

вать. Посадки, расположенные в низких местах, при такой системе содержания междурядий более склонны к весенним заморозкам, так как днем почва хуже прогревается, а ночью дерн сдерживает излучение тепла в окружающий воздух. Травянистая растительность может являться местом резервации для фитофагов и фитопатогенов, а также для мышей, которые наносят значительный урон голубике. S. Johnston не рекомендует использовать газонное покрытие в засушливых областях на легких почвах без дополнительного орошения [7].

Задернение может быть естественным или искусственным (культурным). При естественном залужении междурядья оставляют для самозаращения травянистой растительностью. Это простой и дешевый способ содержания почвы. При естественном задернении скашивание растительности должно проводиться до осеменения.

При культурном задернении междурядья засевают многолетними злаковыми или однолетними злаковыми и бобовыми травами. Газон должен быть засухоустойчивым, малотребовательным или нетребовательным к плодородию почвы, не конкурировать с голубикой. Для этого в междурядьях сеют травы с поверхностной корневой системой: овсяницу луговую (*Festuca pratensis*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), клевер белый (*Trifolium repens*) и др., которые не будут сильными конкурентами для голубики. В.А. Мажек [8] рекомендует для залужения междурядий использовать овсяницу жесткую (*F. rubra*) и высокую (*F. altissima*). Оба вида устойчивы к болезням, засухе, низкому рН почвы и запасу в ней элементов питания, хорошо подавляют сорняки, не проникают на ряд и хорошо растут в полутени в летние жаркие месяцы. Однако автор не рекомендует засеивать междурядья клевером красным и другими растениями семейства Бобовые (*Fabaceae*). Люпин (*Lupinus*), люцерна (*Medicago*), клевер красный (*T. rubens*) обогащают почву азотом, но имеют глубокую корневую систему и соответственно сильнее конкурируют с голубикой. К тому же, накопленный в почве азот способствует затяжному росту голубики осенью, что отрицательно сказывается на ее зимостойкости [2].

Перед посевом семян трав следует с помощью обработки почвы и применения гербицидов уничтожить многолетние сорняки. Посев трав производят во влажную

почву рано весной или в начале осени, чтобы до ухода под снег газон мог отрасти на 10 см.

Разновидностью культурного задернения является дерново-перегнойный способ, когда травы в течение вегетации многократно скашивают при высоте 10–15 см, измельчают и оставляют на месте в качестве мульчи. При дерново-перегнойном содержании междурядий дополнительно расходуется влага на рост часто скашиваемой травы, поэтому этот способ предпочтителен в зонах с обильными осадками и на плантациях с искусственным орошением.

Таким образом, в насаждениях голубики высокорослой почва в приствольной полосе должна быть свободной от сорно-полевых растений. Выбор оптимальной системы содержания междурядий определяется для конкретных условий целым рядом факторов. Это плодородие почвы, рельеф местности, уровень грунтовых вод, количество выпадающих осадков, возможность орошения, оснащённость сельскохозяйственными машинами и др. В каждом конкретном случае система содержания почвы в междурядьях должна соответствовать условиям хозяйства и способствовать благоприятному развитию голубики.

Литература

1. Павловский, Н.Б. Возделывание голубики высокорослой / Н.Б. Павловский // Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отрасл. регламентов / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск, наука. 2010. – С. 375–393.
2. Gough, R.E. The Highbush Blueberry and Its Management / R.E. Gough. – New York, London, Norwood, 1994. – 262 p.
3. Smolarz, K. Borówka i żurawina – zasady racjonalnej produkcji / K. Smolarz. – Warszawa: Hortpress Sp. Z o.o., 2009. – 255 s.
4. Bailey, J.S. Blueberry culture in Massachusetts / J.S. Bailey, H.J. Franklin, J.L. Kelley // Massachusetts Agr. Exp. Stat. Bull. – 1939. – Vol. 358.
5. Cain, J.C. A comparison of ammonium and nitrate N for blueberries / J.C. Cain // Proc. Am. Soc. Hort. Sci. – 1952. – № 59. – P. 161–166.
6. Peterson, L.A. Blueberry response to NH₄-N and NO₃-N / L.A. Peterson, E.J. Stang, M.N. Dana // J. Am. Soc. Hort. Sci. – 1988. – № 113. – P. 9–12.
7. Johnston, S. Influence of cultivation on the growth and yield of blueberry plants / S. Johnston // Michigan Agr. Exp. Stat. Quarterly Bull. – 1937. – № 19. – P. 232–234.
8. Majeck, B.A. Weeds in Blueberries / B.A. Majeck // Blueberries for Growers, Gardeners, Promoters / ed.: N. F. Childers, P. M. Lyrene. – Florida, Gainesville, 2006. – P. 86–98.

УДК 661.832.002.8

Переработка отходов калийного производства методом электролиза

Е.М. Ходько, кандидат с.-х. наук, Ю.А. Сероокий, студент

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого

(Дата поступления статьи в редакцию 11.07.2016 г.)

Горно-химическая промышленность ОАО «Беларуськалий» оказывает значительное воздействие на окружающую природную среду. Отходы переработки предприятия могут рассматриваться в качестве потенциального сырья при вторичном использовании. Изучен процесс электролиза водного раствора галитовых отвалов. Рассмотрены возможные направления использования продуктов электролиза отходов.

Введение

ОАО «Беларуськалий» – один из крупнейших в мире и второй в СНГ после ПАО «Уралкалия» производитель калийных удобрений. Добыча и переработка природного рудного сырья сопровождается образованием отходов, объёмы которых исчисляются сотнями миллионов тонн.

The mining and chemical industry of the OSC «Belaruskaliy» affects considerably the environment. The enterprise's wastes can be treated as potential materials for recycling. The electrolysis process of halite dumps' aqueous solution was studied. Possible directions of using wastes electrolysis' products were considered.

Так, в течение десятилетнего периода (2005–2014 гг.) доля галитовых отходов и шламов галитовых глинисто-солевых ОАО «Беларуськалия», в общей массе образующихся в Беларуси отходов, составляла 62,8–74,0 %. Практически ежегодный рост добычи калийных солей сопровождался и увеличением объемов отходов производ-

ства. В 2014 г. объем этих отходов составил 32970,9 тыс. т, что на 5086,4 тыс. т больше по отношению к 2010 г. и на 7057,7 тыс. т – к 2005 г. [1]. Из образовавшихся в 2014 г. отходов калийного производства использовано лишь 2,2 % (718,4 тыс. т галитовых отходов реализовано в основном коммунальным службам). Глинисто-солевые шламы, как и в предыдущие годы, не использовались. Практически 97,8 % отходов калийного производства удалено на объекты хранения. Объем накопленных на объектах хранения галитовых отходов на конец 2011 г. составлял 931979,4 тыс. т, из них 832323,5 тыс. т – в солеотвалах; 99655,9 тыс. т – в шламохранилищах [2]. Горно-химическая промышленность ОАО «Беларуськалий» оказывает значительное воздействие на окружающую природную среду. Зона негативного влияния ОАО «Беларуськалий», связанного преимущественно с просадками земель, прослеживается на площади 120–130 км². В районе складирования отходов калийного производства происходит засоление почв и подземных вод. Повышенное содержание хлоридов в почве, загрязненность атмосферы солевой пылью и токсичными газами отрицательно сказываются на урожае и качестве возделываемых сельскохозяйственных культур, особенно в радиусе до 1 км от рудоуправлений.

Отсутствие научно обоснованных рекомендаций по переработке галитовых отходов обусловило необходимость проведения соответствующих исследований.

Основная часть

Исследования проводили в 2014 г. в Государственном учреждении образования «Гимназия № 2 г. Солигорска» Минской области на базе лаборатории физики. Цель исследований заключалась в определении возможности переработки галитовых отвалов методом электролиза и разработке эффективных направлений использования продуктов электролиза [3]. Галитовый отвал характеризуется следующими химическими показателями, в %: KCl – 2,57; NaCl – 95,19; MgCl₂ – 0,15; CaCl₂ – 0,20; CaSO₄ – 0,42; H_xO_x – 1,2 (отмытый продукт содержит NaCl менее 1,3 %).

Для приготовления раствора галитового отвала были взяты 200 г изучаемого образца и 400 мл воды. Исходя из расчета содержания в образце 3 % KCl и 95 % NaCl, соответственно их массы составили 6 и 190 г. Изучив явления электролитической диссоциации водных растворов хлорида калия и хлорида натрия, были сделаны соответствующие физико-химические расчеты (таблица).

При исследовании электролиза галитовых отвалов в качестве материала для электродов брался алюминий, железо, медь. При электролизе с применением алюминия в качестве катода и анода под действием электрического тока на электродах силой 0,8 А были получены следующие результаты. Алюминиевый анод полностью растворился: масса анода до исследований составляла 0,8 × 10⁻³ кг. При взаимодействии катионов алюминия с ионами получившейся в растворе щелочи образовался осадок в виде белого коллоидного вещества, представляющий собой смесь комплексных солей: K₃[Al(OH)₆]₄ и K[Al(OH)₄], Na₃[Al(OH)₆] и Na[Al(OH)₄]. Масса катода при электролизе уменьшилась на 0,11 × 10⁻³ кг и составила 0,7 × 10⁻³ кг. Раствор электролита после прохождения электрического тока оказался нейтральным. Масса исследуемого образца галитовых отвалов уменьшилась на 70 % и составила 62,1 × 10⁻³ кг. Во время прохождения электрического тока через электролит на электродах выделялись газы: на катоде водород, на аноде хлор. Сбор газов проводился с помощью прибора Гофмана. Электролиз длился практически сутки – 24 ч, тогда как расчетное время электролиза составило 10,8 ч, что связано с присутствием в растворе ионов других солей.

В результате электролиза водного раствора галитового отвала при использовании катода и анода из железной

проволоки были получены следующие результаты. Сила тока на электродах составила 0,5 А. Железный анод массой 1,7 × 10⁻³ кг полностью растворился. Масса катода уменьшилась на 0,003 кг и составила 2,77 × 10⁻³ кг. При прохождении электрического тока через электролит в растворе образовались щелочи (гидроксид калия и гидроксид натрия) и осадок оксида железа (III) бурого цвета. Водородный показатель pH раствора был равен 10. Масса образца составила 62,1 × 10⁻³ кг. На электродах выделялись газы: водород (на катоде) и хлор (на аноде). Время электролиза составило 24 ч, расчетное – 17,24 ч.

Электролиз водного раствора галитового отвала, когда в качестве материала для электродов была взята медь, показал, что медь в качестве анода и катода подходит идеально. При исследовании масса анода и катода практически не изменилась и составила соответственно 2,9 × 10⁻³ и 3,05 × 10⁻³ кг (до электролиза масса анода была равна массе катода и составляла 3 × 10⁻³ кг). Продукты электролиза – смесь щелочи (KOH и NaOH) и гидроксид меди в виде осадка оранжевого цвета. Величина pH раствора электролита была равна 12. Масса остатка галитового образца – 62,1 × 10⁻³ кг. Во время прохождения электрического тока через электролит на катоде выделялся водород, на аноде – хлор. Время электролиза было равно расчетному времени и составило 172,4 ч.

Было выделено три направления промышленного использования продуктов электролиза водного раствора галитовых отвалов: продукты электролиза (осадки и остатки галитовых отвалов) использовать в качестве компонентов для производства тротуарной плитки; полученные в растворе щелочи использовать в качестве сырья для получения мыла; извлечение газов водорода и хлора с последующим промышленным использованием.

При изготовлении плитки тротуарной в качестве основных компонентов брали цемент, отходы электролиза (в соотношении 1:3) и воду. Полученная опытным путем плитка сохраняла свои качества после проведения следующих испытаний: нагревание до температуры 200 °С; охлаждение до –18 °С; погружение в сосуд с водой. Механическое напряжение на сжатие исследуемого образца плитки составило 8 × 10⁶ Па, что в 2 раза выше в сравнении со стандартной плиткой (оценка проводилась в лаборатории НИИ «Белгорхимпром»).

В качестве сырья для получения мыла были использованы жировые отходы Солигорской птицефабрики и смесь щелочей (KOH и NaOH), полученных в результате

Характеристики водных растворов KCl и NaCl

№	Параметры	Результаты
1	Масса взятого образца, кг	0,2
2	Масса KCl и NaCl, кг	$\frac{006}{0,19}$
3	Молярная масса KCl и NaCl, кг/моль	$\frac{74,5 \times 10^{-3}}{58,5 \times 10^{-3}}$
4	Количество молекул KCl и NaCl	$\frac{4,8 \times 10^{22}}{19,5 \times 10^{23}}$
5	Количество ионов K ⁺ и Cl ⁻ , Na ⁺ и Cl ⁻	$\frac{9,7 \times 10^{22}}{39 \times 10^{23}}$
6	Концентрация молекул KCl и NaCl, м ⁻³	$\frac{1,2 \times 10^{26}}{4,9 \times 10^{27}}$
7	Концентрация ионов K ⁺ и Cl ⁻ , Na ⁺ и Cl ⁻ , м ⁻³	$\frac{2,4 \times 10^{26}}{9,8 \times 10^{27}}$
8	Время электролиза, ч	24

Примечание – *В числителе – результаты по KCl, в знаменателе – по NaCl.

электролиза галитовых отходов. При нагревании компонентов в соотношении 1:2 (жировые отходы: смесь щелочей) были получены две фракции мыла: жидкое калиевое и твердое натриевое мыло. Мыло, произведенное в лабораторных условиях, обладает хорошими моющими свойствами, химически стабильно в воде и на воздухе, био-разлагаемо и может служить основой для производства хозяйственного и туалетного мыла.

При электролизе водного раствора галитового отвала наблюдалось выделение на электродах газов (H_2 и Cl_2). Используя высокие технологии, можно проводить их сбор и в дальнейшем использовать в технологических процессах производства.

Для получения наибольшего экономического эффекта от утилизации галитовых отходов методом электролиза предлагаем создать территориально-производственный комплекс (ТПК), в составе которого будут действовать взаимосвязанные и взаимообусловленные производства по добыче калийных солей и переработке отходов производства, объединенные общей инфраструктурой, кадровой базой, энергетическими мощностями и т. д.

В первую очередь ТПК дают повышение эффективности за счет:

- значительной устойчивости взаимных связей и ритмичности производственного процесса;
- сокращения транспортных затрат;
- рационального использования всех видов местных ресурсов;
- создания оптимальных условий для сочетания отраслевого планирования и управления с территориальным планированием и управлением.

Кроме того, формирование ТПК благоприятно влияет на социально-экономическое развитие региона по следующим основным направлениям:

- создание инфраструктуры, в том числе строительство жилья и дорог;
- формирование прогрессивных территориальных структур в регионе;
- обеспечение развития промышленности городов и сел, производственной и непроизводственной сферы;
- обеспечение занятости населения;
- увеличение налоговых поступлений в бюджет региона [4].

Предлагаем создать следующие предприятия по переработке галитовых отходов.

1. *Электрохимическое производство.* В составе основного оборудования могут использоваться электролизеры типа электрохимических реакторов, предназначенных для получения газов (водорода, хлора), металлов (меди, алюминия, магния и др.), неорганических продуктов (щелочей калия и натрия) и органических продуктов электролиза. Полученный хлор в дальнейшем может использоваться для очистки воды, водород – в производстве мыла.
2. *Предприятие по производству плитки тротуарной.* Основными компонентами плитки могут служить

отходы электролиза (осадки и остатки), цемент и вода. Используя пластификаторы, можно улучшать физические свойства плитки.

3. *Мыловаренный завод.* В составе предприятия могут быть: цех по производству мыла туалетного, хозяйственного; цех по производству жидкого мыла и др. Основными компонентами для производства мыла могут быть щелочи, полученные в процессе электролиза галитовых отходов, а также жировой фарш Солигорской птицефабрики.

Создание ТПК даст возможность получать значительный экономический, экологический и социальный эффекты. Будет решен важнейший вопрос формирования благоприятной экологической обстановки в районах размещения отходов производства.

Заключение

Добыча и переработка хлористого калия сопровождается образованием разнообразных отходов, которые оказывают заметное техногенное влияние на окружающую среду. В то же время отходы переработки могут рассматриваться в качестве потенциального сырья для повторного использования.

Исследования по переработке галитовых отходов методом электролиза показали, что оптимальный металл для проведения электролиза галитовых отходов в водном растворе — медь. Продукты электролиза могут служить сырьем для получения тротуарной плитки, мыла, а также таких веществ, как водород и хлор.

Создание Солигорского территориально-производственного комплекса обеспечит рациональное использование природных и трудовых ресурсов на основе единой производственной и социальной инфраструктуры.

В целом, переработка галитовых отходов методом электролиза вполне может относиться к природоохранным и ресурсосберегающим мероприятиям.

Результаты исследований могут служить основанием для последующей научно-исследовательской работы и разработки более трудоемкого бизнес-плана, касающегося уже конкретных перерабатывающих производств.

Литература

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: стат. сб. – Минск: Информ-вычисл. центр Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2015. – 254 с.
2. Состояние природной среды Беларуси: эколог. бюл. 2011 г. / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 2012. – 363 с.
3. Сероокий, Ю.А. Переработка галитовых отходов методом электролиза / Ю.А. Сероокий // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: матер. XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомель, гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого; под общ. ред. А.А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. – 534 с.
4. Дроздова, Н.В. Территориально-производственные комплексы и региональные кластеры: преемственность и перспективы развития / Н.В. Дроздова // Ярославский педагогический вестник. – 2011. – № 3. – Том 1. – Режим доступа: http://vestnik.uspu.org/releases/2011_3g/28.pdf