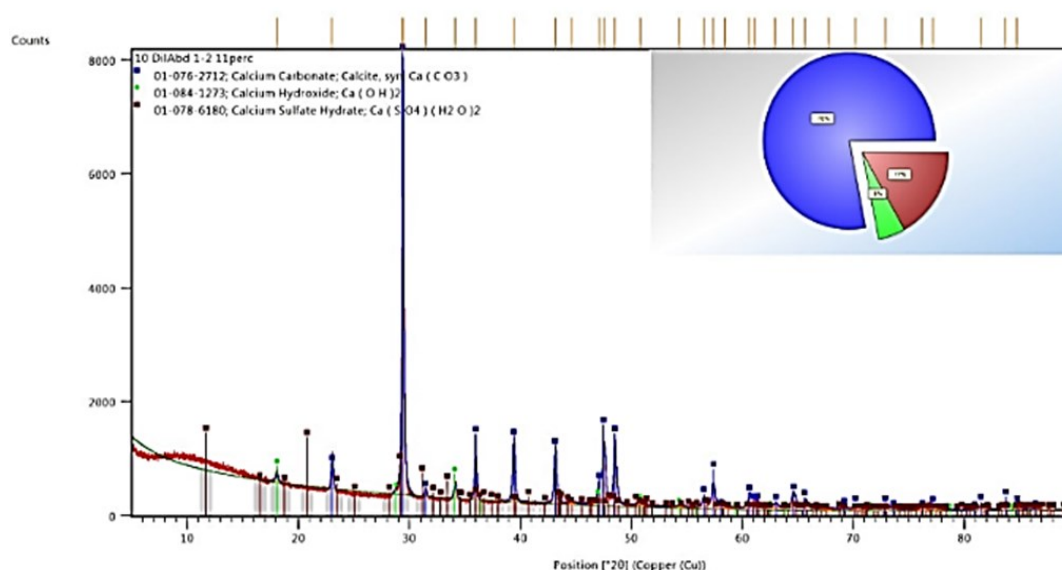
Реологические свойства суспензии, образующейся при каустификации

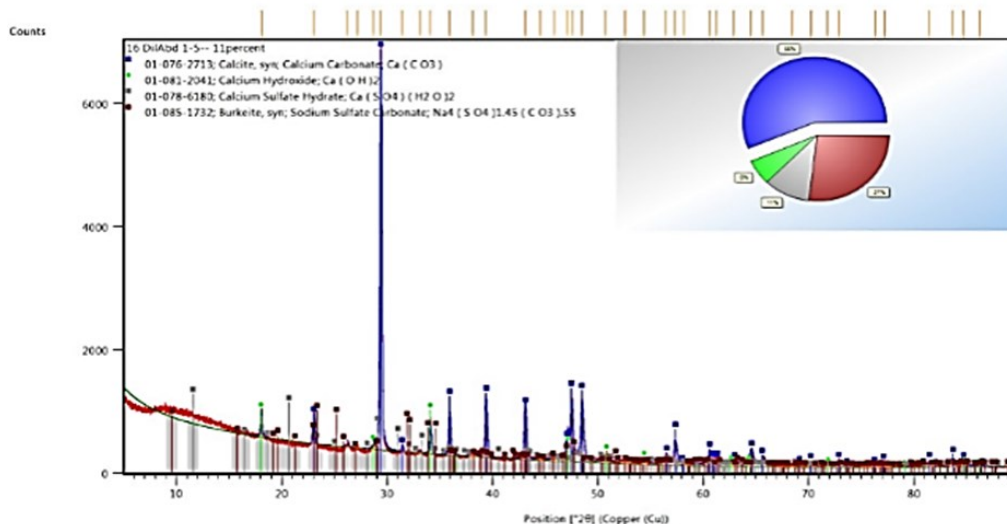
№	Ж:Т	Плотность, г/см ³ , при температуре, °С				Вязкость, сПз, при температуре, °С			
		30	50	70	90	30	50	70	90
1	2:1	1,218	1,215	1,210	1,208	13,52	9,42	7,50	3,50
2	4:1	1,155	1,150	1,143	1,135	11,80	8,81	6,51	2,91
3	7:1	1,133	1,130	1,115	1,106	10,60	7,73	6,12	3,13
4	10:1	1,122	1,115	1,105	1,097	9,71	7,41	5,41	2,82
5	13:1	1,110	1,107	1,095	1,090	9,10	7,12	4,72	2,21
6	2:1	1,220	1,215	1,210	1,205	13,90	8,50	6,81	3,43
7	4:1	1,170	1,167	1,165	1,153	12,61	8,41	6,83	3,50
8	7:1	1,146	1,139	1,130	1,126	12,10	8,34	6,51	3,31
9	10:1	1,139	1,131	1,125	1,119	11,31	8,42	6,51	3,22
10	13:1	1,127	1,125	1,110	1,100	10,11	7,60	5,82	2,91
11	2:1	1,228	1,221	1,220	1,215	13,40	9,81	7,21	3,63
12	4:1	1,186	1,180	1,168	1,165	11,57	8,52	6,82	3,52
13	7:1	1,142	1,138	1,132	1,130	10,60	7,61	6,11	3,13
14	10:1	1,155	1,149	1,140	1,132	9,21	7,13	5,52	2,79
15	13:1	1,147	1,142	1,136	1,125	9,10	6,50	4,83	2,21

минералом является CaCO₃, количество которого составляет 35-80%. Его содержание увеличивается с увеличением содержания Na₂SO₄ в исходном содосульфатном растворе. Содержание CaSO₄·2H₂O практически не зависит от соотношения Na₂CO₃:Na₂SO₄. При соотношении Na₂SO₄:Na₂CO₃= 0,5:0,5 содержание буркеита составляет более 27%.

Заключение

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что в интервале массовых соотношений Na₂CO₃:Na₂SO₄ = (0,8=0,5):(0,2=0,5), при общей норме Ca(OH)₂ не более 100% относительно карбоната натрия, циркуляции обратного раствора, содержащего 3-7% NaOH, при температуре не менее 95 °С в течение





2

Рисунок 2. Рентгенограмма образцов. Номера проб соответствуют номерам в таблице 3.

ние не менее 2 часов образуется подвижная с достаточно приемлемой скоростью фильтрации пульпа с получением почти прозрачного щелока состава, (мас.%): Na^+ , OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - 6,07-10,81; 2,78-6,70; 2,1-4,65 и 0,49-0,64 со-

ответственно. Это позволяет при выпарке получать быстро оседающие крупные кристаллы $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$, Na_2CO_3 , Na_2SO_4 и концентрированный раствор гидроксида натрия.

REFERENCES

- Joo J., Kim J., Ocon D. Ultrahigh purification in concentrated NaOH by electrowinning for solar cell application. *Separation and Purification Technology*, 2015, 145, 24-28. DOI:10.1016/j.seppur.2015.02.011
- Ibragimov G.I. Problemy i perspektivy razvitiya khimicheskoy promyshlennosti Uzbekistana [Problems and prospects for the development of the chemical industry in Uzbekistan]. *Kimyo va kimyo texnologiyasi*, 2005, 2, 3-6.
- Linkevich V.A. *Tekhnologiya sodi* [Technology of soda]. Tashkent, 2002. 63.
- Akhmetov T.G. *Khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv* [Chemical technology of inorganic substances]. Tashkent, 2002. 688.
- Obzor rynka sulfata natriya v SNG* [Overview of the sodium sulfate market in the SNG]. Moscow, 2015. 135.
- Fakovskiy N.N., Tkach G.A., Mikhaylova Ye.N. [Ecological aspects of soda production and ways to solve them.] *Sbornik dokladov nauchno-tekhn. konf. Krymskogo i Vserossiyskogo khimicheskogo obshchestva im.D.I.Mendeleeva* [Collection of reports of the scientific and technical conference of the Crimean and All-Russian Chemical Society named after D.I.Mendeleev] Krasnoperekopsk, 1992, 47-56.
- Koshanova B.T., Erkaev A.U., Toirov Z.K., Yulchiev M. Tekhnologiya polucheniya burkeita iz prirodnoogo mirabilite [Technology for obtaining burkeite from natural mirabilite]. *Khimicheskaya tekhnologiya. Kontrol' i upravleniye*, 2013, 4, 30-35.
- Koshanova B.T., Erkaev A.U., Toirov Z.K., Kucharov B.X. Fiziko-khimicheskiye issledovaniya polucheniya sulfatno-karbonatnykh soley natriya [Physico-chemical studies of obtaining sulfate-carbonate salts of sodium]. *Uzbekskiy khimicheskij zhurnal*, 2017, 2, 27-33.
- Koshanova B.T., Erkaev A.U., Kucharov B.Kh., Mamarasulov B. Polucheniye burkeita iz sulfatnykh soley [Obtaining burkeite from sulfate salts]. *Universum: Tekhnicheskkiye nauki*, 2018, 12, 102-107.
- Koshanova B., Kucharov B.Kh., Erkaev A.U., Tairov Z.K. Theoretical and technological investigations of burkeite from mirabilite. *Proceedings of the international conference on integrated innovative development of Zarafshan region achievements, challenges, and prospects*. Uzbekistan, 2017, 359-365.
- Kucharov B.H., Koshanova B.T., Erkaev A.U., Tairov Z.K. Investigation of burkeite preparation from natural mirabilite. *International journal of resent advancement in engineering and research*, 2018, 4, 6-14.
- Koshanova B.T., Erkaev A.U. Issledovaniye mineral'nykh soley Uzbekistana dlya polucheniya burkeita [Research of mineral salts of Uzbekistan to obtain burkeite]. *www.konferenciaonline.org.ua (vipusk 40) Ukraina*, 2019, 87-90.
- Nikolayev P. V. *Osnovy khimii i tekhnologii proizvodstva moyushchikh sredstv* [Fundamentals of chemistry and technology for the production of detergents]. Ivanovo, 2007. 116.
- Yermolayeva V.A. Khimicheskaya struktura osnovnykh komponentov sinteticheskikh moyushchix sredstv [Ximicheskaya struktura osnovnix komponentov sinteticheskix moyushix sredstv]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii*, 2007, 10, 34-38.
- Stephen C. *Anti-slip detergent*. Patent US, 8138237, 2009.
- Mamadzhonov D.G. Osnovnyye napravleniya razvitiya proizvodstva sinteticheskikh moyushchikh sredstv v Respublike Uzbekistan [The main directions of development of the production of synthetic detergents in the Republic of Uzbekistan]. *Molodoy uchenyy*, 2016, 4, 17-19.
- Mamadzhonov D.G. Osnovnyye napravleniya razvitiya proizvodstva sinteticheskikh moyushchikh sredstv v Respublike Uzbekistan [The main directions of development of the production of synthetic detergents in the Republic of Uzbekistan]. *Molodoy uchenyy*, 2016, 4, 17-19.
- Vakhnina O.N. *Moyushchiye i chistyashchiye sredstva* [Detergents and cleaners]. Ekaterinburg, 2008. 196.
- Zheng M., Liu X. Hydrochemistry of salt lakes of the Qinghai-Tibet Plateau. *Aquat. Geochem.*, 2009, 15, 293-320
- Zheng M. *An Introduction to Saline Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau*. Kluwer Acad. Publ., 1997. 310. DOI: 10.1007/978-94-011-5458-1
- Yeremin N.I. *Nemetallicheskiye poleznyye iskopaemye* [Non-metallic minerals]. Moscow, MGU, 2004. 259.
- Moores S. Between a rock and a salt lake. *Industrial Minerals*, 2007, 477, 58-69
- Parfenova T.A., Kartavchenko A.V., Osmolovskiy A.P., *Mnogotselovoye zhidkoye moyushcheye i ochishchayushcheye sredstvo* [Multipurpose liquid detergent and cleanser] Patent FR, 2167191, 2001.
- Copenhafer W.C. *Production of sodium sesquicarbonate and sodium carbonate monohydrate*. Patent US, 7638109, 2009.
- Kovilis S.S. *Tekhnika izmereniya plotnosti zhidkostey i tverdykh tel* [Technique for measuring the density of liquids and solids]. Moskva, Standard Publ., 1969, 70.

26. Chengchun J., Liu Chen L., Shichao W. Preparation of Potassium Ferrate by Wet Oxidation Method Using Waste Alkali: Purification and Reuse of Waste Alkali. *ACS Symposium Series*, 2008, 985, 94–101. DOI:10.1021/bk-2008-0985.ch005
27. Gaysin L.G. *Issledovaniye i razrabotka konversionnogo sposoba polucheniya sulfida natriya*. Diss. cand. texn. nauk [Research and development of a conversion method for obtaining sodium sulfide. Diss. cand. tech. sci.]. Ekaterinburg, 2000. 137.
28. Rant Z. *Die Erzeugung von Soda nach dem Solvay-Verfahren*. Saraevo, 1968, 540.
29. Tursunova D.A., Khuzhambergenov A., Begdullayev K., Erkeyev A.U. [Study of the rheological properties of the suspension formed during the production of caustic soda by the lime method]. «*Fan va ta'lim - tarbiyaning dolzarb masalari*» *Respublika ilmiy-nazariy va amaliy anzhuman materiallari* ["Science and education - topical issues of education" Materials of the republican scientific-theoretical and practical conference]. Nukus, 2018, 67-69.
30. Tursunova D.A., Erkaev A.U., Kaipbergenov A.T., Begimqulova K.G. Studying of mineralogical composition of deposits formed by vaporization caustic soda solution. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2019, 7-8.
31. Tursunova D.A., Begdullayev A.K., Erkeyev A.U., Toirov Z.K. [Study of the process of evaporation of a solution of caustic soda] *Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakt. Konf. "Aktualniye problemy vnedreniya innovatsionnoy tekhniki i tekhnologiy na predpriyatiyakh po proizvodstvu stroitelnykh materialov, khimicheskoy promyshlennosti v smezhnykh otraslyakh"* [Collection of materials of the international scientific and practical. Conf. "Actual problems of introducing innovative equipment and technologies at enterprises for the production of building materials, the chemical industry in mixed industries"]. Fergana, 2019, 225-229.
32. Tursunova D.A., Erkeyev A.U., Toirov Z.K., Kucharov B.Kh. [Investigation of the evaporation process of obtaining caustic soda by a chemical method in the presence of sodium sulfate] «*Fan va ta'lim-tarbiyaning dolzarb masalari*» *Respublika ilmiy-nazariy va amaliy anzhuman materiallari* ["Science and education - topical issues of education" Materials of the republican scientific-theoretical and practical conference]. Nukus, 2018, 58-59.
33. Titov V.M., Bikbulatov I.X. i dr. *Sposob polucheniya gidroksida natriya* [Method for producing sodium hydroxide] Patent RU, 2274604. 2006.
34. Usmanov I.I., Bobokulova O.S., Mirzakulov Kh.Ch., Talipova Kh.S. Issledovaniye protsessa polucheniya sulfata natriya vysshego sorta iz mirabilita Tomryukskogo mestorojdeniya [Study of the process of obtaining sodium sulfate of the highest grade from the mirabilite of the Tomryuk deposit] *Universum: Tekhnicheskoe nauki*, 2019, 59(2). <http://7univerzum.com/ru/tech/archive/item/6915>
35. Borisov I.M., Nabiev A.A. i dr. Elektroliticheskaya dissotsiatsiya sulfata natriya v vodno-etanol'nykh rastvorakh [Electrolytic dissociation of sodium sulfate in aqueous-ethanolic solutions]. *Izv. vuzov. Khimiya*, 2017, 6, 59-64.
36. Rabbani M., Dincer I., Naterer G. Efficiency assessment of a photo electrochemical chloralkali process for hydrogen and sodium hydroxide production. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2014, 39, 1941–1956.
37. Anarboev A.A., Moldabekov Sh.M., Anarboev B.Sh. *Tekhnologiya pererabotki prirodnykh soley natriya* [Processing technology of natural sodium salts]. Almaty, G'lim Publ., 1999. 196.
38. Moldabekov Sh.M., Anorboev A.A., Alkeev K. i dr. Razrabotka tekhnologii polucheniya kausticheskoy sody iz sulfata natriya [Development of technology for the production of caustic soda from sodium sulfate]. *Nauka i obrazovaniye*, 1996, 115-116.
39. Koshanova B.T., Erkaev A.U., Sharipova Kh.T., Terekhin Ye.L. Termodinamicheskoye issledovaniye v sulfatnykh sistemakh $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{CO}_3^{2-}, \text{NH}_2\text{COO}^-)\text{-H}_2\text{O}$ [Thermodynamic study in sulfate systems $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{CO}_3^{2-}, \text{NH}_2\text{COO}^-)\text{-H}_2\text{O}$]. *OzMU xabar-lari*, 2013. 150-152.
40. Koshanova B.T., Sharipova X.T., Erkaev A.U., Toirov Z.K., Mirisaeva D. Vzaimnaya sistema $2\text{Na}^+, 2\text{NH}_4^+ // 2\text{HCO}_3^-, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ i yevo primeneniye k obosnovaniyu tekhnologii polucheniya sody iz mirabilita [Reciprocal system $2\text{Na}^+, 2\text{NH}_4^+ // 2\text{HCO}_3^-, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ and its application to substantiate the technology of obtaining soda from mirabilite]. *Kimyo va kimyo texnologiyasi*, 2012, 3, 15-20.
41. Moldabekov Sh.M., Anorboev A.A., Alkeev K. *Ratsionalnaya skhema polucheniya kausticheskoy sody khimicheskimi sposabami* [Rational scheme for obtaining caustic soda by chemical methods]. Almaati, 1997, 7.
42. Du F., Warsinger D.M., Urmi T.I., Thiel G.P., Kumar A., Lienhard J.H. Sodium Hydroxide Production from Seawater Desalination Brine: Process Design and Energy Efficiency. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(10), 5949–5958. DOI: 10.1021/acs.est.8b01195
43. Sokolovskiy A.A., Yakhontova E.L. *Primeneniye ravnovesnykh diagramm rastvorimosti v tekhnologii mineral'nix soley* [Application of equilibrium solubility diagrams in the technology of mineral salts]. Moscow, Khimiya Publ., 1982, 264.
44. Jorabekov A.B., Yakubova R.R., Djanmuldaeva J.J. O protsessakh plavleniya i granulyatsii pri proizvodstve kausticheskoy sody [About the processes of melting and granulation in the production of caustic soda]. *Vestnik nauki Yuzhnogo Kazakhstana*, 2019, 1, 107-110.
45. Awajioag A.U., Amesi D., and Joshua K. Evaluating the Thermodynamics and Kinetics of Production of Caustic Soda from Brine. *Journal of Modern Physics*. 2018, 9, 99-111.
46. Kumar A., Phillips K.R., Cai J., Schröder U., Lienhard J.H. Integrated Valorization of Desalination Brine through NaOH Recovery: Opportunities and Challenges. *Angewandte Chemie International Edition*, 2019, 58(20), 6502–6511. DOI: 10.1002/anie.201810469
47. Doebelin N., Kleeberg R. Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN. *Journal of applied crystallography*, 2015, 5, 1573-1580.
48. Juraeva G.X. *Razrabotka tekhnologii polucheniya sulfata natriya na osnove mestnykh syr'yevykh resursov*. Dis. cand. texn. nauk [Development of technology for obtaining sodium sulfate based on local raw materials. Dis. cand. tech. sci.]. Tashkent, 2006. 131.
49. Grigoray O.B., Ivanov Yu.S., Komissarenkov A.A. *Pererabotka chernykh shelokov sulfatnogo proizvodstva* [Processing of black liquors of sulfate production]. Sankt-Peterburg, 2012. 108.
50. Rzhechitskiy E.P., Kondrat'yev V.V., Shakhray S.G. Sulfat natriya pri proizvodstve alyuminiya: problemy i perspektivy [Sodium sulfate in aluminum production: problems and prospects]. *Vestnik IrGTU*, 2011, 8, 150.
51. Shesterkin I.A., Kichanov V.N., Falkovskiy N.N., Shaporev V.N., Moiseyev V.F., Tkach G.A., Khustochkin P.P. *Sposob polucheniya izvestkovoy suspenzii* [Method for obtaining lime suspension]. Avt. Svid., 1607325, 1990.
52. Turobjonov S.M., Mirzakulov Kh.Ch., Asomov D.D., Juraeva G.Kh., Bardin S.V. i dr. *Sposob polucheniya sulfata natriya* [Method for producing sodium sulfate]. Patent UZ, 04470, 2012.
53. Juraeva G.Kh., Mirzakulov Kh.Ch., Davlatov F.F., Akhmedov A.S. [Processing of mirabilite of the Tomryukskoye deposit for sodium sulfate]. *International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE"*, 2016, 1, 59-62.
54. Frederick W.J., Shi B., Euhus D.D., Rousseau R.W. Crystallization and Control of Sodium Salt Scales in Black Liquor Concentrators. *Tappi Journal*, 2004, 3(6), 7-13.
55. Mukhortov D.A., Blinov I.A., Kambur P.S. *Sposob izvlecheniya sulfata natriya i nitratov metallov* [Method for extracting sodium sulfate and metal nitrates]. Patent RU, 2610076, 2017.
56. GOST 21548 – 1991. *Sulfat natriya kristallizatsionniy*. Moscow, Izd. Standartov Publ., 1991.
57. Borkowski V., Krol J. Modifikatsiya tekhnologii polucheniya bikarbonata i sody [Modification of technology for the production of bicarbonate and soda]. *Chemik*, 1990, 5, 127-129. Bezborodov M.A. *Samoproizvol'naya kristallizatsiya silikatnykh stekol*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1981. 248 p.