

УДК 33:669.71

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТУБ ПРИ  
УТИЛИЗАЦИИ ШЛАМА СОДОВОГО РАСТВОРА, ОБРАЗОВАННОГО  
ПРИ МОКРОЙ ГАЗООЧИСТКЕ ТОПОЧНЫХ ПЕЧЕЙ ОТДЕЛЕНИЯ  
ОБЖИГА АНОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Мишин И.В.<sup>1</sup>, студент гр. ТБ-21, IV курс, Жданова В.И.<sup>1</sup>, студентка гр. ТБ-22,  
III курс

Научный руководитель: Захарова О.Л.<sup>1</sup>, к.б.н., доцент

Научный руководитель: Печёнкина А.В.<sup>1</sup>, к.э.н.

<sup>1</sup>Хакасский государственный университет имени им. Н. Ф. Катанова», г.  
Абакан

Промышленные отходы зачастую являются химически неоднородными, сложными поликомпонентными смесями веществ, обладающими различными химико-физическими свойствами. В результате их утилизация становится сложным и дорогостоящим процессом, что актуализирует вопросы определения возможностей утилизации.

Рассматривая экологические проблемы алюминиевого производства, можно выделить проблему накопления шлама содовых растворов, который образуется в процессе мокрой газоочистки топочных печей отделения обжига анодов. Шлам содовых растворов можно отнести к побочным производственным отходам, который накапливается на картах шлама содового раствора.

В настоящее время согласно проектной документации предприятия вынуждены при заполнении очистных сооружений – карта шлама содового раствора шламом, произвести захоронение объекта размещения отхода с дальнейшей его рекультивацией и строительством новых очистных гидротехнических сооружений. Строительство таких объектов является экономически затратным.

Угольные аноды используются в основном технологическом процессе алюминиевого производства - электролизом. В настоящее время предприятие производит обжиг угольных анодов для достижения снижения выбросов смолистых веществ, бензапирена и других вредных компонентов от электролизеров.

Обжиг осуществляется в многокамерных кольцевых печах открытого типа с подвижной зоной «огня».

Для очистки топочных газов печей обжига анодов на предприятии используют мокрые скрубберы с содовым раствором. Поступающий в циркуляционную ёмкость содовый раствор представляет собой раствор карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), который применяется для абсорбции, таких вредных газов как диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), оксид углерода ( $\text{CO}$ ), оксиды азота

(NO<sub>x</sub>) и фтористый водород (HF), присутствующие в компонентном составе отходящих газов[1].

Из циркуляционной емкости содовый раствор подается на форсунки нижнего и верхнего яруса скруббера для очистки отходящих от печи газов. Отработанный раствор поступает в баки мешалки и далее перекачивается по шламопроводам Р1 и Р2 на 3 карту шламового поля содового раствора в пруд - накопитель. В пруде-накопителе отработанный раствор отстаивается. В результате на дне пруда-накопителя образовывается шлам минеральный содового раствора. Осветленный содовый раствор подается обратно в цех отделения обжига производства анодов, где повторно насыщается и поступает в систему мокрой газоочистки.

Согласно проектной документации, карта шламового поля №3 представляет собой пруд-накопитель, который разделён на две секции.

По периметру площадки пруда-накопителя содовых растворов создана ограждающая дамба и дополнительно сформирована разделительная дамба, которая делит пруд-накопитель на две секции (секцию №1 и секцию №2).

В целом, карта содового раствора имеет прямоугольное очертание, оконтуренное ограждающей и разделительной дамбами (рисунок 1).

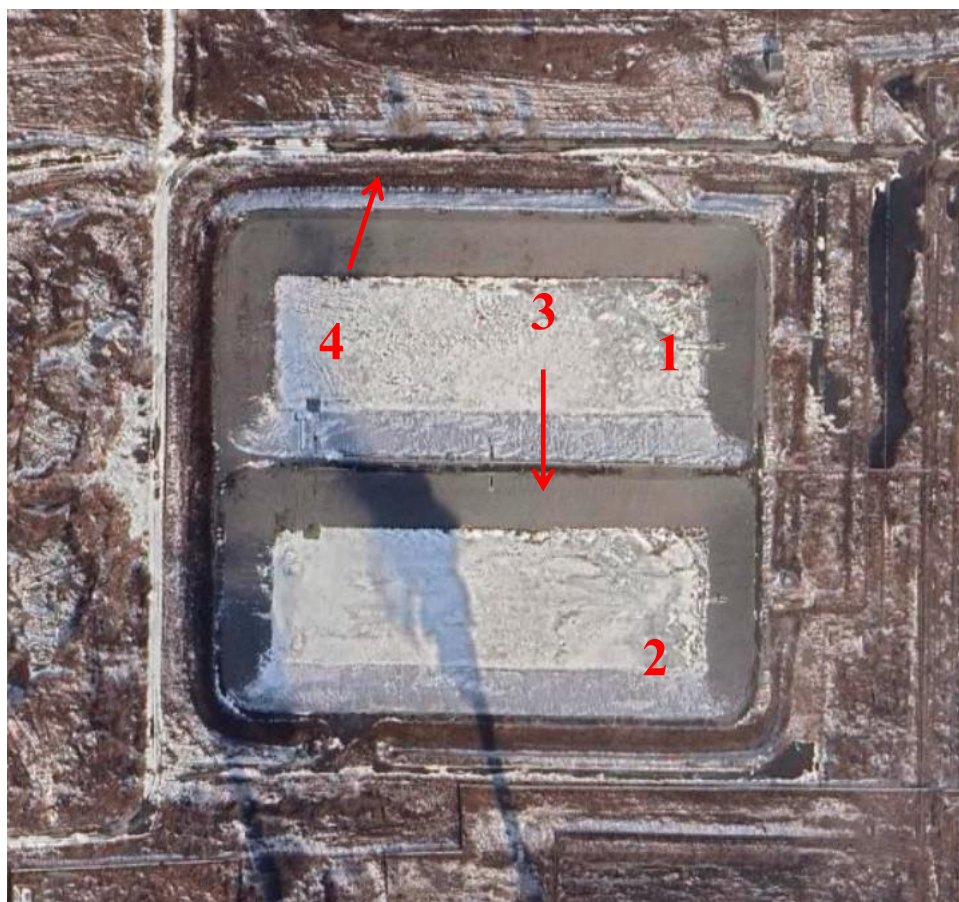


Рисунок 1 – Пример карты шлама содовых растворов № 3: 1 - Секция № 1; 2 – Секция № 2; 3 – Разделительная дамба; 4 – Ограждающая дамба.  
(Публичная кадастровая карта Хакасии)

Площадь поверхности карты № 3 составляет 6,3 га [1].

По способу заполнения карта №3 содовых растворов - наливная, по расположению на местности - равнинная, образованная в полувыемке-полунасыпи.

Производственный отход - шлам минеральный содового раствора - осадок, содержащий в составе углерод, фторид ион (водорастворимый формы), магний, двуокись кремния, натрий, железо металлическое, бенз(а)пирен. Данный производственный отход имеет 3 класс опасности.

Для увеличения сроков эксплуатации шламовых карт нами предлагается использовать применение геотубы.

Идея использования геотуб для увеличения емкости существующих прудов-накопителей заключается в том, что по контуру насыпной дамбы укладывают геотубы и заполняют их, что продляет срок эксплуатации существующего гидротехнического сооружения (рисунок 2).




 — геотуба

Рисунок 2 – Место расположения геотуб на карте шлама содового раствора.

Геотубы - крупноразмерные цилиндрические контейнеры, которые изготавливаются из тканого геосинтетического полотна. В качестве основного материала выступает долговечный полипропиленовый, полиэфирный, либо полиэтиленовый высокопрочный геотекстиль.

Особое плетение геотекстиля создает поры, которые пропускают воду только в одном направлении и задерживают твердые частицы внутри.

Материал геотубы характеризуется прочностью, устойчивостью к высоким температурам и воде, износостойкостью, непроницаемостью к паро- и газообразным веществам. Материал геотуб устойчив к биологическому и химическому воздействию, в том числе щелочей и кислот. Данные свойства позволяют обеспечивать долгосрочную работоспособность установки при эксплуатации геотуб [2].

В основе технологии геотуб лежит процесс глубокого обезвоживания – испарения влаги за счёт высокой светопоглощающей способности геотекстиля. Процесс возможен в условиях отрицательных температур, когда капиллярная влага, переходя в твердое агрегатное состояние, и затем, оттаивая, вновь испаряется через стенки контейнера. В результате данного процесса объёмы отхода уменьшаются, и конечным продуктом является тонкодисперсный сухой осадок [3].

В динамике процесса обезвоживания остаточная влажность шлама меняется от 75% (3-е суток консолидации) до 45% (10 суток консолидации), после проморозки шлама в течение зимнего периода остаточная влажность достигает 25% [4].

Согласно данным Е. В. Саванец(2019)по оценке компании HUEsker процесс обезвоживания, уменьшающий объем шламана 80 %, в геотубе по сравнению с иловой картой сокращается с 2 лет до 4 месяцев (длительность процесса обезвоживания 6 раз быстрее)[5].

После проведения обезвоживания, можно использовать контейнер для хранения сухого остатка.

С учетом обезвоживания и, исходя из проектной вместимости объекта размещения отходов (ОРО) объёмом 12 195 м<sup>3</sup>, с ежегодным расчетным объёмом шлама, размещаемого на карте шламового поля равного 357 м<sup>3</sup> в год, а также учитывая скорость обезвоживания в карте, рассчитанной по данным SoilTain® Обезвоживание в 40 % за год был рассчитан срок службы ОРО, составивший 50 лет [6].

С учетом отбора каждые 6 лет в геотубу объёмом 1200 м<sup>3</sup>, а также учитывая скорость обезвоживания в карте, рассчитанной по данным SoilTain® Обезвоживание в 80 % за год, был рассчитан срок подцикла для использования геотубы, составивший 6 лет (именно за это время в карте накапливается достаточный для откачки объем шлама).

В качестве интегрального экономического показателя было использована стоимость хранения и утилизации 1 куб. метра шлама за период в 100 лет в варианте использования только карты и карты с сочетанием

периодического выкачивания шлама в геотубу. Результаты представлены в таблице.

Таблица - Расходы на хранение и утилизацию 1 куб. метра шлама минерального при сроке эксплуатации 100 лет

Используемые показатели и единицы измерения	По существующему проекту	По предлагаемому проекту
Проектная вместимость ОРО, м <sup>3</sup>	12 195	12 195
Первоначальная стоимость карты шламового поля, руб.	200 000 000	200 000 000
Затраты на рекультивацию при заполнении карты шламового поля (927,15 руб./ м <sup>2</sup> * 63 000 м <sup>2</sup> (площадь, занимаемая ОРО), руб./м <sup>2</sup>	58 410 450	58 410 450
Расчетный годовой объем шлама, размещаемого на карте, м <sup>3</sup>	357	357
Срок эксплуатации до заполнения проектной вместимости, лет	34	-
Откачка части шлама в геотрубу (в рабочее время)	-	-
Емкость геотрубы, м <sup>3</sup>	-	1200
Периодичность откачки в геотубу, лет	-	6
Первоначальные затраты: стоимость одного насоса, руб. трубопровод 120 м, руб. стоимость первоначального монтажа оборудования, руб.		6 752 160: 4 345 920 2 286 240 120 000
Расходы на цикл откачивания в геотубу раз в 6 лет, руб.	-	935 000
Стоимость обслуживания оборудования, руб.	-	85 000
Стоимость геотубы объемом 1200 м <sup>3</sup> , руб.	-	850 000
Число циклов за 100 лет (строительство и рекультивация)	2	1
Число подциклов за 100 лет, количество откачек в геотубу)	-	17
Стоимость подциклов за 100 лет, руб.	-	22 335 493
Число утилизированного шлама за 100 лет, м <sup>3</sup>	24 990	24 990
Общая стоимость хранения шлама за 100 лет	516 820 900	280 745 943
Стоимость хранения и утилизации 1 куб.	20 681	11 234



метра за 100 лет, руб./м <sup>3</sup>		
---------------------------------------	--	--

Как видно во втором варианте стоимость хранения в два раза меньше, т.е. в долгосрочном периоде второй вариант выгоден, так как продлевает срок службы карты в несколько раз.

Таким образом, применение технологии геотуб для обезвоживания производственного отхода – шлама минерального содового раствора может стать для предприятия алюминиевой промышленности экономически выгодным в долгосрочной перспективе.

### Список литература:

1. Оценка воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Саяногорск»: Проект «Модернизация производства электродов АО «РУСАЛ Саяногорск»: Резюме нетехнического характера / ООО «РУСАЛ ИТЦ». – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. – 53 с.

2. Геотуба (геоконтейнер) — МИАТУБА. URL: <https://investpp.ru> ( дата обращения 02.03.2025).

3. Лисняк Н. Ю. Способы обезвоживания осадка карьерных вод угледобывающей промышленности / Н.Ю. Лисняк, М.А Ларина // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Выпуск 23. Т.1. – Абакан: Издательство ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», 2019. – 123-124 с.

4. Применение технологии геотубирования. Часть 3. При складировании и обезвоживании отходов переработки и обогащения полезных ископаемых.URL: <https://texpolimer.pro/news/skladirovanie-i-obezvozhivanie-otkhodov-pererabotki> (дата обращения: 29.03.2025).

5. Материалы 75-й студенческой научно-технической конференции [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет информационных технологий и робототехники; сост.: В. А. Мартинович, Г. И. Жиров. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 76-77.

6. SoilTain® Обезвоживание. Система интенсивного обезвоживания Осадка.URL:<https://www.huesker.ru> (дата обращения: 29.03.2025).