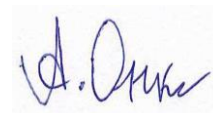


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



ОНКАЕВ АДИК ВИКТОРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ
НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ В
УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Лимаренко Николай Владимирович

Рязань – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	10
1.1 Использование хлорсодержащих веществ в различных областях сельского хозяйства	10
1.2 Физико-химические свойства ГХН, получения и применение	20
1.3 Влияние внешних и внутренних факторов на получения НГХН.....	32
1.4 Выводы по первой главе.....	35
ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	36
2.1 Направление исследований.....	36
2.2 Объект исследования	36
2.3 Схема экспериментальной установки, аппаратное оформление	40
2.4 Методика статической обработки опытных данных	47
2.5 Выводы по второй главе.....	47
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	48
3.1 Раствор реки Элиста.....	48
3.2 Растворы п. Юста и озера Улан-Хол.....	59
3.3 Изучение состава отложений на катоде при электролизе природных растворов.....	60
3.4 Выводы по третьей главе.....	80
ГЛАВА 4 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	81
4.1 Оценка и обоснование выходных параметров электролиза трех природных растворов	82
4.2 Природа образования отложений на катоде при электролизе природных растворов. Методы борьбы с осадками.....	84
4.3 Корректировка кислотности раствора гипохлорита натрия активирующими добавками	95
4.4 Оценка возможности приготовления рабочего раствора гипохлорита натрия методом разбавления ВГХН	99
4.5 Выводы по четвертой главе.....	100
ГЛАВА 5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НГХН ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ПРИРОДНЫХ РАСТВОРОВ.....	101
5.1 Выбор и обоснование установки	101
5.2 Низкоконцентрированный гипохлорит натрия с корректирующими добавками.....	110

5.3 Техничко-экономическая оценка использования ГХН в фермерском хозяйстве Республики Калмыкия	112
5.4 Выводы по пятой главе.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	122
Приложение А – Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Республики Калмыкия за 2022 год	148
Приложение Б – Результаты трех природных растворов на постоянном токе в проточном режиме	150
Приложение В – Состав нерастворимых солей, образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде при переменном токе.....	153
Приложение Г – Результаты исходных данных для оценки эффективности сравнения ВГХН и НГХН.....	157
Приложение Д – Акт внедрения.	159
Приложение Е – Результаты интеллектуальной деятельности	159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Раствор-дезинфектант высококонцентрированный гипохлорит натрия (ВГХН), содержащий активный хлор (а.х.), широко применяется на объектах сельскохозяйственного назначения, совмещая в себе свойства инсектицида, фунгицида и биоцида для повышения продуктивности животноводства и птицеводства, зерновых культур и обеспечения доброкачественной питьевой водой. Данный темп соответствует принятой Доктрине продовольственной безопасности РФ Приказ от 3.12.2020 г. № 486 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности – правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора».

Для удаленных и труднодоступных территорий, где, в основном, отсутствуют всепогодные дороги, доставка сельским поселениям и фермерским хозяйствам ВГХН с завода-изготовителя затруднена или невозможна. К тому же, этот продукт является токсичным из-за высокой концентрации а.х., что не обеспечивает экологическую безопасность его применения. Такие условия хозяйствования приводят к снижению конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции из-за увеличения её себестоимости. Характерным примером этому могут служить аридные территории РФ, включая Республику Калмыкия.

Исследования показывают, что в результате анализа данных, стоимость реализации запроектированной станции ВГХН, инженерных изысканий, сетей и оборудования в ценах 2024 г. составит порядка 100 млн. руб. (НДС 20%). С учетом того, что стоимость 1 кг активного хлора при использовании ВГХН будет в диапазоне 190...220 руб./кг, реализация и последующая эксплуатация запроектированной станции потребует от предприятия взвешенного подхода, поиска и выделения средств не только на капитальные затраты, но и на не малые каждодневные эксплуатационные расходы.

Для решения данной проблемы предлагается получение безопасного низкоконтрированного гипохлорита натрия (НГХН) электрохимическим

методом из местных минеральных подземных или поверхностных растворов, что соответствует эколого-реабилитационным процессам.

В этом случае целесообразно создание на территории Калмыкии так называемых «сотов», внутри которых будут размещаться мобильные установки получения НГХН для собственных нужд и ряда близлежащих смежных ферм. Данный способ организации производства является значимым для повышения экологической безопасности и экономического эффекта фермерских хозяйств. Согласно открытым статистическим данным, мировые экономические потери зернового материала от вирусных патогенов ежегодно превышают 60 млрд. долларов и имеют положительный тренд. На текущий момент наиболее эффективным широко применяемым способом борьбы с болезнями в зерновом материале является протравливание НГХН. Однако, отсутствуют методики и рекомендации обоснования параметров установки получения НГХН, учитывающие специфику аридных территорий, для условий республики Калмыкия, в частности. Для обоснования указанных положений необходимы теоретические и экспериментальные исследования и на их основе обоснование параметров установки получения электролитического НГХН. Исходя из изложенного направление исследований является актуальной задачей науки и практики.

Степень разработанности темы. В работах Д.Л. Басина, Г.Л. Медриша, Л.Н. Фесенко, И.В. Пчельникова выявлены особенности электролиза природных вод. Возможности использования гипохлорита натрия в ветеринарии, животноводстве и птицеводстве освещены в работах А.Г. Зафириди, П.А. Попова, И.С. Жолобовой, А.В. Луневой, в растениеводстве – Warren E.Copes, Peter S.Ojiambo, О.В. Наумовой, Б.П. Чеснокова, способы и технические решения обеззараживания в АПК исследованы учёными – А.Ю. Брюхановым, Ю.А. Кировым, Н.В. Лимаренко, Н.С. Серпокрыловым, В.В. Денисовым, И.А. Денисовой, Т.И. Дрововозовой. В работах В.В. Гордеева рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности водоснабжения объектов АПК, О.Ш. Кедеевой указаны условия эксплуатации животноводческих комплексов и водопользования на фермах КРС. Значительный

вклад в исследования механизации данного направления внесён учёными: А.М. Бондаренко, П.И. Гридневым, В.В. Кирсановым, И.И. Шигаповым, В.Д. Хмыровым, О.А. Суржко, В.П. Друзьяновой, Ю.А. Цоем и другими.

Цель исследования – обоснование параметров установки получения дезинфектанта НГХН с учетом региональных особенностей фермерских хозяйств Республики Калмыкия.

Задачи исследования:

– предложить методику оценки потребности фермерских хозяйств и сельских поселений Республики Калмыкия и провести анализ известных способов промышленного получения НГХН из природных минерализованных вод на месте потребления с позиций экологической безопасности;

– привести сравнительную оценку безопасности использования НГХН и ВГХН в качестве дезинфицирующего средства на аридных территориях РФ, включая Республику Калмыкия;

– исследовать влияние состава анодного покрытия из оксидов платиновой группы на выходные показатели электролиза в установке НГХН;

– предложить параметры технических решений, предотвращающих накопления осадков на катоде электролизера установки НГХН.

Объект исследования – установка получения НГХН.

Предмет исследования – параметры установки получения НГХН из природных растворов.

Научная новизна полученных результатов:

– аналитически определена, обоснована и экспериментально доказана возможность использования природных минеральных растворов аридных территорий для получения дезинфектанта – НГХН;

– определено влияние состава покрытия анода электрохимического аппарата на выход целевого продукта – раствора дезинфектанта;

– доказана эффективность использования борной кислоты и медного купороса для корректировки pH раствора гипохлорита натрия;

– предложен поэтапный во времени механизм накопления и осыпания осадка

на катоде на постоянном и переменном токах при электролизе природного раствора.

Теоретическая значимость работы:

- получены параметры процесса, влияющие на выход НГХН. Определены и обоснованы параметры электролиза природных растворов;
- предложены методики снижения образования осадков на катоде с помощью электролиза переменным током.

Практическая значимость работы:

- доказана возможность получения дезинфектанта – НГХН путем электролиза из природных вод аридных территорий республики Калмыкия;
- предложена установка и схема добычи сырья (природного минерального раствора) и получения из него НГХН. Рекомендовано для фермерских хозяйств использовать установку производительностью 10 кг/сут. по активному хлору;

Методология и методы исследования заключаются в анализе мировых практик использования хлорсодержащих веществ в фермерских хозяйствах, сельских поселениях для повышения продуктивности животноводства, зерновых культур и их снабжения питьевой водой.

В качестве методической и научной основы определения химического состава, продуктов электролиза (растворы и осадки) использовались фундаментальные положения аналитической химии, гидравлики и математической статистики.

Исследовали процессы получения НГХН путем электролиза природных минеральных растворов аридных территорий в проточном и циркуляционном режимах. Исходный раствор был смоделирован в лаборатории ООО НПП «ЭКОФЕС» с различной концентрацией (как в природной среде) хлорид-ионов – сырья для получения НГХН. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью Mathcad 14, а инфографика и визуализация результатов выполнены в программе Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование возможности использования природных водных ресурсов для электрохимического получения НГХН.

2. Оценка влияния внешних и внутренних факторов на выход НГХН из минерального сырья природных растворов.

3. Результаты экспериментальных исследований оценки влияния постоянного и переменного тока на осадкообразование, катодов в зависимости от режима электролиза проточного и циркуляционного.

4. Способ водоподготовки природного раствора, предотвращающий образование осадка на катоде и оценку влияния щелочности раствора на выход активного хлора, путем корректировки раствора НГХН активирующими добавками.

5. Разработка установки получения НГХН с обоснованными параметрами на объектах фермерских хозяйств, агропромышленных комплексов.

Степень достоверности результатов. Результаты исследования были получены с использованием поверенных приборов по стандартным методикам и методам статистической обработки результатов. Установлено, что достигнута удовлетворительная сходимость результатов экспериментальных и теоретических исследований.

Апробация результатов исследования. Основные результаты были рассмотрены на следующих научно-практических конференциях: I Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Вода – Жизнь» (г. Новочеркасск, 12 декабря 2024 г., ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова»); международная научно-практическая конференция Технологии очистки воды «Техновод–2024» (г. Кисловодск, 23–26 апреля 2024 г., ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова).

Реализация результатов исследования. Предложенная установка получения НГХН с обоснованными для местных минеральных растворов параметрами производительностью 10 кг/сут. по активному хлору внедрена в КФХ «Арл» Яшкульский район, СМО Улан-Эрге.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в теоретическом

обосновании возможности использования в качестве сырья природных, подземных и поверхностных растворов для получения НГХН – дезинфектанта для различных нужд фермерских хозяйств аридных территорий РФ, постановке цели, задач исследования, проведении полевых и лабораторных исследований; оценке технико-экономической эффективности инвестиционных проектов внедрения новых установок получения НГХН.

Публикации. По теме исследования опубликовано 13 печатных работ, в том числе: 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 монография. Получен патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составляет 11, усл. печ.л., из которых 8,1 усл. печ.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 198 наименований и пяти приложений. Объем работы составляет 160 страниц, содержит 38 рисунков, 35 таблиц.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

1.1 Использование хлорсодержащих веществ в различных областях сельского хозяйства

Охрана окружающей среды, в том числе сельских населенных пунктов и фермерских хозяйств, повышение продуктивности животноводства и птицеводства, зерновых культур и обеспечение доброкачественной питьевой водой неразрывно связаны с использованием минеральных и органических веществ, обладающих свойствами инсектицида, фунгицида и биоцида [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Особое внимание этому уделяется расположенным в удалении и труднодоступным территориям, где, в основном, отсутствуют всепогодные дороги, высококвалифицированный персонал, ограничен бюджет на поддержание инженерных сетей и оборудования, резко континентальный климат. Характерным этому может служить аридная зона РФ, включая Республику Калмыкия [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34].

В качестве дезинфицирующих средств для обеззараживания воды [35], профилактики и лечения заболеваний сельскохозяйственных животных и птиц [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56], борьбы против микотоксинов, спор и бактерий – вредителями сельскохозяйственных и овощных культур [57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69], широко используются хлорсодержащие препараты на базе раствора гипохлорита натрия (ГХН) (в дальнейшем «активный хлор» – а.х.), получаемым электрохимическим способом [70, 71, 72].

Классификация, химические, физико-химические свойства, способы и оборудование для получения ГХН и использования в ветеринарии подробно даны в [73]. Также показана эффективность ГХН для борьбы с бактериями, вирусами, спорами и грибами, его безопасность для окружающей среды, человека и животных.

Кроме того, на селе ГХН широко используется для:

– обеззараживания питьевой воды и воды плавательных бассейнов [74];

– дезинфекции общественных помещений, медицинских учреждений, предприятий пищевой промышленности.

ГХН также широко применяется в ветеринарии [1] для:

– лечебно-профилактических действий при заболеваниях пищеварительного тракта свиней, птицы, крупного рогатого скота;

– дезинфекции животноводческих и птицеводческих помещений;

– лечения гнойных ран и продления срока хранения мяса;

– обеззараживания рук хирурга и инструмента, лабораторной посуды, органических отходов животноводства;

– обеззараживания воды для поения животных и птиц.

К тому же, растворы на основе ГХН в комбинации с микродобавками, например, меди, цинка, бора и др. дают синергетический эффект для использования в растениеводстве бактериальных и противовоспалительных препаратов [75, 76, 77, 78].

Из этого следует, что в фермерском хозяйстве ГХН значительно более востребован, чем в городской среде, из-за многочисленных сфер его применения.

В таблице 1.1 [1, 2, 3] приведены примеры использования и рекомендуемые концентрации ГХН в хозяйствах сельских поселений для нужд животноводческих, птицеводческих ферм и зерновых культур с целью повышения стабильности и надежности получения, снижения финансовых рисков.

Для того, чтобы обеспечить потребность фермерских хозяйств этим препаратом, он должен быть доступным и не быть обременительным с точки зрения экономических затрат.

Чтобы ответить на эти и ряд других вопросов, на первом этапе провели оценку реальной потребности гипохлорита натрия для нужд фермерских хозяйств.

С этой целью, на основании данных таблицы 1.1, был произведен расчет потребности ГХН в животноводческих и птицеводческих хозяйствах Калмыкии (таблица 1.2) применительно к ее 13 районам (рисунок 1.1) [1, 2, 3].

Таблица 1.1 – Перечень объектов сельского хозяйства, использующих гипохлорит натрия

№ п/п	Области применения	Условия и вид обработки			
		Концентрация, мг/л	Частота обработки, сутки	Место обработки	Вид обработки
1	КРС	1200 – 2000 мг/л из расчета 3 – 5 мл/м ³ [1]	1	Телятник	Аэрозольный метод
2	Овцеводство	50 мл раствора (3 % активного хлора) на 1 м ³ [2]	0,042	Овчарня	Аэрозольный метод
3	Кролиководство	600 мг/л [1]	1	Вольеры	Катетерный метод
4	Утята	600 мг/л [1]	2	Утятник	Внутренний метод (водопой)
5	Цыплята – бройлеры	600 мг/л [1]	2	Курятник	Внутренний метод (водопой)
6	Свиноводство	300 мг/л [1]	1	Свинарник	Внутренний метод (водопой)
7	Пшеница	50 мг/л [3]	1	Полевые условия (на элеваторах)	Аэрозольный метод
8	Ячмень	50 мг/л [3]	1	Полевые условия (на элеваторах)	Аэрозольный метод

Таблица 1.2 – Потребность а.х. для скота и птиц по районам и общая по Республике Калмыкия

№ районов	Наименование районов	Поголовье скота и птицы в хозяйствах, голов / потребность активного хлора кг/сут.					Итого кг а.х. сутки по району
		КРС	Свиньи	Козы + Овцы	Лошади	Птица	
I	Малодербетовский	$\frac{34406}{0,5}$	$\frac{685}{0,03}$	$\frac{51169}{7,6}$	$\frac{827}{0,055}$	$\frac{4835}{0,0942}$	8,28
II	Сарпинский	$\frac{20968}{0,3}$	$\frac{1115}{0,049}$	$\frac{78617}{11,8}$	$\frac{564}{0,038}$	$\frac{14983}{0,2916}$	12,47
III	Октябрьский	$\frac{23107}{0,34}$	$\frac{950}{0,042}$	$\frac{41156}{6,1}$	$\frac{508}{0,035}$	$\frac{5937}{0,1158}$	6,63
IV	Кетченеровский	$\frac{36576}{0,53}$	$\frac{232}{0,01}$	$\frac{137800}{20,67}$	$\frac{913}{0,061}$	$\frac{4171}{0,081}$	21,3
V	Юстинский	$\frac{15404}{0,22}$	$\frac{305}{0,013}$	$\frac{151542}{22,8}$	$\frac{3542}{0,238}$	$\frac{874}{0,0174}$	23,2
VI	Целинный	$\frac{20446}{0,3}$	$\frac{210}{0,0094}$	$\frac{81088}{12,16}$	$\frac{310}{0,02}$	$\frac{3582}{0,0696}$	12,5
VII	Яшкульский	$\frac{31265}{0,46}$	$\frac{19}{0,000851}$	$\frac{348109}{52,21}$	$\frac{2067}{0,138}$	$\frac{2357}{0,0462}$	52,8
VIII	Городовиковский	$\frac{3428}{0,05}$	$\frac{833}{0,037}$	$\frac{4132}{0,61}$	$\frac{74}{0,005}$	$\frac{26231}{0,5112}$	1,2
IX	Яшалтинский	$\frac{17390}{0,25}$	$\frac{1635}{0,073}$	$\frac{27420}{4,1}$	$\frac{164}{0,011}$	$\frac{25787}{0,5028}$	4,9
X	Приютненский	$\frac{21846}{0,32}$	$\frac{1220}{0,054}$	$\frac{88110}{13,21}$	$\frac{411}{0,028}$	$\frac{7689}{0,15}$	13,7
XI	Ики-Бурульский	$\frac{39369}{0,58}$	$\frac{337}{0,015}$	$\frac{137069}{20,56}$	$\frac{331}{0,022}$	$\frac{3918}{0,0762}$	21,2
XII	Черноземельский	$\frac{25544}{0,37}$	$\frac{90}{0,004}$	$\frac{313141}{46,97}$	$\frac{536}{0,036}$	$\frac{4807}{0,0936}$	47,4
XIII	Лаганский	$\frac{7036}{0,10}$	$\frac{21}{0,00094}$	$\frac{59792}{8,9}$	$\frac{135}{0,009}$	$\frac{431}{0,0084}$	9,01
Итоговая потребность а.х. кг в сутки		4,32	0,33	277	0,696	2,058	234,59
Итоговая потребность а.х. кг в год		1577	120	82855	254	752	85625

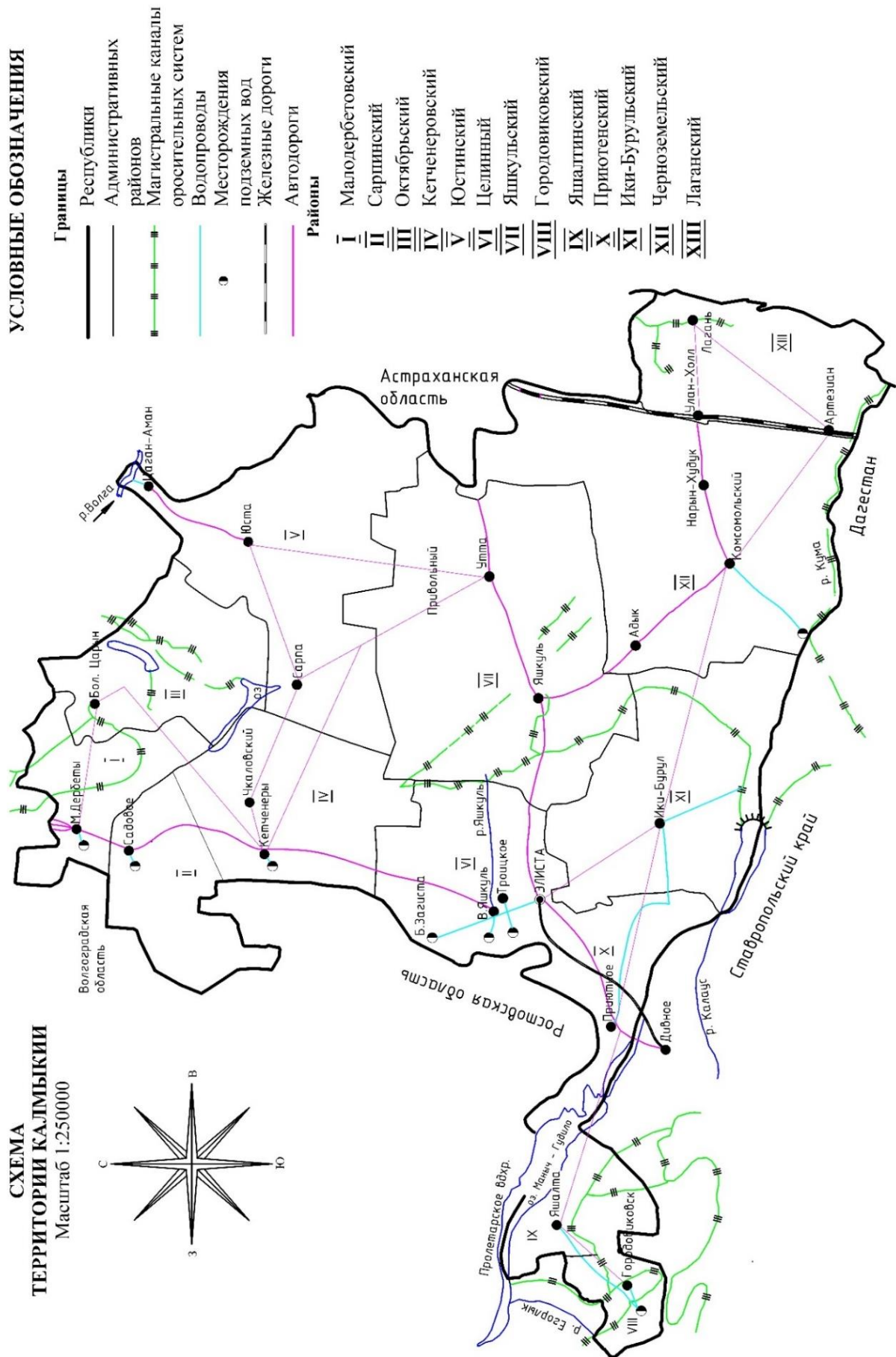


Рисунок 1.1 – Схема административного деления по районам территории Республики Калмыкия

Как следует из данных таблицы 1.2, потребность в реагенте неравномерна по районам. Наиболее востребован ГХН в центральной части (Яшкульский и Черноземельский районы), менее – в западной и северной частях Республики (Городовиковский, Яшалтинский, Лаганский, Малодербетовский, Сарпинский, Октябрьский районы).

Также из этого следует, что главным потребителем дезинфектанта в АПК являются козы и овцы, на долю которых приходится 78,3 % от всего завозного ГХН, на КРС – 15,3 %, птицу – 5,44 %, лошадей – 0,53 %, свиней – 0,39 %.

Кроме того, потребность этого реагента важна для дезинфекции и дезинсекции отходов производств фермерских хозяйств [79, 80, 81, 82, 83, 84, 85], обеззараживания питьевой воды. Особенно последнее является крайне востребованным ввиду отсутствия доброкачественных источников пресной воды (имеется ввиду подземной). В Калмыкии до сих пор в большинстве районов единственным источником является привозная вода, объем которой достигает 30 тыс. м³/сут. [86]. Очевидно, перед транспортировкой и употреблением такой воды необходимо подвергнуть ее обязательной операции – обеззараживанию. В этом случае ГХН является необходимым и достаточным реагентом для достижения поставленной задачи.

Кроме животноводства, потребителем ГХН является зерновое хозяйство. Использование этого реагента позволяет стимулировать продуктивность посевного фонда и сохранность урожая от вредителей. В этом случае ГХН проявляет себя как пестицид и фунгицид [3].

Республика Калмыкия является территорией те зерновых культур. Согласно данным управления Федеральной службы Государственной статистики по Астраханской области и Республике Калмыкия (Астраханьстат) (приложение А) валовой сбор урожая сельскохозяйственных культур в центнерах в хозяйствах всех категорий Республики Калмыкия за 2022 год представлен в таблице 1.3 [87].

Таблица 1.3 – Диверсифицированная по районам и общая по Республике
Калмыкия потребность а.х. для зерновых культур

№ районов	Муниципальные территории	Зерновая культура, центнеры / потребность активного хлора, кг			Итого, кг а.х. в год по району
		Пшеница	Ячмень	Овёс	
I	Малодербетовский	$\frac{138906,0}{6,9}$	$\frac{50528,0}{2,52}$	-	9,42
II	Сарпинский	$\frac{1117726,9}{55,8}$	$\frac{26385,0}{1,31}$	-	57,11
III	Октябрьский	$\frac{26293,0}{1,3}$	$\frac{16784,0}{0,83}$	-	2,13
IV	Кетченеровский	$\frac{61487,4}{3,07}$	$\frac{250,0}{0,01}$	-	3,08
VI	Целинный	$\frac{393658,6}{19,6}$	$\frac{35150,0}{1,75}$	-	21,35
VIII	Городовиковский	$\frac{1209269,7}{60,4}$	$\frac{181332,2}{9,06}$	$\frac{494,0}{0,0247}$	69,5
IX	Яшалтинский	$\frac{1889739,2}{94,4}$	$\frac{60623,3}{3,03}$	$\frac{540,0}{0,027}$	97,5
X	Приютненский	$\frac{865982,7}{43,2}$	$\frac{45470,7}{2,27}$	-	45,47
XI	Ики-Бурульский	$\frac{704037,7}{35,2}$	$\frac{776,0}{0,03}$	-	35,23
XII	Черноземельский	$\frac{2044,0}{0,1}$	$\frac{500}{0,02}$	-	0,12
город Элиста		$\frac{41609,6}{2,08}$	$\frac{388,0}{0,01}$	-	2,09
Итого по Республике Калмыкия, а.х. в год		$\frac{6450754,8}{322,6}$	$\frac{418187,2}{21,0}$	$\frac{1034,0}{0,05}$	343

Как следует из таблицы 1.3, больше всего урожай зерновых приходится на пшеницу (93,89 %), ячмень (6,08 %), овес (0,01 %). Если первые две культуры выращиваются в 11 из 13 районах, то овес – только в двух.

Наибольшие сборы зерновых приходятся на северную, центральную и западную части Республики, что указывает на неравномерность ее посевных площадей. В трех районах зерновые культуры не выращивают.

Как известно, грибковые и бактериальные заболевания семян зерновых культур и передача их через почву вызывают особую озабоченность фермерских хозяйств. Для исключения очевидно опасного вреда семенам необходимо использовать пестициды. В противном случае, патогенные микроорганизмы, вызывающие повреждения семян, значительно сократят урожай или приведут к его потере [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94]. По оценкам [95] мировые экономические потери зерновых культур из-за вирусных патогенов составляют 60 млрд долларов в год.

Существуют два основных метода (протравливание) борьбы с болезнями зерновых при помощи гипохлорита натрия: аэрозольный и погружение в раствор [60]. Аэрозольный метод (полусухое протравливание), по нашему мнению, применим для обработки зернохранилищ и не требует больших затрат дезинфектанта.

При обработке семян погружением (мокрое протравливание), расход ГХН будет значительным из-за высокой контактной поверхности зернового материала. Для реализации метода на практике согласно [95] посадочный материал массой 100 кг обрабатывается жидким протравителем объемом 1 дм³. Особенно эффективно мокрое протравливание при сильном заражении семян, благодаря высокой степени их контакта с пестицидом, что не достигается другими способами борьбы с болезнями растений.

Оценим потребность в ГХН для звероводческих хозяйств Калмыкии. Расчет вели по рекомендациям [95], а результаты представили в таблице 1.3. Было принято, что обработка зерновых будет проводиться один раз в год. Концентрацию активного хлора в протравителе приняли равную 50 мг/дм³ [3]. Из представленной таблицы 1.3 следует, что годовая потребность активного хлора для всей Республики составит 343 кг. Эта масса может оказаться в действительности значительно больше, если в хозяйствах возникнет потребность в многократных операциях протравливания семян.

Кроме сельскохозяйственного сектора в Калмыкии в ГХН остро нуждается коммунальное и личное хозяйство при использовании воды [96, 97, 98, 99, 100, 101,

102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136]. Остановимся подробно на хозпитьевом водоснабжении Республики Калмыкия.

Водоснабжение Калмыкии представлено различными групповыми, локальными централизованными системами и децентрализованными источниками. Групповые системы водоснабжения – Северный, Юстинский, Ики-Бурульский были построены в 70 – 80-е гг. прошлого столетия и на сегодняшний день функционирует только один – Ики-Бурульский (от вх. Чограй до п. Ики-Бурул), остальные демонтированы. Основную часть населения обслуживают локальные системы. Общее число источников централизованного водоснабжения – 54, из них 7 поверхностных и 47 подземных. На сегодня централизованным и смешанным водоснабжением обеспечены 45 населенных пунктов, где проживает 70,2 % населения Калмыкии. Жители 143 населенных пунктов с населением 60404 чел. (20,5 % всего населения) обеспечиваются привозной водой, доставляемой специальным автомобильным и железнодорожным транспортом. Население п. Яшалта, с. Ульяновское, с. Соляное, с. Красномихайловское и целый ряд других используют воду оросительных каналов для хозпитьевых нужд без предварительной очистки и обеззараживания. В 141 населенных пунктах (53,2 %), где проживает 223142 человека – 77,5 % всего населения, качество питьевой воды как «доброкачественная» характеризуется только в 7 населенных пунктах и как «условно-доброкачественная» – в 134.

Среднее удельное водопотребление на одного сельского жителя составляет 42 л/сут. при гигиенической нормативной потребности 125 – 160 л/сут. [137]. Столица Калмыкии – г. Элиста с населением 118249 чел. (свыше 40 % населения Республики) снабжается водой из водозаборов, требующих полной реконструкции, и с износом до 80 % разводящей сети.

При общей численности населения Калмыкии – 267 756 чел. (по состоянию на 01.01.2022) [138] и нормативным водопотреблением на одного жителя сельскохозяйственных районов ≈ 140 л/чел. [139], суточное водопотребление

Республики составит не менее 30 тыс. м³ питьевой воды, требующей обеззараживающей обработки, что было подтверждено ранее [76].

Только столичный город Элиста снабжается водой от двух месторождений – Троицкого и Бояртинского, с общей суточной подачей 45 тыс. м³. Остальная территория Республики обеспечивается привозной водой из различных источников: родники, колодцы, скважины, из территорий пограничных районов (Ростовской и Волгоградской областей, Ставропольского края, Республики Дагестан), р. Волги в районе п. Цаган-Аман (Республики Калмыкия). Если элистинская вода подвергается обеззараживанию ГХН марки А [140] на водозаборных сооружениях, то привозная вода подается потребителю без дезинфектанта. Последнее особенно важно, т. к. из 120 колодцев общественного пользования 50 находятся в неудовлетворительном санитарно-техническом состоянии, а около 15 % проб воды не соответствует гигиеническим нормам по микробиологическим показателям [141]. Этому способствует неудовлетворительное техническое состояние очистных сооружений канализации, которых всего пять при 265 населенных мест [142], и полное отсутствие обеззараживания воды.

Следовательно, всю привозную воду необходимо обеззараживать ГХН и проводить это следует в местах ее отбора. Для 30 тыс. м³ воды требуется до 200 кг активного хлора (из расчета 6 – 7 мг а.х. на 1 дм³ воды). На месте потребления воды, ввиду ее возможного длительного хранения (цистерны, резервуары), необходимо проводить дохлорирование согласно рекомендациям службы Роспотребнадзора. При этом доза ГХН будет составлять примерно 2 – 3 мг/дм³ для поддержания остаточного активного хлора 0,3 – 0,5 мг/дм³ [143].

На основании изложенного, оценим ориентировочную потребность ГХН в Республике Калмыкия, которая будет складываться для нужд:

- зернового хозяйства – 344 кг в год;
- обеззараживания привозной воды – 200 кг/сут.;
- животноводства – 240 кг/сут.;
- неучтенных (~20 %).

Отсюда следует, что в Калмыкию ежедневно должно быть завезено активного хлора или произведено на месте потребления более 440 кг.

Таким образом, ГХН применительно для Республики Калмыкия, является важным продуктом многофункционального и многоцелевого применения, который сегодня нужен в животноводстве, зерновом хозяйстве, личном и коммунальном водоснабжении, обезвреживании отходов фермерских хозяйств, дезинфекции производственных и общественных территорий, санузлов, медицинских учреждений.

При решении проблем обеспечения дезинфектантом территории Калмыкии с численностью населения более 267,7 тыс. чел. и плотностью – 3,54 чел./км² следует учитывать удаленность друг от друга городов, поселков, фермерских хозяйств и неразвитую дорожную инфраструктуру.

В этом случае целесообразно создание на территории Республики так называемых «сотов», внутри которых будут размещаться привозной гипохлорит натрия марки А (высококонцентрированный) или установки по получению ГХН (низкоконцентрированный) марки Э из минеральных местных водных ресурсов. Эти «соты» должны перекрывать друг друга так, чтобы обеспечить потребителю удобный доступ к дезинфектанту. В состав «сотов», кроме наличия ГХН или установок для его получения, должны входить: распределительный терминал, ремонтный участок для обслуживания емкостного, насосного, электротехнического оборудования, транспортный участок доставки сырья, химическая лаборатория.

Для того, чтобы ответить на следующий вопрос, какой из известных дезинфектантов безопаснее, менее затратен для организации «сотов», рассмотрим, как производится ГХН, подробно оценим опыт практического применения этих продуктов.

1.2 Физико-химические свойства ГХН, получения и применение

Остановимся подробно на промышленных способах получения ГХН, его физико-химических и биологических свойствах.

Гипохлорит натрия может быть получен двумя способами: хлорированием натриевой щелочи или электролизом водного раствора поваренной соли в ванне без разделения анодного и катодного пространств.

В целом, получения ГХН непосредственно связано с электрохимическими процессами, поскольку хлор также производят в электролизерах, но с использованием диафрагмы. Впервые эти два способа были разработаны еще в 1882 г. [144].

Главным действующим веществом продукта является активный хлор – мощное дезинфицирующее средство с высоким окислительным потенциалом, что определяет его широкое использование в различных сферах хозяйственной деятельности.

В таблице 1.4 приведены основные показатели растворов ГХН, производимых в России [70].

Таблица 1.4 – Основные показатели растворов гипохлорита натрия, производимых в России

№ п/п	Наименование показателя	ГОСТ 11086-76		Характеристика марок ГХН				
		А	Б	А	Б	В	Г	Э
1	Внешний вид	жидкость зеленовато-желтого цвета		жидкость зеленовато-желтого цвета				бесцветная жидкость
2	Массовая концентрация активного хлора, г/дм ³	190	170	120	120	190	12	7
3	Массовая концентрация щелочи в пересчете, г/дм ³	10 – 20	40 – 60	40	90	10 – 20	20 – 40	1
4	рН, единиц	12						8,5

По первому способу химическая промышленность (заводы «Каустик») выпускает ряд марок ГХН, но наиболее массовый выпуск приходится с концентрацией активного хлора 170 – 190 г/дм³, который получил название «Гипохлорит натрия марки А ГОСТ 11086-76» – высококонцентрированный гипохлорит натрия, в дальнейшем ВГХН.

По второму способу ГХН образуется с максимальной концентрацией активного хлора не более $7 - 8 \text{ г/дм}^3$ – низкоконтрированный гипохлорит натрия, в дальнейшем НГХН.

Как видно из таблицы 1.4, раствор ВГХН представляет собой смесь гипохлорита натрия (NaClO) и каустической щелочи (OH^-) и, как следствие, имеет высокое значение pH (12 единиц). Низкоконтрированный раствор ГХН (НГХН) характеризуется невысоким значением щелочности, поэтому pH такого раствора, как правило, не превышает 8,5 единиц.

Привлекательной стороной использования ГХН является его окислительная способность, которая оценивается окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП).

Величина ОВП определяется значением pH раствора, в котором находится ГХН. Так, в кислой среде он присутствует в форме HClO , в нейтральной – в виде смеси HClO и NaClO , а в щелочной – как NaClO .

Согласно стандартным ОВП [145] значение окислительного потенциала в кислой среде – (+1,64 В), в нейтральной и щелочной – (+0,84÷0,89 В). Следовательно, наибольшая эффективность использования ГХН как окислителя, дезинфектанта, пестицида, фунгицида может быть достигнута, если раствор будет нейтральным, что безопасно для растений и животных, а не щелочным [146].

Рассмотрим установки получения и использования ВГХН и НГХН.

1.2.1 Высокотрированный гипохлорит натрия (ВГХН)

Этот реагент относится к веществам 2 класса опасности, является сильным окислителем, при попадании на кожу вызывает химический ожог, а в глаза – слепоту.

Для детализации технологических операций использования ВГХН при консультативной поддержке ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) был выполнен укрупненный проект станции хранения и дозирования высокотрированного гипохлорита натрия производительностью 500 кг/сут.,

что необходимо для оценки того, с чем столкнется Республика при организации привозного реагента.

Проектирование вели в соответствии с «Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности», раздел XIV «Требования к порядку хранения, транспортирования, слива и дозирования гипохлорита натрия» [147].

В результате проектирования было установлено, что требуется соблюдение строгой последовательности производственных операций, включающих следующие зоны:

- перелива привозного гипохлорита натрия в промежуточную емкость;
- перекачивания гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения;
- хранения гипохлорита натрия в контейнерах-резервуарах;
- дозирования гипохлорита натрия;
- разбавления и нейтрализации аварийных розливов гипохлорита натрия.

Зона перелива привозного гипохлорита натрия в промежуточную емкость. Разовая поставка высококонцентрированного гипохлорита натрия (19 %) составляет 20 т. Гипохлорит натрия поставляется в цистерне автотранспортным средством. На рисунке 1.2 представлена схема станции перелива, хранения и дозирования ВГХН.

Перелив гипохлорита натрия из транспортной цистерны 1 в промежуточную емкость 2 происходит самоизливом на пластиковых поддонах 5 для локализации проливов. Удаление вытесняемых из емкости газов происходит через дыхательную трубку, выведенную за пределы помещения склада. Схемой предусмотрена возможность отвода части аварийного розлива из поддонов 5 в емкость 6.

Зона перекачивания гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения. Из промежуточной емкости 2 гипохлорит натрия насосом 3, перекачивается в контейнеры-резервуары полиэтиленовые 4 типа «ДВТ» для хранения гипохлорита натрия.

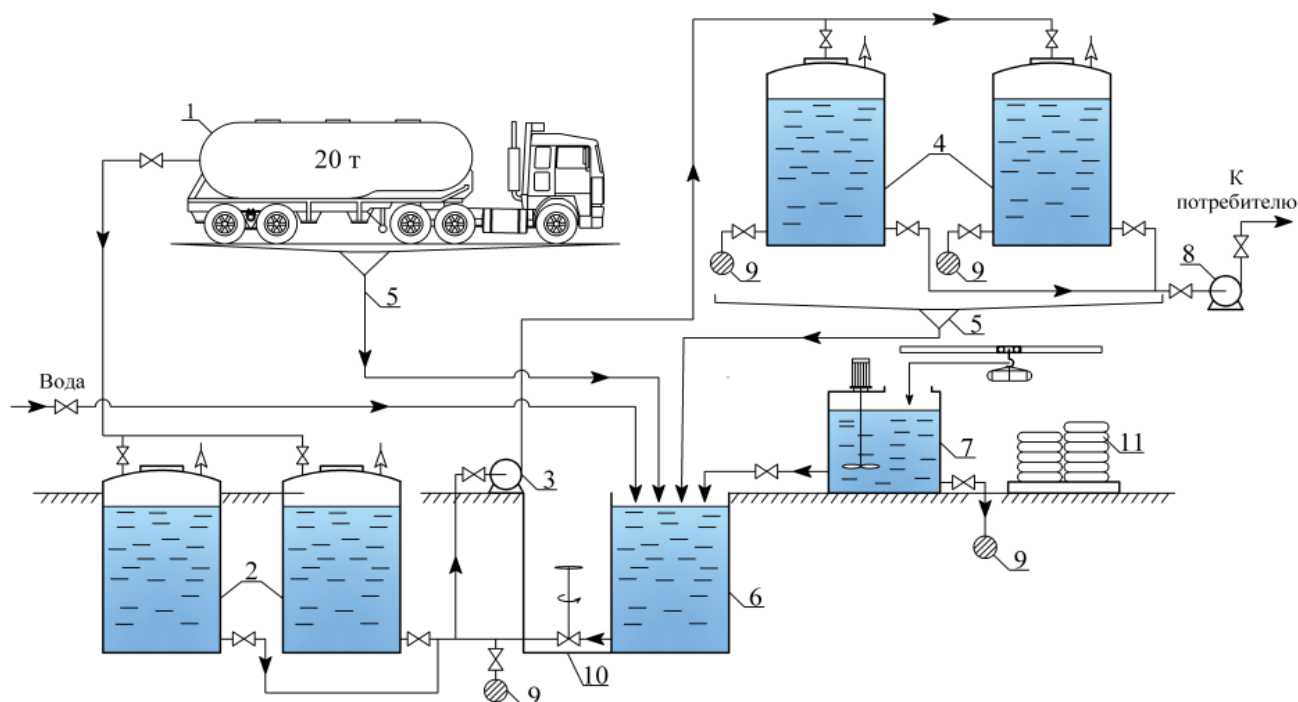


Рисунок 1.2 – Схема станции перелива, хранения и дозирования ВГХН:

- 1 – специализированный автотранспорт; 2 – промежуточная емкость; 3 – насос;
 4 – контейнеры-резервуары; 5 – пластиковые поддоны; 6 – емкость аварийного разлива;
 7 – емкость с ручной мешалкой; 8 – насос; 9 – промышленная канализация;
 10 – «сухой» прямок; 11 – мешки с тиосульфатом натрия

Зона хранения гипохлорита натрия в контейнерах-резервуарах.

Контейнеры-резервуары 4 служат для хранения гипохлорита натрия. Они соответствуют требованиям Правил безопасности ХОПО, утвержденных Приказом РТН №559 от 21.11.2013 имеют Декларацию о соответствии ТР ТС. Для удобства обслуживания контейнеров-резервуаров разработаны площадки обслуживания.

Каждый контейнер-резервуар подключен к технологическим трубопроводам вентиляции, заполнения и выработки. Контейнеры-резервуары 4 оснащены по проекту ультразвуковыми уровнемерами для измерения уровня гипохлорита натрия. Каждый контейнер-резервуар имеет сообщение с атмосферой посредством дыхательной трубки, выведенной за пределы помещения склада.

Для проверки и испытаний перед вводом в эксплуатацию контейнеров-резервуаров на складе, а также при отсутствии электропитания непрерывно в течение более 5 часов следует использовать комплект для проверки химических хранилищ (КПХХ) производства «АНИОН».

Представленная технологическая схема позволяет вырабатывать контейнеры–резервуары 4 независимо от перекачивания гипохлорита натрия из поврежденного контейнера–резервуара в любой резервный.

Зона дозирования гипохлорита натрия. Подача гипохлорита натрия потребителю осуществляется насосом 8.

Зона разбавления и нейтрализации аварийных разливов гипохлорита натрия). Установка приготовления реагента служит для получения раствора тиосульфата натрия 11, используемого для дехлорирования пролитого гипохлорита натрия перед сбросом в промышленную канализацию. Проливы гипохлорита натрия на пол помещения склада промывают большим количеством воды и отводят через канализационные трапы, установленные на трубопроводе, в «сухой» приямок 10. Затем следует дехлорирование ГХН раствором тиосульфата натрия до получения положительного анализа пробы и слива в промышленную канализацию через приямок выпуска дехлорированного раствора с помощью межфланцевого поворотного затвора с удлиненным штоком. Уровень раствора в «сухом» приямке при достижении предельных значений контролируется датчиками. Для визуализации объема аварийных проливов «сухой» приямок оснащен линейкой со шкалой из ПВХ.

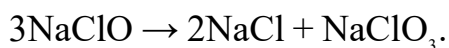
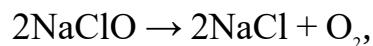
В случае возникновения аварии на складе – разлива гипохлорита натрия при переливе из транспортного контейнера, сбрасываемый в промышленную канализацию 9, раствор ГХН необходимо разбавлять водой до концентрации 2 – 3 мг/л или дехлорировать путем введения раствора тиосульфата натрия в количестве 3,5 мг на 1 мг активного остаточного хлора в растворе (СНиП 3.05.04-85*).

Для приготовления раствора тиосульфата натрия предусмотрена емкость 7 ($V = 100$ л) с ручной мешалкой. Из емкости 7 раствор тиосульфата натрия самотеком по трубопроводу поступает в «сухой» приямок 10 (рисунок 1.2).

Склад химического гипохлорита натрия оборудован автоматической системой контроля за содержанием хлора в воздухе помещения. Предельно допустимая концентрация (ПДК) содержания хлора в воздухе – 1 мг/м³ (ГОСТ 6718-93). Предусмотрена установка датчиков концентрации хлора.

Помещение склада оборудовано автоматической системой контроля общеобменной вентиляционной системой с искусственным побуждением. Снаружи у входа в помещение предусмотрена световая сигнализация о превышении уровня загазованности склада хлором и включение вытяжной вентиляции для проветривания, в целях снижения концентрации хлора в воздухе помещения до значения, соответствующего санитарным нормам.

Значительные потери гипохлорита натрия из товарных растворов происходят в летнее время из-за нестойкости продукта (температура воздуха для системы отопления в помещении склада гипохлорита натрия должна быть не более 5 °С). Эти потери происходят не за счет выделения газообразного хлора, а за счет образования бесполезных веществ согласно реакциям:



Следует полностью исключить возможность попадания в гипохлорит натрия кислот или их солей во избежание мгновенного образования и выброса хлора.

Трубопроводы гипохлорита натрия должны отвечать требованиям ФНП в области промышленной безопасности:

- трубопроводы гипохлорита натрия изготовлены из ПВХ;
- предусмотрена защита трубопроводов гипохлорита натрия от механических воздействий (устройство канала);
- предусмотрено удобное техническое обслуживание и ремонт трубопроводов;
- предусмотрено наличие запорной арматуры, изготовленной из материалов, стойких к среде гипохлорита натрия.

По нашим подсчетам, стоимость реализации запроектированной станции, инженерных изысканий, инженерных сетей и оборудования в ценах 2024 г. составит около 100 млн руб. (НДС 20 %). С учетом того, что стоимость 1 кг активного хлора при использовании ВГХН будет ориентировочно 190 – 220 руб./кг, реализация и последующая эксплуатация запроектированной станции потребует от предприятия взвешенного подхода, поиска и выделения средств не только на капитальные затраты, но и на немалые каждодневные эксплуатационные расходы.

Как следует из вышеизложенного, хранение и дозирование ВГХН требует неукоснительного соблюдения требований правил безопасности, выполнение которых на реальном объекте является достаточно сложной и дорогостоящей задачей с применением современных материалов, систем контроля и автоматизации технологического процесса [148].

На основании приведенного проектно-сметного решения считаем, что в условиях Калмыкии организовывать у потребителей «сотовые» участки для использования привозного ВГХН нецелесообразно [149].

1.2.2. Низкоконцентрированный гипохлорит натрия (НГХН)

В качестве альтернативы ВГХН рассмотрим возможность использования НГХН. Основные преимущества НГХН по сравнению с ВГХН – его безопасность (малотоксичное вещество 4-го класса опасности).

Для реализации получения НГХН требуется наличие трех условий: присутствие хлоридов в исходной воде, достаточная ее электропроводность и электрическая энергия. Электропроводность обеспечивается необходимым наличием солей, так, чтобы их количество было более 1000 мг/дм^3 . Принципиальная возможность получения электрохимическим способом активного хлора (НГХН) была представлена в работах школы Г.Л. Медриша [150], в которых изучали условия электролиза с определением факторов, влияющих на выход товарного продукта – активного хлора. Так, было установлено, что уже при концентрации хлоридов в воде 20 мг/дм^3 можно получить НГХН на аноде ОРТА (коммерческое название, переводимое как: оксидно-рутениево-титановые аноды).

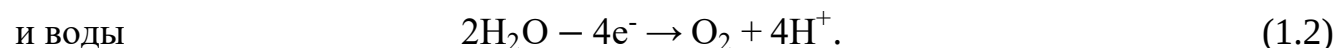
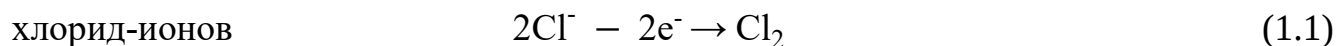
Промышленность на базе завода «Коммунальник» (г. Москва) [151] в 80-е гг. прошлого столетия освоила массовый выпуск электролизных установок типа ЭН для получения НГХН из искусственно приготовленных солевых хлоридных растворов ($30 \text{ грамм поваренной соли в } 1 \text{ дм}^3$). В этом случае образующийся после электролиза раствор содержит активного хлора до 10 г/дм^3 (1 % раствор). В дальнейшем, этот раствор используется по назначению: вводят в обрабатываемую воду для ее обеззараживания, применяют как дезинфицирующий

раствор и пр. Кроме того, завод «Коммунальник» продолжает выпускать установки типа «Каскад» и «Поток». Они были предназначены для прямого электролиза, когда исходная вода, проходя через электролизер таких установок, приобретала активный хлор за счет ее солевых ресурсов.

В настоящее время аналогичное оборудование выпускают ряд предприятий РФ: ООО НПФ «Невский Кристалл», г. Санкт-Петербург [152]; ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск [153]; АО «Тамбовское ОКТБ», г. Тамбов [154] и др.

Подробно рассмотрим процессы, которые протекают в бездиафрагменном электролизере при прохождении постоянного тока через раствор, содержащий хлорид-ионы (Cl^-).

На аноде (положительном электроде) реализуются реакции окисления



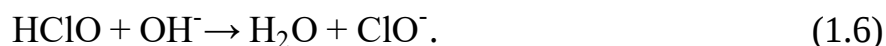
На катоде (отрицательном электроде) протекает разряд молекулы воды



Выделяющийся на аноде хлор Cl_2 в объеме электролита взаимодействует с водой с образованием двух кислот: соляной HCl и хлорноватистой (HClO):



Но ввиду присутствия гидроксил-ионов, образовавшихся на катоде и перешедших в растворы, обе кислоты нейтрализуются согласно реакциям:



Так как все описанные выше реакции протекают практически мгновенно, то, в конечном остатке, в растворе будет образовываться новое соединение (окислитель) – гипохлорит-ион ClO^- , а гидроксил-ионы OH^- , концентрация которых всегда больше содержания двух кислот, повышает рН раствора до 8,5 ед. Поскольку в таких растворах всегда присутствуют ионы натрия (Na^+), то образующееся вещество называется гипохлорит натрия.

Представленные выше отдельные реакции и результаты суммарного процесса имеют место только в электрохимических аппаратах бездиафрагменного типа. При этом эффективность выхода товарного продукта (активного хлора) незначительно уступает (10 – 15 %) по сравнению с диафрагменными электролизерами, но значительно упрощается установка получения НГХН.

Рассмотренные выше процессы, протекающие в бездиафрагменном электролизере в хлоридных растворах (искусственных или природных), а также присутствующее на рынке оборудование, указывают на целесообразность использования прямого электролиза природных вод с целью получения НГХН для нужд Калмыкии.

1.2.3 Природные водные ресурсы Калмыкии для получения НГХН

Внедрение в практику НГХН позволяет снизить себестоимость получения этого продукта за счет использования природных хлорсодержащих вод в качестве сырья, существенно упрощает получения и удешевляет произведенный продукт. Такое решение целесообразно реализовать в Республике Калмыкия на базе поверхностных и подземных минерализованных вод. Аналогичный подход к использованию природных вод для получения НГХН убедительно показан в работах [155, 156, 157, 158, 159]. Расчеты автора [158] отметили снижение затрат получения НГХН на 25 % при использовании морской воды в качестве сырья хлорид-ионов.

Территория Калмыкии относится к аридным зонам, которым характерен сухой климат из-за недостаточного атмосферного увлажнения. И, как следствие, поверхностные [160] и подземные воды [161] имеют повышенную минерализацию. Можно утверждать, что в Калмыкии нет пресноводных источников воды.

Подробно рассмотрим гидрохимические показатели природной воды Калмыкии, относящиеся к подземным и поверхностным источникам.

Подземные воды. На рисунке 1.3 представлена гидрогеологическая карта районов Калмыкии. Она выполнена на основании территориального деления Республики по отличительным показателям химического состава подземной воды. В работе [162] предложено выделить четыре гидрогеологических района

(I, II, III и IV), присвоив им названия: I – Ергенинский; II – Прикаспийский; III – Азово-Кубанский; IV – Восточно-Предкавказский. Согласно классификации О.А. Алекина [163], основанной на принципе деления по преобладающим анионам и катионам, гидрохимический состав воды указанных территорий можно характеризовать как:

I район – хлоридно–сульфатно, гидрокарбонатно, натрий, кальций, магниевая вода;

II район – хлоридно, сульфатно, гидрокарбонатно, натрий, кальций, магниевая вода;

III район – гидрокарбонатно, хлоридно, сульфатно, натрий, кальций, магниевая вода;

IV район – хлоридно, гидрокарбонатно, сульфатно, натрий, кальций, магниевая вода.



Рисунок 1.3 – Гидрогеологические районы Калмыкии

В таблицу 1.5 сведены показатели основных ионов природных подземных вод Калмыкии, характерных для указанных выше четырех гидрогеологических районов. Отбор проб производили из децентрализованных источников воды – колодцев, скважин, каптажей в летний период 2023 г.

Таблица 1.5 – Химический состав источников воды гидрогеологических районов Калмыкии

№ района, место отбора	Показатели							
	Минерализация, мг/дм ³	рН	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³
I, п. Кетченеры	1912	6,6	256,2	581,5	526,7	156,3	88,8	378,4
II, п. Юста	10050	6,8	152,5	5033,9	1920	1060	549	1989,5
III, п. Южный	2490	7,5	1250,5	478,6	19,2	56,0	46,36	639,4
IV, г. Лагань	33000	6,7	256,2	1943,0	20,40	3060,0	1464,0	6594,1

Как следует из таблицы, в рассматриваемых районах химические показатели воды существенно различаются как по минерализации, так и по соотношению главных ионов.

Из анализа состава подземных вод следует, что они оцениваются как «солончатые» и «вода с морской соленостью» [163], в основном относятся к хлоридным и могут быть использованы для получения НГХН.

Поверхностные воды. В аридной зоне Калмыкии поверхностные воды, относящиеся по минерализации к пресным и солончатым, представлены в основном небольшими реками и озерами, природными лиманами. Среди них встречаются водные объекты с высокой минерализацией («вода с морской соленостью» – 25 – 50 г/дм³).

В таблице 1.6 приведен гидрохимический состав главных ионов поверхностных вод с высокой минерализацией применительно к территориям гидрогеологических районов Калмыкии [164].

Таблица 1.6 – Химический состав поверхностных вод районов Калмыкии

Место отбора	Показатели							
	Минерализация, мг/дм ³	рН	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³
Ергенинский район								
р. Элиста	5760	8,3	402	1329,8	2021,3	324,6	248,1	1153,7
пруд в б. Суварган	6716	8,3	322,7	1737,5	2314,3	280,6	377	1335,4

пруд в б. Аршань	4872	8,2	243,6	1507,1	1348,1	174,3	210,4	1125,4
Прикаспийский район								
оз. Яшкуль	5736	8,2	277,4	1631,2	1738,2	160,3	250,5	1339,1
Канал Сарпинской ООС ("Восход")	2448	8,2	201	528,4	1009,4	228,5	182,4	299,7
оз. Сарпа	4864	7,5	195,2	1702,1	1339,8	272,5	272,4	991,3
оз. Ханата	564	8,2	170,6	92,2	187,6	64,1	46,3	55,7
Восточно-Предкавказский район								
Черноземельский канал	2772	8,2	207,2	808,5	867,4	156,3	148,3	561,9
Чограйское водохранилище	1556	8,2	158,5	333,3	630,4	100,2	121,6	234,8
р. Кума	2384	8,2	256	390,1	1053,4	168,3	175,13	338,1
пруды в г. Лагань	1168	8,0	195	354,6	317,7	96,2	101,1	156,2

окончание таблицы 1.6

оз. Улан-Хол	304560	6,2	122	265950	2062,4	1402,8	688,8	15821,5
оз. Мелета	18120	7,2	256,2	9928,8	2074	1322,6	729,6	2897,5
Азово-Кубанский район								
оз. Маныч Гудило	4480	8,2	231,4	624,1	2421,3	204,4	502,2	483,2

Из таблицы 1.6 следует, что, в отличие от подземных вод, поверхностные относятся в основном к сульфатным, за исключением двух озер: Улан-Хол и Мелета, в которых хлориды преобладают. В большей части рассмотренных объектов воду можно классифицировать как хлоридно, сульфатно, гидрокарбонатно, натрий, кальций, магниевого состава.

Данные анализа поверхностных вод четырех районов Калмыкии указывают на высокое содержание хлоридов, которые могут быть использованы как сырье для получения НГХН.

1.3 Влияние внешних и внутренних факторов на получения НГХН

Существенным преимуществом получения НГХН на территории Калмыкии является ряд обстоятельств:

- использование местных минеральных водных ресурсов с высоким содержанием хлоридов (подземных, поверхностных вод);
- отсутствие необходимости накопления большого количества привозного реагента, т. е. получения его будет определяться текущей потребностью;

– возможность применять автономные источники энергоснабжения для электролиза в виде электрогенераторов, ветряных электростанций (имеются в наличии), солнечных панелей на удаленных территориях Республики [165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174];

– простота управления процессом и возможность его автоматизации;

– приемлемая степень безопасности при обращении с различными потребителями.

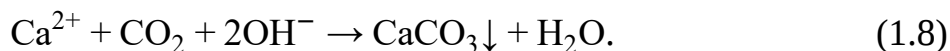
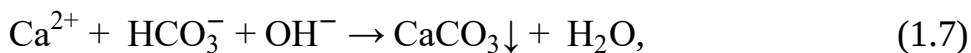
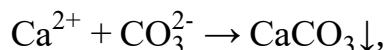
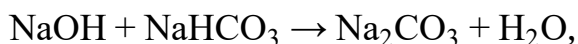
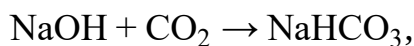
Тем не менее, эффективность получения НГХН будет определяться внешними и внутренними факторами.

К внешним относится химический состав исходной воды, ее температура. К внутренним – плотность постоянного или реверсного тока, скорость подачи раствора, состав материала анодного покрытия.

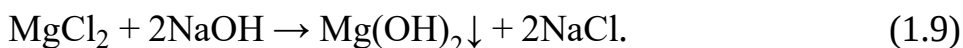
Химический состав исходной воды играет важную роль не только на выход товарного продукта, но и на стабильность и безаварийность электролиза.

Особенностью электролиза природных хлоридных растворов является сопутствующее образование на поверхности катодов электролизера, а также в объеме жидкости внутри аппарата и выходящей из него нерастворимых соединений сульфата и карбоната кальция совместно с гидроксидом магния, что приводит к нештатному режиму электролиза, перегреву и деформации электродной системы, разрушению оксидного покрытия анодов и снижению производительности установки по вырабатываемому активному хлору [159].

Известно, что скорость образования осадков и их структура зависят от плотности тока, состояния поверхности электродов, времени поляризации и химического состава воды. Наибольшее влияние на образование отложений солей жесткости и гипса при электролизе солевых растворов оказывает химический состав воды, что связано с наличием в ней ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} и растворенного CO_2 в тех или иных концентрациях 30 – 40, мг/л. В щелочном (по реакции среды) прикатодном пространстве свободная углекислота CO_2 и ионы гидрокарбоната HCO_3^- взаимодействуют с катионами кальция Ca^{2+} и анионами гидроксила OH^- с последующим образованием CaCO_3 по реакциям:



Выделившиеся при электролизе ионы OH^- не только смещают карбонатное равновесие в область CO_3^{2-} , но и участвуют в образовании $\text{Mg}(\text{OH})_2$:



Повышенная концентрация ионов кальция у поверхности катода ведет к образованию еще одной нерастворимой соли – ангидрита кальция (CaSO_4).

Как известно, срок службы электролизера зависит от температуры обрабатываемого раствора [158], т. к. расходным материалом является оксидное покрытие из металлов платиновой группы, которое интенсивно разрушается при $t < 10^\circ\text{C}$. Это обстоятельство необходимо учитывать, особенно при использовании подземных вод, имеющих, как правило, низкую температуру [158].

Наибольшее значение на выход готового продукта, срок службы электролизера оказывает плотность тока. Так, для солевых растворов с концентрацией хлорид-ионов более 1,5 – 2 % при плотности тока 1000 A/m^2 выход хлора по току может достигнуть 50 – 55 % [175]. С уменьшением содержания хлоридов плотность тока следует снижать из-за возможного разрушения анодного покрытия. При использовании природной воды с низким содержанием солей, в том числе хлоридов, плотность тока не должна превышать 100 A/m^2 [175].

Расход обрабатываемого раствора через электролизер будет определяться наилучшими показателями процесса, к которым относятся:

- концентрация активного хлора; $C_{\text{а.х.}}, \text{ г/дм}^3$
- выход хлора по току; $\eta - \%$
- удельный расход электроэнергии; $W - \text{кВт} \cdot \text{ч/кг}$.

Указанные параметры при равных условиях электролиза будут зависеть от природы анодного оксидного слоя [150]. Для этого используются различные

сочетания оксидов металлов платиновой группы: рутений, иридий. Их соотношение в покрытии оказывает влияние как на выходные характеристики процесса, так и стоимостные.

Оценка влияния внешних и внутренних факторов изучаемого процесса дает основание выбора схем получения НГХН из поверхностных и подземных минеральных растворов [72].

Также необходима биоцидная комбинация на основе НГХН для применения в сельском хозяйстве с регулируемым значением рН для того, чтобы обеспечить необходимую меру кислотности полученного раствора [48].

Все вышеперечисленное является предметом настоящего исследования, цель которого заключается в поиске простого экономичного способа получения препарата на основе НГХН на месте его потребления путем использования природных минеральных хлоридсодержащих вод для нужд фермерских хозяйств (на примере Республики Калмыкия).

1.4 Выводы по первой главе

1. Неудовлетворительные показатели качества питьевой воды, острая потребность отраслей сельского хозяйства: животноводства и растениеводства в обеззараживающих реагентах, требуют внедрения современных установок получения таких веществ как гипохлорит натрия, который возможно получить на месте его потребления из местных сырьевых ресурсов.

2. Приведены данные анализов поверхностных и подземных вод Калмыкии, указывающие на возможность использования их как сырье для получения НГХН.

3. Показано преимущество получения НГХН перед привозным ВГХН, что исключает необходимость транспортировки, приготовления, хранения, значительных количеств хлорсодержащего реагента.

4. Отмечено, что получения НГХН требует знания закономерностей электрохимических процессов с учетом многообразия качества природной воды республики Калмыкии.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

2.1 Обоснование выбранного направления исследований

Организация получения НГХН на территории Республики Калмыкия должна базироваться на двух фундаментальных базах:

- наличие сырья;
- наличие экологически и экономически обоснованной установки.

Сырьевая – для получения НГХН представлена в достаточном количестве и распространена по всей территории Калмыкии. Как отмечалось в главе 1, все минеральные и поверхностные воды потенциально пригодны для синтеза НГХН, поскольку содержат в себе достаточное количество хлорид-ионов, которые под действием электролиза образуют активный хлор (гипохлорит натрия). С точки зрения прикладной электрохимии, чем больше хлорид-ионов, тем выше выход товарного продукта и тем меньше себестоимость НГХН. Остальные компоненты раствора будут играть незначительную роль [176].

Что касается выбора и обоснования установки получения НГХН, то для этого требуется проведение специальных исследований с учетом влияния состава используемых растворов и электродного материала анодов электролизеров [158].

Исследования в работе проводили в следующих областях:

- выбор и обоснование методик расчета состава модельной воды;
- выбор и технико-экономическая оценка электродного материала электролизера;
- поиск решения снижения карбонатных отложений при электролизе природных вод.

2.2 Объект исследования

Как было отмечено в главе 1, для получения НГХН возможно использование природных минерализованных вод (поверхностных и подземных) благодаря наличию в них сырьевого продукта хлорид-ионов.

Ввиду отсутствия достаточного количества реальной природной воды для исследований был использован модельный раствор – двух поверхностных водных источников: реки Элисты и озера Улан-Хол и подземной в поселке Юста. Выбор этих объектов обусловлен тем, что они отражают характерную для Калмыкии картину качества природных поверхностных и подземных растворов.

В таблицу 2.1 сведены из таблицы 1.6 данные химического состава растворов этих водных объектов по основным показателям, а на рисунках 2.1 – 2.3 эти показатели приведены в виде диаграмм гипотетического состава ионов [164].

Таблица 2.1 – Химический состав поверхностных и подземных растворов, используемых для получения НГХН, мг-экв/дм³

№ п/п	Место отбора	Жесткость	pH	Минерализация, мг/дм ³	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
1	р. Элиста	36,6	8,3	5760,0	402,0	1329,8	2021,3	324,6	248,1	1153,7
2	п. Юста	98,0	6,8	10050,0	152,5	5033,9	1920,0	1060,0	549,0	1989,5
3	оз. Улан-Хол	125,0	6,2	304560,0	122,0	265950,0	2062,4	1402,8	688,8	15821,5

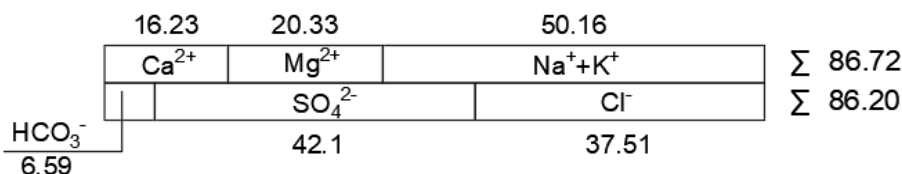


Рисунок 2.1 – Диаграмма гипотетического состава солей раствора, р. Элиста, мг-экв/дм³

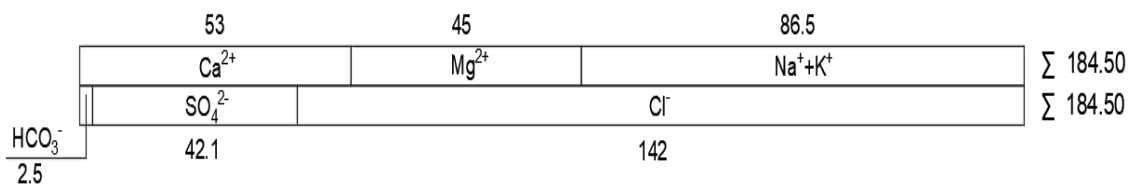


Рисунок 2.2 – Диаграмма гипотетического состава солей раствора п. Юста, мг-экв/дм³

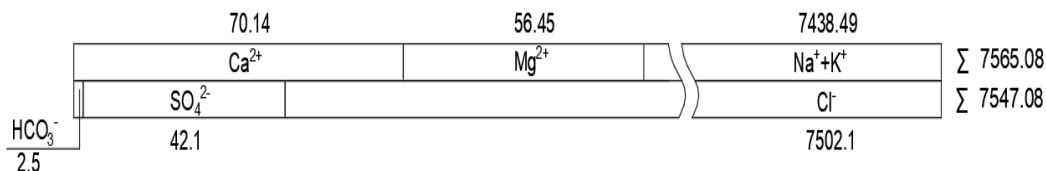


Рисунок 2.3 – Диаграмма гипотетического состава солей раствора оз. Улан-Хол, мг-экв/дм³

Методика расчета количества (навесок) химических реактивов для приготовления модельной воды заданного ионного состава. Исследования электролиза воды проводили на модельных растворах, полученных растворением

в дистиллированной воде расчетных навесок солей (химических реагентов) и отвечающих по химическому составу воде, представленной на рисунках 2.1 – 2.3 и в таблице 2.1.

Согласно диаграмме гипотетического состава, представленной на рисунках 2.4 – 2.6 солей навески реактивов, производили по формуле

$$p = C \cdot \Xi,$$

где p – навеска вещества, мг;

C – эквивалентная концентрация иона в приготавливаемой воде, мг-экв/дм³;

Ξ – эквивалентная масса вещества (соли), применяемого для получения иона искомой концентрации, г/л.

Модельную воду готовили следующим образом: в глубокообессоленную воду (от установки обратного осмоса) последовательно добавляли предварительно рассчитанные навески солей в последовательности – NaHCO₃, CaCl₂, Na₂SO₄, MgCl₂, NaCl, необходимые для получения воды требуемого химического состава.

Соответственно, эквивалентные массы применяемых солей:

$$\Xi_{\text{NaHCO}_3} = 23 + 1 + 12 + 48 = 84, \text{ г/л}$$

$$\Xi_{\text{CaCl}_2} = \frac{40 + 35,45 \cdot 2}{2} = 55,45, \text{ г/л}$$

$$\Xi_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{23 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4}{2} = 71, \text{ г/л}$$

$$\Xi_{\text{MgCl}_2} = \frac{24,3 + 35,45 \cdot 2}{2} = 47,6, \text{ г/л}$$

$$\Xi_{\text{NaCl}} = 23 + 35,45 = 58,45, \text{ г/л.}$$

Значения навесок для модельного раствора р. Элиста составят:

$$\text{NaHCO}_3 = 6,59 \cdot 84 = 653,56 \text{ мг,}$$

$$\text{CaCl}_2 = 16,23 \cdot 55,45 = 899,95 \text{ мг,}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = (\text{Na} - \text{HCO}_3) \cdot \Xi_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = (50,16 - 6,59) \cdot 71 = 3093,47 \text{ мг,}$$

$$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}^{2+} \cdot \Xi_{\text{MgCl}_2} \cdot \frac{M_{\text{MgCl}_2} \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{M_{\text{MgCl}_2}} = 20,33 \cdot 47,6 \cdot \frac{203,2}{95,2} = 2065,5 \text{ мг,}$$

$$\text{NaCl} = (\text{Na} - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}) \cdot \Xi_{\text{NaCl}} = (50,16 - 6,59 - 42,1) \cdot 58,45 = 85,92 \text{ мг.}$$

Значения навесок для модельного раствора п. Юста составят:

$$\text{NaHCO}_3 = 2,5 \cdot 84 = 210,0 \text{ мг},$$

$$\text{CaCl}_2 = 53,0 \cdot 55,45 = 2939 \text{ мг},$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = (86,5 - 2,5 - 40) \cdot 71 = 3124 \text{ мг},$$

$$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 45 \cdot 47,6 \cdot \frac{203,2}{95,2} = 4572 \text{ мг},$$

$$\text{NaCl} = (142 - 53 - 45 - 2,5) \cdot 58,45 = 41,5 \cdot 58,45 = 2426 \text{ мг}.$$

Значения навесок для модельного раствора оз. Улан-Хол составят:

$$\text{NaHCO}_3 = 20 \cdot 84 = 1680 \text{ мг},$$

$$\text{CaCl}_2 = 70,14 \cdot 55,45 = 3889,2 \text{ мг},$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 42,98 \cdot 71 = 3050,87 \text{ мг},$$

$$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 56,45 \cdot 47,6 \cdot \frac{203,2}{95,2} = 5735,3 \text{ мг},$$

$$\text{NaCl} = (\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}) \cdot \text{Э}_{\text{NaCl}} = (7502,1 - 70,14 - 56,45) \cdot 58,45 = 431098,6 \text{ мг}.$$

Рассчитанные навески солей растворяли в 1 дм³ деминерализованной после установки обратного осмоса воды, затем определяли ионный состав полученной модельной воды, результаты которого представлены на рисунках 2.4 – 2.6 в виде диаграмм гипотетического состава раствора.

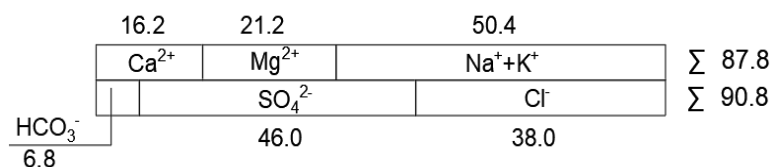


Рисунок 2.4 – Диаграмма гипотетического состава модельного раствора р. Элиста, мг-экв/дм³

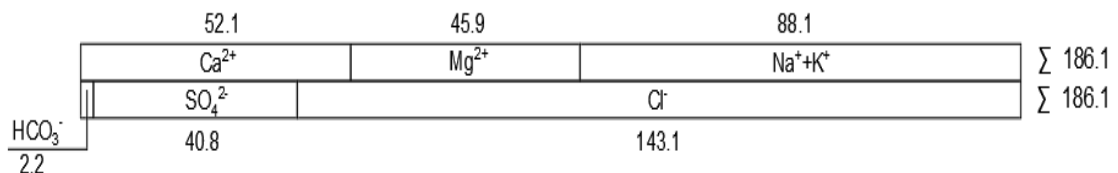


Рисунок 2.5 – Диаграмма гипотетического состава модельного раствора п. Юста, мг-экв/дм³

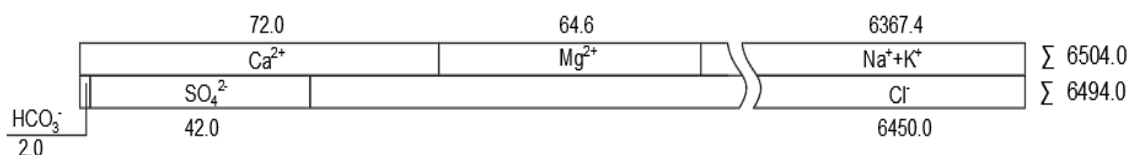


Рисунок 2.6 – Диаграмма гипотетического состава модельного раствора оз. Улан-Хол, мг-экв/дм³

Сравнивая химические составы реальных водных объектов Республики Калмыкия (рисунки 2.1 – 2.3) с искусственно приготовленными модельными растворами, можно сделать заключение, что полученные модельные растворы (рисунки 2.4 – 2.6) по химическому составу практически аналогичны составам растворов реки Элиста, подземной воды поселка Юста и озера Улан-Хол, что свидетельствует о правильности принятой методики расчетов по приготовлению аналогов воды известного химического состава.

2.3 Схема экспериментальной установки, аппаратное оформление

Для изучения выходных параметров продуктов электролиза природных растворов и влияния состава материала оксидного покрытия анода была изготовлена лабораторная установка (рисунок 2.7).

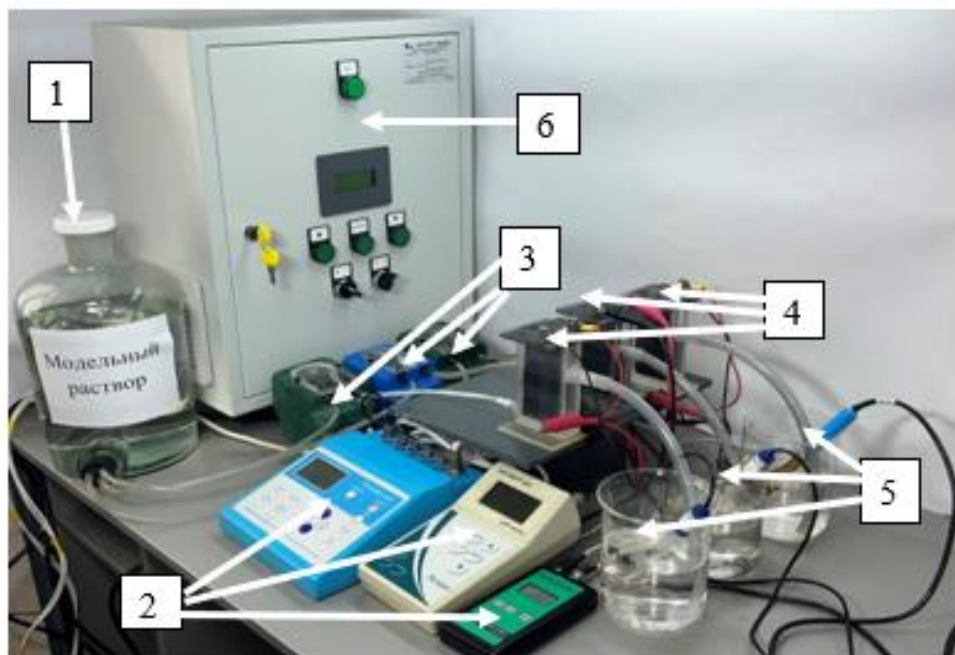


Рисунок 2.7 – Общий вид лабораторной установки:

1 – ёмкость исходного раствора; 2 – рН-метр с термометром; 3 – перистальтический насос; 4 – электролизная ванна с электродами; 5 – накопитель раствора НГХН; 6 – блок питания AC/DC

Основными элементами установки являлись электролизная ванна с электродами и электрический блок питания.

Электролизная ванна выполнена из органического стекла толщиной 4 мм и наружными размерами $a \times b \times c = 110 \times 64 \times 24$ мм, с подводящим (нижним) и

отводящим (верхним) цилиндрическими патрубками с проходным отверстием диаметром 8 мм, безнапорного типа. Уровень рабочего раствора в ванне соответствовал верхнему патрубку, а объем его – 0,120 дм³.

В электролизной ванне бездиафрагменной конструкции располагались два одинаковых по размеру электрода размером 103 × 45 × 1 мм. Их использовали в качестве анодов и катодов. Они покрыты оксидами рутения, иридия, палладия, тантала, титана на металлическом титане марки ВТ-10. Electrodes изготовлены по технологии ООО НПП «ЭКОФЕС» и переданы для исследования.

В таблице 2.2 приведены обозначения трех типов электродов, используемых в работе и их состав. Указанные электроды являются типовыми и широко применяются в электрохимических синтезах.

Таблица 2.2 – Состав и обозначение электродов со специальным покрытием, изготовленных в ООО НПП «ЭКОФЕС»

№ электрода	Состав покрытия, %	Обозначение в работе
I	Ru100-30/70, ОРТА 8	ОРТА-8-У
II	Ru79Ir21Ta-30/70, ОИРТА+Ta 6,68	ОИРТА+Ta-6,68-У
III	Pd26,5Ru58,5Ir15-100/0-7, ОИРТА+Pd	ОИРТА(Pd26,5%)-7

Примечание: У – усиленное для низкоминерализованных растворов; 7 – для любой минерализации

Применение таких электродов дает преимущество перед другими покрытиями, например, титано-платиновыми, магнетито-титановыми [177, 178], благодаря высокой химической и механической стойкости [176].

Электроды ОРТА и ОИРТА можно применять не только в качестве анода, но и катода, что очень важно при изменении полярности на клеммах электролизной ванны для устранения на нем отложений солей карбонатов кальция, магния и сульфата кальция. Природа образования таких солей подробно приведена в главе 4.

Как отмечалось ранее, хлориды являются сырьем для получения гипохлорита натрия, и чем больше их концентрация, тем больше можно произвести активного хлора при пропускании через раствор одного и того же количества электричества (амперы·часы). Однако, согласно уравнениям (1.1) и (1.2), кроме окисления хлоридов до хлора параллельно на аноде протекает реакция с выделением кислорода, на которую тратится электричество. Следовательно, величина тока,

пропущенного через раствор, должна быть соизмерима с концентрацией хлоридов. В противном случае при низких хлоридах электролиз большими токами приведет к нерациональному использованию электричества из-за роста количества выделяющегося кислорода в реакции (1.2).

В научной литературе [176, 177, 178] приводятся рекомендации по выбору плотности тока (A/m^2) для электролиза хлоридных растворов. Так, в [177] предлагается использовать следующие плотности тока для растворов с концентрацией хлоридов: $10 - 30 \text{ г/дм}^3 - 1000$, $5 - 10 \text{ г/дм}^3 - 500$, $1 - 5 \text{ г/дм}^3 - 100$.

Именно эти рекомендации были взяты в работе за основу при исследовании трех водных объектов. Одновременно вели оценку напряжения на электролизере, выхода хлора по току η , %, удельного расхода электроэнергии, W (кВт·ч/кг) на килограмм произведенного активного хлора, изменение температуры и pH раствора при различных плотностях тока.

В предварительных опытах было установлено, что для наибольшей эффективности использования хлоридов природной воды ее следует многократно подвергнуть электролизу, чтобы на каждом последующем цикле происходил прирост активного хлора. В работе рассмотрены два режима электролиза: прямоточный и циркуляционный, что отражено на схеме установки (рисунок 2.8).

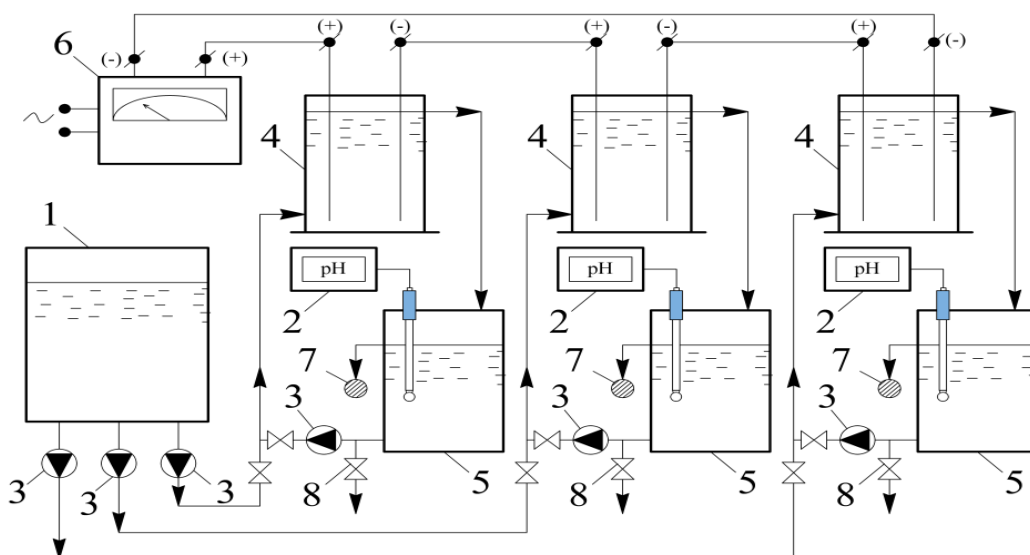


Рисунок 2.8 –Схема экспериментальной установки:

- 1 – ёмкость исходного раствора; 2 – pH-метр с термометром; 3 – перистальтический насос; 4 – электролизная ванна с электродами; 5 – накопитель раствора НГХН; 6 – блок питания – переменный; 7 – пробоотборник; 8 – перелив в канализацию

Указанные выше результаты опытов необходимы для описания изучаемого процесса и обоснования выбора режима электролиза для предлагаемой впоследствии установки получения НГХН.

С этой целью на трех различных электродных покрытиях: ОРТА, ОИРТА, ОРТА+ОИРТА с учетом рекомендаций [176, 177, 178] было принято вести электролиз плотностями тока (A/m^2) для водных объектов Калмыкии:

- р. Элиста – 100, 80, 60, 40, 20;
- подземная вода п. Юста – 500, 400, 300, 200, 100;
- оз. Улан-Хол – 1000, 800, 600, 400, 200.

В работе изучали характер образования осадков на катоде при электролизе постоянным и переменным током, а концентрацию активного хлора определяли по общепринятой методике [179].

При изучении состава отложений исследования проводили для трех видов осадка: №1 – осадок со стакана, выносимый из электролизера потоком; №2 – осадок со стенок и дна самого электролизера; №3 – осадок с катода. Для установления процентного распределения нерастворимых форм солей кальция и магния была принята следующая схема расчета: предположительно в состав осадка входила смесь трех нерастворимых солей $CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Mg(OH)_2$. Исследуемый осадок растворяли в 100 мл 1н соляной кислоты, при этом осадок с катода – погружением электродной кассеты в объем кислоты; осадок со стенок и дна электролизера – заполнением объема электролизера кислотой; осадок, выносимый из электролизера, – после его осаждения в емкости (стакане) и слива надосадочной жидкости с последующим добавлением в него (осадок) кислоты. После полного растворения осадка в растворителе (кислоте) в нем определяли концентрации ($мг-экв/дм^3$) ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} . Количество нерастворимых солей $CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Mg(OH)_2$ рассчитывали исходя из того, что каждый миллиграмм эквивалент кальция образует 50 мг $CaCO_3$ и 68 мг $CaSO_4$, а каждый миллиграмм эквивалент магния – 29 мг $Mg(OH)_2$.

Для визуальной оценки осадка на поверхности катода использовали лабораторный микроскоп МБС-1 с 4-кратным увеличением, а фиксацию

изображения получали с помощью фотоаппарата Canon Powershot SX270 HS с 12 Мп камерой. В работе определяли толщину образующегося на катоде осадка при помощи микрометра марки МК-25 0-25 0,01 кл 1 (рисунок 2.9).

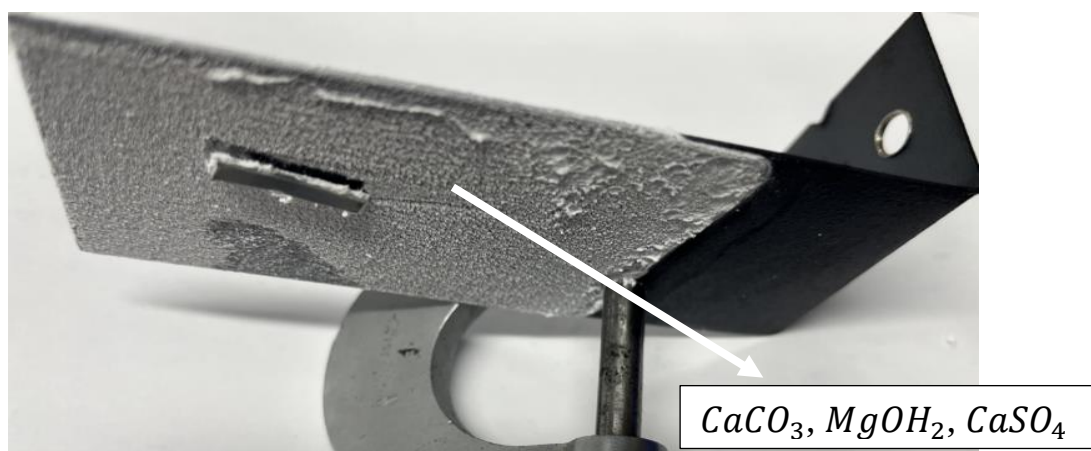


Рисунок 2.9 – Определение толщины осадка на катоде

Расчет выходных параметров электролиза вели с учетом того, что количество электричества, пропущенного через электролизер, не будет полностью использовано на нужную реакцию (см. реакции (1.1) и (1.2) окисления хлоридов и воды). Для этого необходимо рассчитывать два параметра электролиза: количество электричества, пошедшее на исследуемую реакцию Q_p (в данном случае активный хлор) и фактические затраты электроэнергии в опыте Q_{ϕ} . Эти параметры позволяют оценить эффективность (выход активного хлора по току) η и энергозатраты W исследуемого процесса. В основе расчетов использовали закон Фарадея [180].

Расчет Q_p вели для проточного Q_p^{Π} и циркуляционного Q_p^{Π} режимов:

$$Q_p^{\Pi} = \frac{q \cdot \tau \cdot C_{a.x}}{k},$$

$$Q_p^{\Pi} = \frac{V \cdot C_{a.x}}{k},$$

где q – расход раствора через электролизер, $\text{дм}^3/\text{ч}$;

τ – продолжительность электролиза, ч;

$C_{a.x}$ – концентрация активного хлора в растворе, $\text{г}/\text{дм}^3$;

k – электрохимический эквивалент для хлора – $1,32 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$;

V – объем раствора в электрохимической ячейке, дм^3 .

Фактические затраты электроэнергии в опыте рассчитали по следующей формуле

$$Q_{\phi} = I \cdot \tau,$$

где I – сила тока в электрической цепи, А.

На основании этих расчетов определяли соответственно выход активного хлора по току η и удельные затраты электроэнергии W , кВт·ч/кг:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{\phi}} \cdot 100 \%,$$

для электролиза проточного и циркуляционного

$$W_{\pi} = \frac{I \cdot U}{C_{a.x} \cdot q} \cdot 1000;$$

где U – напряжение на клеммах электролизера, В.

Исследования на постоянном токе. Электролиз вели на установке, показанной на рисунке 2.7 с использованием трех различных электродных покрытий. Параметры процесса оценивали комплексно (U ; pH; t , °C; концентрация активного хлора). При этом контролировали характер, скорость прироста массы осадка на катоде, используя в качестве анода ОРТА, электрод №I (таблица 2.2). Источником тока служил блок питания GW Instek SPS-3610.

Исследования на переменном токе. Установка для этих исследований аналогична представленной на рисунке 2.7, только в качестве источника тока использовали аппарат «УБП-06», осуществляющий функции гальваностата (обеспечивает постоянство тока при возможном изменении сопротивления в электрической цепи в результате электродных реакций) и изменения направления электричества по заданным параметрам (производство ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск). Этот вид тока необходим для оценки возможности устранения образования осадка на катоде.

Исследования на кондиционированном природном растворе. Для минимизации процесса отложения карбоната кальция на поверхности катода наиболее целесообразным представляется метод подкисления воды с переводом

гидрокарбонатной щелочности в свободную углекислоту и ее последующее удаление путем продувки объема подкисленной воды воздухом.

Продувку воды объемом 1 дм^3 , подкисленной соляной кислотой до концентрации HCO_3^- , равной $0,5 - 0,8 \text{ мг-экв/дм}^3$ измеряли с помощью рН-метра «ЭКСПЕРТ - рН» (1) ($\text{pH} \approx 4,0 - 4,2$), осуществляли микрокомпрессором BARBUS (2) через фильтрсную пластину в мерном цилиндре (3) с интенсивностью подачи воздуха 5 л/(л·мин) . Лабораторная установка для снижения гидрокарбонатной щелочности приведена на рисунке 2.10.

Для оценки влияния присутствующих в природном растворе ионов на электрохимические процессы на электродах возможно использовать импедансную электрохимическую спектроскопию [181]. В основе этого метода лежит оценка сопротивления электрохимической системы протекающему через нее переменному току, изменяющемуся по гармоничному закону и имеющего незначительную амплитуду.

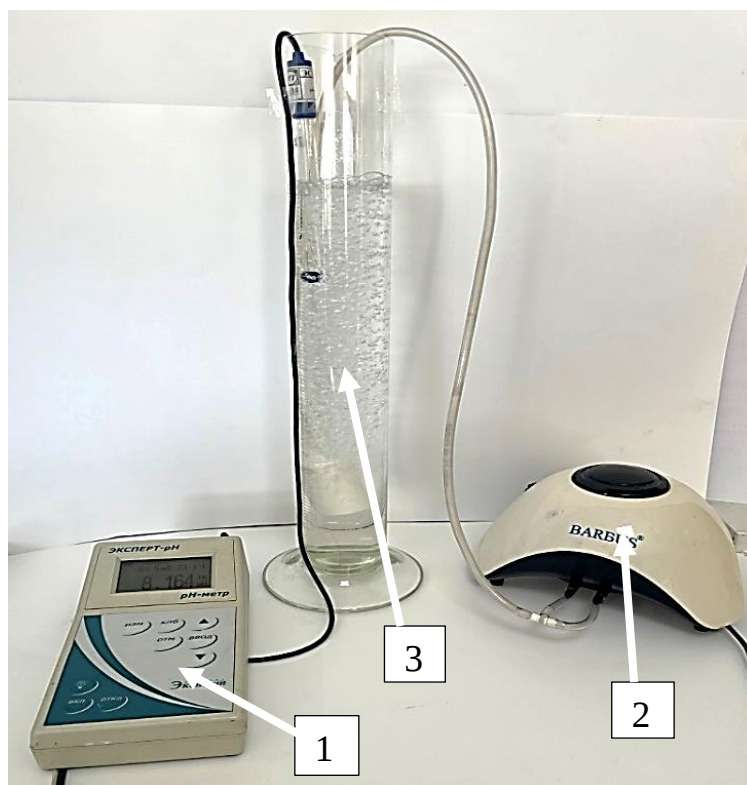


Рисунок 2.10 – Лабораторная установка для снижения гидрокарбонатной щелочности

Одним из способов (фарадеевский импеданс) состоит в том, что процесс в электролизере моделируют эквивалентной электрической схемой. В нашем случае

– окислительно-восстановительными реакциями в присутствии возможной абсорбции. Однако это является предметом последующих исследований.

2.4 Методика статистической обработки опытных данных

В работе проводили оценку достоверности экспериментальных исследований путем сравнения опытных и расчетных данных на основе среднеквадратичных отклонений [182] с помощью метода наименьших квадратов.

Зависимости были представлены в виде полиномиальной регрессии

$$y = \pm a_0 + a_1x + a_2x^2.$$

Каноническое уравнение регрессии – функция, представляющая изменение концентрации НГНХ при заданном параметр x .

Вычисление проводили с помощью «Mathcad Professional 14», а инфографики строили с помощью программ «Microsoft Excel».

2.5 Выводы по второй главе

1. Определены и обоснованы методы исследования объектов природных вод Калмыкии. В качестве водных объектов исследовали два поверхностных источника: река Элиста, озеро Улан-Хол и подземный – в поселке Юста.

2. Приведены схемы опытно-экспериментальных установок, их аппаратное оформление для изучения выходных параметров продуктов электролиза природных растворов: концентрация активного хлора, выход хлора по току, удельный расход электроэнергии, напряжение, температура, pH.

3. Предложены методики расчетов выходных параметров электролиза: выход хлора по току, количество электричества, пошедшее на исследуемую реакцию в проточном и циркуляционном режиме, фактические и удельные затраты электроэнергии, статистической обработки опытных данных.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Получения НГХН неразрывно связано с поиском новых анодных материалов для оптимизации электролиза хлоридных растворов [158]. Выпускаемые промышленными предприятиями аноды в основном предназначены для хлорной промышленности (получения хлора и щелочей) и используются при электролизе очищенного хлоридного раствора от посторонних примесей (соли магния и кальция). Это условие обеспечивает безаварийное получения товарного продукта благодаря предотвращению образования различных нерастворимых соединений на катоде электролизера [72].

В рамках настоящей работы стоит задача получить НГХН из природных растворов, не подвергая их специальной обработке до электролиза, что очень важно для его пользователей, находящихся в специфических условиях Калмыкии. Для этого, на первом этапе определяли роль состава оксидного покрытия анода на выходные параметры электролиза, а на втором (глава 4) – с учетом полученных результатов вели поиск режима синтеза НГХН, при котором образование осадка будет сведено к минимуму, без специальной реагентной обработки исходного раствора.

В дальнейшем, с целью корректного наименования предмета исследования «природная вода» необходимо представлять ее выражением «раствор», что соответствует понятиям физической химии, т. к. термин «вода» означает однокомпонентную систему (только молекулы воды), а раствор – многокомпонентную (вода и растворенные в ней соли, газы, твердые механические примеси).

В опытах использовали три состава природного раствора: р. Элиста, оз. Улан-Хол и подземной воды п. Юста (таблица 2.1).

3.1 Раствор реки Элиста

Роль расхода раствора, анодного материала и плотности постоянного тока на концентрацию активного хлора. Результаты исследований приведены на рисунке 3.1. Фактически, в рассматриваемой серии экспериментов оценивалось влияния плотности тока и природы анодного материала на величину выходной концентрации

активного хлора: $C_{a.x.} = f(i)$ (i - плотность тока, I, II, III - материал анода, $C_{a.x.}$ - концентрация хлоридов).

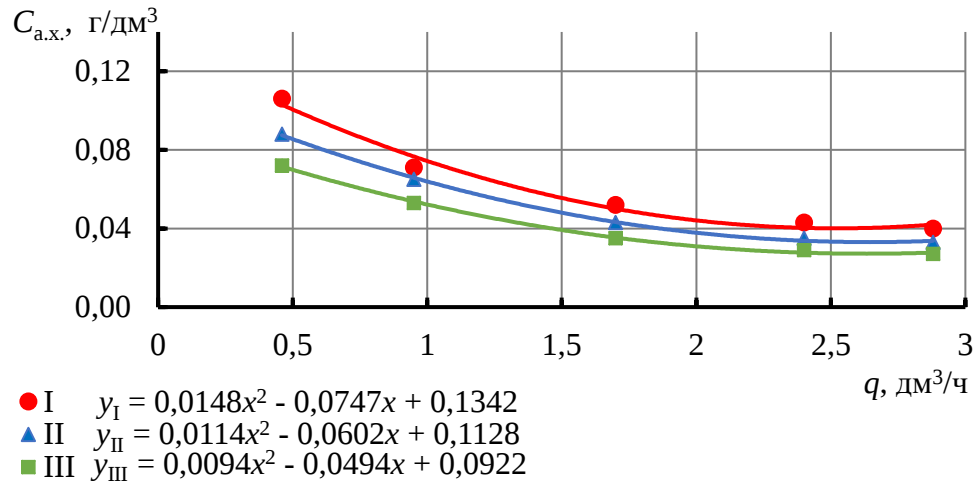


Рисунок 3.1 – Влияние расхода раствора р. Элиста на выход активного хлора при плотностях анодного тока: а) $i = 20 \text{ A/m}^2$ на электродах № I, II, III

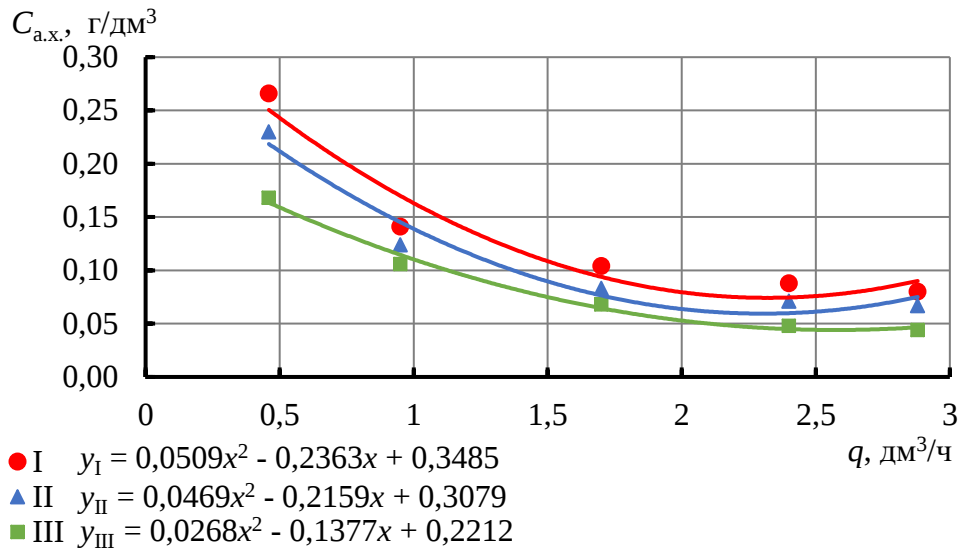


Рисунок 3.1 – Влияние расхода раствора р. Элиста на выход активного хлора при плотностях анодного тока: б) $i = 40 \text{ A/m}^2$ на электродах № I, II, III

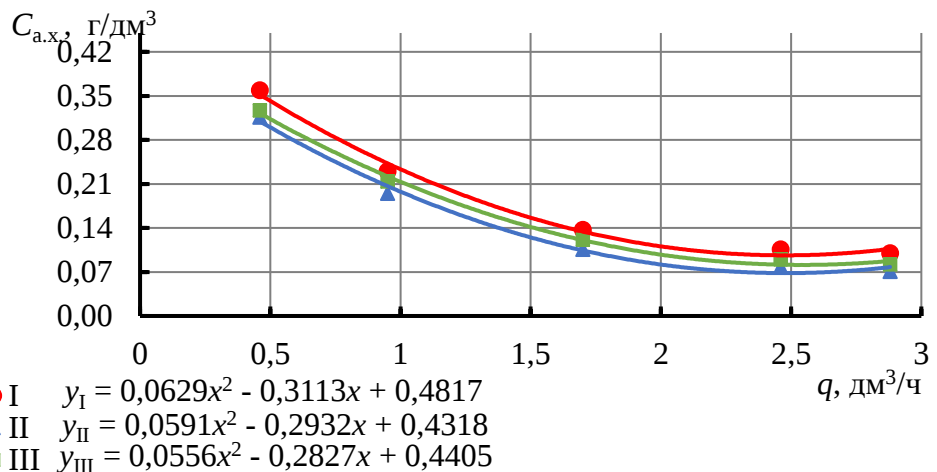


Рисунок 3.1 – Влияние расхода раствора р. Элиста на выход активного хлора при плотностях анодного тока: в) $i = 60 \text{ A/m}^2$ на электродах № I, II, III

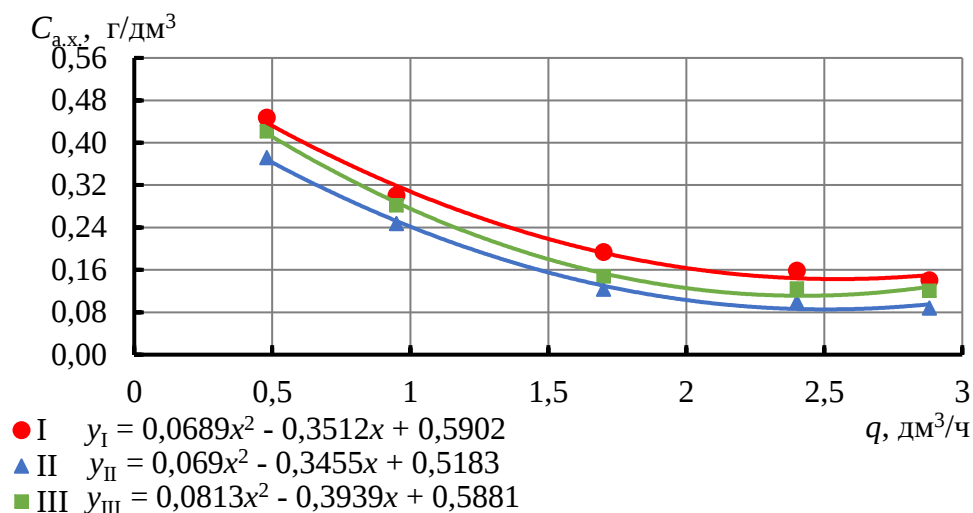


Рисунок 3.1 – Влияние расхода раствора р. Элиста на выход активного хлора при плотностях анодного тока: з) $i = 80 \text{ A/m}^2$ на электродах № I, II, III

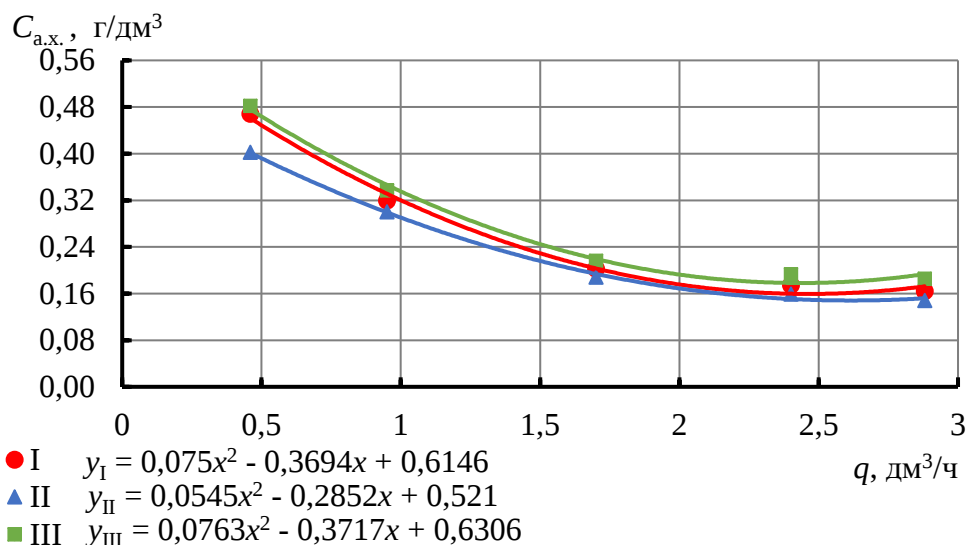


Рисунок 3.1 – Влияние расхода раствора р. Элиста на выход активного хлора при плотностях анодного тока: д) $i = 100 \text{ A/m}^2$ на электродах № I, II, III

Из анализа полученных данных (рисунок 3.1) следует, что представленные зависимости имеют близкий друг другу характер изменения на выходе значений концентраций активного хлора от расхода раствора ($C_{a,x} - q$). Причем, чем больше расход, тем меньше концентрация, и чем больше плотность тока, тем больше на выходе активного хлора.

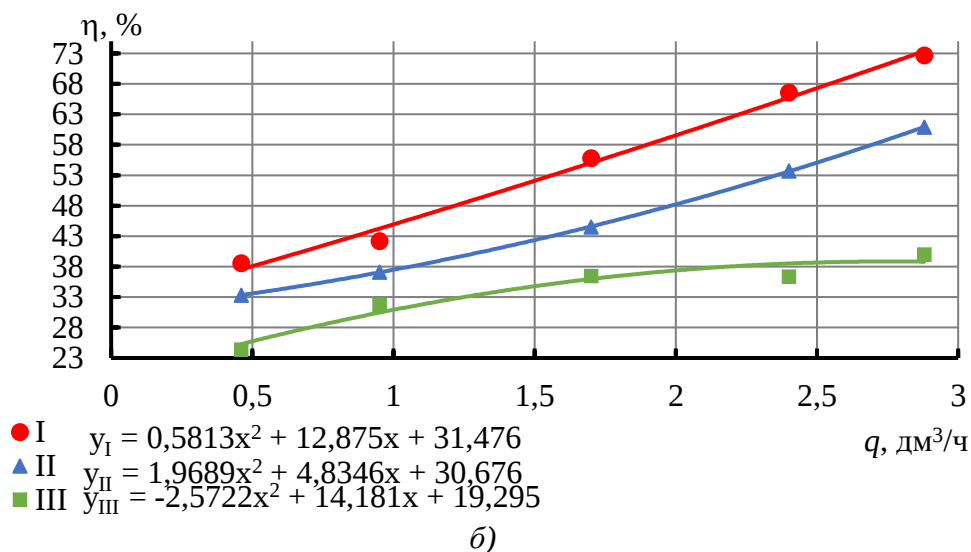
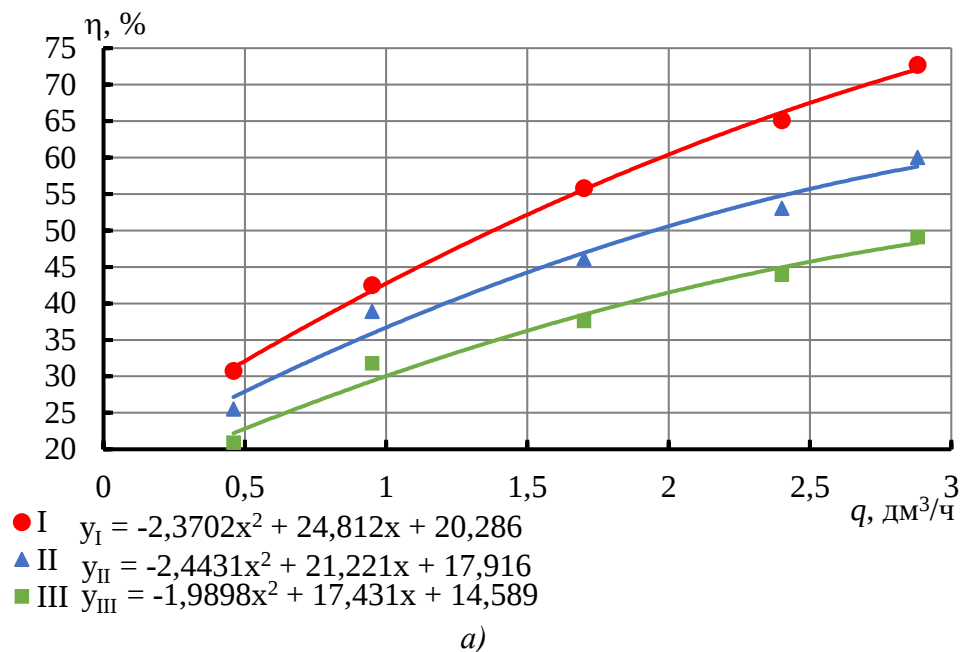
В таблицу 3.1 согласно данным рисунка 3.1 сведены результаты максимальных концентраций активного хлора с учетом материала анода и плотности тока.

Таблица 3.1 – Максимальные значения концентрации активного хлора от плотности тока

№ п/п	$i, \text{ A/m}^2$	$C_{a,x}^{max}, \text{ г/дм}^3$	№ анода
1	20	0,11	I
2	40	0,27	I
3	60	0,36	I
4	80	0,44	I
5	100	0,48	III

На концентрацию продукта природа анодного покрытия существенно не влияет, отличаясь друг от друга в пределах 10 – 15 %. Однако, также следует, что анод с покрытием №III закономерно приращивает концентрацию активного хлора с ростом плотности тока по сравнению с другими электродами, и в первую очередь, анодом №I. Действительно, при $i = 20 \text{ А/м}^2$ анод №III работает хуже, а при $i = 100 \text{ А/м}^2$ его показатели заметно лучше конкурентов, что не могло не сказаться на результате расчетов выхода хлора по току (рисунок 3.2).

Оценка выхода активного хлора по току от расхода раствора, материала анода и плотности тока. На рисунке 3.2 приведены зависимости $(\eta - q)$ для всех значений исследуемых плотностей тока.



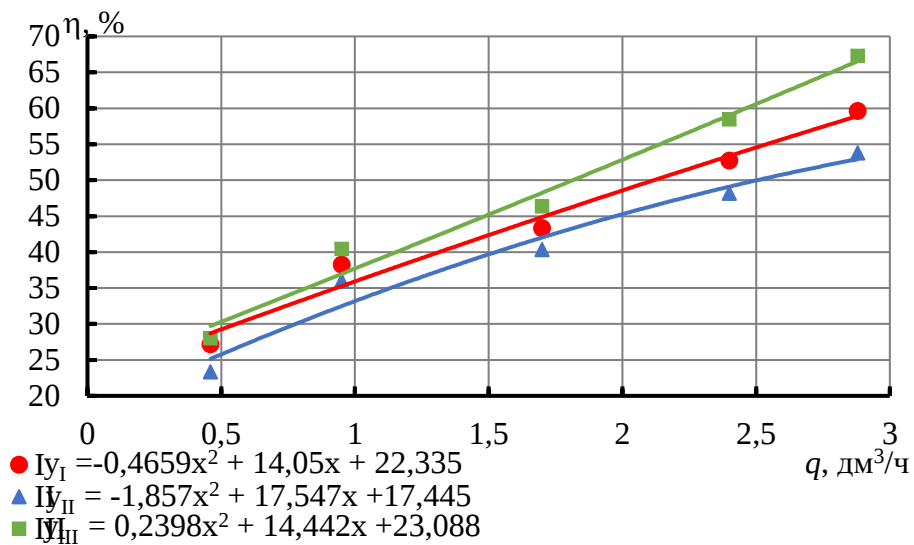
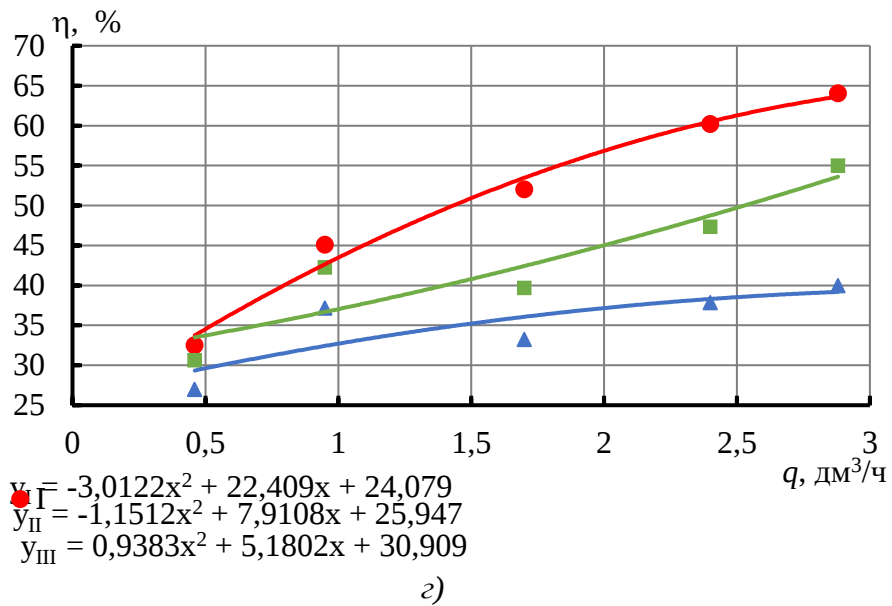
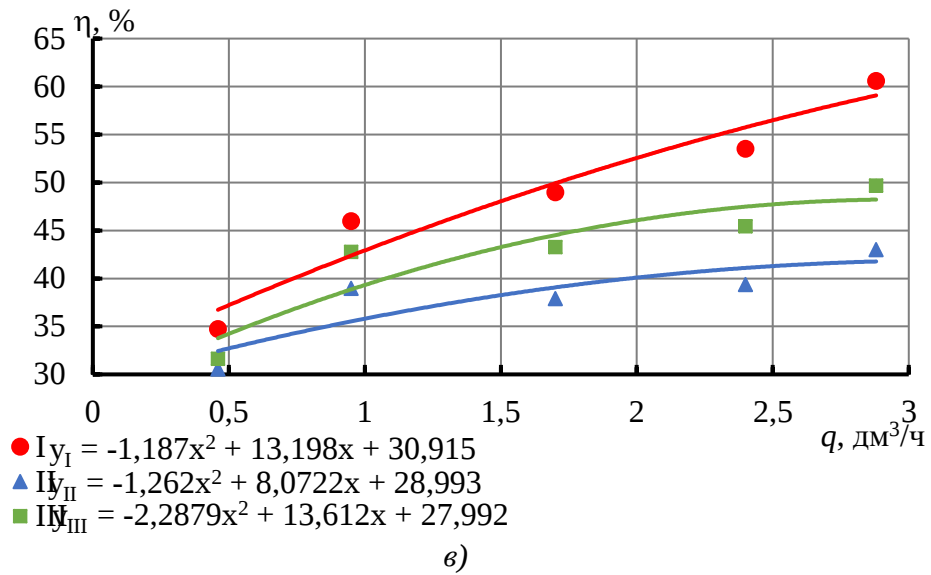
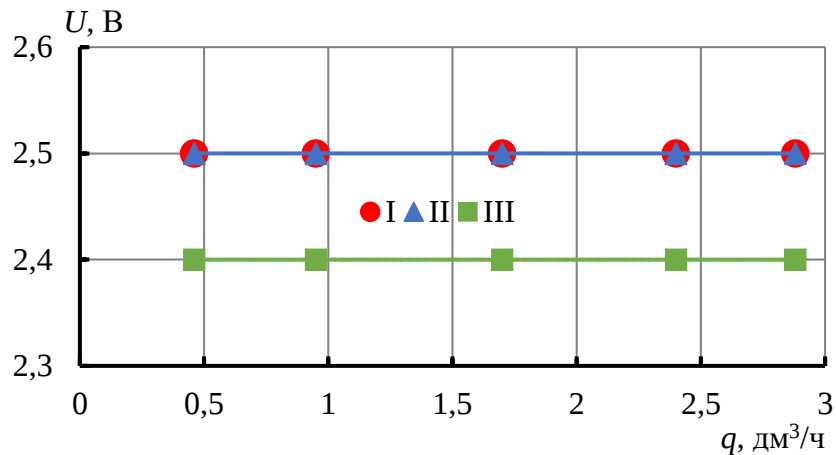


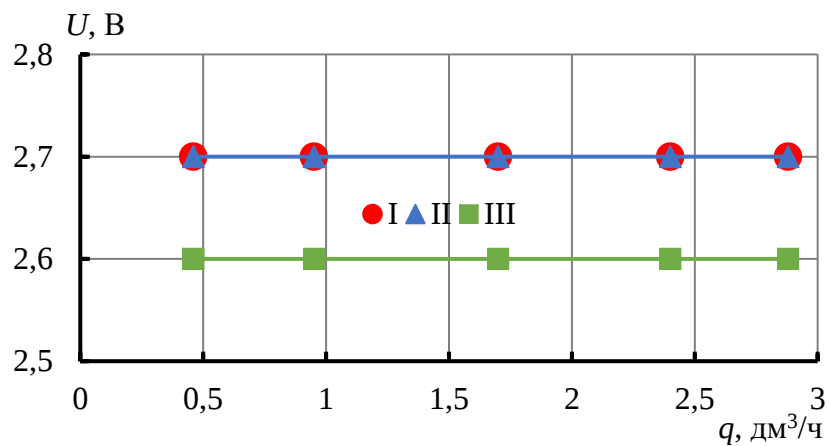
Рисунок 3.2 – Зависимость выхода активного хлора от расхода раствора р. Элиста при плотностях тока:

а) $i = 20 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; б) $i = 40 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; в) $i = 60 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; г) $i = 80 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; д) $i = 100 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III

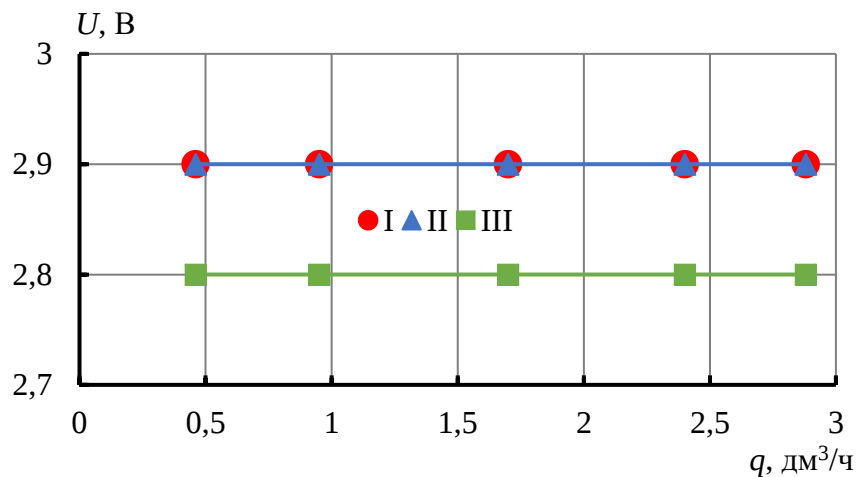
Оценка напряжения на электролизере от плотности тока, расхода раствора и анодного материала. На рисунке 3.3 даны значения напряжения на клеммах электролизера в опытах, представленных зависимостью ($C_{a.x.} - q$) (рисунок 3.1). Необходимо отметить, что величина напряжения остается постоянной за время опыта. Для электродов №I и II при увеличении плотности тока напряжение растет от 2,5 до 3,1 В. Для электрода №III также характерен рост, но при более низких напряжениях 2,4 – 3,0 В.



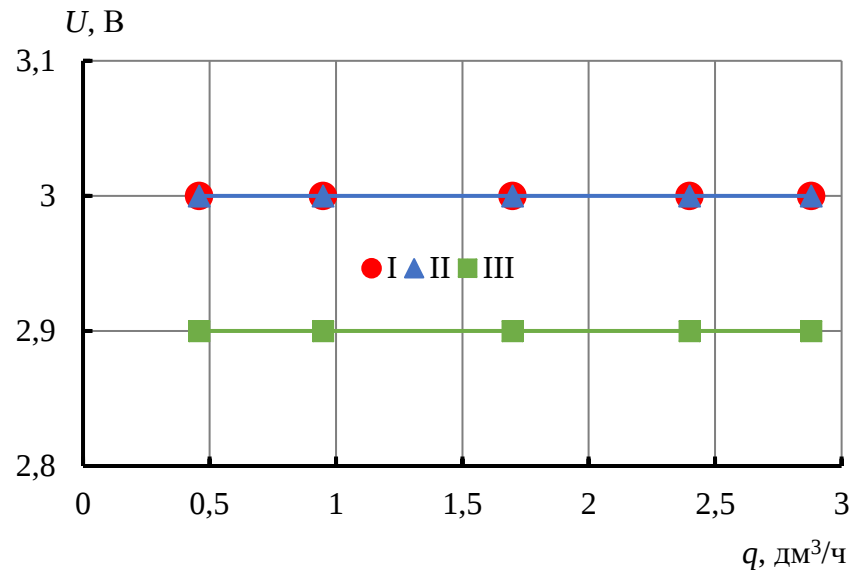
а)



б)



в)



з)

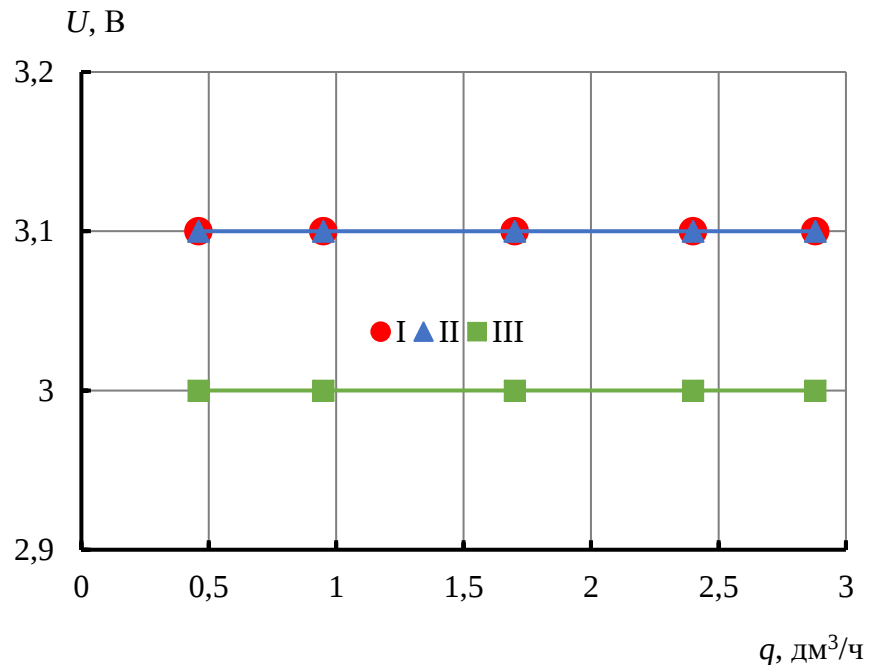
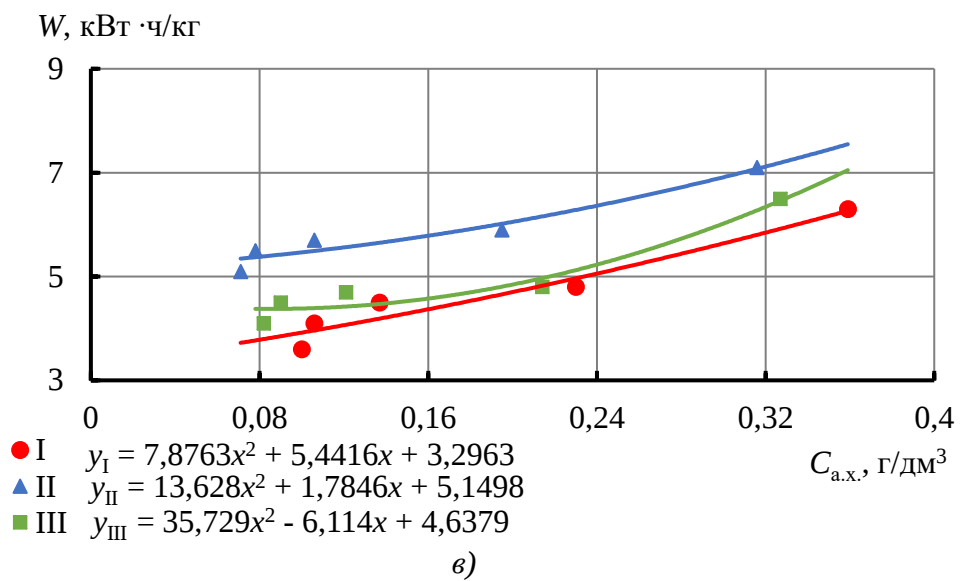
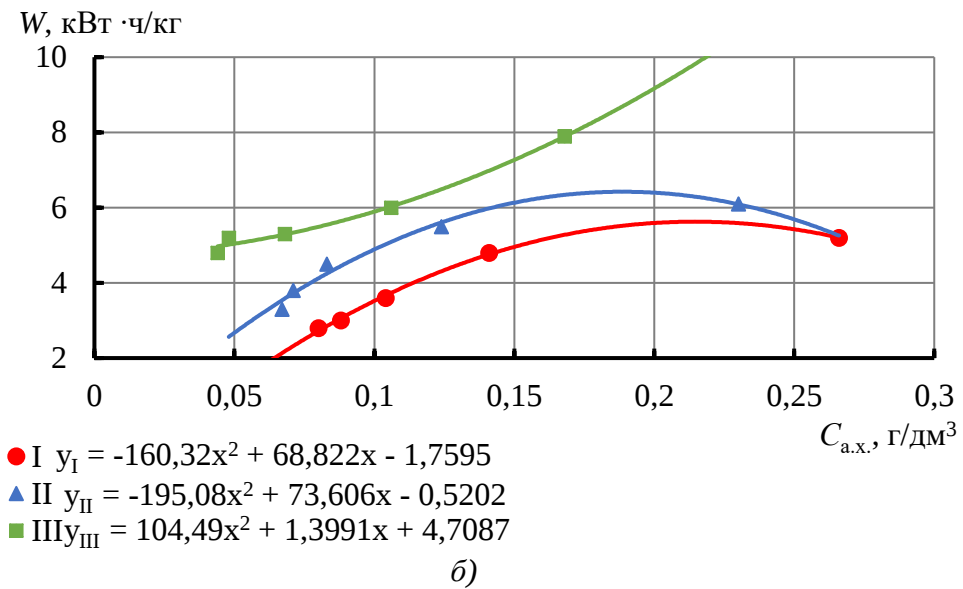
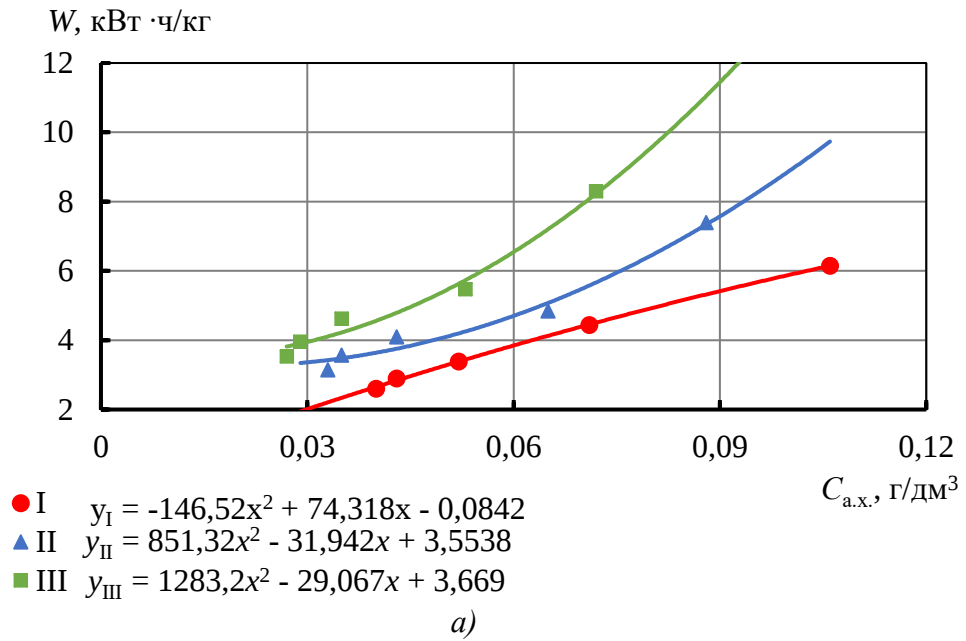


Рисунок 3.3 – Зависимость напряжения от расхода раствора р. Элиста при плотностях тока:
 а) $i = 20 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; б) $i = 40 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; в) $i = 60 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; з) $i = 80 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; д) $i = 100 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III

Оценка удельного расхода электроэнергии получения активного хлора на различных анодах. На рисунке 3.4 показаны зависимости ($W - C_{\text{а.х.}}$) на различных анодах (№I, II, III) от плотности тока. Фактически, эти кривые устанавливают величину затрат электроэнергии на 1 кг произведенного активного хлора, полученного при различных расходах исследуемого раствора (рисунок 3.1).



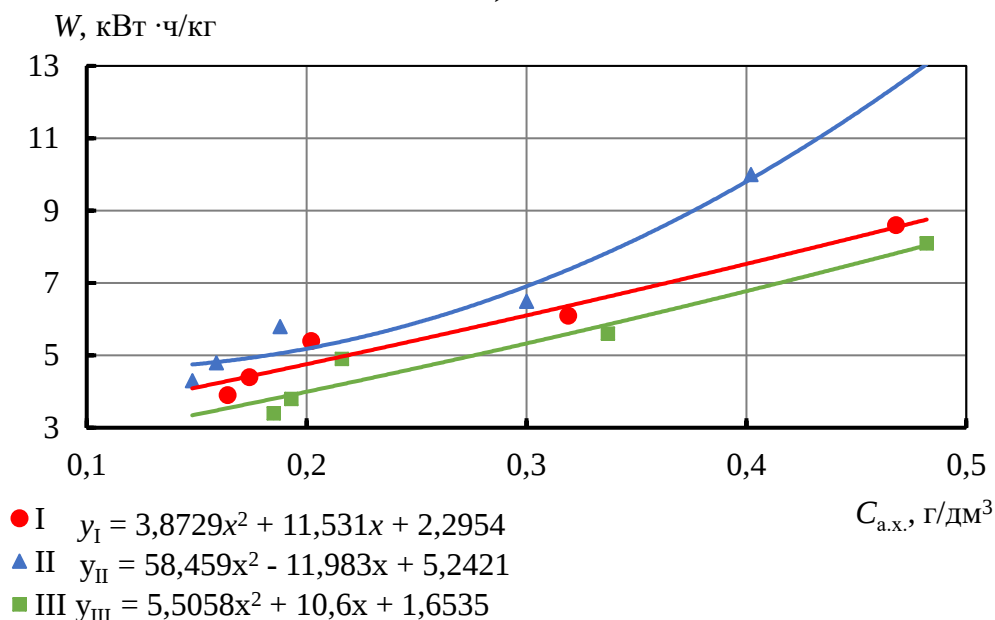
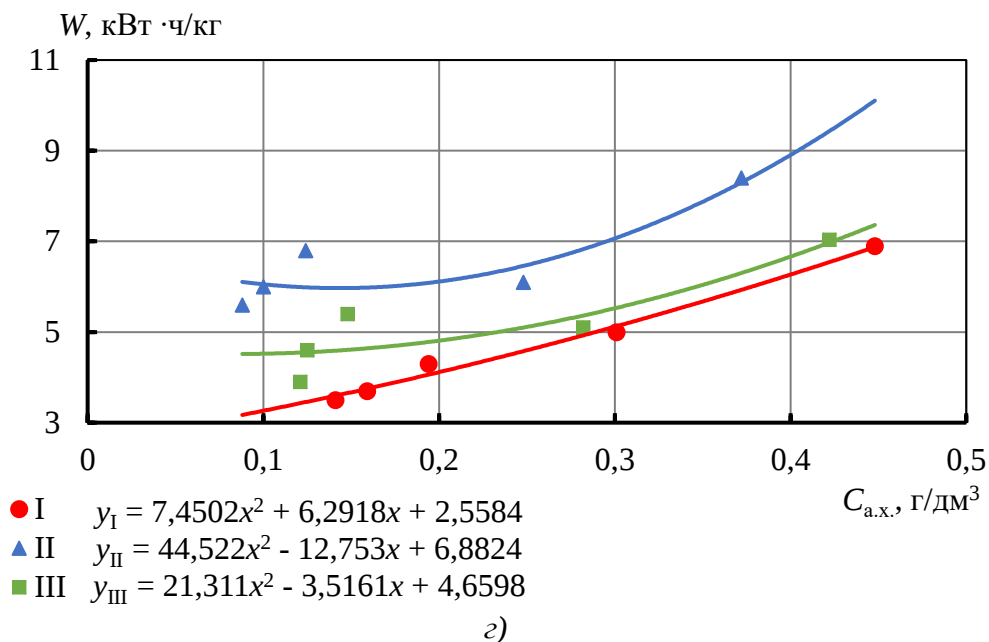
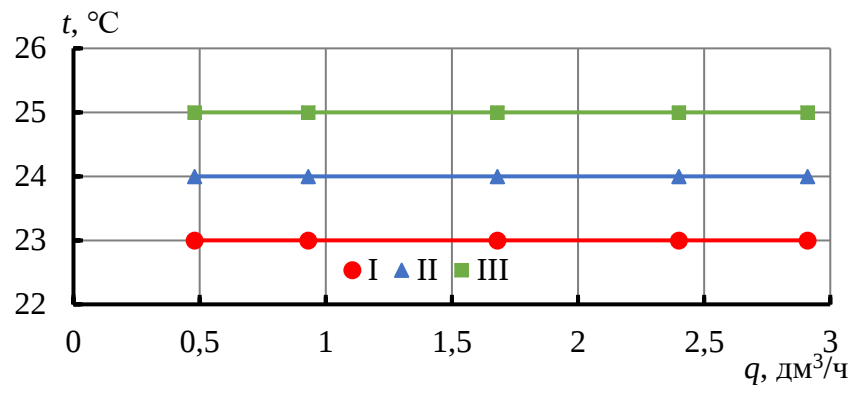
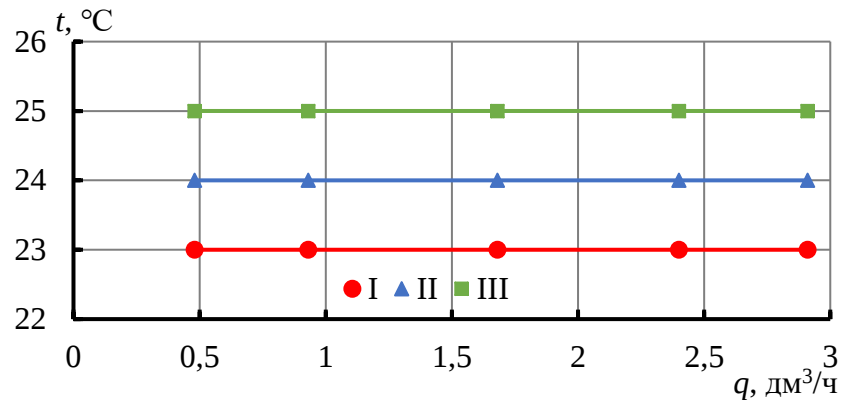


Рисунок 3.4 – Зависимость удельного расхода электроэнергии на получения активного хлора в растворе р. Элиста при плотностях тока: а) $i = 20 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; б) $i = 40 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; в) $i = 60 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; г) $i = 80 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; д) $i = 100 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III

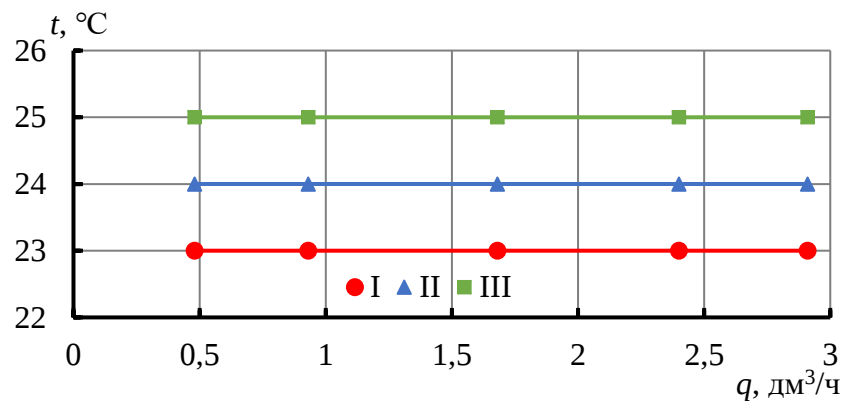
Оценка температуры раствора от его расхода через электролизер, плотности тока и анодного материала. Эксперименты проводили при разной начальной температуре раствора. Так, в опытах с электродами №I, II, III температура соответственно была 23, 24 и 25 °С. Анодный материал не влиял на величину выходной температуры раствора, она оставалась постоянной при выбранных расходах и плотностях тока (рисунок 3.5). Эти результаты важны, так как при отсутствии разогрева раствора отпадает необходимость отвода теплоты.



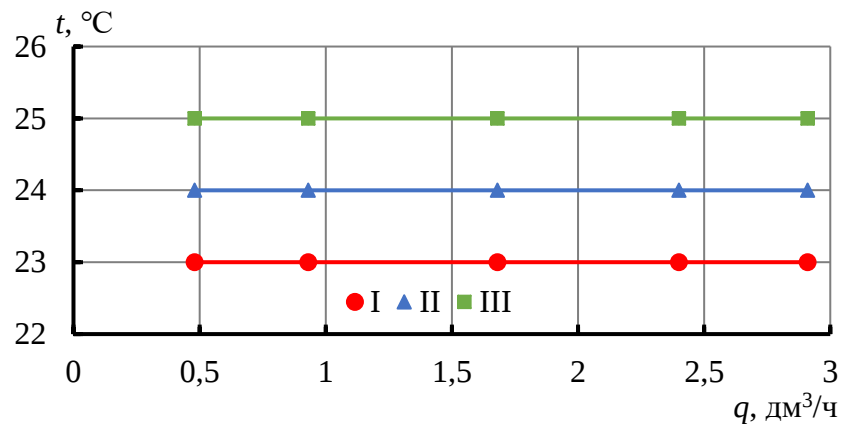
a)



б)



в)



г)

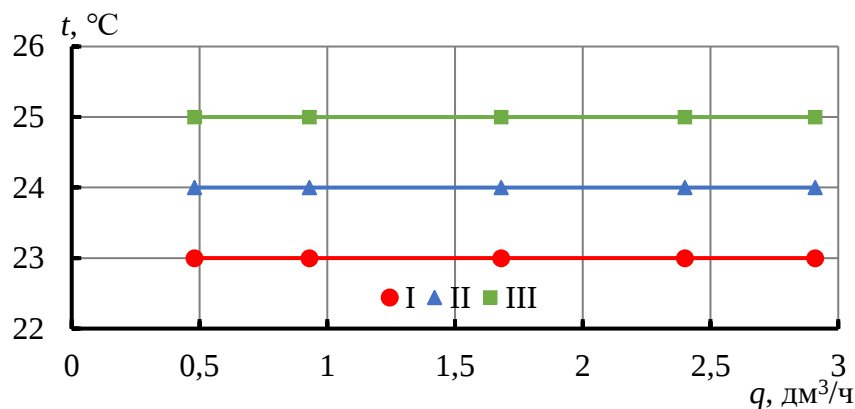
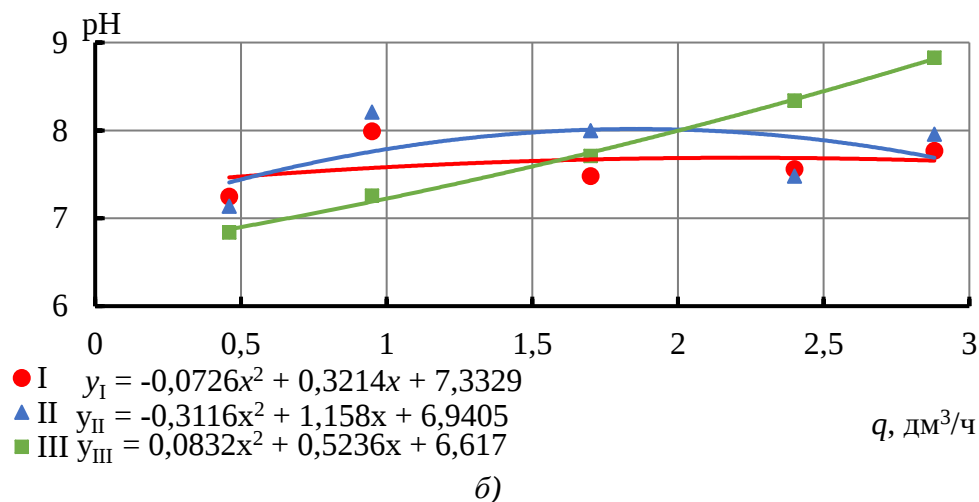
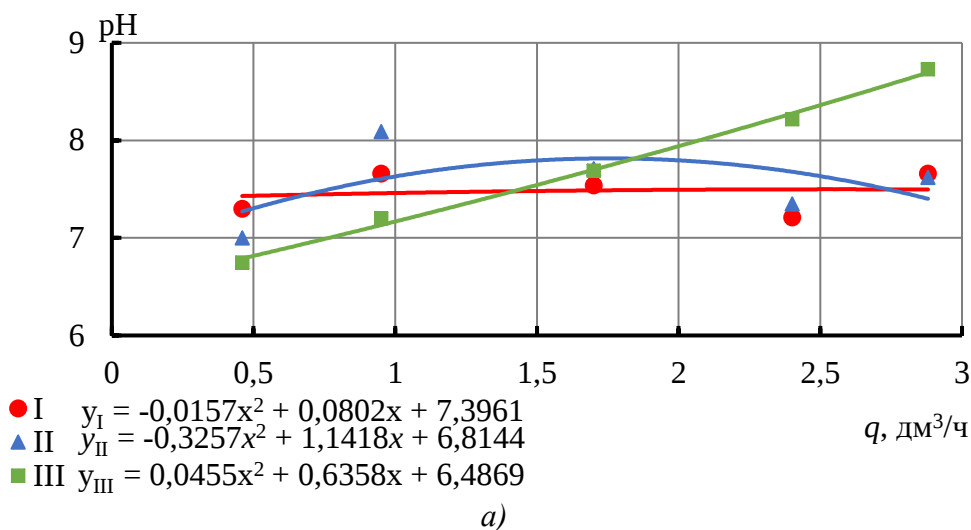
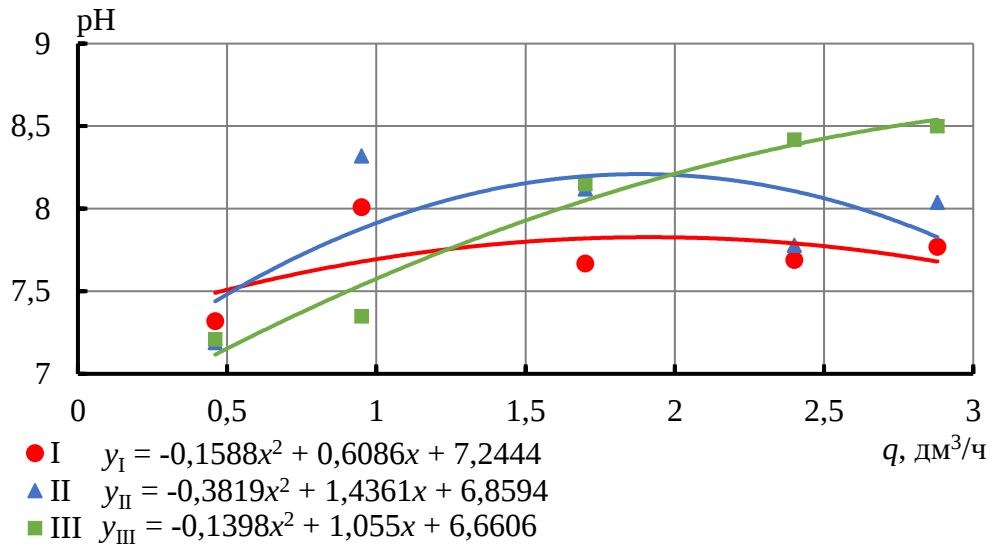


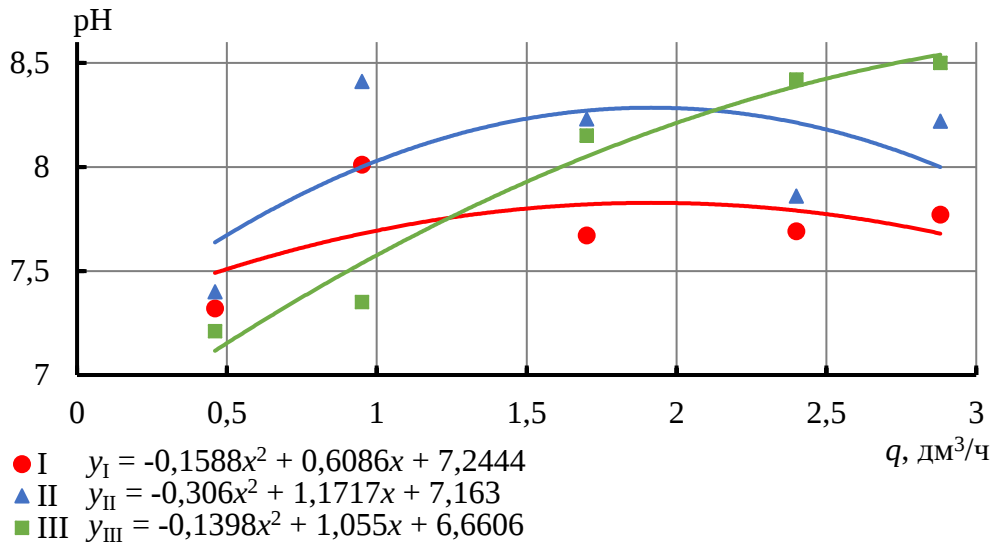
Рисунок 3.5 – Зависимость температуры от расхода раствора р. Элиста, при плотностях тока:
 а) $i = 20 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; б) $i = 40 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; в) $i = 60 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; г) $i = 80 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III; д) $i = 100 \text{ A/m}^2$ на электродах №I, II, III

Оценка pH раствора от его расхода через электролизер, плотности тока и анодного материала. На рисунке 3.6 представлены зависимости (pH – q) при разных плотностях тока и расхода раствора.





б)



в)

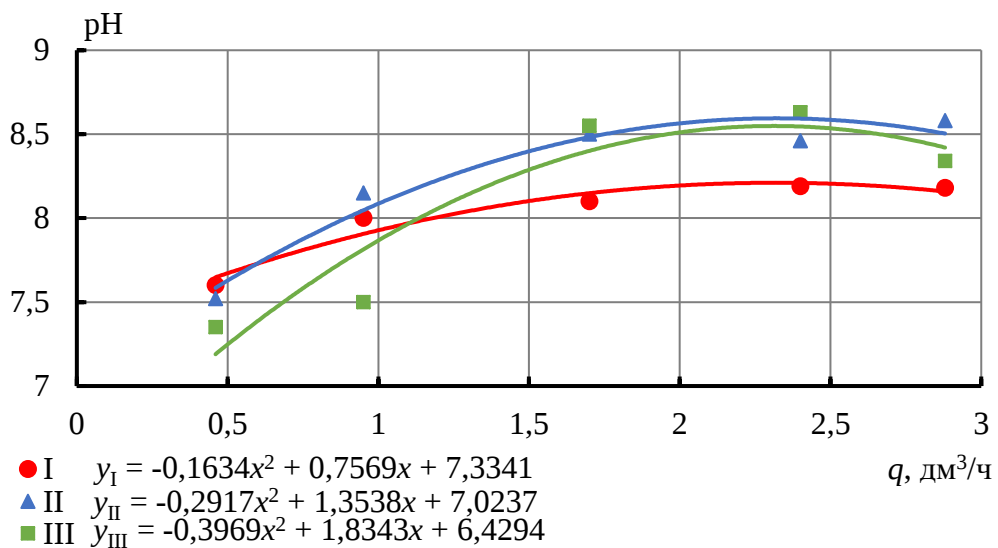


Рисунок 3.6 – Зависимость pH от расхода раствора р. Элиста, при плотностях тока: а) $i = 20$ А/м² на электродах №I, II, III; б) $i = 40$ А/м² на электродах №I, II, III; в) $i = 60$ А/м² на электродах №I, II, III; г) $i = 80$ А/м² на электродах №I, II, III; д) $i = 100$ А/м² на электродах №I, II, III

3.2 Растворы п. Юста и озера Улан-Хол

Два новых объекта исследования отличаются от предыдущего тем, что минерализация их больше соответственно в 2 и 60 раз, а, следовательно, и концентрация хлорид-ионов возрастает в такой же пропорции. Это очевидно дает прирост концентрации активного хлора на выходе электролизера.

Действительно, из данных рисунков 3.3 – 3.6 и приложения Б таблиц Б.2, Б.3 видно, что увеличение минерализации раствора ведет к росту концентрации активного хлора. Так, при максимальных выбранных в исследованиях плотностях тока и минимальном расходе раствора (0,5 дм³/ч) можно достичь показателей, представленных в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Показатели при максимальных плотностях тока и минимальном расходе раствора (0,5 дм³/ч)

Место отбора	$C_{a.x.}$, г/дм ³	η , %	U , В	W , кВт·ч/кг	t , °С	pH
р. Элиста	0,40 – 0,48	24 – 27	3 – 3,1	8 – 10	23 – 25	7,3 – 7,6
п. Юста	0,9 – 0,95	8 – 12	3,2 – 3,3	18,6 – 20,2	23 – 25	7,9 – 8,8
оз. Улан-Хол	6,3 – 6,8	34 – 35	3,2 – 3,3	6,7 – 7,3	23 – 25	7,8 – 8,7

Разброс значений показателей электролиза связан с природой анодного покрытия.

В дальнейших исследованиях был использован анод из ОРТА благодаря наименьшей цене в сравнении с анодами другого состава и удовлетворительным показателям по выходным параметрам.

3.3 Изучение состава отложений на катоде при электролизе природных растворов

Как отмечалось в главе 2, особенностью электролиза природных хлоридных растворов является образование на катоде сопутствующих осадков, состоящих из солей CaCO_3 , CaSO_4 и гидроокиси $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Этот процесс имеет негативный характер, т. к. приводит к обрастанию межэлектродного пространства и последующего выхода на аварию электролизера.

Также известно, что плотность тока или количество электричества являются определяющими в массе образующегося осадка, поскольку гидроксил-ион (OH^-) – продукт катодной реакции (1.3) его инициирует.

В главе 1 было обращено внимание на негативный процесс электролиза природных растворов – образование нерастворимых осадков на катоде: CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В качестве борьбы с этим явлением в научной литературе предлагается изменение полярности тока или качества исходной воды [67]. В связи с этим в работе вели электролиз постоянным и переменным токами, а также изменяли состав воды для поиска путей устранения осадка.

По данным работ [158, 159, 183] использование переменного (обратного) тока уменьшает, а, в некоторых режимах электролиза, предотвращает образование нерастворимых солей на катоде. При этом электрохимический процесс не прерывается. Этот прием также широко применяется в гальванических процессах для улучшения качества металлического осадка: хрома, меди, серебра и т. д [184].

Постоянный ток. Проточный режим электролиза. Согласно приведенным на рисунке 3.1 данным, следует, что наибольшие концентрации активного хлора для всех исследуемых природных растворов достигают при максимальных плотностях тока: р. Элиста – 100 А/м^2 ; подземная вода п. Юста – 500 А/м^2 и оз. Улан-Хол – 1000 А/м^2 . Для оценки толщины и состава осадка катода проводили электролиз указанных выше растворов при максимальных плотностях тока и минимальном расходе, что обеспечивало наибольший выход активного хлора. На первом этапе опыты вели в проточном режиме в течение 10 часов для определения параметров электролиза. В качестве анода использовали электрод №I. Результаты сведены в таблицу 3.3.

После электролиза были сделаны фотографии поверхности катодов, полученных в трех исследуемых растворах (рисунки 3.7 – 3.9)

Таблица 3.3 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов (постоянный ток)

№ п/п	Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, I , А	Плотность тока, i , А/м ²	Расход раствора, q , дм ³ /ч	Измеряемые параметры				
						$[ClO^-]$, г/дм ³	t , °C	pH	U , В	W , кВт·ч /кг а.х.
1	река Элиста	1	0,6	100	1,00	0,31	27	8,42	3,1	6,0
		2				0,31	26	7,26	3,1	6,0
		3				0,31	27	7,56	3,1	6,0
		4				0,31	27	7,56	3,1	6,0
		5				0,31	25	7,70	3,1	6,0
		6				0,31	26	7,90	3,1	6,0
		7				0,31	26	8,43	3,1	6,0
		8				0,31	26	8,43	3,1	6,0
		9				0,29	27	7,43	3,1	6,4
		10				0,31	26	8,43	3,1	6,0
2	подземная вода п. Юста	1	3,0	500	1,00	0,81	28	7,98	3,3	12,2
		2				0,82	28	7,83	3,3	12,1
		3				0,83	27	7,80	3,3	11,9
		4				0,84	25	7,80	3,3	11,8
		5				0,84	25	7,80	3,3	11,8
		6				0,84	26	7,90	3,3	11,8
		7				0,84	27	7,90	3,3	11,8
		8				0,84	28	7,78	3,3	11,8
		9				0,84	28	7,78	3,3	11,8
		10				0,84	28	7,90	3,3	11,8
3	озеро Улан-Хол	1	6,0	1000	0,93	4,6	28	8,04	3,3	4,6
		2				4,6	28	8,12	3,3	4,6
		3				4,6	28	8,33	3,3	4,6
		4				4,6	28	8,36	3,3	4,6
		5				4,6	28	8,40	3,3	4,6
		6				4,6	28	8,40	3,3	4,6
		7				4,6	28	8,53	3,3	4,6
		8				4,6	28	8,53	3,3	4,6
		9				4,7	27	8,40	3,3	4,5
		10				4,7	27	8,40	3,3	4,5

На рисунке 3.7 представлены фотографии внешнего вида поверхности и торцов катодов после 10 часов электролиза трех природных растворов.

Поверхность катодов



а)



б)



в)

Торцы катодов



а)



б)



в)

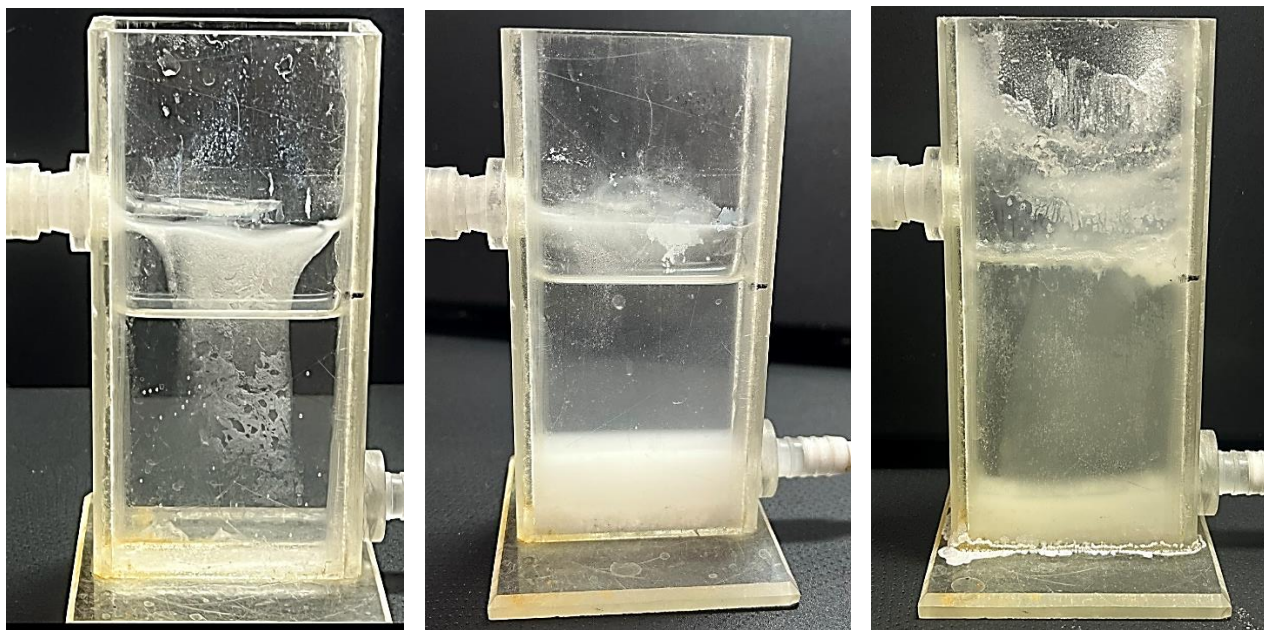
Рисунок 3.7 – Морфология осадков после 10 часов электролиза постоянным током, проточный режим растворов:

а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 ; $i - 100 \text{ А/м}^2$;

б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; $i - 500 \text{ А/м}^2$;

в) оз. Улан–Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; $i - 1000 \text{ А/м}^2$

На рисунке 3.8 показаны фотографии электрохимических ячеек после 10 часов электролиза растворов р. Элиста, подземного раствора п. Юста и оз. Улан-Хол. На фотографиях видно, что осадки образовывались как на дне ячейки, так и на ее стенках.



а)

б)

в)

Рисунок 3.8 – Внешний вид электрохимических ячеек после 10 часов электролиза постоянным током, проточный режим растворов:

а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 ; i – 100 А/м^2 ;

б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; i – 500 А/м^2 ;

в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; i – 1000 А/м^2

На рисунке 3.9 приведены фотографии морфологии осадков на поверхности (4х) катодов после 10 часов электролиза постоянным током.



а)

б)

в)

Рисунок 3.9 – Морфология осадков поверхности (4х) катодов после 10 часов электролиза постоянным током, проточный режим растворов:

а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 ; i – 100 А/м^2 ;

б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; i – 500 А/м^2 ;

в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; i – 1000 А/м^2

После электролиза раствора реки Элиста были получены следующие результаты анализа осадка, образующегося на:

1. Катоде:

Жесткость общая: $J_0 = 20$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 20$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 0$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 9$ мг-экв/л.

Соответственно, количество нерастворимых солей

$CaCO_3 + CaSO_4 + Mg(OH)_2$.
 11 11 9 9 0 0

В том числе:

$CaCO_3 = 11 \cdot 50 = 550$ мг или 47,33 %;

$CaSO_4 = 9 \cdot 68 = 612$ мг или 52,67 %.

2. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $J_0 = 90$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 80$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 10$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 24$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

$CaCO_3 + CaSO_4 + Mg(OH)_2$.
 56 56 24 24 10 10

В том числе:

$CaCO_3 = 56 \cdot 50 = 2800$ мг или 59,27 %;

$CaSO_4 = 24 \cdot 68 = 1832$ мг или 34,55 %;

$Mg(OH)_2 = 10 \cdot 29,15 = 291,5$ мг или 6,17 %.

3. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

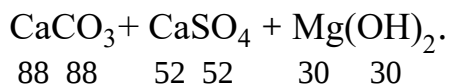
Жесткость общая: $J_0 = 170$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 140$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 30$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 52$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей:



В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 88 \cdot 50 = 4400 \text{ мг или } 49,94 \%;$$

$$\text{CaSO}_4 = 52 \cdot 68 = 3536 \text{ мг или } 40,13 \%;$$

$$\text{Mg(OH)}_2 = 30 \cdot 29,15 = 874,5 \text{ мг или } 9,92 \%.$$

Или в общем виде процент распределения нерастворимых форм, входящих в состав осадка, образующегося при электролизе раствора реки Элиста, можно представить в форме таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Процент распределения нерастворимых форм осадка, образующегося при электролизе воды реки Элиста

№ п/п	Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
		CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
1	Электродная система (катод)	47,33	52,67	0,00
2	В объеме электролизера (стенки и дно)	59,27	34,55	6,17
3	В потоке на выходе из электролизера	49,94	40,13	9,92

После электролиза подземного раствора п. Юста были получены следующие результаты анализа осадка, образующегося:

1. На катоде:

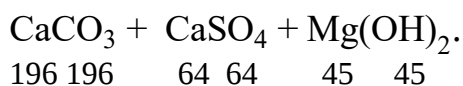
$$\text{Жесткость общая: } \text{Ж}_0 = 305 \text{ мг-экв/л;}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 260 \text{ мг-экв/л;}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 45 \text{ мг-экв/л;}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 64 \text{ мг-экв/л.}$$

Соответственно, количество нерастворимых солей



В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Э}_{\text{CaCO}_3} = (\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}) \cdot \text{Э}_{\text{CaCO}_3} = (260 - 64) \cdot 50 = 9800 \text{ мг};$$

$$\text{CaSO}_4 = \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Э}_{\text{CaSO}_4} = 64 \cdot 68 = 4352 \text{ мг};$$

$$\text{Mg}(\text{OH})_2 = \text{Mg}^{2+} \cdot \text{Э}_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = 45 \cdot 29,15 = 1311,75 \text{ мг}.$$

Их общий вес: $9800 + 4352 + 1311,75 = 15463,75$ мг или 100 %, в том числе по солям: $\text{CaCO}_3 = 63,37$ %; $\text{CaSO}_4 = 28,14$ %; $\text{Mg}(\text{OH})_2 = 8,48$ %.

2. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $\text{Ж}_0 = 260$ мг-экв/л;

$$\text{Ca}^{2+} = 90 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{Mg}^{2+} = 170 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 72 \text{ мг-экв/л}.$$

Количество нерастворимых солей

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CaCO}_3 & + & \text{CaSO}_4 & + & \text{Mg}(\text{OH})_2 & . & \\ 18 & 18 & 72 & 72 & 170 & 170 & \end{array}$$

В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 18 \cdot 50 = 900 \text{ мг или } 8,37 \text{ } \%$$

$$\text{CaSO}_4 = 72 \cdot 68 = 4896 \text{ мг или } 45,53 \text{ } \%$$

$$\text{Mg}(\text{OH})_2 = 170 \cdot 29,15 = 4955,5 \text{ мг или } 46,09 \text{ } \%.$$

3. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

Жесткость общая: $\text{Ж}_0 = 90$ мг-экв/л;

$$\text{Ca}^{2+} = 80 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{Mg}^{2+} = 10 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 22 \text{ мг-экв/л}.$$

Количество нерастворимых солей

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CaCO}_3 & + & \text{CaSO}_4 & + & \text{Mg}(\text{OH})_2 & . & \\ 58 & 58 & 22 & 22 & 10 & 10 & \end{array}$$

В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 58 \cdot 50 = 2900 \text{ мг или } 61,86 \text{ } \%$$

$$\text{CaSO}_4 = 22 \cdot 68 = 1496 \text{ мг или } 31,91 \text{ } \%$$

$$\text{Mg}(\text{OH})_2 = 10 \cdot 29,15 = 291,5 \text{ мг или } 6,21 \text{ } \%.$$

В общем виде результаты исследований состава осадка, образующегося при электролизе подземного раствора п. Юста сведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Процентное содержание нерастворимых примесей в осадке, образующемся при электролизе подземного раствора п. Юста

№ п/п	Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
		CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
1	Электродная система (катод)	63,37	28,14	8,48
2	В объеме электролизера (стенки и дно)	8,37	45,53	49,09
3	В потоке на выходе из электролизера	61,86	31,90	6,21

В результате электролиза постоянным током раствора озера Улан-Хол были получены следующие результаты анализа после растворения осадка, образующегося на:

1. Катод:

Жесткость общая: $J_0 = 110$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 90,0$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 20,0$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 56,0$ мг-экв/л.

Соответственно, количество нерастворимых солей

$CaCO_3 + CaSO_4 + Mg(OH)_2$.
 $\begin{matrix} 34 & 34 & 56 & 56 & 20 & 20 \end{matrix}$

В том числе:

$CaCO_3 = Ca^{2+} \cdot \mathcal{E}_{CaCO_3} = 34 \cdot 50 = 1700$ мг;

$CaSO_4 = Ca^{2+} \cdot \mathcal{E}_{CaSO_4} = 56 \cdot 68 = 3808$ мг;

$Mg(OH)_2 = Mg^{2+} \cdot \mathcal{E}_{Mg(OH)_2} = 20 \cdot 29,15 = 583$ мг.

Их общий вес: $1700 + 3808 + 583 = 6091$ мг или 100 %, в том числе по солям:
 $CaCO_3 = 27,91$ %; $CaSO_4 = 62,52$ %; $Mg(OH)_2 = 9,57$ %.

2. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $J_0 = 220$ мг-экв/л;

$$\text{Ca}^{2+} = 100,0 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{Mg}^{2+} = 120,0 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 45,0 \text{ мг-экв/л}.$$

Количество нерастворимых солей

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CaCO}_3 & + & \text{CaSO}_4 & + & \text{Mg(OH)}_2 & . \\ 55 & 55 & 45 & 45 & 120 & 120 \end{array}$$

В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 55 \cdot 50 = 2750 \text{ мг или } 29,54 \%;$$

$$\text{CaSO}_4 = 45 \cdot 68 = 3060 \text{ мг или } 32,87 \%;$$

$$\text{Mg(OH)}_2 = 120 \cdot 29,15 = 3498 \text{ мг или } 37,58 \%.$$

3. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

$$\text{Жесткость общая: } \text{Ж}_0 = 380 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{Ca}^{2+} = 305,0 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{Mg}^{2+} = 75,0 \text{ мг-экв/л};$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 240,0 \text{ мг-экв/л}.$$

Количество нерастворимых солей

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CaCO}_3 & + & \text{CaSO}_4 & + & \text{Mg(OH)}_2 & . \\ 65 & 65 & 240 & 240 & 75 & 75 \end{array}$$

В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 65 \cdot 50 = 3250 \text{ мг или } 15 \%;$$

$$\text{CaSO}_4 = 240 \cdot 68 = 16320 \text{ мг или } 75 \%;$$

$$\text{Mg(OH)}_2 = 75 \cdot 29,15 = 2186,2 \text{ мг или } 10 \%.$$

В общем виде результаты исследований состава осадка, образующегося при электролизе раствора озера Улан-Хол, представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Процентное содержание примесей в осадке, образующемся при электролизе раствора озера Улан-Хол

№ п/п	Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
		CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
1	Электродная система (катод)	27,9	62,5	9,6
2	В объеме электролизера (стенки и дно)	29,5	32,9	37,6

3	В потоке на выходе из электролизера	15,0	75,0	10,0
---	-------------------------------------	------	------	------

Для сравнения показателей состава солей и оценки толщины осадка трех природных растворов результаты таблиц 3.4 – 3.6 сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Состав нерастворимых солей, в образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде (постоянный ток)

Место скопления осадка, толщина катода	Состав нерастворимых солей, в %, толщина и масса осадка после электролиза								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
Электрод (катод)	47,33	52,67	0	63,37	28,14	8,48	27,91	62,52	9,57
Электролизная ячейка	59,27	34,55	6,17	8,37	45,53	46,09	29,54	32,87	37,58
Вынесенный потоком осадок	49,94	40,13	9,92	61,86	31,91	6,21	14,94	75	10
$M_{\text{осадка}}$, г (катод)	*0,745*			*1,195*			*1,16*		
Толщина (катода) край слева, мм	*1,82*			*1,35*			*1,82*		
Толщина (катода) край справа, мм	*1,85*			*1,15*			*1,82*		
Толщина (катода) середина, мм	*1,56*			*1,37*			*1,33*		

Примечание: * замеры массы и толщины каждого электрода электролизера

Переменный ток. Проточный режим электролиза. Согласно рекомендациям [159] оптимальным условием электролиза был выбран режим переменного тока, когда продолжительность прямой и обратной поляризации составляла 2 часа. В отличие от постоянного тока, когда электрод покрытый оксидами металлов является только анодом, при переменном – он становится на 2 часа катодом. Эта переполюсовка очень опасна для покрытия. Согласно рекомендациям [175], плотность тока для маломинерализованных вод не должна превышать 100 А/м², а для высокоминерализованных – не более 200 А/м². В связи с этим электролиз растворов р. Элиста и подземных растворов п. Юста вели плотностями тока 100 А/м², а оз. Улан-Хол – 200 А/м². Опыты продолжались в

проточном режиме 12 часов для определения параметров электролиза. В качестве анода был электрод №I. Результаты сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов (переменный ток)

№ п/п	Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, I, А	Плотность тока, i, А/м ²	Расход раствора, q, дм ³ /ч	Измеряемые параметры				
						[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	W, кВт·ч /кг а.х.
1	река Элиста	1	0,6	100	1,00	0,53	27	8,13	3,1	3,5
		2				0,35	26	8,82	3,1	5,3
		3				0,35	26	8,06	3,1	5,3
		4				0,35	28	8,45	3,1	5,3
		5				0,35	26	8,16	3,1	3,5
		6				0,35	25	8,40	3,1	3,5
		7				0,28	26	8,10	3,1	6,6
		8				0,28	27	8,69	3,1	6,6
		9				0,30	27	8,34	3,1	6,2
		10				0,30	27	8,50	3,1	6,2
		11				0,30	26	8,17	3,1	6,2
		12				0,28	25	8,40	3,1	6,6
2	подземная вода Юста	1	0,6	100	1,00	0,34	27	8,11	2,9	5,1
		2				0,34	26	8,40	2,9	5,1
		3				0,34	27	8,10	2,9	5,1
		4				0,34	27	8,40	2,9	5,1
		5				0,34	27	8,39	2,9	5,1
		6				0,34	30	8,43	2,9	5,1
		7				0,34	29	8,40	2,9	5,1
		8				0,34	28	8,30	2,9	5,1
		9				0,34	25	8,45	2,9	5,1
		10				0,34	26	8,45	2,9	5,1
		11				0,34	26	8,30	2,9	5,1
		12				0,34	26	8,38	2,9	5,1
3	озеро Улан-Хол	1	1,2	200	0,93	1,20	27	7,82	2,6	2,8
		2				1,30	26	7,70	2,6	2,6
		3				1,31	27	7,76	2,6	2,5
		4				1,31	27	8,28	2,6	2,5
		5				1,31	27	7,57	2,6	2,5
		6				1,45	27	7,55	2,6	2,3
		7				1,59	27	7,73	2,6	2,1
		8				1,30	27	9,20	2,6	2,6
		9				1,30	27	8,15	2,6	2,6

		10				1,30	25	8,80	2,6	2,6
		11				1,30	25	8,70	2,6	2,6
		12				1,50	26	9,03	2,6	2,2

На рисунках 3.10 – 3.12 представлены фотографии внешнего вида поверхности катодов после 12 часов электролиза трех природных растворов.

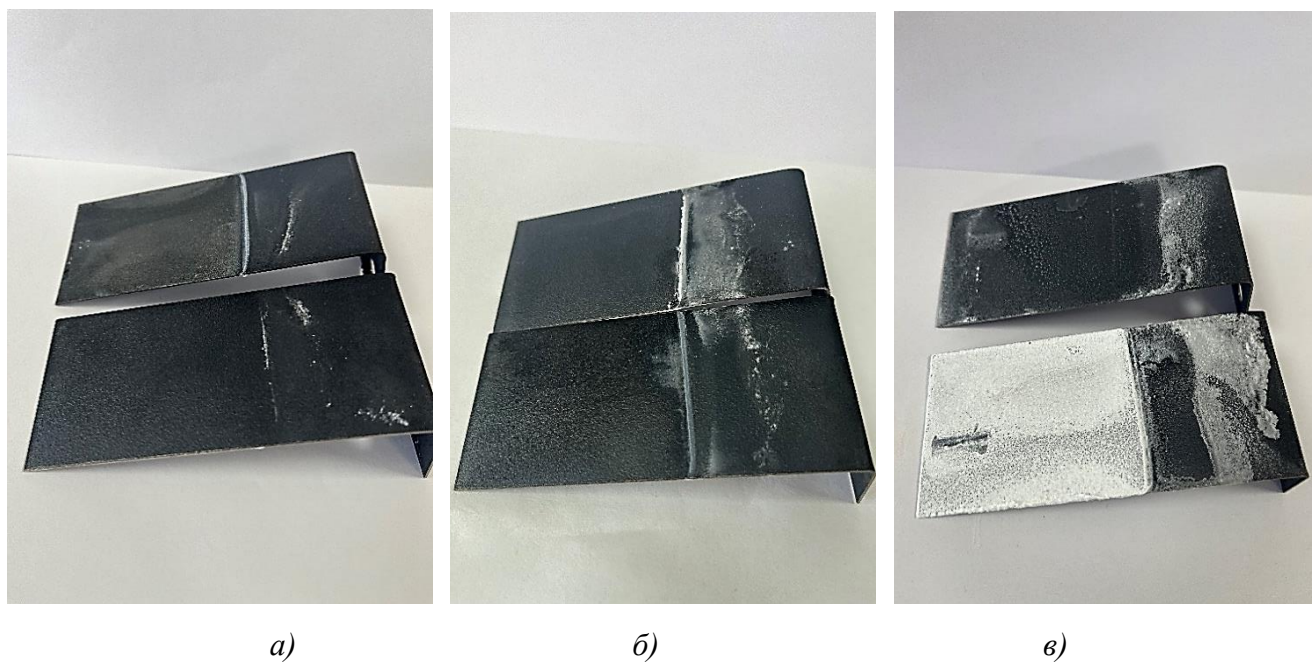


Рисунок 3.10 – Морфология осадков поверхности катодов после 12 часов электролиза переменным током; время прямого и обратного тока – 2 ч; проточный режим растворов:

- а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 ; $i - 100 \text{ А/м}^2$;
- б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; $i - 100 \text{ А/м}^2$;
- в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; $i - 200 \text{ А/м}^2$



Рисунок 3.11 – Морфология осадков поверхности (4х) катодов после 12 часов электролиза переменным током; время прямого и обратного тока – 2 ч; проточный режим раствора:

оз. Улан-Хол, минерализация – мг/дм^3 ; $i - 200 \text{ А/м}^2$

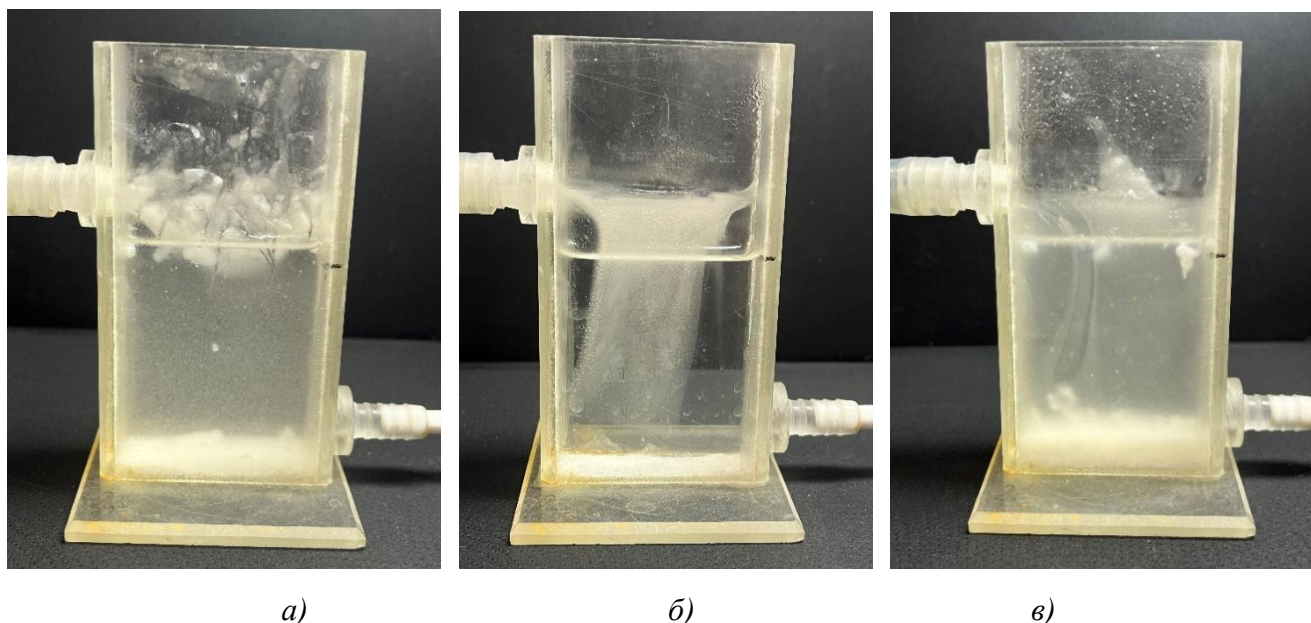


Рисунок 3.12 – Внешний вид электрохимических ячеек после 12 часов электролиза переменным током; время прямого и обратного тока – 2 ч; проточный режим растворов:

- а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 , $i - 100 \text{ А/м}^2$;
 б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 , $i - 100 \text{ А/м}^2$;
 в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 , $i - 200 \text{ А/м}^2$

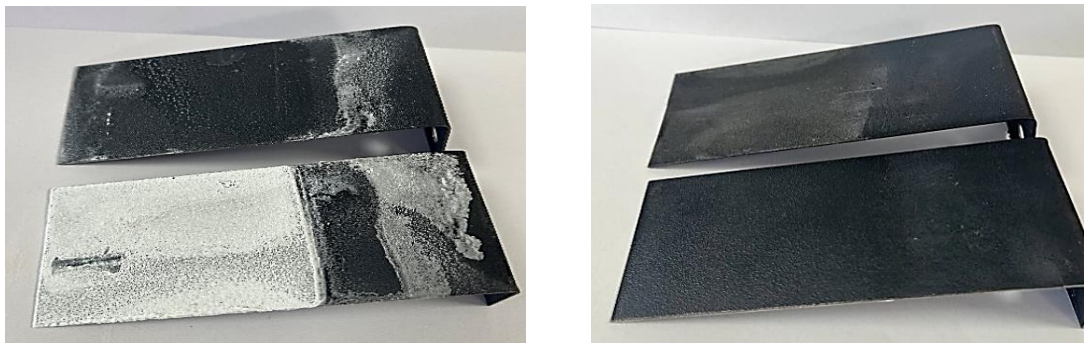
Результаты исследования состава осадков трех растворов, характеристики их толшины и массы на электродах сведены в таблицу 3.9, а также представлены в приложении В.

Таблица 3.9 – Состав нерастворимых солей, образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде (переменный ток)

Место скопления осадка, толщина на катоде	Состав нерастворимых солей, в % после электролиза, толщина и масса осадка								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	CaCO_3	CaSO_4	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	CaCO_3	CaSO_4	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	CaCO_3	CaSO_4	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
Электролизная ячейка	88,02	11,97	0	13,72	49,98	36,28	64,66	16,48	18,84
Вынесенный потоком осадок	80,87	19,12	0	65,91	29,63	4,44	53,98	22,21	23,80
$M_{\text{осадка}}$, г (катод)	*0/0*			*0/0*			*0,89*		
Толщина (катода) край слева, мм	*0/0*			*0/0*			*1,16*		
Толщина (катода) край справа, мм	*0/0*			*0/0*			*1,17*		
Толщина (катода) середина, мм	*0/0*			*0/0*			*1,13*		

Примечание: * замеры массы и толщины каждого электрода электролизера

Из-за образования осадка в растворе оз. Улан-Хол было сокращено время прямого и обратного переменного тока, которое составило 0,5 ч. Результаты опыта представлены на рисунке 3.13, из которого следует, что при новом режиме электролиза осадок не образуется.



а)

б)

Рисунок 3.13 – Морфология осадков поверхности катодов после 12 часов электролиза переменным током, проточный режим раствора:

оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм³; i – 200 А/м²:

а) время прямого и обратного тока – 2 ч;

б) время прямого и обратного тока – 0,5 ч

Переменный ток. Циркуляционный режим электролиза. Для оценки возможности получения максимальной концентрации активного хлора в исследуемых растворах были проведены опыты в циркуляционном режиме (рисунок 3.14). Результаты исследований представлены в главе 4 (рисунок 4.3).



а)

б)

в)

Рисунок 3.14 – Морфология осадков поверхности катодов после электролиза переменным током, циркуляционный режим растворов:

а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм³; i – 100 А/м²;

время прямого и обратного тока – 2 ч, время электролиза – 3 ч

б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм³; i – 100 А/м²;

время прямого и обратного тока – 2 ч, время электролиза – 3,5 ч

в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм³; i – 200 А/м²;

время прямого и обратного тока – 0,5 ч, время электролиза – 6 ч

Кондиционирование природной воды для устранения осадка на катоде.

Результаты исследований изменения углекислотно-карбонатного равновесия в зависимости от времени аэрации представлены в таблице 3.10, из которой следует, что для всех изучаемых водоисточников возможно добиться снижения гидрокарбонатной щелочности практически полностью методом подкисления воды до $\text{pH} \approx 4,0 - 4,2$ и последующей отдувкой выделившейся свободной углекислоты в барботажном дегазаторе в течение 1,5 – 2,0 минут до ее остаточной и постоянной концентрации в пределах 25 – 35 мг/дм³.

Таблица 3.10 – Изменение углекислотно–карбонатного состава и pH природной воды от времени аэрации

№ п/п	Время аэрации, т, мин	р. Элиста			п. Юста			оз. Улан-Хол		
		Концентрация, мг-экв/дм ³		pH	Концентрация, мг-экв/дм ³		pH	Концентрация, мг-экв/дм ³		pH
		[HCO ₃]	CO ₂		[HCO ₃]	CO ₂		[HCO ₃]	CO ₂	
1	0	7,0	52,8	7,54	2,4	52,8	6,8	2,0	158,4	6,2
2	0	1,2	202,4	4,02	0,6	96,8	4,0	1,2	35,2	3,96
3	0,5	1,8	105,6	3,85	1,2	26,4	4,90	1,2	35,2	5,26
4	1,0	0,8	35,2	3,80	0,8	26,4	5,21	0,8	26,4	5,75
5	1,5	0,8	35,2	3,88	1,0	26,4	5,37	0,8	26,4	5,86
6	2,0	0,8	26,4	3,90	0,6	26,4	5,45	0,8	35,2	5,73
7	4,0	0,8	26,4	4,17	0,6	26,4	5,73	0,8	35,2	5,90
8	6,0	0,8	26,4	3,88	0,6	26,4	5,53	0,8	26,4	6,12
9	12,0	0,8	26,4	3,94	0,6	26,4	5,60	0,8	35,2	6,15

Три раствора обработанные соляной кислотой и прошедшие операцию аэрации были подвергнуты электролизу режимами, соответствующими постоянному току. Это дало возможность оценить эффективность устранения осадкообразования на катоде путем снижения гидрокарбонатной щелочности исследуемых растворов. Результаты представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов с пониженной гидрокарбонатной щелочностью (постоянный ток)

№ п/п	Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, I, А	Плотность тока, i, А/м ²	Расход раствора, q, дм ³ /ч	Измеряемые параметры				
						[ClO ⁻], г/дм ³	t, °С	pH	U, В	W, кВт·ч /кг а.х.
1	река Элиста	1	0,6	100	1,00	0,35	26	8,31	3,6	6,2
		2				0,53	25	9,53	3,6	4,1
		3				0,53	27	9,60	3,6	4,1
		4				0,53	27	9,80	3,6	4,1
		5				0,53	27	7,60	3,6	4,1
		6				0,53	27	6,70	3,6	4,1
		7				0,53	27	7,95	3,6	4,1
		8				0,53	27	7,90	3,6	4,1
		9				0,53	27	7,90	3,6	4,1
		10				0,53	27	8,00	3,6	4,1
2	подземная вода п. Юста	1	3	500	1,00	3,01	32	7,60	7,1	7,1
		2				3,01	32	7,60	7,1	7,1
		3				3,01	32	7,60	6,9	6,9
		4				3,01	32	7,60	6,9	6,9
		5				3,01	32	7,64	7,0	7,0
		6				2,83	32	7,60	6,9	7,3
		7				3,01	31	7,60	7,0	7,0
		8				2,83	31	7,70	6,9	7,3
		9				2,83	31	7,80	6,8	7,2
		10				2,83	31	7,80	6,8	7,2
3	оз. Улан-Хол	1	6	1000	0,93	6,3	27	8,32	4,3	4,4
		2				6,2	29	8,32	4,3	4,5
		3				6,5	29	8,50	4,3	4,3
		4				6,3	28	8,57	4,3	4,4
		5				6,7	28	8,58	4,3	4,1
		6				6,7	28	8,60	4,3	4,1
		7				6,7	29	8,62	4,3	4,1
		8				6,8	29	8,30	4,3	4,1
		9				6,9	29	8,36	4,3	4,0
		10				6,5	28	8,40	4,3	4,3

Состав осадка нерастворимых солей в результате электролиза приведен в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Состав нерастворимых солей, образующихся при электролизе в трех природных кондиционированных растворах, масса и толщина осадка на катоде (постоянный ток)

Место скопления осадка, толщина на катоде	Состав нерастворимых солей, в %, толщина и масса осадка после электролиза								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
Электрод, следы	29,25	70,74	0	67,30	28,16	4,52	74,62	25,37	0
Электролизная ячейка	25,26	61,09	13,63	6,91	37,63	55,45	49,08	30,14	20,76
Вынесенный потоком осадок	6,70	72,33	20,95	48,06	14,34	37,58	61,03	23,71	15,24
$M_{\text{осадка}}$, г (катод)	*0/0*			*1,995*			*0,765*		
Толщина (катода) край слева, мм	*0/0*			*1,82*			*1,29*		
Толщина (катода) край справа, мм	*0/0*			*1,69*			*1,21*		
Толщина (катода) середина, мм	*0/0*			*1,61*			*1,17*		

Примечание: * замеры массы и толщины каждого электрода электролизера

На рисунке 3.15 представлена морфология осадков поверхности катодов после кондиционирования природных растворов.

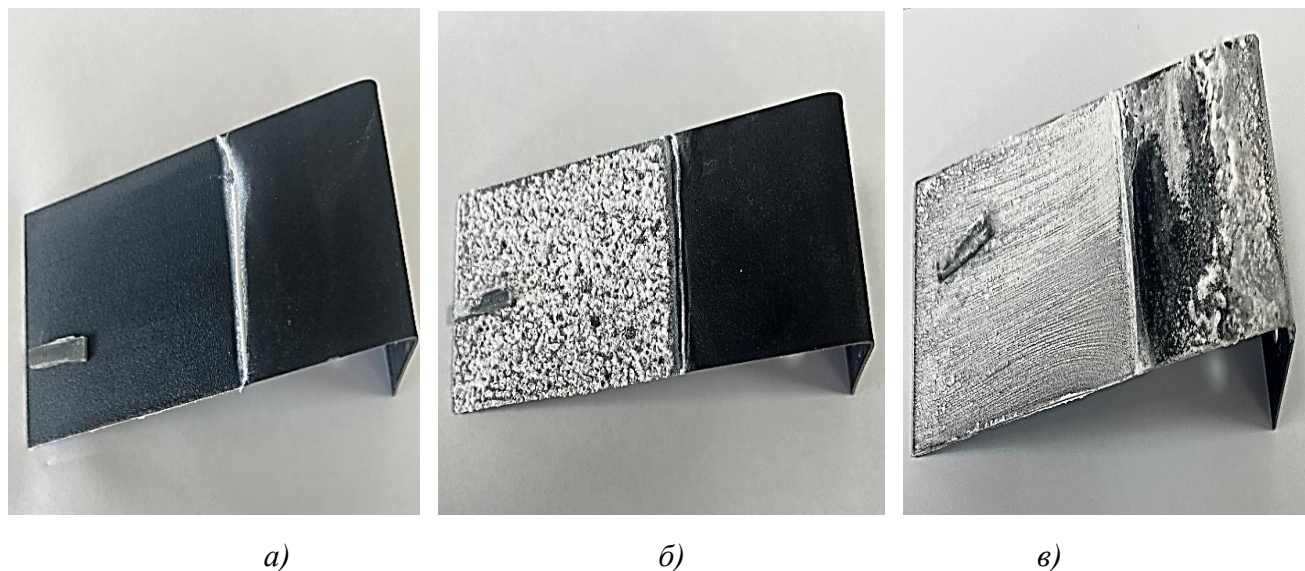


Рисунок 3.15 – Морфология осадков поверхности катодов после кондиционирования природных растворов, 10 часов проточного электролиза постоянным током:

- а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм³; i – 100 А/м²;
- б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм³; i – 500 А/м²;
- в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм³; i – 1000 А/м²

На рисунке 3.16 приведена морфология осадков поверхности катодов растворов п. Юста и оз. Улан-Хол.



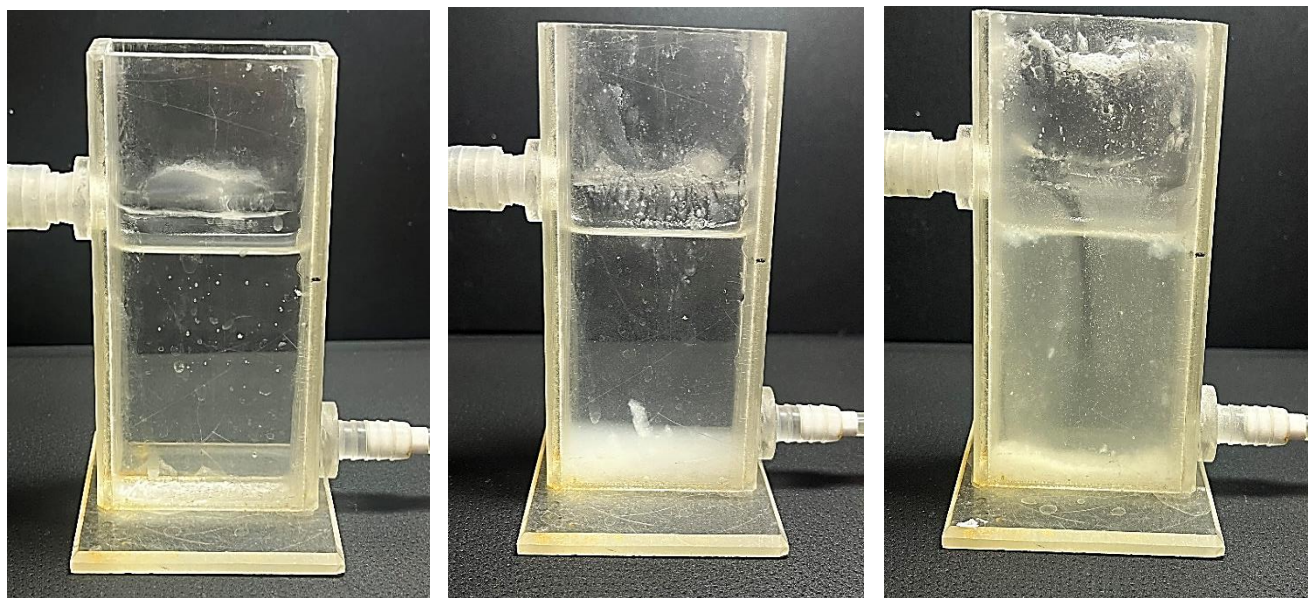
а)

б)

Рисунок 3.16 – Морфология осадков поверхности катодов (4х) после кондиционирования природных растворов, 10 часов проточного электролиза постоянным током:

- а) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; i – 500 А/м^2 ;
 б) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; i – 1000 А/м^2

На рисунке 3.17 показано, что во всех исследуемых растворах происходит накопление осадка.



а)

б)

в)

Рисунок 3.17 – Внешний вид электрохимических ячеек после кондиционирования природных растворов, 10 часов проточного электролиза постоянным током:

- а) р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм^3 ; i – 100 А/м^2 ;
 б) п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм^3 ; i – 500 А/м^2 ;
 в) оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм^3 ; i – 1000 А/м^2

Биоцидная комбинация на основе НГХН. При бездиафрагменном электролизе хлоридсодержащих растворов в готовом продукте показатель кислотности составляет 7,5 – 8,5 единиц (рисунок 3.6), что указывает на присутствие каустической соды NaOH, образующейся на катоде согласно реакции (1.3). В ряде случаев требуется более кислая среда полученного раствора, например, в интервале 7 – 8 единиц. В работе рассмотрено использование активирующего агента, чтобы после смещения обеспечить заданное значение pH. Для этого использовали реагенты, которые при растворении дают кислую среду. Это – борная кислота H_3BO_3 и медный купорос $CuSO_4$. В таблице 3.13 приведены значения pH раствора НГХН при отдельной добавке H_3BO_3 , $CuSO_4$ и их совместном присутствии для оценки необходимой массы этих веществ с целью достижения нейтральной pH (7 единиц).

Таблица 3.13 – Влияние массы реактивов H_3BO_3 и $CuSO_4$ на pH среды при отдельном и совместном присутствии в растворе НГХН

Масса добавляемого реактива, г, в 100 мл раствора гипохлорита натрия	pH раствора гипохлорита натрия при добавке борной кислоты H_3BO_3	pH раствора гипохлорита натрия при добавке медного купороса $CuSO_4$	pH раствора гипохлорита натрия при добавке смеси борной кислоты с медным купоросом с массовым отношением 1:1
0	9,30	9,30	9,30
0,1	8,73	8,34	8,48
0,2	8,55	7,94	8,23
0,3	8,44	7,68	7,98
0,4	8,32	7,43	7,81
0,5	8,24	7,14	7,66
0,6	8,18	6,83	7,49
0,7	7,98	-	7,34
0,8	7,92	-	7,16
0,9	7,89	-	6,95
1,0	7,85	-	-
3,0	6,99	-	-

Представленные в этой главе результаты исследований явились основанием для их обсуждения в главе 4.

3.4 Выводы по третьей главе

1. Определены основные показатели электролиза различных природных вод Калмыкии, к которым относятся: концентрация активного хлора, выход хлора по току и удельный расход электроэнергии.

2. Установлено, что особенностью электролиза хлоридных растворов является сопутствующее образование на поверхности катода и внутри электролизера нерастворимых солей сульфата и карбоната кальция совместно с гидроксидом магния, что ведет к перегреву электролизера и деформации электродных пластин. Расчетом показано, что их процентное соотношение в общем количестве осадка составляет: $\text{CaCO}_3 : \text{CaSO}_4 : \text{Mg}(\text{OH})_2 = 50 : 40 : 10 \%$.

3. Показана возможность устранить или подавить образование осадка путем использования переменного тока с двухчасовой продолжительностью прямой и обратной поляризации и плотности тока 100 А/м^2 (для маломинерализованных) и 200 А/м^2 (высокоминерализованных вод), не снижая при этом концентрацию гипохлорита натрия.

4. Изучено влияние и обоснован выбор материала анода для практического применения. Рекомендован анод из ОРТА благодаря наименьшей цене в сравнении с анодами другого состава и удовлетворительным показателям по выходным параметрам.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты исследований, представленные в главе 3, показали, что целесообразность коммерческого получения активного хлора зависит не только от концентрации хлорид-ионов в природных растворах, но и общего их минерального состава. Присутствие остальных компонентов может вносить существенный вклад в количество образующегося товарного продукта, а также косвенно влиять на режим электролиза в виде нерастворимых соединений, непрерывно накапливающихся на катоде электролизера.

В связи с этим, на первом этапе исследований в работе определяли переменные, влияющие на выход активного хлора (концентрация хлорид-гидрокарбонат ионов, общая минерализация, расход раствора через электролизер), а также параметры изучаемого процесса (выход хлора по току, удельный расход электроэнергии, напряжение на ванне, температура, pH, химический состав осадка и его количество на катоде).

На втором этапе вели поиск путей устранения осадкообразования на катоде как негативного и недопустимого при эксплуатации, приводящего к выходу из рабочего состояния электролизного оборудования.

В 3 главе настоящей работы представлены результаты исследований по двум перечисленным выше этапам.

В настоящей главе изучены и обоснованы результаты исследований главы 3, выданы рекомендации для разработки схемы получения активного хлора в зависимости от исходных показателей природного раствора [185, 186]. При этом будет принято во внимание суточное потребление НГХН, расположение потребителя, состав и источник для получения сырья на территории Калмыкии. Также рассмотрена транспортировка готового продукта к месту использования специализированным транспортом. Все это обеспечит охрану окружающей среды, в том числе сельских населенных пунктов, фермерских хозяйств, повысит продуктивность животноводства, зерновых культур и, самое главное, даст

доброкачественную питьевую воду после обеззараживания ее в труднодоступных территориях (Калмыкии).

Аналогичные задачи остро стоят в аридных территориях Северного Кавказа, Нижнего Поволжья и Южного Урала [187].

4.1 Оценка и обоснование выходных параметров электролиза трех природных растворов

Раствор р. Элиста. Главным и важным показателем электролиза является количество товарного продукта – активного хлора. С этой целью были получены зависимости $C_{a.x.} - q$ (рисунок 3.1), из которых следует, что время пребывания в проточном электролизере существенно влияет на выход продукта. Так, чем меньше расход, тем больше концентрация активного хлора. Однако, при дальнейшем возрастании расхода концентрация хлора снижается, стремясь к предельному значению для всех плотностей тока и природы анодных материалов. Также закономерно возрастают с увеличением плотности тока максимальные показатели концентрации активного хлора (см. таблицу 3.1). Все это протекает в соответствии с законом Фарадея.

Различие хода кривых $C_{a.x.} - q$ связано с природой анодного покрытия. Еще в работе [158] было показано, что состав покрытия заметно влияет на выход хлора. Закономерно, наибольшие концентрации продукта соответствуют электроду №I – ОРТА, хотя при больших плотностях тока – 100 А/м^2 электрод №III с палладием заметно конкурирует с ОРТА. Это дает основание рекомендовать использовать любой из электродов (№I или №III) в производственном электролизере.

Важным показателем любого электрохимического процесса является выход продукта по току η , %. С этой целью в работе проведены соответствующие исследования (рисунок 3.2). В результате установлено, что эти зависимости близки по характеру кривых.

На начальных расходах имеют крутую характеристику прироста η , а затем стремятся к некоторому предельному значению при бесконечном q . Из исследуемых анодов наибольший прирост η достигается на электроде №I, кроме

опыта, приведенного на рисунке 3.2, д. Также необходимо отметить большое различие значений η между электродами №I, II, III. Низкий выход хлора по току соответствует минимальному расходу раствора (20 – 35 %), а максимальные значения приходятся на большие расходы.

При сравнении данных рисунков 3.1 и 3.2 возникает парадоксальная ситуация. Получается, что если концентрация активного хлора наибольшая при малых расходах раствора, то показатель выхода продукта по току наихудший. Однако это объясняется тем, что количество пропущенного электричества нерационально расходуется из-за малого протока раствора через электролизер. Удельный расход электроэнергии – главный энергетический показатель процесса, наименьший при малых расходах раствора. Лучшим электродом для обеспечения минимальных затрат электроэнергии W является электрод №I – ОРТА.

На рисунке 3.5 приведены значения температуры раствора на выходе из электролизера, которые остаются постоянными при любых расходах, но отличаются друг от друга в зависимости от природы анодного покрытия. Это указывает на то, что выбранные плотности тока не разогревают раствор благодаря его высокой электропроводности, а повышение температуры связано с особенностями электрохимических процессов на электродах №I, II, III [188].

Оценка значений pH раствора после электролиза показывает, что при всех плотностях тока и, независимо от природы анодного покрытия электродов, происходит увеличение щелочности с ростом расхода электролита через электролизер.

Из этих зависимостей следует, во-первых, для всех опытов характерен рост pH от начальных 7,5 – 8,0 до 8,5 единиц в среднем. Причем эта зависимость для электродов №I и II носит экстремальный характер и приходится на расход раствора 1,5 – 2,0 дм³/ч. Во-вторых, электрод №III имеет отличительную закономерность, не имеет максимума, а его зависимость pH – q стремится к росту. Можно утверждать, что электролиз с использованием электрода №III в большей степени повышает

показатель pH, т. е. сдвигает реакцию среды полученного продукта в щелочную среду с увеличением расхода раствора через электролизер.

Повышение щелочной среды раствора при росте его расхода через электролизер можно объяснить тем, что для малых q достигаются условия полного смешения между собой продуктов, образующихся на электроде, что не достигается при высоких q . Но наиболее вероятная причина такого явления, по-видимому, связана с увеличением расхода щелочности OH^- на образование осадка на катоде из-за малой скорости протекания раствора. При большем q осадка образуется меньше, следовательно, освобождается OH^- и pH растет. Для окончательного объяснения наблюдаемого явления требуются в дальнейшем специальные исследования.

В исследование также выполнены исследования двух водных объектов (подземная вода п. Юсты, оз. Улан-Хол) с оценкой шести основных показателей, как в п. 3.1. Результаты опытов показали схожесть хода кривых исследуемых зависимостей с раствором р. Элиста, они приведены в приложении Б, таблицы Б1 – Б3. Различие состоит в том, что повышение минерализации отражается не только на выходе товарного продукта, но и снижает энергетические затраты на электролиз.

4.2 Природа образования отложений на катоде при электролизе природных растворов. Методы борьбы с осадками

Постоянный ток. Проточный режим электролиза. Для исследования были выбраны обоснованные плотности тока природных растворов и проточный режим электролиза (см. с. 42). Из таблицы 3.3 следует, что за 10 часов электролиза были получены стабильные результаты концентрации активного хлора на выходе из электролизера. Однако процесс сопровождается образованием осадка на поверхности катода. Причем внешний вид осадка зависит от природы раствора (рисунок 3.7). Осадок образуется на поверхности катода, обращенной к аноду. На противоположной стороне накопления незначительны. Хорошо видны осадки и на

боковой грани катода (рисунок 3.7). В таблице 3.7 приведены данные толщины и массы осадков на катодах.

В опытах также было установлено, что часть осадков накапливается в электролитической ячейке (рисунок 3.8), а другая выносится наружу потоком.

Пояснение процессов во времени в виде последовательных событий электролиза природных растворов на поверхности катода и в ячейке при постоянном токе представлено на рисунке 4.1.

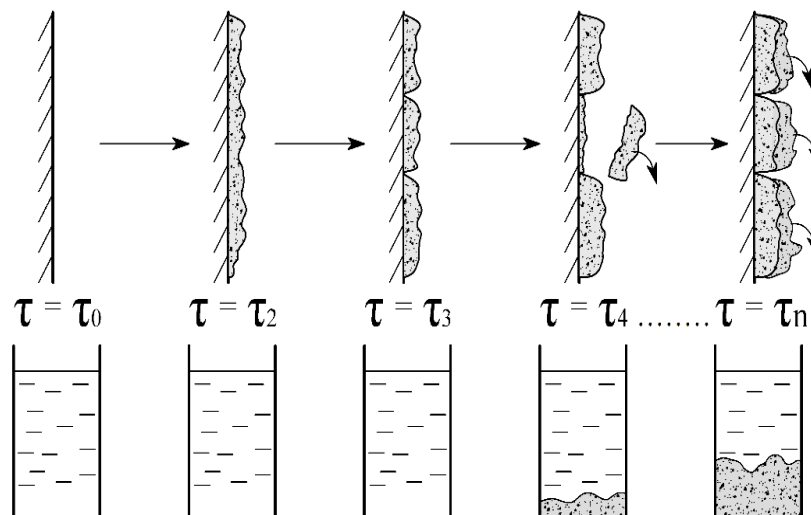


Рисунок 4.1 – Схема, поясняющая процессы на поверхности катода при электролизе постоянным током и динамика накопления осадка в ячейке электролизера

Морфология осадков на катоде исследуемых растворов заметно отличается. Для раствора р. Элиста характерно мелкозернистое образование осадка. Раствор п. Юста образует смешанный осадок из мелких и крупных фрагментов, а раствор оз. Улан-Хол характеризуется аморфным осадком. Эти отличия связаны с составом исследуемых растворов.

Как следует из данных таблицы 3.7 химический состав исследуемых растворов существенно влияет на количество и качество образуемых нерастворимых соединений CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ как на катоде, так и в ячейке на выходе из электролизера.

Сравнение химического состава исходных растворов р. Элиста, п. Юста, оз. Улан-Хол (таблица 2.1) и весового содержания осадков в %: CaCO_3 , CaSO_4 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в различных точках контроля не выявило закономерности. Тем не менее, следует отметить, что в пересыщенном солями растворе оз. Улан-Хол по

сравнению со среднеминерализованным раствором п. Юста осадков образуется сопоставимое количество. Следовательно, высококонцентрированные минеральные растворы вполне технологичны для получения активного хлора не только из-за высокой концентрации хлорид-ионов, но и необременительного образования осадков. Последнее указывает на то, что не состав раствора определяет количество осадка, а величина пропущенного электричества. Действительно, чем больше образуется ионов OH^- по реакциям (1.7) – (1.9), тем больше выпадает в осадок солей CaCO_3 , CaSO_4 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Полученные в работе результаты электролиза природных растворов указывают на присутствие крайне негативного при этом процесса – образование нерастворимых соединений кальция и магния на катоде, что ведет к аварийной ситуации.

Как отмечалось ранее, устранить этот процесс или его максимально подавить возможно путем использования переменного тока или изменением качества исходного раствора, т. е. использовать метод физической химии – электрохимический процесс, или химический – путем удаления из раствора компонента, участвующего в образовании осадка. В последующих исследованиях вначале использован переменный ток для оценки его возможности применения на практике.

Переменный ток. Проточный режим электролиза. Электролиз постоянным током при выбранных режимах процесса показал, что неизбежно наблюдается образование осадка на катоде, его накопление в электрической ванне и при выносе в емкость для сбора полученного раствора активного хлора (рисунки 3.7 и 3.8).

Согласно рекомендациям [159] оптимальным условием электролиза был выбран режим переменного тока, когда продолжительность прямой и обратной поляризации составляла 2 часа.

Из таблицы 3.8 следует, что в течение 12 часов электролиза были получены стабильные показатели 3-х исследуемых растворов по: концентрации активного хлора, температуре, рН и напряжению. Эти значения соответствуют аналогичным показателям при электролизе постоянным током, что доказывает непрерывность процесса электролиза образования активного хлора.

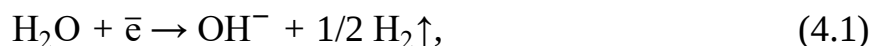
На рисунке 3.10 приведены фотографии внешнего вида поверхности катодов после 12 часов электролиза переменным током трех природных растворов. Обращает внимание образование осадка только на одном электроде в растворе оз. Улан-Хол. Морфология осадка приведена на рисунке 3.11.

На остальных катодах, независимо от природы раствора, осадки не наблюдали. Зато они явно накапливались во всех ячейках исследуемых растворов (рисунок 3.12), причем больше всего – после электролиза раствора оз. Улан-Хол (рисунок 3.12, в).

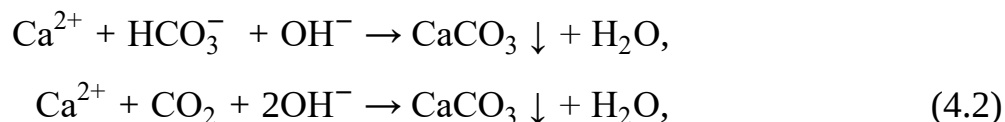
Результаты исследований трех природных растворов при электролизе переменным током в проточном режиме представлены в таблице 3.9. Из нее следует, что осадки также образуются, но на поверхности не задерживаются, а выносятся потоком. В растворе оз. Улан-Хол осадок удерживается и накапливается на поверхности.

Необходимо дать объяснение, почему только в растворе оз. Улан-Хол образуется осадок на поверхности электрода при выбранных режимах электролиза?

Согласно принятым представлениям на катоде происходит разряд молекулы воды по реакции



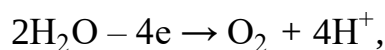
а в прикатодном пространстве свободная углекислота CO_2 и ионы гидрокарбоната HCO_3^- взаимодействуют с ионами кальция Ca^{2+} и гидроксила OH^- с образованием нерастворимой соли CaCO_3 по реакциям:



при этом одновременно образуется гидроксид $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Кроме того, повышенная концентрация ионов кальция у поверхности катода стимулирует к образованию еще одной нерастворимой соли – ангидрита кальция CaSO_4 .

Все это реализуется пока электрод остается катодом. При смене полярности, когда электрод становится анодом, реализуется реакция окисления воды



а выделяющаяся кислота H^+ , растворяет часть осадка на границе раздела электрод–осадок согласно рисунку 4.2.

Осадок теряет контакт и покидает поверхность анода. И так повторяющиеся во времени процессы в ячейке и на электродах, которые последовательно являются: катодом $\rightarrow$ анодом $\rightarrow$ катодом $\rightarrow$ анодом... и т. д.

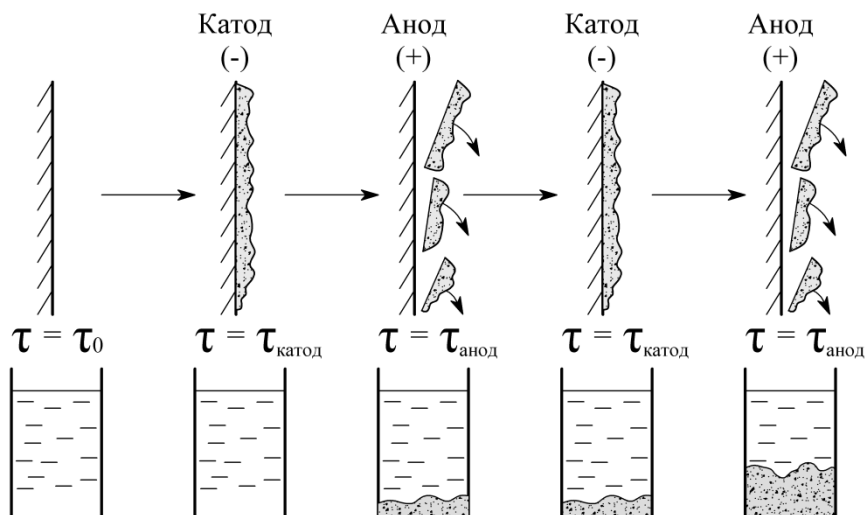


Рисунок 4.2 – Схема, поясняющая процессы на поверхности электрода при последовательном изменении полярности тока и динамика накопления осадка в ячейке электролизера

Таким образом, в катодный период переменного тока образуется осадок в течение двух часов, а затем разрушается и накапливается в ячейке и накопительной емкости. И так может продолжаться достаточно долго.

Отсюда следует, что при переменном токе также образуются осадки, но они не накапливаются на электроде согласно выше приведенному объяснению.

Накопление же осадка на поверхности катода при электролизе раствора оз. Улан-Хол объясняется тем, что с учетом его высокой минерализации, особенно по сульфат-ионам, образуется пленка, не поддающаяся кислотному растворению в анодный период тока. Это подтверждают данные таблицы 3.9, согласно которой доля ангидрита кальция наибольшая в осадке электрода. Кроме того, из таблицы 3.9 следует, что контакт с поверхностью электрода легче теряет CaCO_3 , а не CaSO_4 благодаря быстрому растворению карбоната кальция в кислой среде анодной поверхности.

Для устранения осадка в растворе оз. Улан-Хол при электролизе переменным током было принято решение уменьшить время прохождения прямого и обратного тока до 0,5 часа. В результате электролиза указанного раствора в течение 12 часов не наблюдали образование осадка на поверхности электродов.

Очевидно, что за 0,5 часа образуется такое незначительное количество осадка на катоде, что в анодный период он теряет контакт с поверхностью электрода и выносится потоком раствора.

Переменный ток. Циркуляционный режим электролиза. Проточный режим электролиза не обеспечивает возможность максимально использовать хлорид-ионы для синтеза активного хлора. То есть то, что успело прореагировать – дало результат, остальные ионы прошли транзитом через электролизер. Если вновь вернуть этот раствор в электролизер, то, очевидно, количество активного хлора в растворе прибавится.

При дальнейшей циркуляции электролита концентрация товарного продукта будет расти до определенного предельного значения. Причем, чем больше концентрация хлоридов в растворе, тем больше можно получить активного хлора. Для подтверждения этого был проведен электролиз переменным током в режиме непрерывной циркуляции растворов р. Элиста, п. Юсты и оз. Улан-Хол (рисунок 4.3).

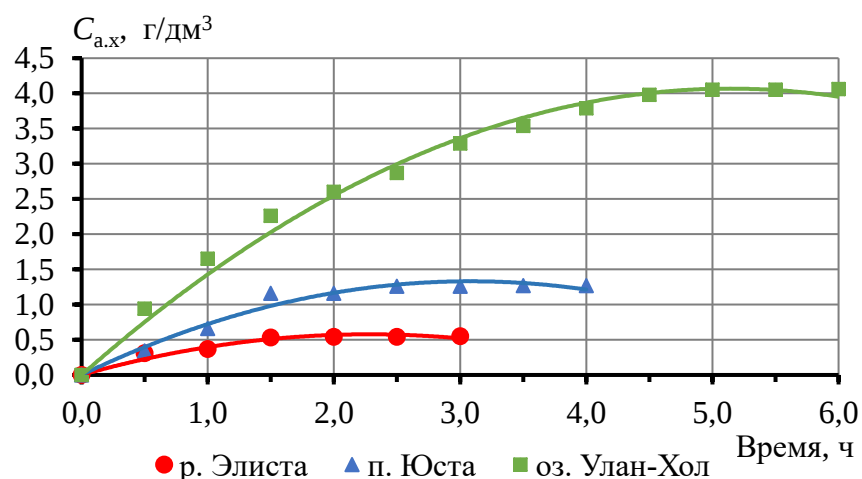


Рисунок 4.3 – Зависимость концентрации активного хлора от времени электролиза переменным током в циркуляционном режиме:

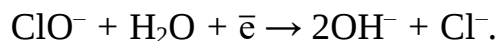
р. Элиста, минерализация – 5760 мг/дм³; i – 100 А/м²;

п. Юста, минерализация – 10050 мг/дм³; i – 100 А/м²;

оз. Улан-Хол, минерализация – 304560 мг/дм³; i – 200 А/м²

Из рисунка 4.3 следует, что, действительно, при выбранных и обоснованных ранее (см. глава 2) плотностях тока рост концентрации для каждого раствора завершается предельным значением, которое зависит от содержания хлорид ионов. В дальнейшем электролиз раствора приводит только к затратам электроэнергии.

Если сравнить между собой исследуемые растворы по содержанию в них хлорид-ионов, то в оз. Улан-Хол их несопоставимо больше (в 50 раз), а прирост активного хлора р. Элиста и п. Юста составляет соответственно всего в 8 и 4 раза. Это можно объяснить тем, что кроме образования активного хлора на аноде согласно формулам (1.4) – (1.6) происходит его восстановление на катоде (на том же электроде, после изменения полярности) до хлорид-ионов с одновременным подщелачиванием раствора



В результате, по-видимому, в сильноминерализованных растворах (по хлоридам) восстановление гипохлорит-иона происходит с меньшим перенапряжением [189] и тем самым снижает выход товарного продукта.

Из рисунка 4.3 также следует, что полученные ранее результаты указывают на неэффективность использования постоянного тока плотностью 1000 А/м². Она не дает заметного преимущества в получение активного хлора в сравнении с переменным – плотностью 200 А/м², при котором к тому же не происходит образования осадков на катоде. Последнее является приоритетом в выборе вида тока электролиза. Из 250 граммов хлорид-ионов раствора образуется около 4 граммов активного хлора, т. е. коэффициент использования ионов составляет всего 1,6 %. Следовательно, в готовом продукте с концентрацией активного хлора в 4,15 г/дм³ будет присутствовать практически тот же раствор, который использовали в качестве сырья. Применять такой раствор, содержащий активный хлор, невозможно из-за его высокой минерализации. Очевидно, нужно выбрать природный раствор со значительно меньшей минерализацией, или разбавить высокоминерализованный пресной водой (возможно, атмосферной), до концентраций хлорид-ионов, например, р. Элиста и подземной п. Юста.

В растворах указанных объектов хлорид-ионы используются для получения активного хлора соответственно на 37 и 26 %.

Следовательно, высокоминерализованные растворы типа оз. Улан-Хол надо рассматривать как минеральное сырье для дальнейшего разбавления пресной водой (до 5 – 10 г/дм³) перед электролизом.

Водоподготовка природного раствора для снижения гидрокарбонатной щелочности. Согласно результатам на с. 86-91, образование осадка на катоде электролизера при синтезе активного хлора связано изначально с участием двух компонентов в растворе: гидрокарбонат-ионов HCO_3^- и гидроксильных ионов OH^- . Первый компонент всегда присутствует в природном растворе за счет контакта с воздухом, содержащим углекислый газ, и с водой. Второй – образуется на катоде при электролизе согласно реакции восстановления молекулы воды (4.1). Одновременное присутствие указанных ионов в растворе образует новый ион – карбонат CO_3^{2-} согласно формуле (4.2). Так как в трех изучаемых природных растворах всегда присутствуют ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} в большем или меньшем количестве, то наличие ионов OH^- и CO_3^{2-} неизбежно приводит к образованию двух новых веществ: CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а также будет стимулировать появление в прикатодном слое еще одного – сульфата кальция CaSO_4 .

Согласно данным [190, 191, 192] предотвращение образования осадка возможно путем удаления из раствора образующих его ионов: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . Очистка раствора от SO_4^{2-} , Ca^{2+} и Mg^{2+} является труднореализуемой задачей как с экологической, так и с экономической точек зрения. Что касается ионов HCO_3^- , то их количество в исследуемых растворах согласно данным таблицы 2.1 значительно уступает концентрации ионов жесткости Ca^{2+} , Mg^{2+} и не представляет собой сложную задачу.

Рассмотрим пути решения задачи водоподготовки природного раствора с целью снижения карбонатной щелочности HCO_3^- .

Удаление HCO_3^- имеет определенные операции, связанные с использованием либо реагентов, либо ионообменных материалов. В любом случае

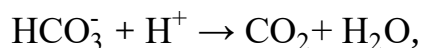
эти методы необходимо рассматривать как альтернативный переменному току, использование которого требует специального электротехнического оборудования [158].

Предотвращение образования осадка может быть достигнуто удалением из исходного, направляемого на электролиз, раствора осадкообразующего аниона гидрокарбоната. Этого можно добиться тремя методами:

1) метод снижения гидрокарбонатной щелочности воды путем обработки известью с последующим осаждением карбоната кальция. Этот метод достаточно сложен из-за запыленности рабочего пространства в зоне известкового хозяйства при хранении, приготовлении и дозировании известкового молока;

2) удаление щелочности воды Cl-ионированием путем фильтрования воды через слой анионита, регенерируемого раствором поваренной соли. При этом Cl-анионит поглощает ионы SO_4^{2-} и HCO_3^- , отдавая эквивалентное количество хлор-ионов. Этот метод имеет свои недостатки, в том числе: сложность эксплуатации ионообменной установки, связанная с необходимостью систематической регенерации ионообменного материала и относительно низкой рабочей обменной емкостью анионита по HCO_3^- (не более 200 г-экв/м³), что объясняется наличием, как правило, сульфатов в природной воде, на которые и приходится основная часть обменного иона. Таким образом этот метод может быть рекомендован при электролизе природных вод с невысокой концентрацией сульфат-ионов;

3) метод подкисления воды до pH = 4,0 – 4,2 с переводом иона гидрокарбоната в свободную углекислоту:



с последующей отдувкой CO_2 в дегазаторе пленочного, барботажного или иного типа.

Метод подкисления воды для перевода гидрокарбонатов HCO_3^- в свободную углекислоту H_2CO_3 , CO_2 с последующим ее удалением воздушной аэрацией был выбран как наиболее экологичный. Результаты использования этого метода представлены в таблице 3.10 для трех исследуемых растворов.

Из таблицы 3.10 следует, что если считать необходимую эквивалентную дозу кислоты для перевода HCO_3^- в CO_2 при дегазации воды, поступающей на электролиз, равной эквивалентной концентрации гидрокарбонатной щелочности и с учетом того, что 1 мг-экв HCl соответствует 36,45 мг 100 %-й HCl , то расход 3 %-й (30 г/дм³) соляной кислоты на 1 м³ воды, используемой в качестве сырья для получения гипохлорита натрия будет равным для:

– р. Элиста ($\text{HCO}_3^-_{\text{исх}} = 6,6 \text{ мг-экв/дм}^3$) = $6,6 \cdot 36,45 = 240,57 \text{ мг/дм}^3 = 240,57 \text{ г/м}^3$
или $240,57 \text{ г} \cdot 1 \text{ дм}^3 / 30 \text{ г} = 8,02 \text{ дм}^3/\text{м}^3$;

– п. Юста ($\text{HCO}_3^-_{\text{исх}} = 2,5 \text{ мг-экв/дм}^3$) = $2,5 \cdot 36,45 / 30 = 3,04 \text{ дм}^3/\text{м}^3$;

– оз. Улан-Хол ($\text{HCO}_3^-_{\text{исх}} = 2,0 \text{ мг-экв/дм}^3$) = $2,0 \cdot 36,45 / 30 = 2,43 \text{ дм}^3/\text{м}^3$.

Результаты этих расчетов требуются при назначении установки водоподготовки природных растворов перед их электролизом для получения активного хлора.

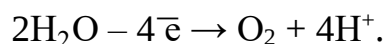
Оценка влияния на основные выходные результаты электролиза постоянным током природных растворов: концентрация активного хлора; t °С; pH и напряжение на электролитической ванне трех исследуемых объектов после удаления гидрокарбонатов приведена в таблице 3.11. Чтобы оценить роль водоподготовки, сравним полученные результаты с данными таблицы 3.3, которые были получены в растворах без снижения гидрокарбонатной щелочности HCO_3^- и с теми же условиями проведения опытов.

На рисунке 3.15 показан внешний вид осадков на поверхности катодов, из которого следует, что снижение гидрокарбонатной щелочности в трех исследуемых растворах дало положительный результат только на одном электроде (отсутствие осадка после электролиза раствора р. Элиста, рисунок 3.15, а). Внешний вид осадков на электродах, полученных в остальных растворах, похож на аналогичные опыты (рисунок 3.9). В то же время образование осадка происходило на всех электродах, а в растворе р. Элиста он не удерживался на поверхности катода и выносился потоком, оставаясь частично в ячейке (рисунок 3.17).

В целом же обработанные растворы после электролиза улучшают основной показатель – выход активного хлора объектов р. Элиста, п. Юста, оз. Улан-Хол соответственно в 1,7; 3,5; 1,4 раза.

Увеличение выхода активного хлора после снижения гидрокарбонатной щелочности исследуемых растворов может быть обусловлено двумя причинами.

1. Влияние щелочности на анодные процессы, в результате которых снижается доля электричества, идущего на образование кислорода, что дает прибавку выхода активного хлора



2. Особенности образования осадка на катоде. Подробно остановимся на роли осадка в образовании товарного продукта. Непропорционально большой прирост активного хлора, вероятно, связан с особенностью минерального состава раствора п. Юста, в котором заметно преимущество доли солей жесткости Ca^{2+} , Mg^{2+} в общем минеральном составе по сравнению с другими исследуемыми объектами. Накопление наиболее плотного и массивного осадка как раз образуется на катоде после электролиза раствора п. Юста (рисунок 3.15, б, таблица 3.12). Из сравнения данных таблиц 3.7 и 3.12 следует, что в осадках раствора п. Юста заметно возрастают доли CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ после снижения щелочности. На первый взгляд это кажется нелогичным, т. к. если щелочность была снижена кислотой, то почему CaCO_3 стало больше в осадке раствора п. Юста по сравнению с раствором, не подвергнутым такой обработке?

В действительности, благодаря доминирующему присутствию в общем минеральном составе раствора п. Юста солей жесткости неизбежно происходит образование осадка по двум причинам. Во-первых, остаточная щелочность всегда присутствует в пределах 0,6 – 0,8 мг-экв/дм³. Во-вторых, ион OH^- образуется за счет неизбежного восстановления молекулы воды согласно формуле (1.3). Наблюдаемый в опыте плотный осадок на катоде затрудняет восстановление образовавшихся на аноде гипохлорит-ионов $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$, это влечет за собой увеличение концентрации активного хлора, что и отмечается в

опытах. Этот эффект в меньшей степени установлен в растворе р. Элиста из-за незначительного, едва заметного осадка на катоде. Эта закономерность по той же причине была обнаружена в растворе оз. Улан-Хол. Но в силу меньшего по толщине осадка на катоде (таблица 3.12) по сравнению с аналогичным показателем в растворе п. Юста, восстановление гипохлорит-иона было затруднено, что, в целом, увеличило выход активного хлора по сравнению с раствором, не подвергнувшимся операции снижения щелочности (таблица 3.3).

Полученные результаты применения водоподготовки природной воды для снижения гидрокарбонатной щелочности с целью снижения образования осадка на катоде и увеличения выхода товарного продукта позволили установить следующее.

Для снижения щелочности необходимо подкисление исходного раствора соляной кислотой до $\text{pH} = 4,0 \div 4,2$ единицы с последующей отдувкой CO_2 воздухом. Исследования показали, что этот метод можно использовать только для природных хлоридсодержащих растворов с минерализацией не более 5000 мг/дм^3 из-за отсутствия заметного осадкообразования. При этом установлено, что выход товарного продукта – активного хлора возрастает в 1,7 раза по сравнению с электролизом без водоподготовки, что дает существенный прирост производительности электролизного оборудования, благодаря защитной функции осадка от восстановления на катоде активного хлора.

При больших минерализациях природных растворов, даже после снижения щелочности, осадок также интенсивно накапливается, что недопустимо в эксплуатации оборудования, хотя концентрация активного хлора существенно возрастает.

4.3 Корректировка кислотности раствора гипохлорита натрия активирующими добавками

Как было ранее показано, продуктами электролиза хлоридных растворов являются соединения, относящиеся к понятию «активный хлор»: Cl_2 , HClO , ClO^- . Их количество и взаимное соотношение характеризуется окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП). ОВП – это физико-химическая

характеристика раствора, измеряемая в милливольтках (мВ), как разность потенциалов между стандартным водородным электродом (принимается условно за «О») и исследуемым (платиновым), на котором реализуется равновесное состояние между участниками реакции. Определение ОВП осуществляется без прохождения тока через исследуемый электрод при помощи высокоомного вольтметра, значения которого могут быть либо отрицательными, либо положительными. Раствор с отрицательным значением ОВП имеет восстановительные свойства, а с положительным – окислительные.

Активный хлор повышает положительный уровень ОВП в ряду соединений: $\text{ClO}^- \rightarrow \text{HClO} \rightarrow \text{Cl}_2$. Высокий потенциал ОВП для этого ряда характерен в кислых средах хлору Cl_2 . В нейтральных щелочных средах активный хлор в нашем случае соответствует гипохлориту натрия NaClO . В зависимости от ОВП известные на практике окислители можно представить следующим рядом (таблица 4.1) [193].

В нашем случае в результате электролиза хлоридсодержащих природных растворов образуется гипохлорит натрия с показателем pH в интервале 7,3 – 8,8 в зависимости от условий процесса. Следовательно, pH среды полученного раствора является щелочной: от слабой 7,5 до сильной 9,0 единиц.

Таблица 4.1 – ОВП окислителей

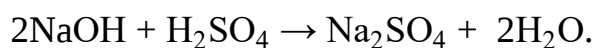
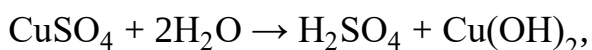
Окислитель	Значение потенциала, В	Среда
O_3	2,07	Кислая
H_2O_2	1,77	-//-
HClO	1,63	-//-
Cl_2	1,63	-//-
KMnO_4	1,51	-//-
O_2	1,23	-//-
Cl_2	1,36	Нейтральная
O_2	0,84	-//-
NaClO	0,84	-//-
O_3	1,24	Щелочная
ClO_2	1,16	-//-
NaClO	0,89	-//-
NaClO_2	0,66	-//-
NaClO_3	0,33	-//-

Непосредственное использование такого препарата, как биоцидного средства, с явно выраженными щелочными свойствами имеет негативные последствия. Это связано с тем, что при культивировании плодовых деревьев, обработке зерновых культур в местах складирования требуется биоцидная обработка для борьбы с многочисленными патогенными микроорганизмами, которые существуют в почве, переносятся ветром и самим человеком. В качестве примера можно привести опасного микроорганизма *Ergwinia amylovora*, который вызывает повреждение стволов, листьев деревьев.

Применение щелочного раствора, содержащего активный хлор, не всегда из-за этого окажет положительное действие на растения, но в любом случае будет вредным воздействием на человека и окружающую среду. Присутствие каустической соды – сопутствующего продукта синтеза активного хлора по данным работы [48] резко снижает биоцидную активность препарата, зато при нейтрализации щелочи защитная активность заметно возрастает.

В настоящей работе предложено использование корректирующих добавок для снижения pH после электролиза природных растворов. Активированный раствор для биоцидной обработки растений был получен путем добавки в готовый раствор после электролиза соли меди CuSO_4 и борной кислоты H_3BO_3 .

Медный купорос также является кислым реагентом, т. к. при гидролизе – взаимодействии с водой образуется серная кислота, нейтрализующая избыточную щелочность OH^- :



Результаты взаимодействия с раствором ГХН отдельно медного купороса, борной кислоты и при их совместном введении для корректировки pH приведены в таблице 3.13. Из нее следует, что массы добавляемых веществ для достижения требуемой $\text{pH} = 7$ составляют всего 3 % по борной кислоте; 0,6 % по медному купоросу и 0,9 % при их совместном присутствии (массовое отношение 1:1). Это техническое решение защищено патентом РФ №2828663 [146].

Можно утверждать, что предложен простой экономический способ получения биоцидного препарата на основе раствора гипохлорита натрия за счет использования природных минерализованных хлоридсодержащих вод, обладающего достаточными бактерицидными и в то же время безопасными свойствами за счет регулирования значения pH до требуемого уровня.

При этом необходимо учесть то обстоятельство, что соединения бора и меди являются самостоятельно также биоцидными препаратами и широко применяются на селе [77].

В работе [78] показано, что после мокрого протравливания ячменя и пшеницы комбинированным раствором гипохлорита натрия с борной кислотой и медным купоросом $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4$ с $\text{pH} = 8,06$ обеспечивается интенсивность энергии прорастания и всхожести. Без добавок ГХН снижает энергию и всхожесть, но улучшает микробиологические показатели зерна. Как утверждают авторы статьи, исходя из этого, в каждом конкретном случае необходимо проведение дополнительных исследований, которые будут направлены на определение необходимых концентраций ГХН для соблюдения требуемых микробиологических показателей зерна.

Регулирование масштаба получения и концентрации товарного продукта – НГХН является прерогативой технолога, который работает в тесном контакте с потребителем.

Анализ результатов исследований работы исходя из задач, сформулированных в начале настоящей главы, дают основание для выбора и назначения установки получения НГХН на базе природных хлоридсодержащих растворов на примере территории Калмыкии.

4.4 Оценка возможности приготовления рабочего раствора гипохлорита натрия методом разбавления ВГХН

Рассмотрим другой путь повышения кислотности раствора ГХН без применения реагентов. Как было отмечено в настоящей работе, основным достоинством ГХН является его окислительная способность, которая активно проявляется при деструкции органических, загрязняющих веществ – отходов

агрокомплексов и обладает широким спектром обеззараживающего действия. Согласно таблице 4.1 окислительные свойства ГХН возрастают с уменьшением его рН. Хотя привозной ВГХН имеет значительное содержание активного хлора, но его «активность» ограничена высоким показателем рН (11 – 13,5). Понизить рН возможно кислыми реагентами (соляной или серной кислотами), что в условиях сельских районов крайне обременительно и к тому же опасно из-за возможной передозировки реагентов, что приведет к выбросу газообразного хлора в окружающую среду со всеми трагичными последствиями.

Снизить рН ВГХН возможно природной (атмосферной) или водопроводной водой, что совершенно безопасно, т. к. показатель ее активной среды обычно не превышает 8,2 единиц. Для этого были проведены опыты (таблица 4.2) для оценки возможного использования воды с целью снижения рН раствора ВГХН (на примере реагента «Белизна»). После разбавления в 2000 раз водопроводной водой концентрация активного хлора «Белизны» составила 0,017 г/дм³ или 17 мг/дм³.

Таблица 4.2 – Изменение рН раствора при разбавлении «Белизны», с концентрацией по активному хлору 32,8 г/дм³ и рН=11,8

№ п/п	Объем раствора, мл	Объем «Белизны», мл	рН	Степень разбавления, в раз
1	90	0	8,15	0
2	100	10	10,54	10
3	250	1	8,90	250
4	500	1	8,61	500
5	500	0,5	8,42	1000
6	1000	0,5	8,32	2000

Очевидно, что для достижения низких значений рН путем разбавленного раствора потребуются значительные объемы пресной воды, крайне дефицитной на территории Калмыкии. К тому же полученная в конечном итоге концентрация активного хлора недостаточна для ряда операций обработки объектов животноводства и зерноводства (см. таблицу 1.1).

Полученные результаты дополнительно подтверждают выводы в п. 1.2.1 о нецелесообразности использования привозного ВГХН.

4.5 Выводы по четвертой главе

1. На основании проведенных исследований формализованы зависимости: концентрации активного хлора от времени электролиза переменным током в циркуляционном режиме двух поверхностных источников реки Элисты, озеро Улан-Хол и подземной – в поселке Юста направленных на возможность использования природных вод Калмыкии для получения НГХН.

2. Обоснована возможность использования переменного тока, или изменением качества природного раствора существенно снизить или предотвратить образование осадка на катоде электролизера при получении НГХН.

3. Исследовано объяснение процессов накопления и осыпания осадка на поверхности катода при электролизе постоянным и переменным токами.

4. Обоснована необходимость корректировки использования добавок для снижения рН раствора после электролиза природных растворов солью меди CuSO_4 и борной кислоты H_3BO_3 .

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НГХН ЭЛЕКТРОЛИЗОМ ПРИРОДНЫХ РАСТВОРОВ

Результаты исследований, представленные в главе 3 и их обсуждение в главе 4, дают основание для выбора установки получения НГХН с учетом химического состава природных растворов.

Привязка в работе к трем сырьевым ресурсам, отличающимся содержанием хлорид-ионов, позволила оценить возможность использования таких растворов для электролиза с учетом особенностей его протекания при синтезе товарного продукта.

Отметим, какие основные выводы можно сделать по результатам выполненных исследований.

1. Определены переменные, влияющие на выход активного хлора: концентрация хлорид-ионов, общая минерализация, расход раствора через электролизер (проточный и циркуляционный режимы), материал анода.

2. Установлено, что показатель концентрации хлоридов в растворе не является основанием оценки возможности получения соответствующего количества НГХН.

3. Электролиз природных растворов всегда сопровождается негативным процессом – образованием осадка на катоде электролизера.

Обнаруженные особенности электролиза трех природных растворов играют важную роль и были приняты во внимание при назначении установки получения НГХН.

5.1 Выбор и обоснование установки

По выходным данным электролиза трех природных растворов, приведенным на с. 62, трудно отдать предпочтение какому-то из них как сырьевому источнику получения НГХН, каждый имеет достоинства и недостатки. Так, р. Элиста дает низкую концентрацию активного хлора, но высокий выход продукта по току (24 – 27 %). В растворе п. Юста после электролиза содержится больше активного хлора (0,9 – 0,95 г/дм³), зато он проигрывает по выходу хлора (8 – 12 %), а удельные затраты на электроэнергию самые высокие из всех рассматриваемых растворов (18,6 – 20,2 кВт·ч/кг) и т. д.

Из этого следует, что для каждого потенциального источника сырья нужен индивидуальный подход с учетом его качества, количества и назначения получаемого продукта, энергетического ресурса (электроэнергии), который производится на месте или централизованно подается потребителю.

Добыча, транспортировка и накопление природного раствора. Отмеченные выше три основных вывода легли в основу предлагаемых схем получения электролизом активного хлора из природных растворов: р. Элиста, п. Юста и оз. Улан-Хол.

Общими для всех схем являются добыча, транспортировка природного раствора и его накопление (рисунок 5.1). К поверхностным источникам, в нашем случае, относятся: р. Элиста и оз. Улан-Хол. К подземному – п. Юста.

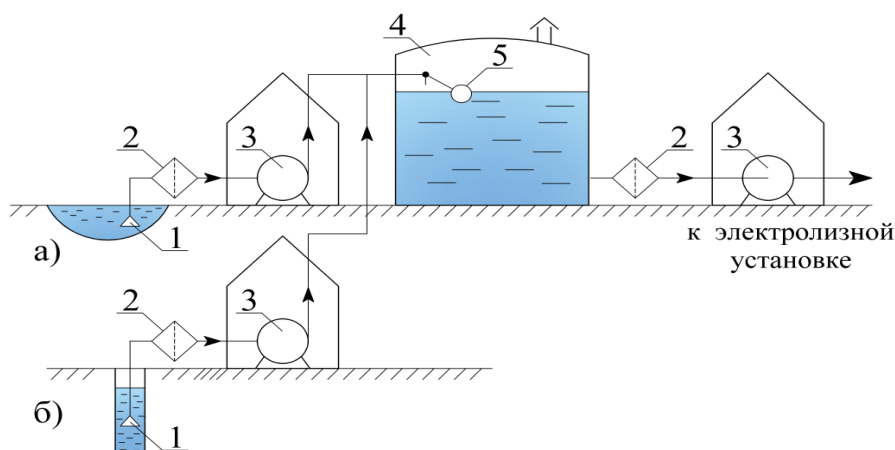


Рисунок 5.1 – Схема добычи, транспортировки и накопления природного раствора из источника: а – поверхностного; б – подземного:

1 – природный раствор; 2 – механический фильтр ; 3 – подающий насос;
4 – накопительный резервуар; 5 – шаровой клапан

Регулирование добычи раствора осуществляется с помощью шарового клапана 5, от которого поступает электрический сигнал о включении или выключении подающего насоса 3. Производительность насосов и объем накопительного резервуара 4 подбираются на основании инженерных расчетов потребности товарного продукта. Резервуар 4 в зависимости от климатических условий территории может быть заглублен или расположен в отапливаемом помещении.

Станция для получения НГХН. Такое сооружение независимо от качества природного раствора должно включать следующее оборудование. *Основное* –

электролизную установку, блок электрического питания и накопительную емкость для полученного продукта НГХН. *Вспомогательное* – кислотный узел с баком 3 %-го раствора соляной кислоты и дозирующим устройством, входным силовым электрическим шкафом, шкафами управления и контроля процессом, трубопроводами и запорно-регулирующей арматурой с электроприводом, пожарной и водородной сигнализацией, климат-контролем, приточно-вытяжной вентиляцией. При этом электролизная установка, блок питания и насосное оборудование должны иметь резерв (либо в составе станции, либо на складском хранении).

Территориально располагаться электролизная установка может в двух вариантах: в капитальном здании, либо в блок-контейнерном исполнении. Последнее является наиболее рациональным решением, т. к. предполагает изготовление станции в заводских условиях и его доставку автотранспортом к месту получения НГХН, где должна быть подготовлена железобетонная плита и подведены инженерные сети (электроэнергия, исходный раствор). В Калмыкии имеется большой опыт применения таких сооружений, в частности, для систем водоснабжения малых населенных мест [86].

Для обеспечения экономически обоснованной производительности НГХН и бесперебойной штатной работы станции необходимо руководствоваться результатами научных исследований, изложенных в главах 3 и 4, обращая особое внимание на мероприятия, направленные на снижение образования осадка в электролизе – основной проблеме синтеза НГХН.

В основу установки принята упрощенная схема получения НГХН электролизом природного раствора согласно результатам, представленным на рисунке 4.3.

В работе установлено, что высокая минерализация по хлорид-ионам (оз. Улан-Хол) является не достоинством такого раствора, а недостатком, т. к. эффективность использования указанных ионов низкая, а это приводит к чрезмерному засолению объектов, использующих НГХН.

Эти особенности были приняты во внимание и предусмотрены при разработке схем получения НГХН электролизом, применительно к трем изученным

водным растворам, характерным по минеральному составу территории Калмыкии. На основании выполненных исследований принято решение, что для борьбы с осадкообразованием при получении НГХН электролизом – использовать переменный ток, а для повышения на выходе концентрации товарного продукта – дополнительно ввести водоподготовку природной воды путем снижения ее гидрокарбонатной щелочности.

Предлагаемая установка отличается:

- простотой конструкции, позволяющей применять приемы серийного изготовления станции на специализированных предприятиях, с последующим монтажом на месте для получения и продажи НГХН;
- доступностью эксплуатации и ремонтпригодностью;
- безопасностью для обслуживающего персонала и окружающей среды, минимальным ассортиментом опасных реагентов.

К вопросу использования соляной кислоты на станции получения НГХН. Как следует из результатов опытов, в корпусе электролизера при любых условиях электролиза всегда со временем накапливаются, на стенках и отдельных частях катода, осадки нерастворимых солей, которые периодически необходимо удалять. Для этого на станции должна быть соляная кислота HCl (серная не удаляет осадки), которую можно доставить в специальной таре в виде 3 %-го раствора, а затем дозировать для удаления осадков, и/или снижения гидрокарбонатной щелочности.

Как известно, любой процесс, для достижения непрерывности и качества продукции, требует использования средств автоматического управления. Для этого предусматриваются системы низкого и высокого уровня. Низкий – предусматривает частичную автоматизацию, например, только контроль за подачей раствора и его температурой в процессе электролиза. Высокий уровень – обеспечивает контроль и выполнение всех операций, когда присутствие оператора станции не требуется. Наличие звуковой и цифровой информации на пульте управления дает оператору указания к действию. Для создания автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП) требуется, кроме программного обеспечения, большое число исполнительных механизмов,

датчиков, шкафов управления, связи с оператором и т. д. Стоимость такой системы, превосходит цену основного оборудования. Для условий Калмыкии такой высокий уровень не оправдан из-за сложной логистики доставки запасных частей и пр.

На основании вышеизложенного предлагаются установка с ручным управлением технологического процесса на основе визуальных наблюдений за приборами контроля температуры и расхода раствора, временем электролиза, техническим состоянием трубопроводного и насосного оборудования. Также в работе предложены две установки получения НГХН без и с предварительным снижением карбонатной щелочности и одна вспомогательная операция для устранения накопившихся осадков в электролизере и емкостном оборудовании. Все это предлагается реализовать по схеме, представленной на рисунке 5.2.

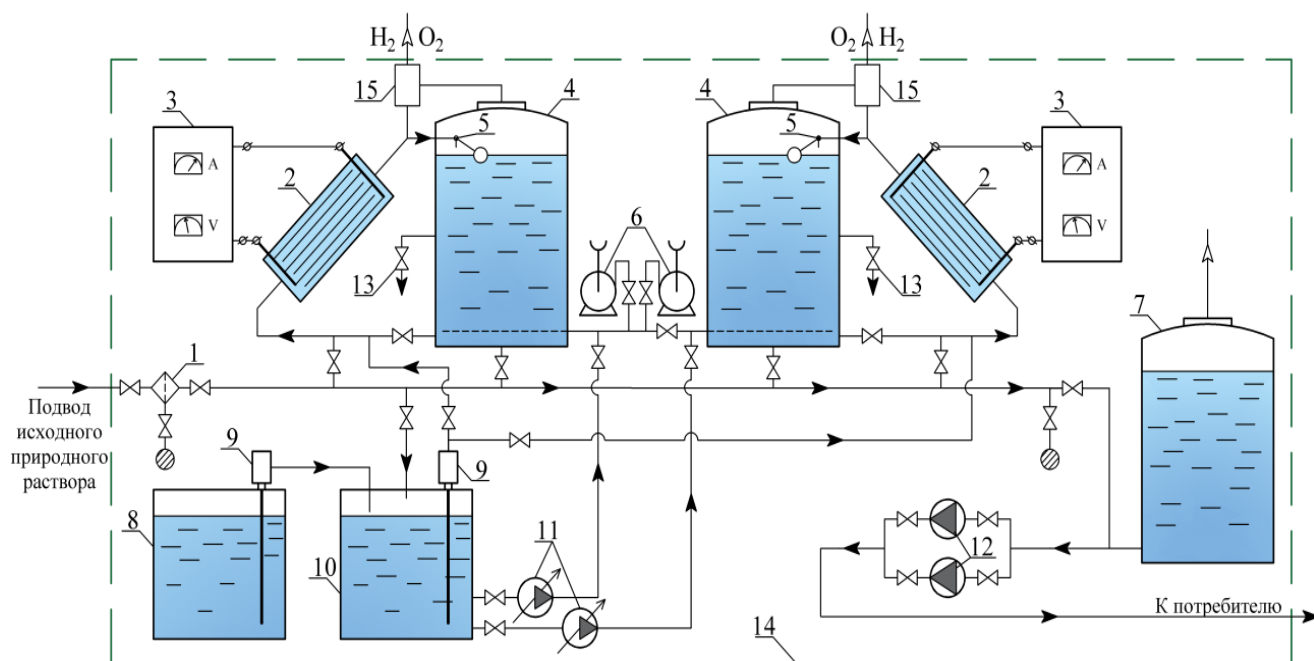


Рисунок 5.2 –Схема получения электролизом НГХН:

- 1 – механический фильтр; 2 – электролизер; 3 – блок переменного тока; 4 – рециркуляционная емкость раствора НГХН; 5 – шаровой клапан; 6 – воздуходувка; 7 – накопительная емкость; 8 – еврокуб с концентрированной соляной кислотой; 9 – бочковой насос; 10 – бак с рабочим раствором соляной кислоты; 11 – насос-дозатор; 12 – насос подачи готового раствора НГХН; 13 – пробоотборник; 14 – границы помещения / блок-контейнера; 15 – сепаратор

Способ получения НГХН без снижения карбонатной щелочности.

Природный раствор из водозабора 1, согласно схеме добычи, транспортировки и накопления, при помощи насоса подается на механический фильтр 2 для удаления механических загрязнений, возможно попавших в накопительный резервуар 4

(рисунок 5.1). Подающий насос 3 обеспечивает заполнение исходного раствора в электролизере и в накопительном резервуаре 4 до срабатывания шарового клапана 5 (рисунок 5.1). В зависимости от состава природного раствора, устанавливается требуемый переменный ток блоком 3 (рисунок 5.2).

Так как ранее было обосновано применение электролиза в циркуляционном режиме, то в предлагаемой установки это достигается путем перемещения обрабатываемого раствора эрлифтным эффектом (за счет образующихся газов на аноде и катоде) по схеме: электролизер 2 → циркуляционная емкость 4 → электролизер 2 → и т. д. до получения максимальной концентрации активного хлора. По данным рисунка 4.3, для этого, при выбранных оптимальных значениях тока, время электролиза будет составлять от 3 до 6 часов в зависимости от минерального состава природного раствора.

Образующаяся при электролизе взрывоопасная смесь O_2 и H_2 эвакуируется сразу после электролизера через сепаратор 15, а также из емкости 4 за пределы помещения естественным способом (рисунок 5.2).

Приготовленный раствор НГХН самотеком сливается в накопительную емкость 7, оттуда он подается потребителю насосом 12.

Способ получения НГХН с предварительным снижением карбонатной щелочности. Выбор этой установки позволяет значительно повысить выход товарного продукта на 10 – 15 %, но требует использования привозного реагента – соляной кислоты.

Согласно предлагаемой установки, ввод заданной концентрации кислоты и необходимого ее объема осуществляется одновременно с заполнением емкости 4 природным раствором для обеспечения их полного смешения.

Доза кислоты подбирается на основании предварительных лабораторных изысканий. Подача воздуха для отдува избыточного CO_2 после подкисления раствора проводится при помощи воздуходувки 6, а контроль качества обработанного раствора перед пуском электролиза – через пробоотборник 13 (рисунок 5.2).

Для приготовления расходного раствора соляной кислоты используется поставляемая на электролизную станцию 3 % кислота, находящаяся в баке 8 и которая перекачивается бочковым насосом 9 в емкость 4 (рисунок 5.2).

Вспомогательная операция для удаления осадка. Результаты исследований показали, что использование переменного тока и снижение карбонатной щелочности исходного природного раствора заметно снижают образование осадка на катоде, но, тем не менее, ведут к накоплению в технологическом оборудовании. Предлагаемая схема (рисунок 5.2) предусматривает удаление осадка, путем его растворения соляной кислотой.

Для этого, после полного опорожнения всего емкостного оборудования, необходимо осуществить его промывку исходным природным раствором до полного отсутствия в нем остаточного активного хлора. Если это не будет достигнуто, то при последующем добавлении соляной кислоты образуется токсичный хлор-газ, появление которого недопустимо из-за возможного химического отравления обслуживающего персонала [70].

При достижении отсутствия активного хлора в промывочном природном растворе (после продолжительной подачи раствора) в емкостном оборудовании дозируется кислота в таком количестве, которое обеспечит удаление осадка из электролизера и со стенок баков. Эта процедура проводится до полного срабатывания кислоты. Такое мероприятие необходимо проводить с периодичностью в 5 – 6 месяцев. Оно не опасно для окружающей среды, т. к. промывочный раствор будет иметь нейтральную среду и его можно использовать для приготовления строительных растворов, например, бетона.

На рисунке 5.3. представлена установка для получения НГХН производительностью 10 кг/сут. по активному хлору (включает основной и резервный электролизный модуль) в фермерском хозяйстве КФХ «Арл» Яшкульский район, СМО Улан-Эрге.

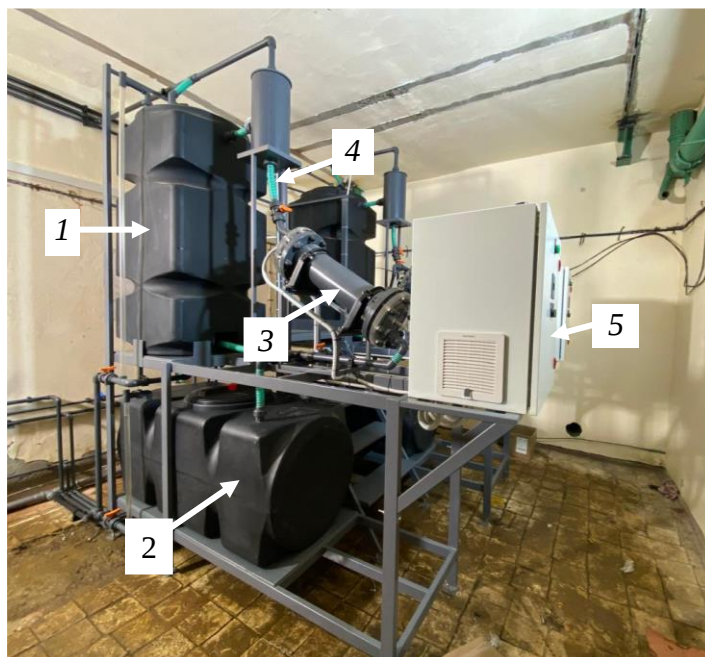


Рисунок 5.3 – Электролизная установка для получения НГХН:

1 – рециркуляционная емкость; 2 – накопительная емкость; 3 – электролизер;
4 – сепаратор; 5 – блок питания переменного тока

Она соответствовала схеме, приведенной на рисунке 5.2 и была изготовлена по заданию заказчика с учетом качества сырья (природного раствора) и необходимого количества целевого продукта – НГХН в ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск. Установка смонтирована специалистами предприятия, запущена в рабочий режим и передана в эксплуатацию.

Обвязка оборудования была выполнена из ПВХ труб, фурнитуры, запорной арматуры на клеевом соединении. Использование других материалов, по данным ООО НПП «ЭКОФЕС», например, полипропилена, для этих целей неприемлемо из-за его нестойкости к раствору активного хлора (НГХН).

Изготовление, монтаж и пуско-наладку целесообразно проводить с привлечением специалистов, имеющих опыт таких работ и осуществляющих выпуск специального электротехнического (блок питания переменного тока) и электрохимического (электролиз со специально покрытыми электродами оксидами металлов платиновой группы) оборудования. На рисунке 5.4 приведена фотография электролизера производительностью 10 кг/сут. по активному хлору. Для наглядности в выставочном образце (ООО НПП «ЭКОФЕС») показан пакет электродов в пластмассовом корпусе с торцевыми уплотнениями и токоподводами.



Рисунок 5.4 – Общий вид электролизера «ХЛОРЕФС-УГПЭ-600», производительностью до 10 кг/сут. по активному хлору

Выбор установки производительностью 10 кг/сут. обусловлен удобством монтажа (благодаря компактности на одной платформе) и отсутствием устройств автоматического управления, что снижает в целом надежность ее работы.

Если возникает необходимость увеличения производительности установки, например, до 40 кг/сут. по активному хлору, то этого можно достичь дополнением еще 3 модулей по 10 кг/сут. с тем же набором оборудования, что и в базовом варианте.

В соответствии с рекомендациями по эксплуатации, представленными в настоящей работе, указана необходимость использования соляной кислоты для декарбонизации и удаления осадков – продуктов электролиза.

Опыт эксплуатации на объекте заказчика показал, что для труднодоступных территорий Калмыкии нужно вести электролиз переменным током, а от соляной кислоты рациональнее отказаться, заменив ее обмывом мощной струей керхера электродов 150 бар, разобрав торцевые уплотнения корпуса электролизера. Данная процедура достаточно простая и не требует специальной подготовки.

В результате длительной эксплуатации установки (более 6 месяцев) были получены следующие результаты с использованием подземного раствора п. Юста (присутствует на территории фермерского хозяйства заказчика):

- исходная концентрация хлоридов, $C_{исх.}$ – 4800 мг/дм³;
- рН исходного раствора, ед. – 6,8;

- температура исходного раствора, $t = 10 \pm 1$ °C;
- режим электролиза – циркуляционный;
- время электролиза, $\tau = 4$ ч;
- плотность тока, $i = 100$ А/м²;
- концентрация активного хлора, $C_{a.x.} = 1,3$ г/дм³;
- напряжение на электролизере, $U = 2,8$ В;
- переменный ток, $I = 0,6$ А;
- температура полученного раствора, $t = 25 \pm 1$ °C;
- pH готового раствора, ед. – 7,9;
- объем исходного раствора в циркуляционном баке, $V = 800$ дм³;
- удельные затраты электроэнергии, $W = 5,1$ кВт·ч/(кг а.х.);
- время на слив готового раствора и заполнения исходным, $\tau = 1,0\text{--}1,5$ ч.

За контрольный период (6 месяцев) установки не обнаружено заметного накопления осадка, который оказал бы влияние на текущую ее эксплуатацию.

5.2 Низкоконцентрированный гипохлорит натрия с корректирующими добавками

В ряде случаев [48] требуется снижение токсичности раствора НГХН (доведение до требуемого уровня pH) за счет использования активирующего агента. Так, в способах возделывания сельскохозяйственных культур, кроме необходимости снижения pH и одновременного положительного воздействия на рост и развитие растений, предлагается применять кислые реагенты.

Для этого в работе предложено использовать борную кислоту H_3BO_3 и сульфат меди $CuSO_4$ для регулирования pH раствора НГХН, полученного электролизом природного хлоридсодержащего раствора по следующей схеме (рисунок 5.5).

Загрузка сухого реагента 2 (H_3BO_3 и $CuSO_4$) осуществляется с помощью подъемного механизма в бак 1 для растворения водой через распределительный водовод 4. При этом количество реагента закладывается с избытком по отношению к воде. Для перемешивания используется воздух, который подается через

колосниковую решетку 3. Насыщенный раствор шлангом 5 насосом 6 подается либо в бак-хранилище 7, либо в расходный 8. После перемешивания и разбавления раствора в баке 8 до требуемой концентрации полученная смесь насосом-дозатором смешивается в баке 10 с заранее приготовленным НГХН. Активированный раствор после этого готов к потреблению и подается далее с помощью насоса 9. Для контроля качества растворов в баках 8 и 10 предусмотрены пробоотборники 11.

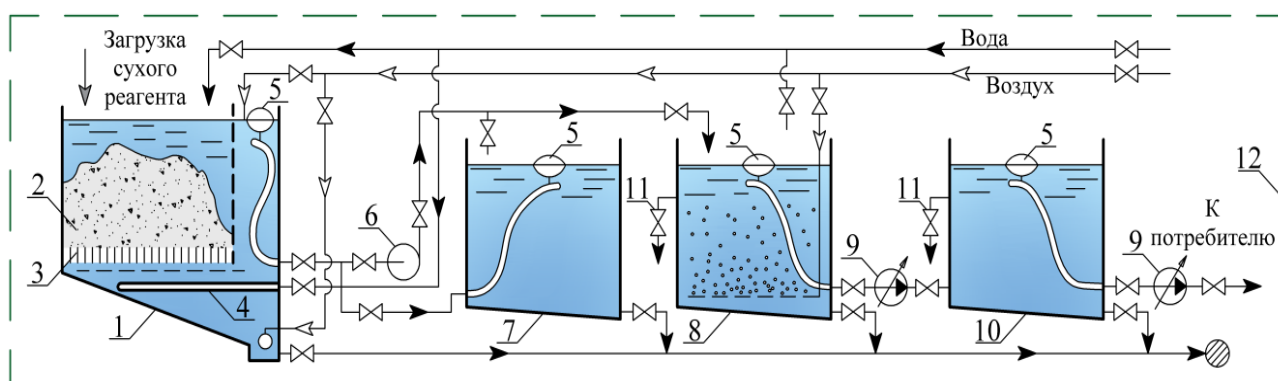


Рисунок 5.5 – Схема установки приготовления и дозирования реагентов борной кислоты или медного купороса в раствор НГХН:

- 1 – бак для растворения и хранения реагента; 2 – реагент; 3 – колосниковая решетка;
 4 – подача воды для растворения реагента; 5 – устройство для забора раствора; 6 – насос перекачки исходного раствора; 7 – бак-хранилище; 8 – расходный бак; 9 – насос-дозатор раствора реагента в бак с НГХН; 10 – бак готового раствора; 11 – пробоотборник;
 12 – граница помещения или блок-контейнера

Представленная схема обеспечивает приготовление только одного реагента. Если возникает необходимость применения двух реагентов, то требуется иметь одновременно работающую аналогичную установку с тем же составом оборудования.

Совмещение в баке 1 двух реагентов создаст трудности в управлении растворением и дозированием борной кислоты и сульфата меди.

Подбор емкостного оборудования, насосов определяется расходом реагентов и рассчитывается для конкретного объекта. Установка должна быть смонтирована либо в капитальном строении, либо блок-контейнере с соблюдением режима воздухообмена и комфортной температуры для обслуживающего персонала. Так

как используемые реагенты в сухом виде не токсичны, они могут храниться в помещении, где располагается установка.

Далее рассмотрим организационно-экономические вопросы использования ГХН в аграрии.

5.3 Технико-экономическая оценка использования ГХН в фермерском хозяйстве Республики Калмыкия

Обоснование и отбор наиболее эффективных экономических решений определяется системой сложившихся в обществе ценностных представлений. Последние включают степень приоритетности и настоятельности социальных, экономических, природно-сырьевых, товарных и других потребностей. Механизм такого отбора, в частности, представляется двумя аналитическими процедурами/подходами:

- сопоставление «затрат и результатов (выгод)» в денежном выражении. Общим правилом для принятого экономического решения здесь является превышение потенциальной выгоды (В) над затратами (С): $V - C > 0$, т. е. максимум прибыли;

- определение эффективности/выгодности инвестиций/проектов на основе метода приведенных затрат или подход «затраты–эффективность», т. е. минимизация затрат в непроеизводственной сфере или сравнительный анализ/отбор производственных установок, природоохранных, социально-экономических решений и подобных.

Рассмотрим использование метода «затраты–эффективность» применительно к решению задачи выбора организации использования ГХН на объектах сельскохозяйственного назначения [194].

В общем случае рынки потребления могут быть конкурентными и неконкурентными. Применительно к использованию ГХН на санитарную обработку объектов сельхозпроизводителей данный рынок, во-первых, является локальным, во-вторых, неконкурентным. Здесь приоритетом считается не получения прибыли от использования ГХН, а выполнение конкретных санитарных мероприятий для повышения качества и соответственно уменьшения общих затрат сельскохозяйственной производственной деятельности от принимаемых в данном

контексте инвестиционно-технологических решений. Поскольку здесь нет конкуренции между производителями и потребителями ГХН, то, по сути, это частный рынок услуг – локальный рынок санитарно-гигиенических услуг.

Отсутствие конкуренции за получения прибыли определяет необходимость сравнительного анализа разных способов организации взаимодействия производителей и потребителей использованием подхода наименьших затрат.

Решаемая задача – не определить выгоду (результативность), а определить i -вариант инвестиций (проекта), минимизирующие затраты для достижения поставленной цели, т. е. приоритетной является цель, а не прибыль. Данный подход реализует **принципы**: минимизирующие затраты для достижения целей в непроизводственной или производственной сфере, не преследующей коммерческую выгоду; использует **критерий**: сравнение приведенных затрат, сопоставляющих i -варианты инвестиций по минимуму затрат.

$$\text{Общий вид} \quad Z_i = Z_i = C_i + E_n \cdot K_i - \Pi_i + y_i \rightarrow \min_i,$$

где Z_i, Z_i – минимизирующие затраты от i -инвестиции;

C_i – текущие издержки от i -инвестиции;

K_i – капитальные вложения (i -инвестиция);

E_n – нормативный коэффициент эффективности (может быть рентабельностью производственной деятельности, нормой амортизации в необходимых случаях) или приведения;

Π_i или Δu_i – выгода от реализации вторичной продукции (сырья) от i -инвестиции (Π_i) или снижение ущерба от загрязнения (Δu_i);

y_i – экономический ущерб природной среде от i -инвестиции (i -инвестиция – синоним i -мероприятия).

В [195] описана динамическая модель эквивалентных затрат с учетом потока издержек на жизненном цикле T от i -инвестиции:

$$Z = \left(\sum_{t=1}^T \frac{K_{it} + C_{it}}{(1+r)^t} \right) \cdot \frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \rightarrow \min.$$

При приведении приведенных затрат к одному году (при $K_{it} = K_i^0$, $C_{it} = \text{const } \forall t \in T$) выражение примет вид:

$$Z_i = \left(K_i^0 + \frac{C_i[(1+r)^T - 1]}{r(1+r)^T} \right) \cdot \left(\frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \right) \xrightarrow{i} \min.$$

Для решения показанной задачи (в контексте решения задачи использования ГХН от i -производителей к j -потребителями) используем элементы решения однопродуктовой задачи размещения получения данного продукта. Ее решение проводилось методом целенаправленного перебора в рамках постановки дискретной целочисленной задачи математического программирования [196, 197]. Для нашей цели используем предложенную здесь технологическую матрицу $\|L\|$, элементы которой означают эффективность применения объема ресурса (в нашем случае ГХН) на участках, связывающих производителей и потребителей ГХН.

Элементы матрицы L_{ij} для сравнительного анализа эффективности организации обеспечения ГХН потребителей представляются как

$$L_{ij} = \left(\sum_{t=1}^{T_i} \sum_{ij} \frac{C_i^t + S_{ij} + K_i^t}{(1+r)^t} \right) \cdot \frac{r(1+r)^{T_i}}{(1+r)^{T_i} - 1}.$$

Упростим данное выражение, приняв следующие допущения, которые не влияют на адекватность принятия решения; жизненный цикл $T_i \rightarrow T = 1$; норма эффективности $r = 0$. Тогда

$$L_{ij} = \left(\sum_{ij} \frac{C_i + S_{ij} + K_i}{(1+r)} \right) \cdot \frac{r(1+r)}{(1+r) - 1} \rightarrow L_{ij} = \sum_{ij} (C_i + S_{ij} + K_i).$$

Применительно к поставленной задаче сравнительного анализа на основе полученного выражения L_{ij} опишем ее параметры.

Здесь K_i^t приводится к 1-му году K_i применением нормы амортизации λ к объему капитальных вложений, т. е. $K_i^t = \lambda \cdot K_i$.

C_i — эксплуатационные затраты при производстве ГХН на i -объекте получения, руб.

Стоимостное измерение «условного» расстояния между i -производителем к j -потребителем имеет вид

$$S_{ij} = l_{ij} \cdot \Delta y_{ij}, \text{ руб./год}$$

где l_{ij} – расстояние между пунктом i и j , км;

Δy_{ij} – удельные затраты на перевозку объема ГХН;

$$\Delta y_{ij} = \frac{m_{ij}}{O} \cdot p,$$

здесь m_{ij} – объем передаваемого ГХН i -производителем j -потребителю, м³/год;

O – объем емкости перевозки ГХН, м³;

p – стоимость перевозки ГХН в расчете на 1 км, руб./км.

Сравнительный анализ эффективности предполагается проводить по 2-м вариантам сравнения:

Распределенная или «сотовая» система организации взаимодействия производителей и потребителей НГХН (глава 1, п. 1.1).

Таблица 5.1 – Общий вид параметрической записи (технологическая матрица)

i	j						
	1		2		...	J	
	l_{ij}	m_{ij}	l_{ij}	m_{ij}	...	l_{IJ}	m_{IJ}
1	l_{11}	m_{11}	l_{12}	m_{12}	...	l_{1J}	m_{1J}
2	l_{21}	m_{21}	l_{22}	m_{22}	...	l_{2J}	m_{2J}
3	l_{31}	m_{31}	l_{23}	m_{23}	...	l_{3J}	m_{3J}
...	...	...	...	...	...	...	...
I	l_{I1}	m_{I1}	l_{I2}	m_{I2}	...	l_{IJ}	m_{IJ}

Примечание: l_{ij} – расстояние между точками i и j , км; m_{ij} – объем перевозимого ГХН между точками i и j , м³/год.

Построим расчетную процедуру для частного случая: получения НГХН в точке 0 (фермерское хозяйство в пос. Утта, р. Элиста) и 3 потребителя НГХН в точках 1, 2, 3.

Расчетные процедуры на основе вышеприведенной аналитики будем проводить, используя данные таблицы 5.2 и приложения Г.

Таблица 5.2 – Цифровое отображение технологической матрицы «сотовой» схемы

i	j					
	1		2		3	
	l_{01} , км	m_{01} , м ³ /год	l_{02} , км	m_{02} , м ³ /год	l_{03} , км	m_{03} , м ³ /год
0	10	365	5	182,5	24	36,5

Расчетное выражение для оценки S_{ij} – стоимость логистики НГХН из точки 0 в точки 1, 2, 3 – запишем в виде

$$S_{ij} = l_{ij} \cdot \Delta y_{ij} = l_{ij} \cdot \left(\frac{m_{ij}}{O} \cdot \frac{\Pi_6}{100} \cdot n \right),$$

где Π_6 – цена бензина (АИ-92), руб./л; n – расход топлива на 100 км, л:

$$S_{01} = 10 \cdot 365 \cdot \frac{52}{100} \cdot 14 = 26572 \text{ руб.}$$

$$S_{02} = 5 \cdot 183 \cdot \frac{52}{100} \cdot 14 = 6661,2 \text{ руб.}$$

$$S_{03} = 24 \cdot 37 \cdot \frac{52}{100} \cdot 14 = 6464,64 \text{ руб.}$$

$$S = \sum_{ij} S_{ij} = 26572 + 6661,2 + 6464,64 = 39697,84 \text{ руб.}$$

Стоимость L_1 использования НГХН по «сотовой» схеме организации с учетом капвложений и эксплуатационных расходов на его получения ≈ 600 м³/год (установленная производительность по хлору до 10 кг/сут.):

$$L_1 = \sum_{ij} S_{ij} + \lambda K_1 + C_1,$$

где K_1 = капвложения в установку получения НГХН (по объектам – аналогам), руб. (см. приложение Г); $K_1 = 1620$ тыс. руб. [196].

С учетом инфляции порядка 8 – 10 % в год в течение 2018 – 2024 гг. введен поправочный коэффициент: $K_{\text{инф}} = (1 + 0,08)^5 = 1,47$. Примем коэффициент приведения инвестиций равным 1,47.

Эксплуатационные затраты C_1 с учетом обратного масштабирования производительности (82 к 10 кг/сут.) [70]. Согласно проведенному анализу рынка

и экономической обстановки на март 2025 г была принята цена в размере: 645645,2 руб./год.

Тогда L_1 («сотовый» вариант):

$$L_1 = 39697,84 + 0,1 \cdot 1620000 \cdot 1,47 + 645645,2 = 923483,04 \text{ руб.}$$

Централизованная схема организации взаимодействия производителя ВГХН и его потребителей (глава 1, п.1.2.1).

Построим расчетную процедуру для частного случая централизованной организации использования ВГХН: ВГХН (г. Волгоград) – точка 0'; точка 0 (г. Элиста) – узел распределения ВГХН между j -потребителями: фермерские хозяйства 1, 2, 3 (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Общий вид параметрической записи (технологическая матрица)

i	j								
	0'		1		2		...	J	
	l_{ij}	m_{ij}	l_{ij}	m_{ij}	l_{ij}	m_{ij}	...	l_{IJ}	m_{IJ}
0	$l_{00'}$	$m_{00'}$	l_{01}	m_{01}	l_{02}	m_{02}	...	l_{0J}	m_{0J}

Примечание: l_{ij} – расстояние между точками i и j , км; $l_{00'}$ – расстояние между производителем высококонцентрированного ГХН (0') и точкой распределения ГХН между j -потребителями; m_{ij} – объем перевозимого ГХН между точками i и j , м³/год.

Из точки 0' (г. Волгоград) ВГХН поставляется в точку 0 (г. Элиста) по цене 52000 руб./ м³ [198], из которой ВГХН доставляется в точки 1, 2, 3 с логистическими затратами S_{ij} .

Используя данные таблицы 5.4 и приложения Г, на основе вышеприведённой аналитики, расчет примет следующий вид.

Таблица 5.4 – Цифровое отображение технологической матрицы «централизованной схемы»

i	j							
	0'		1		2		3	
	$l_{00'}$, км	$m_{00'}$, м ³ /ГОД	l_{01} , км	m_{01} , м ³ /ГОД	l_{02} , км	m_{02} , м ³ /ГОД	l_{03} , км	m_{03} , м ³ /ГОД
0	-	35	160	21	155	11	174	3

Расчетное выражение для оценки S_{ij} – стоимость логистики высококонцентрированного ГХН из точки 0 в точки 1, 2, 3 – запишем в виде:

$$S_{ij} = l_{ij} \cdot \Delta y_{ij} = l_{ij} \cdot \left(\frac{m_{ij}}{O} \cdot \frac{\Pi_6}{100} \cdot n \right).$$

$$S_{01} = 160 \cdot 21 \cdot 7,28 = 24460,8 \text{ руб.}$$

$$S_{02} = 155 \cdot 11 \cdot 7,28 = 12412,4 \text{ руб.}$$

$$S_{03} = 174 \cdot 3 \cdot 7,28 = 3800,2 \text{ руб.}$$

$$L_2 = \sum_{ij} S_{ij} + M_0 \cdot \Pi_0$$

$$L_2 = 40673,4 + 52000 \cdot 35 = 1860673,4 \text{ руб.}$$

Процедура выбора организационной схемы обеспечения ГХН сельскохозяйственного получения проводится по минимуму затрат между L_1 и L_2 :

$$(L_i) \rightarrow (L_1, L_2) \rightarrow \min_i,$$

$$(923483,04; 1860673,4) \rightarrow \min = L_1.$$

По минимуму приведенных затрат следует отдать предпочтение «сотовой» или распределенной схеме организации экологически безопасного обеспечения НГХН сельскохозяйственного получения для небольшой части Республики Калмыкия.

При масштабировании обсуждаемого подхода к организации экологически безопасного обеспечения ГХН сельскохозяйственного производства на большую часть или всю Республику Калмыкия возможны иные структурно-инвестиционные дополнения в контексте предложенных решений.

5.4 Выводы по пятой главе

1. Даны рекомендации по добыче сырья и обоснование выбора установки получения НГХН из природных растворов с высокими общей минерализацией и концентрацией хлорид-ионов. Предложено для фермерских хозяйств использовать установку производительностью 10 кг/сут. по активному хлору, как наиболее

компактную и несложную в эксплуатации, с возможностью дальнейшего наращивания ее производительности при увеличении потребности НГХН.

2. Приведена сравнительная оценка привозного промышленного ГХН и произведенного из местных природных растворов для нужд фермерских хозяйств с использованием метода «затраты–эффективность». Расчеты показали, что по минимуму приведенных затрат схема получения и распределения НГХН по сравнению с привозным ВГХН выгоднее в 2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что раствор ГХН, содержащий активный хлор, широко применяется на объектах сельскохозяйственного назначения для повышения продуктивности животноводства, птицеводства, зерновых культур и обеспечения питьевой водой, а его суточная потребность в Республике Калмыкия составляет более 440 кг в пересчете на жидкий хлор.

2. Показано, что использование привозного промышленного высококонцентрированного гипохлорит натрия (вещество 2 класса опасности) чревато экологическими рисками для окружающей среды, персонала, баз хранения и розлива товарного продукта. Переход на НГХН (вещество 4 класса опасности), производимый электролизом местных природных растворов с последующим использованием на месте потребления значительно уменьшает воздействие на окружающую среду и зависимость от конъюнктуры рынка.

3. Изучено влияние природы анодного покрытия металлов платиновой группы: иридия, рутения и палладия. Предложен анод из этой группы – оксид рутения (ОРТА) благодаря наименьшей цене и лучшим показателям выхода по току целевого продукта (НГХН).

4. Установлено, что особенностью электролиза хлоридных растворов является сопутствующее образование на поверхности катода и в объеме электролизера не растворимых солей сульфата и карбоната кальция совместно с гидроксидом магния, что ведет к перегреву электролизера и деформации электродных пластин. Расчетом показано, что их процентное соотношение в общем количестве осадка составляет $\text{CaCO}_3 : \text{CaSO}_4 : \text{Mg(OH)}_2 = 50 : 40 : 10 \%$.

5. Предложены параметры позволяющие устранить или подавить образование осадка путем использования переменного тока плотностью 100 А/м² (для маломинерализованных) и 200 А/м² (высокоминерализованных вод) для получения необходимой концентрации НГХН при двухчасовой продолжительности прямой и обратной поляризации.

Рекомендации производству

Результаты исследования позволяют предложить методику масштабирования электрохимического метода получения НГХН на базе местной минеральной воды (подземной, поверхностной) и его внедрения на объектах АПК с использованием сотовой системы, позволяющей не только перемещать гипохлоритные установки, но и оперативно производить замену типовых электролизеров, относящихся к расходным материалам. Предложенные решения позволят расширить границы эксплуатации предлагаемых решений не только в Калмыкии, но и других аридных регионах РФ.

Перспективы дальнейшей разработки темы

На базе полученных научных результатов и знаний возможна реализация следующих задач:

– разработать малогабаритные электрохимические установки для их широкого внедрения в водное хозяйство на объектах сельскохозяйственного назначения, фермерских хозяйствах малых населенных мест с целью снабжения эпидемиологически безопасной питьевой водой путем обеззараживания подземной воды в проточном режиме перед подачей потребителю;

– при проектировании установки большой производительности (более 100 кг/сут. по активному хлору) обеспечить замену импортных материалов и компонентов, машин и оборудования на отечественную продукцию с высокой инновационной составляющей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зафириди, А. Г. Применение раствора натрия гипохлорита в ветеринарии и животноводстве: специальность 16.00.04 «Ветеринарная фармакология с токсикологией»: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Зафириди Александр Григорьевич; Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар, 2006. – 209 с.
2. Алескеров, З. А. Гипохлорит натрия для дезинфекции при сальмонеллезе овец / З. А. Алескеров // Ветеринария. – 2009. – № 5. – С. 14–15.
3. Наумова, О. В. Особенности использования гипохлорита натрия в сельском хозяйстве. Технология приготовления раствора в малогабаритном мобильном устройстве / О. В. Наумова, М. В. Карпов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 120–127.
4. Гипохлорит натрия для питьевого водоснабжения на селе: проект для региональной электростанции / А. В. Денисова, К. К. Популиди, И. А. Денисова, Т. В. Дикова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 96.
5. To assess the biocidal action of the drug based on sodium hypochlorite / M. P. Soltys, V. M. Gunchak, G. V. Rudyk [et al.] // Colloquium-Journal. – 2020. – No. 30-2(82). – Pp. 11–16.
6. Poole K. Mechanism of bacterial biocide and antibiotic resistance. J. Appl. Microbiol. 2002. – №92. Pp. 55–64.
7. Дія антибактеріальних засобів на патогенні механізми бактерій / В. М. Бойко, Ю. А. Волянський, А. Ю. Волянський [та інші] // Biomedical and biosocial anthropology. – 2008. – No.11. – Pp. 32–38.
8. Гиренко, Д. В., Пиляцкая, А. А., Величенко, А. Б. Влияние условий получения на образование гипохлорита и хлора при электролизе низкоконтрированных растворов хлорида натрия // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – №1. – С. 138–144.

9. Гиренко, Д. В., Величенко, А. Б. Растворы гипохлорита натрия высокой чистоты для ветеринарии и медицины. Технология получения // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – №1. – С. 139–143.

10. Онкаев, В. А. Экологические проблемы безопасности кочевых народов Прикаспия в каменном веке / В. А. Онкаев, А. В. Онкаев // Каспий – море дружбы и надежд: материалы Международного форума, посвященного 85-летию Дагестанского государственного университета, Махачкала, 11–15 октября 2016 года / Дагестанский государственный университет; редколлегия: Г. М. Абдурахманов, М. З. Магомедова. – Махачкала: Дагестанский государственный университет, 2016. – С. 67–71.

11. Цатхлангова, Э. А. Некоторые особенности загрязнения и деградация нарушенных земель в Калмыкии / Э. А. Цатхлангова, А. В. Онкаев, С. А. Сангаджиева // Новая наука как результат инновационного развития общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции, 22 мая 2017 г. – Сургут. В 17 частях. Часть 14. – Сургут: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2017. – С. 15–24.

12. Дрововозова, Т. И. Совершенствование технического подхода к управлению процессом локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель / Т. И. Дрововозова, А. А. Кириленко // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 94-108.

13. Организация геоэкологического мониторинга литосферы и почв в Республике Калмыкия / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Н. В. Бадмаева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 138–143.

14. Дрововозова, Т. И. Причины несоблюдения предельно допустимых концентраций веществ 4э класса опасности в контрольном створе малых рек - приемников дренажно-сбросных вод / Т. И. Дрововозова, Н. Н. Паненко, Е. С. Кулакова // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 17-33.

15. Водные ресурсы: индикаторы экономического и экологического благосостояния в зонах с резкоклиматическими характеристиками (на примере территории Республики Калмыкия) / М. М. Сангаджиев, А. Г. Дорджиев, К. Б. Мушаева, А. В. Онкаев // International Forum on Contemporary Global Challenges of

Interdisciplinary Academic Research and Innovation: Conference Proceedings, Boston, USA, 18 октября 2020 года. – Boston, USA: Научная общественная организация "Профессиональная наука", 2020. – С. 22–29.

16. Дрововозова, Т. И. Разработка региональных ПДК для водотоков: Ерик Бешеный, река Солёная бассейна Нижнего Дона / Т. И. Дрововозова, В. О. Марыгин // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 93-99.

17. Иванова, Н. С. Пожары на территории крестьянско-фермерских хозяйств Калмыкии / Н. С. Иванова, А. В. Онкаев, А. Б. Ондикова // Безопасность в условиях глобализации мира: материалы Национальной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения первого президента Калмыцкого государственного университета, профессора Германа Манджиевича Борликова, Элиста, 19 – 20 декабря 2019 года; редколлегия: Б. К. Салаев, В. А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2019. – С. 134–141.

18. Совершенствование транспортно-технологического процесса обеспечения строительных потоков материальными ресурсами (на примере г. Элиста Республика Калмыкия) / М. М. Сангаджиев, Л. Н. Топкаев, А. В. Онкаев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 202–205.

19. Инженерно-геологические изыскания для проведения строительных работ на слабых грунтах в Калмыкии (на примере площадки, г. Лагань) / М. М. Сангаджиев, А. Г. Дорджиев, А. В. Арашаев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 8. – С. 109–112.

20. Дрововозова, Т. И. Динамика ирригационного качества оросительной и дренажно-сбросных вод Нижне-Донской оросительной системы в 1972 и 2019-2021 годах / Т. И. Дрововозова, Н. Н. Красовская // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 87-100.

21. Дрововозова, Т. И. Гидроэкологическая оценка коллекторно-дренажного стока с оросительных систем Ростовской области / Т. И. Дрововозова, С. А. Манжина // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 59-65.

22. Дрововозова, Т. И. Техническое решение локальной очистки дренажного стока с орошаемых земель / Т. И. Дрововозова, А. А. Кириленко // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7(103). – С. 303-313.

23. Некоторые особенности аварий жилых зданий и сооружений в сложных климатических зонах Калмыкии / М. М. Сангаджиев, Ю. С. Гермашева, В. А. Онкаев [и др.] // Экономика строительства. – 2022. – № 11. – С. 73–79.

24. Некоторые вопросы влияния подтопляемых земель на строительную индустрию, на примере Республики Калмыкия / А. А. Дорджиев, М. М. Сангаджиев, А. В. Арашаев [и др.] // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы его рационального использования: материалы X Национальной научно-практической конференции, Элиста, 23–25 мая 2023 года; редколлегия: В. А. Эвиев [и др.]. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью Издательский дом «Сциентиа», 2023. – С. 39–53.

25. Обеспеченность сельскохозяйственной техникой и государственная поддержка ее приобретения / К. А. Жичкин, Ю. А. Киров, Л. Н. Жичкина, К. В. Титоренко // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2022. – № 2(39). – С. 114-120.

26. Рациональная технология утилизации навозных стоков свинокомплексов на органические удобрения с выработкой биогаза / Ю. А. Киров, В. А. Киров, Ю. З. Кирова, А. В. Петушков // Наука в центральной России. – 2023. – № 2(62). – С. 65-73.

27. Киров, Ю. А. Результаты экспериментальных исследований биореактора для обработки побочных продуктов животноводства / Ю. А. Киров, В. Ю. Копытин, А. В. Петушков // Наука в центральной России. – 2023. – № 5(65). – С. 46-55.

28. Гидроциклон-сгуститель навозных стоков / Ю. А. Киров, Н. П. Крючин, Д. Н. Котов [и др.] // Сельский механизатор. – 2023. – № 6. – С. 22-24.

29. К вопросу перекачки и внесения в почву жидких органических удобрений из лагун-навозохранилищ / Ю. А. Киров, В. А. Милюткин, В. Ю. Киров, А. А. Рябцев // Наука в центральной России. – 2024. – № 4(70). – С. 31-39.

30. Патент на полезную модель № 207554 U1 Российская Федерация, МПК B01D 21/02, C02F 103/02. Тонкослойный отстойник: № 2021116450: заявл.

07.06.2021: опублик. 01.11.2021 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

31. Патент на полезную модель № 206504 U1 Российская Федерация, МПК C02F 1/465, C02F 1/24, B03D 1/14. Флотатор: № 2021116451: заявл. 07.06.2021: опублик. 14.09.2021 / Ю. А. Киров, Д. Н. Котов, Ю. А. Савельев [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет».

32. Бондаренко, А. М. Обоснование технологической схемы установки для обеззараживания жидкого навоза / А. М. Бондаренко, С. Г. Иващенко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 51-59. – DOI 10.22450/1999-6837-2024-18-4-51-59.

33. Бондаренко, А. М. Развитие рынка органической продукции в обеспечении технологического суверенитета РФ / А. М. Бондаренко, Л. С. Качанова, С. М. Челбин // Дальневосточный аграрный вестник. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 144-155.

34. Кормановский, Л. П. Направления развития системы машин для молочного скотоводства / Л. П. Кормановский, Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 1(37). – С. 14-23.

35. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» / Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. №2.

36. Жолобова, И. С. Использование гипохлорита натрия при лечении мелких домашних животных / И. С. Жолобова, В. И. Старков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 156–164.

37. Жолобова, И. С. Влияние натрия гипохлорита на перепелов в период интенсивной яйцекладки / И. С. Жолобова, А. В. Лунева, Ю. А. Лысенко // Птицеводство. – 2013. – № 7. – С. 15–20.

38. Семененко, М. П. Влияние функциональной кормовой добавки на рост и развитие цыплят-бройлеров. / М. П. Семененко, И. С. Жолобова., Т. А. Лымарь // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 45. – С. 181–182.

39. Жолобова, И. С. Мясная продуктивность и качество мяса перепелов после применения натрия гипохлорита / И. С. Жолобова, А. В. Лунева, Ю. А. Лысенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 41. – С. 146–150.

40. Жолобова, И. С. Фармако-токсикологическое обоснование применения натрия гипохлорита в ветеринарии и животноводстве: специальность 16.00.04 16.00.01: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / Жолобова Инна Сергеевна. – Воронеж, 2006. – 49 с.

41. Шакуров, М. М., Коростылева, В. П. Лечение инфицированных ран у животных электрохимически активированными растворами (ЭХАР) хлорида натрия. / М. М. Шакуров, В. П. Коростылева // Актуальные вопросы ветеринарии и зоотехнии (тез. докл. 4 – 5 мая 1992 г.) Казань, 1991.

42. Шакуров, М. М., Коростылева, В. П. Электрохимически активированные растворы (ЭХАР) хлорида натрия при лечении ран у животных / М. М. Шакуров, В. П. Коростылева: материалы научно-производственной конференции по проблемам ветеринарии и животноводства. Казань. 1995. – 91 с.

43. Петров, В. В. Влияние гипохлорита натрия на показатели неспецифической резистентности организма при гастроэнтеритах поросят / В. В. Петров // Международный аграрный журнал. – 2001. – № 11. – С. 37–40.

44. Regina Boger, Karl Rohn, Nicole Kemper, Jochen Schulz. Sodium Hypochlorite Treatment: The Impact on Bacteria and Endotoxin Concentrations in Drinking Water Pipes of A Pig Nursery. – 2020. – No.10. Pp. 1–12.

45. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых [и др.] // Поволжский экологический журнал. – 2023. – № 1. – С. 107–116.

46. Филатова, К. А. Применение гипохлорита натрия в сельском хозяйстве / К. А. Филатова // Волжский вестник науки. – 2016. – № 1(1). – С. 5–6.

47. Эффективность использования раствора гипохлорита натрия против возбудителей аскаридоза и гетеракидоза птиц / С. Ю. Байрамов, З. Б. Комарова, А. А. Мосолов, Ю. Н. Нелепов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 4(48). – С. 196–200.

48. Патент № 2483544 Российская Федерация, МПК A01N 59/00 (2006.01); A01N 25/10 (2006.01); A01P 1/00 (2006.01). Биоцидная комбинация на основе гипохлорита для применения в сельском хозяйстве: № 2010133141/13: заявл. 08.01.2009; опубл. 10.06.2013 / ФАИТА Джузеппе. – 15 с.

49. Лунева, А. В. Фармакологическое обоснование применения натрия гипохлорита в перепеловодстве: специальность 06.02.03 «Ветеринарная фармакология с токсикологией»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Лунева Альбина Владимировна. – Краснодар, 2013. – 23 с.

50. Зон, Г. А. Эффективность растворов гипохлорита натрия для профилактики псевдомонозной инфекции в инкубатории / Г. А. Зон, Е. В. Ващик, Л. Б. Ивановская // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2016. – Т. 52, № 2. – С. 28–31.

51. Ибрагим, Э. И. Применение натрия гипохлорита при лечении гнойно-некротических поражений пальцев у коров: специальность 16.00.04 16.00.05: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Ибрагим Элиас Ибрагим. – Краснодар, 2009. – 25 с.

52. Luiz, A. F., Silva, Carla A. Silva, José R.J. Borges, Maria C.S. Fioravanti, Gabriela T. Borges, Ingrid B. Atayde. A clinical trial to assess the use of sodium hypochlorite and oxytetracycline on the healing of digital dermatitis lesions in cattle. – 2005. – No.46. – Pp. 345–348.

53. Наумова, О. В. Получение гипохлорита натрия / О. В. Наумова, К. А. Филатова // Инновационные технологии в сельском хозяйстве: материалы II Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 июля 2016 года. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 1–5.

54. Патент № 2552072 Российская Федерация, МПК C05F 3/00 (2006.01); Способ обезвреживания органических отходов животноводства, свиноводства и птицеводства: № 2014105785/13: заявл. 17.02.2014; опубл. 10.06.2015 / Чесноков Б. П., Вашенков Е. Г., Щербаков А. А., Наташкин М. И., Наумова О. В., Ковалева С. В. – 4 с.

55. Вторый, В. Ф. Информационно-прогнозная модель температурно-влажностного режима коровника / В. Ф. Вторый, С. В. Вторый, В. В. Гордеев // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 2. – С. 241-256.

56. Авакимянц, Е. В. Разработка конструктивной схемы смесителя белково-минерально-витаминных добавок / Е. В. Авакимянц, В. В. Гордеев // Агроинженерия. – 2021. – № 3(103). – С. 32-36.

57. Жолобова, И. С. Эффективность применения натрия гипохлорита при силосовании кукурузы / И. С. Жолобова, С. А. Волкова, Е. Е. Нестеренко // Молодой ученый. – 2015. – № 3 (83). – С. 366–369.

58. Warren E Copes 1, Peter S Ojiambo. Efficacy of Hypochlorite as a Disinfestant Against Fungal Pathogens in Agricultural and Horticultural Plant Production: A Systematic Review and Meta-Analysis. – 2021. – No.12. Pp. 4084–4094.

59. Кадорина, В. Ф., Васильева, О. М., Стрепков, Н. В. Средства химизации и защиты растений позволили увеличить урожайность пшеницы в полтора раза / В. Ф. Кадорина, О. М. Васильева, Н. В. Стрепков // Защита и карантин растений. – 2010. – № 8. С. 24–25

60. Тетерина, О. А. Обоснование параметров устройства предпосевной обработки семян горячим туманом гуматов : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тетерина Ольга Анатольевна; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. – Рязань, 2019 – 138 с

61. Perez-Villalba, Dario and Nunez-Leon, Anthony, Synergistic Effect and Dissolution Capacity of Sodium Hypochlorite Alone and in Combination with Boric Acid: // An in Vitro Study. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4590292> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4590292>

62. Галушина, П. С. Технология протравливания семян зерновых культур / П. С. Галушина, Я. С. Павлова, С. М. Шокин // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 63-2. – С. 50–54.

63. Протравливание семян – важный этап защиты / В. Ю. Чурилина, М. А. Габдулов, Л. В. Латникова, К. С. Березовская // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 3(15). – С. 188–191.

64. Игонин, А. С. Результаты исследования протравливания семян / А. С. Игонин // Вестник науки. – 2022. – Т. 3, № 6(51). – С. 312–316.

65. Буга, С. Ф., Жуковский, А. Г. Тактика применения протравителей семян озимых культур в Белорусии // Научн Защита и карантин растений. – 2009. – № 8. – С. 22–25.

66. Васильев, А. А. Варианты обеззараживания зерна в линиях послеуборочной обработки / А. А. Васильев, В. Р. Краусп // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2012. – № 3(7). – С. 73–78.

67. Власенко, Н. Г. Комплексная защита сортов яровой пшеницы от вредителей и болезней / Н. Г. Власенко, А. А. Слободчиков, С. И. Аносов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 5. – С. 24–26.

68. Садохина, Т. П. Химическая защита ярового ячменя / Т. П. Садохина // Защита и карантин растений. – 2011. – № 4. – С. 30–32.

69. Койшибаев, М. Протравливание семян – важное профилактическое мероприятие / М. Койшибаев // Защита и карантин растений. – 2008. – № 2. – С. 33–35.

70. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология: монография / Л. Н. Фесенко, В. В. Денисов, А. Ю. Скрябин. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. – 246 с.

71. Активированные технологии обеззараживания питьевой воды: монография / И. А. Денисова, А. Ю. Скрыбин, Л. Н. Фесенко, Н. В. Ляшенко, В. В. Денисов. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2013. – 192 с.

72. Электролизный гипохлорит натрия на рынке экологических товаров и услуг: монография / А. Ю. Скрыбин, В. В. Денисов. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2013. – 192 с.

73. Попов, П. А. Дезинфектанты на основе стабильных и метастабильных веществ и их применение в ветеринарии: специальность 06.02.05 «Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно – санитарная экспертиза»: диссертация на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / Попов Петр Александрович; Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко. Российской академии наук. – Москва, 2021 – 426 с.

74. Онкаев, А. В. Использование электрохимических процессов для производства гипохлорита кальция из многотоннажных промышленных отходов / А. В. Онкаев, А. Ю. Скрыбин, В. А. Онкаев // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2023»: материалы XIV Международной научно-практической конференции, Кисловодск, 18–21 апреля 2023 г. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. – С. 180–184.

75. Pécora J. Contribuição ao estudo da permeabilidade dentinária radicular. Apresentação de um método histoquímico e análise morfométrica. Ribeirão Preto: FORP/USP. – 1985. Pp. 354–360.

76. Денисова, И. А. Бактерицидная смесь на основе медного купороса и сульфата серебра / И. А. Денисова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2005. – № 4(132). – С. 107–109.

77. Патент № 11636 Республика Беларусь, МПК C05G 3/00 (2006.01). Жидкое концентрированное борно – медное удобрение с биологически активными веществами: № а20070777: заявл. 22.06.2007: опубл. 28.02.2009 / Рак М. В., Сафроновская Г. М., Титова С. А., Барашкова Е. Н., Тихонович З. Н., Гук Л. Н., Муковозчик В. А. – 5 с.

78. Онкаев, А. В. Исследование влияния дезинфекции химическими растворами на энергетические свойства зернового материала / А. В. Онкаев,

И. А. Успенский, Н.В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 50–57.

79. Экосистема утилизации органических отходов животноводства / С. Н. Борычев, И. А. Успенский, И. А. Юхин, Н. В. Лимаренко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 83-91. – DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.012.

80. Использование нечёткого моделирования при оценке интенсивности технологий утилизации органических отходов / С. Н. Борычев, Н. В. Лимаренко, Е. А. Ракул [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1(61). – С. 298-315. – DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-29.

81. Ковалев, Н. Г. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза / Н. Г. Ковалев, П. И. Гриднев, Т. Т. Гриднева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 1(50). – С. 62-69.

82. Гриднев, П. И. Научное обеспечение развития технологий и комплектов технических средств для механизации процессов уборки и подготовки навоза к использованию / П. И. Гриднев, Т. Т. Гриднева // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 2(22). – С. 87-92.

83. Направления механизации и автоматизации животноводства / Н. М. Морозов, Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 1(45). – С. 92-102. – DOI 10.51794/27132064-2022-1-92.

84. Исследование температурного режима при изготовлении гранулированных удобрений из подстилочного навоза / Д. В. Гурьянов, Т. В. Гребенникова, В. Д. Хмыров, Ю. В. Гурьянова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 4(32). – С. 136-138.

85. Теоретическое обоснование силы прессования подстилочного навоза в шнековом прессе-грануляторе / Т. В. Гребенникова, А. В. Щегольков, В. Д.

Хмыров, Д. В. Гурьянов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1. – С. 130-133.

86. Онкаев, В. А. Разработка и исследование процессов водоподготовки в мобильно – картриджных системах децентрализованного водоснабжения малых населенных мест: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Онкаев Виктор Аджиевич; Ростовский государственный строительный университет. – Волгоград, 2010. – 170 с.

87. Управления Федеральной службы государственной статистики по Астраханской области и Республике Калмыкия: сайт. – URL: <https://30.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 16.02.2024).

88. Маркевич, А. Е., Немировец, Ю. Н. Основы эффективного применения пестицидов справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве: справочник. – Могилев: Ремком, 2004. – 60 с.

89. Bastas, K., Boyraz N., Maden S. Turkiye'de ekimi yapilan bazi sekerpancari tohumlarindaki fungal floranini belirlenmesi (Determination of fungal flora of some sugar beet seeds sown in Turkey). Selcuk Univ Zir Fak Derg, – 2004. – № 18. Pp. 87–89.

90. Nome, S. F., Barreto, D., Docampo, D. M. Seedborne pathogens, in Proceedings International Seed Seminar: Trade, Production and Technology. – 2002. Pp. 34–50.

91. Biddle, A., Seed treatment: challenges & opportunities (Wishaw, 26 – 27 February 2001). Monograph- British Crop Protection Council. – 2001. – Pp. 524–534.

92. Trewavas, A., Urban myths of organic farming. Nature. 2001;410(6827):409-410.

93. Berg, G., Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. Applied Microbiology and Biotechnology. 2009;84(1):11-18.

94. Nega, E., et al. Hot water treatment of vegetable seed-an alternative seed treatment method to control seed borne pathogens in organic farming. Journal of Plant Diseases and Protection. 2003;110(3):220-234.

95. Патент № 2655961 Российская Федерация, МПК A01N 25/24 (2006.01); A01N 43/40 (2006.01); A01N 31/16 (2006.01); A01N 25/00 (2006.01); A01N 25/02 (2006.01). Покровная композиция для протравливания семян и стерилизации поверхности: № 2016150914: заявл. 10.02.2016: опубл. 30.05.2018 / Сахин Фикреттин, Устаоглу Зейнеп, Демир Окан. – 25 с.

96. Эрдниева, Г. Е. Поверхностные водные объекты Калмыкии - один из важнейших факторов влияния на здоровье населения республики / Г. Е. Эрдниева, А. В. Онкаев, Н. С. Лиджиева // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2016. – № 6-3(87). – С. 22–27.

97. Онкаев, В. А. Негативное воздействие поверхностных вод на территории республики Калмыкия, особенности / В. А. Онкаев, А. В. Онкаев // Вестник научных конференций. – 2016. – № 5-1(9). – С. 80–86.

98. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684904 Российская Федерация. Комплексная оценка качества дренажных вод: № 2023682637: заявл. 30.10.2023: опубл. 21.11.2023 / М. В. Власов, Т. И. Дрововозова, С. В. Куприянова, Н. И. Сафарова; заявитель федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации».

99. Патент № 2820684 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/18. способ оценки качества дренажных вод с орошаемых земель: № 2023126755: заявл. 19.10.2023: опубл. 07.06.2024 / Т. И. Дрововозова, М. В. Власов, Н. Н. Красовская; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации".

100. Онкаев, А. В. Особенность артезианских вод в Калмыкии: искусственные сооружения в районах расположения скважин / А. В. Онкаев, В. А. Онкаев, Л. М. Бембиева // Научный альманах. – 2016. – № 5-3(19). – С. 463–468.

101. Сангаджиев, М. М. Родники и колодцы – современная геолого-экологическая оценка состояния на территории Республики Калмыкия / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, А. В. Онкаев // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 2, № 8. – С. 163–169.

102. Дрововозова, Т. И. Предложения по исчислению платы за превышение нормативов допустимых сбросов веществ 3-го и 4-го классов опасности с мелиорированных земель / Т. И. Дрововозова, Н. Б. Стрельцова, Е. С. Кулакова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 18-23.

103. Онкаев, В. А. Элистинское водохранилище - источник водоснабжения для населения калмыкии / В. А. Онкаев, А. В. Арашаев, А. В. Онкаев // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2016»: Материалы IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 05–07 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону: ООО "Лик", 2016. – С. 58–60.

104. Онкаев, В. А. Развитие систем питьевого водоснабжения в Республике Калмыкия / В. А. Онкаев, А. В. Арашаев, А. В. Онкаев // Недра Калмыкии: материалы научно-практической конференции, посвященной к юбилею профессора С.С. Кумеева, 31 марта 2017 г. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2017. – С. 79–84.

105. Water resources of kalmykia: The contemporary aspect / M. M. Sangadzhiev, V. A. Onkaev, A. N. Badrudinova [et al.] // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2017. – Vol. 8, No. 5(21). – Pp. 1024–1032. DOI 10.14505/jemt. v8.5(21).06.

106. Перспективы развития водоснабжения в Калмыкии / В. А. Онкаев, А. В. Арашаев, С. Н. Романенко [и др.] // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы рационального использования: материалы, Элиста, 25–27 апреля 2018 г. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2018. – С. 44–47.

107. Дрововозова, Т. И. Конструкция локальных очистных сооружений очистки минерализованного дренажного стока с орошаемых земель / Т. И. Дрововозова, Н. Н. Красовская, С. А. Марьяш // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 5(77). – С. 336-343.

108. Экологические проблемы при строительстве очистных сооружений Элистинской фабрики первичной обработки шерсти / А. В. Арашаев,

Н. С. Серпокровов, В. А. Онкаев, А. В. Онкаев // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2018»: материалы XI Международной научно-практической конференции, Сочи, Красная Поляна, 11–14 декабря 2018 г. – Сочи, Красная Поляна: ООО "Лик", 2018. – С. 246–251.

109. Экономические перспективы развития водоснабжения в Калмыкии / А. В. Онкаев, Т. К. Шушунова, О. Ш. Кедеева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 6. – С. 244–250.

110. Эколого-экономический фактор безопасности в Калмыкии: проблема питьевого водоснабжения / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Л. Х. Сангаджиева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 301–305.

111. Онкаев, А. В. Обеспечение водой при тушении пожаров в степных и полупустынных зонах Калмыкии / А. В. Онкаев, Н. С. Серпокровов, А. В. Арашаев // Безопасность в условиях глобализации мира: материалы Национальной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения первого президента Калмыцкого государственного университета, профессора Германа Манджиевича Борликова, Элиста, 19–20 декабря 2019 г.; редколлегия: Б. К. Салаев, В. А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2019. – С. 167–172.

112. The use of wastewater treatment facilities in the steppe regions of the Republic of Kalmykia / V. A. Onkaev, A. A. Dordzhiev, A. N. Badrudinova [et al.] // Asia Life Sciences. – 2020. – Vol. Supp22, No. 2. – Pp. 301–314.

113. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения на территории республики Калмыкия на примере МУП «Элиставодоканал» / А. В. Арашаев, А. В. Онкаев, Л. Х. Горяева, С. Д. Хулхачиева // Калмыкия в изменяющемся мире. История и современность: материалы научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Б.Б. Городовикова, 24 ноября 2020 г. Элиста; редколлегия: В. А. Эвиев [и др.]. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2020. – С. 112–119.

114. Водохранилища Калмыкии: воздействия на окружающую среду / М. М. Сангаджиев, Ю. С. Гермашева, А. В. Онкаев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 131–134.

115. Основные геохимические характеристики вод Калмыкии, влияющие на технологию строительного процесса / С. Л. Бочкаев, Э. А. Цатхлангова, А. В. Онкаев [и др.] // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы его рационального использования: материалы IX Национальной научно-практической конференции, Элиста, 21–22 апреля 2022 г. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью Издательский дом «Сциентиа», 2022. – С. 17-25.

116. Колодцы Калмыкии: современное состояние, связь с техносферной безопасностью в республике / М. М. Сангаджиев, О. Ш. Кедеева, А. В. Онкаев [и др.] // Экономика строительства. – 2022. – № 11. – С. 130–137.

117. Некоторые вопросы влияния технологических строительных процессов на окружающую среду в Калмыкии / А. Н. Бадрудинова, В. А. Онкаев, Т. Б. Джальчинова [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 130–134.

118. Геолого-географический фактор: некоторые особенности северо-восточной части Республики Калмыкии / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, А. В. Арашаев [и др.] // Астраханский вестник экологического образования. – 2022. – № 1(67). – С. 73–81.

119. Особенности метаморфизма вод в Калмыкии / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Ю. С. Гермашева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 279–281.

120. Очистка воды с применением принципа обратного осмоса в удаленных малых населенных пунктах Калмыкии / М. М. Сангаджиев, А. С. Мутырова, А. А. Мимишев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 195–199.

121. Водоносные горизонты на территории Калмыкии / О. В. Эрдниев, В. А. Онкаев, Ю. С. Гермашева [и др.] // Перспективы и особенности проектирования и строительства систем водоснабжения в аридных условиях:

материалы научно-практической конференции, 24–25 ноября 2023 г. Элиста. – Санкт-Петербург: ООО Издательский дом "Сциентиа", 2023. – С. 113–127.

122. Некоторые особенности механических свойств грунта из водоемов Калмыкии / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, А. Г. Дорджиев [и др.] // Экономика строительства. – 2023. – № 7. – С. 46–49.

123. Санджиев, Б. Ц. Проблемы водоснабжения в сельском хозяйстве Калмыкии / economicarggu.ru.

124. Влияние инженерно-геологических факторов на современную модель экономического развития строительной индустрии на территории Республики Калмыкия / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Л. И. Мучкинова [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 377–381.

125. История и инженерно-геологические особенности развития строительной индустрии Республики Калмыкия / М. М. Сангаджиев, В. А. Онкаев, Б. Б. Ханаев [и др.] // Экономика строительства. – 2024. – № 2. – С. 60–63.

126. Расход водных ресурсов для уборки доильного зала типа "Параллель" / В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова, Т. И. Гордеева [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 4(109). – С. 117-125.

127. Ковалев, С. В. Анализ водопользования на фермах КРС / С. В. Ковалев, В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 2(115). – С. 108-123.

128. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687090 Российская Федерация. Программа расчёта расхода воды на молочной ферме КРС: № 2024686126: заявл. 05.11.2024: опубл. 14.11.2024 / С. В. Ковалев, Т. Ю. Миронова, В. В. Гордеев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

129. Водные ресурсы Калмыкии: родники, колодцы, водохранилища, озера, реки и водно-болотные угодия: монография / М.М. Сангаджиев, Т.В. Манджиева, О.В. Эрдниев, В.А. Онкаев, А.В. Онкаев. — Санкт-Петербург: Сциентиа, 2025. — 120 с.

130. Концепция формирования наилучших доступных технологий в интенсивном животноводстве / Д. А. Максимов, А. Ю. Брюханов, Н. П. Козлова, Э. В. Васильев // Региональная экология. – 2015. – № 7(42). – С. 25-30.

131. Брюханов, А. Ю. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения / А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, Е. В. Шалавина // Региональная экология. – 2017. – № 1(47). – С. 37-43.

132. Никифоров, Д. В. Устройство для очистки водоемов, а также сточных вод в животноводческих фермах / Д. В. Никифоров, Х. Х. Губейдуллин, И. И. Шигапов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. – 2013. – № 1. – С. 56-60.

133. Шигапов, И. И. Современные технические средства для очистки сточных вод в животноводческих фермах / И. И. Шигапов, Б. Р. Ахмадов, О. Н. Краснова // Peasant. – 2021. – № 4(93). – С. 126-130.

134. Оковитая, К. О. Обеззараживание сточных вод на мясоперерабатывающем предприятии мясного кластера / К. О. Оковитая, О. А. Суржко // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2(49). – С. 178.

135. Суржко, О. А. Биологический способ обеззараживания сточных вод свиноводческих комплексов / О. А. Суржко, К. О. Оковитая // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3(50). – С. 106.

136. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении / Н. В. Бышов, С. Н. Бoryчев, И. А. Успенский, И. В. Фадеев // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 6(264). – С. 38-42. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-6-38-42.

137. Строительные нормы и правила (СНиП) СП 31.13330. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. / Постановление Российской Федерации от 19.11.2008 №858.

138. Административно-территориальное деление Калмыкии: википедия: сайт. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 20.02.2024).

139. О состоянии водоснабжения в республике Калмыкия: сайт. – URL: https://08.rospotrebnadzor.ru/press_center//asset_publisher/0L3h/content/ (дата обращения: 20.02.2024).

140. Элиста. Администрация города: сайт. – URL: <https://gorod-elista.ru/novosti/elistavodokanal-pereshel-na-bezopasnyi-metod-obez-171> (дата обращения: 21.02.2024).

141. Михеева И. В. Водные объекты и состояние водоснабжения на территориях южного федерального округа / Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2019»: материалы XII Международной научно-практической конференции, 22–23 октября 2019 г. – Москва: ООО "Лик", 2019. – С. 74–83

142. Михеева, И. В. Водные объекты и состояние водоснабжения на территориях южного федерального округа / Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2017»: материалы X Международной научно-практической конференции, 5 – 6 октября 2017 г. – Астрахань: ООО "Лик"», 2017. – С. 145–155.

143. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» / Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. №2.

144. Кудрявцев, Н. Т. Прикладная электрохимия: учебник / Н. Т. Кудрявцев – Москва: Химия, 1975. – 552 с.

145. Слипченко, А. В., Кульский, Л. А., Мацкевич, Е. С. Современное состояние методов окисления примесей воды и перспективы хлорирования / А. В. Слипченко, Л. А. Кульский, Е. С. Мацкевич // Киевский научно-технический журнал. – 1990. – № 4. – С. 326–349.

146. Патент № 2828663 Российская Федерация, МПК C25B 1/26 (2006.01); Способ дезинфектанта на основе гипохлорита натрия: № 2023136024 / заявл. 29.12.2023: опубл. 15.10.2024 / Онкаев А. В., Онкаев В. А., Пчельников И. В., Фесенко Л. Н. – 10 с.

147. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред». Серия 09.

Выпуск 39. – Москва: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 120 с.

148. Структурная схема управления технологическим процессом навозоудаления / В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова, В. Е. Хазанов [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 2(107). – С. 115-125.

149. Фесенко, Л. Н. Высококонцентрированный гипохлорит натрия – станция хранения и дозирования / Л. Н. Фесенко // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2024»: материалы XII Международной научно-практической конференции, Москва, 23–26 апреля 2024 года. – Кисловодск: ООО "Лик", 2019. – С. 122–133

150. Медриш, Г. Л., Тейшева, А. А., Басин, Д. Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролиза. – Москва: Стройиздат, 1982. – 81 с.

151. Технические указания по эксплуатации электролизных установок непроточного типа производительностью 1, 5, 25 и 100 кг/сут. активного хлора. – Москва: ОНТИ Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова, 1978. – 18 с.

152. Официальный сайт компании ООО НПФ «Невский Кристалл»: сайт. – URL: <https://npfnk.ru/> (дата обращения: 20.02.2024).

153. Официальный сайт компании ООО НПП «ЭКОФЕС»: сайт. / – URL: <https://ecofes.ru/> (дата обращения: 20.02.2024).

154. Официальный сайт компании АО «Тамбовское ОКТБ»: сайт. / – URL: <https://www.okbtambov.ru/> (дата обращения: 20.02.2024).

155. Медриш, Г. Л., Монастырский, В. И. параметры процесса электролитического получения гипохлорита натрия при электролизе подземных минерализованных вод: научные труды; Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова. – Москва. – 1974. – Вып. 97. – С. 58–63.

156. Сайгак, Е. И. Исследование технологии электрохимического получения и использования гипохлорита в автономных водоочистных установках: специальность 05.17.01 «Технология неорганических веществ» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сайгак Евграф Иванович. – Киев, 1979. – 20 с.

157. Григорьев, Ю. И., Шульгин, Ю.П., Степаненко, С. Н. Изучение эффективности применения хлора, полученного методом электролиза морской воды // Гигиена и санитария. – 1984. – № 3. – С. 84–86.

158. Пчельников, И. В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия электролизом морской воды: на примере Черного моря: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пчельников Игорь Викторович; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Волгоград, 2015. – 155 с.

159. Нгуен Тхи Туан Зьеп. Технология производства дезинфицирующего реагента – гипохлорита натрия из хлоридсодержащих природных вод (на примере республики Вьетнам): специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нгуен Тхи Туан Зьеп; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Москва, 2022. – 143 с.

160. Онкаев, В. А. Современное состояние поверхностных и подземных вод Калмыкии / В. А. Онкаев, Ю. С. Гермашева, М. М. Сангаджиев // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. – 2012. – № 4. – С. 247–257.

161. Онкаев, В. А. Подземные воды Республики Калмыкия и ее геолого-экологические особенности / В. А. Онкаев, М. М. Сангаджиев // Вестник Калмыцкого университета. – 2013. – № 4(20). – С. 48–55.

162. Цуркан, С. Я. Оценка условий формирования и возможности искусственного пополнения ресурсов подземных вод Калмыкии для их рационального использования: специальность 04.00.06 «Гидрогеология»: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого – минералогических наук / Цуркан Сергей Яковлевич; Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии. – Москва, 1993 – 244 с.

163. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин – Ленинград: Гидрометео-издат, 1953. – 296 с.

164. Схема территориального планирования республики Калмыкия: сайт. – URL: <https://uchebana5.ru/cont/1062565.html> (дата обращения: 27.08.2024).

165. Онкаев, А. В. Экономические аспекты использования нетрадиционных видов энергии в степной Калмыкии / А. В. Онкаев // Возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и X научной молодежной школы, 10–13 октября 2016 г. – Москва: ИД Университетская книга, 2016. – С. 263–270.

166. Онкаев, А. В. Использование нетрадиционных видов энергии в степной Калмыкии / А. В. Онкаев, Н. Д. Кичикова, В. А. Онкаев // Недра Калмыкии: материалы научно-практической конференции, посвященной к юбилею профессора С.С. Кумеева, 31 марта 2017 г. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2017. – С. 117–120.

167. Возобновляемые источники энергии: экологические проблемы и пути их решений в Калмыкии / М. М. Сангаджиев, Н. Л. Муджигов, С. А. Сангаджиева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 12. – С. 270–275.

168. Возобновляемые источники энергии как фактор развития национальной экономики и безопасность жизнедеятельности (Республики Калмыкия) / В. А. Онкаев, С. Д. Хулхачиева, А. В. Онкаев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 7. – С. 212–215.

169. Перспективы возможности использования нетрадиционных источников энергии для повышения организационно-технологической надежности строительного процесса Калмыкии / А. Н. Бадрудинова, В. А. Онкаев, А. В. Онкаев [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 187–190.

170. Техногенная безопасность на возобновляемых источниках энергии в Калмыкии / М. М. Сангаджиев, А. В. Онкаев, В. А. Онкаев [и др.] // Экономика строительства. – 2023. – № 2. – С. 124–129.

171. К вопросу возможности аварийных взрывов на городских и других строительных объектах в Калмыкии / В. А. Онкаев, А. Н. Бадрудинова, О. Ш. Кедеева [и др.] // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 6. – С. 234–236.

172. Мониторинг профиля электрической нагрузки сельскохозяйственных предприятий на примере фермы КРС / Е. В. Тимофеев, А. Ф. Эрк, В. В. Гордеев [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 4(109). – С. 4–12.

173. Савватеева, И. А. Технология производства электроэнергии из биогаза, получаемого от навоза крупного рогатого скота / И. А. Савватеева, В. П. Друзянова // Дальневосточный аграрный вестник. – 2021. – № 2(58). – С. 144-151. – DOI 10.24412/1999-6837-2021-2-144-151.

174. Савватеева, И. А. Электроэнергия из биогаза / И. А. Савватеева, В. П. Друзянова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2020. – № 34. – С. 27-37.

175. Разина, Н. Ф. Окисные электроды в водных растворах / Н. Ф. Разина – Алма-Ата: Издательство «Наука» Казахской ССР, 1982. – 161 с.

176. Слипченко, А. В., Савлук, О. С., Борисов, Ю. С. Влияние анионного состава электролита на выход активного хлора по току при электролизе морских и солоноватых вод // Химия и технология воды. – 1987. – 9, №2. – С. 150–152.

177. Слипченко, В. А., Сайгак, Е. И., Харченко, А. Д. Исследование гипохлоритного электролизера с титаноплатиновыми электродами для обеззараживания воды на водоочистных установках небольшой производительности // Сан. Техника. – 1972. – Вып. 12. – С. 160–165.

178. Слипченко, А. В., Мацкевич, Е. С., Кульский, Л. А. Получение гипохлорита натрия на магнетитовом аноде при электролизе разбавленных растворов // Химия и технология воды. – 1988. – 10, №3. – С. 219–221.

179. Фрумина, Н.С. Аналитическая химия элементов. Хлор / Н.С. Фрумина, Н. Ф. Лисенко, М. А. Чернова. – Москва: Наука, 1983 – 200 с.

180. Кубасов, В. Л. Электрохимическая технология неорганических веществ / В. Л. Кубасов, В. В. Банников. – Москва: Химия, 1989. – 288 с.

181. XuMuK.ru: сайт. – URL: <https://xumuk.ru/encyklopedia/2/5339.html> (дата обращения: 27.08.2024).

182. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Марков, Ю. В. Грановский. – Москва: Наука, 1976. – 156 с.

183. Кудрявцев, С. В. Совершенствование технологических параметров установок получения электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания воды: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кудрявцев Сергей Викторович; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск, 2009. – 161с.

184. Караваев, В. С. Оптимальное управление гальваническими процессами с учетом изменения концентрации компонентов электролита: специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» (промышленность): диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Караваев Василий Игоревич; ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов, 2007. – 161 с.

185. Особенности получения гипохлорита натрия электролизом из природных хлоридсодержащих вод (на примере Республики Калмыкия) / А. В. Онкаев, И. А. Успенский, Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 136-145.

186. Анализ способов производства гипохлорита натрия сельскохозяйственного назначения (на примере Республики Калмыкия) / А. В. Онкаев, И. А. Успенский, Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 151-163.

187. Земельные ресурсы аридных территорий России / И. С. Зонн, И. А. Трофимов, З. Ш. Шамсутдинов, Н. З. Шамсутдинов // Аридные экосистемы. – 2004. – Т. 10, № 22-23. – С. 87–101.

188. Особенности работы оксиднорутениево-титановых анодов в растворах хлорида натрия различных концентраций / Л. Н. Фесенко, В. И. Эбериль, М. С. Липкин [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2(41). – С. 17

189. Факторы, ограничивающие выход продукта в процессе электролитического получения гипохлорита натрия / А. П. Горшенин, Г. Е. Иткин, Д. Э. Чиркст // Химия и химическая технология. – 2005. – Т. 48, № 2. – С. 34–37.

190. Технология утилизации сбросных рассолов опреснительных установок / К.М. Абдуллаев, М.М. Агамалиев, Ф.М. Султанова [и др.] // Химия и технология воды. – 1992. – Т. 14, №11. – С. 863–869.

191. Максин, В. И. Утилизация многокомпонентных минерализованных вод / В. И. Максин, И. Г. Вахнин, Е. В. Скоробогач // Химия и технология воды. – 1992. – Т. 14, №11. – С. 847–851.

192. Очистка сточных вод от сульфата – ионов с помощью извести и оксосульфата алюминия / Е. О. Сальникова, И. В. Гофенберг, Е. Н. Туранина [и др.] // Химия и технология воды. – 1992. – Т. 14, №2. – С. 152–157.

193. Слипченко, А. В. Современное состояние методов окисления примесей воды и перспективы хлорирования / А. В. Слипченко, Л. А. Кульский, Е. С. Мацкевич // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12, №4. – С. 325–349.

194. ГОСТ Р 57568—2017. Натрия гипохлорит раствор водный. Технические условия. национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 августа 2017 г. № 777-ст: введен впервые: дата введения 2018-02-01/ разработан. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН). — Москва: Стандартинформ, 2017.

195. Инвестиционное проектирование: основы теории и практики / А. П. Москаленко и др. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2018. – 276 с.

196. Москаленко, А. П. Эколого-экономический механизм инвестиционных решений экологизации теплоэнергетики. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2007. – 264 с.

197. Москаленко, А. П. Социальный и эколого-экономический механизм принятия инвестиционных решений в природопользовании. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. 314 с.

198. ООО «УЛИСС»: сайт. – URL: https://ulyss.ru/catalog/gipokhlorit_natriya_marka_a_proiz_vo_ooo_novomoskovskiy_khlor_/ (дата обращения: 07.09.2024).

Приложение А - Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Республики Калмыкия за 2022 год



РОССТАТ

**УПРАВЛЕНИЕ
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ
ПО АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ И
РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ
(АСТРАХАНЬСТАТ)**

Онкаеву А.В.

onkaev.adik08@yandex.ru

Ленина ул., д. 44, г. Астрахань, 414000
e-mail: 30@rosstat.gov.ru; сайт: 30.rosstat.gov.ru
тел.: (8512) 39-45-15, доб. 30-020
факс: (8512) 39-41-23

16.02.2024 № 14/ОГ

на № _____ б/н _____ от 07.02.2024

О предоставлении статистической
информации

Уважаемый Адик Викторович!

Астраханьстат направляет запрашиваемые сведения о посевных площадях и валовом сборе сельскохозяйственных культур согласно формы федерального статистического наблюдения №29-сх «Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур» в хозяйствах всех категорий Республики Калмыкия за 2022 год.

Приложение: на 1 л.

С уважением,

Заместитель Руководителя



Б.А. Кекеева

Буринова Лариса Батровна
8 (847 22) 3 95 61
Отдел государственной статистики в Республике Калмыкия

Посевная площадь

гектаров

	Пшеница	Ячмень	Овёс
Муниципальные образования Республики Калмыкии	251 779,4	24 649,0	90,0
Городовиковский муниципальный район	34 193,6	7 249,4	30,0
Ики-Бурульский муниципальный район	43 296,4	1 650,0	-
Малодербетовский муниципальный район	6 934,0	3 417,0	-
Октябрьский муниципальный район	1 057,0	749,0	-
Кетченеровский муниципальный район	7 971,5	70,0	-
Приютненский муниципальный район	31 266,0	2 415,0	-
Сарпинский муниципальный район	48 818,7	3 581,3	-
Целинный муниципальный район	24 137,7	2 615,0	-
Черноземельский муниципальный район	120,0	80,0	-
Яшалтинский муниципальный район	49 415,5	2 272,3	60,0
Яшкульский муниципальный район	2 000,0	500,0	-
город Элиста	2 569,0	50,0	-

Валовой сбор
(в весе после доработки)

центнеров

	Пшеница	Ячмень	Овёс
Муниципальные образования Республики Калмыкии	6 450 754,7	418 187,2	1034,0
Городовиковский муниципальный район	1 209 269,7	181 332,2	494,0
Ики-Бурульский муниципальный район	704 037,7	776,0	-
Малодербетовский муниципальный район	138 906,0	50 528,0	-
Октябрьский муниципальный район	26 293,0	16 784,0	-
Кетченеровский муниципальный район	61 487,4	250,0	-
Приютненский муниципальный район	865 982,7	45 470,7	-
Сарпинский муниципальный район	1 117 726,9	26 385,0	-
Целинный муниципальный район	393 658,6	35 150,0	-
Черноземельский муниципальный район	2 044,0	500,0	-
Яшалтинский муниципальный район	1 889 739,2	60 623,3	540,0
город Элиста	41 609,6	388,0	-

Приложение Б – Результаты трех природных растворов на постоянном токе в проточном режиме

Таблица Б.1 – Постоянный ток река Элиста

№п/ п	I, А	i, А/м ²	Q, дм ³ /ч	Измеряемые параметры											
				I				II				III			
				$t_{\text{вход}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$				$t_{\text{вход}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$				$t_{\text{вход}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$			
				[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В
1	0,6	100	2,88	0,164	23	8,18	3,1	0,148	24	8,58	3,1	0,185	25	8,34	3
	0,48	80	2,88	0,141	23	8,00	3	0,088	24	8,22	3	0,121	25	8,50	2,9
	0,36	60	2,88	0,100	23	8,00	2,9	0,071	24	8,04	2,9	0,082	25	8,50	2,8
	0,24	40	2,88	0,080	23	7,77	2,7	0,067	24	7,96	2,7	0,044	25	8,83	2,6
	0,12	20	2,88	0,040	23	7,66	2,5	0,033	24	7,62	2,5	0,027	25	8,73	2,4
2	0,6	100	2,40	0,174	23	7,99	3,1	0,159	24	7,96	3,1	0,193	25	8,63	3
	0,48	80	2,40	0,159	23	7,69	3	0,100	24	7,86	3	0,125	25	8,42	2,9
	0,36	60	2,40	0,106	23	7,69	2,9	0,078	24	7,78	2,9	0,090	25	8,42	2,8
	0,24	40	2,40	0,088	23	7,56	2,7	0,071	24	7,48	2,7	0,048	25	8,34	2,6
	0,12	20	2,40	0,043	23	7,21	2,5	0,035	24	7,35	2,5	0,029	25	8,22	2,4
3	0,6	100	1,74	0,202	24	8,10	3,1	0,188	24	8,50	3,1	0,216	25	8,55	3
	0,48	80	1,74	0,194	23	7,67	3	0,124	24	8,23	3	0,148	25	8,15	2,9
	0,36	60	1,74	0,137	23	7,67	2,9	0,106	24	8,12	2,9	0,121	25	8,15	2,8
	0,24	40	1,74	0,104	23	7,48	2,7	0,083	24	8,00	2,7	0,068	25	7,71	2,6
	0,12	20	1,74	0,052	23	7,54	2,5	0,043	24	7,71	2,5	0,035	25	7,69	2,4
4	0,6	100	0,95	0,319	23	8,45	3,1	0,300	24	8,41	3,1	0,337	25	7,50	3
	0,48	80	0,95	0,301	23	8,01	3	0,248	24	8,41	3	0,282	25	7,35	2,9
	0,36	60	0,95	0,230	23	8,01	2,9	0,195	24	8,32	2,9	0,214	25	7,35	2,8
	0,24	40	0,95	0,141	23	7,99	2,7	0,124	24	8,21	2,7	0,106	25	7,26	2,6
	0,12	20	0,95	0,071	23	7,66	2,5	0,065	24	8,09	2,5	0,053	25	7,20	2,4
5	0,6	100	0,46	0,468	23	7,60	3,1	0,402	24	7,52	3,1	0,482	25	7,35	3
	0,48	80	0,46	0,448	23	7,32	3	0,372	24	7,40	3	0,422	25	7,21	2,9
	0,36	60	0,46	0,359	23	7,32	2,9	0,316	24	7,19	2,9	0,327	25	7,21	2,8
	0,24	40	0,46	0,266	23	7,25	2,7	0,230	24	7,14	2,7	0,168	25	6,84	2,6
	0,12	20	0,46	0,106	23	7,30	2,5	0,088	24	7,00	2,5	0,072	25	6,75	2,4

Таблица Б.2 – Постоянный ток подземная вода поселок Юста

№ п/п	I, А	i, А/м ²	Q, дм ³ /ч	Измеряемые параметры											
				I				II				III			
				$t_{\text{вход}} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$				$t_{\text{вход}} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$				$t_{\text{вход}} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,56$			
				[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В
1	3	500	2,76	0,72	23	8,29	3,3	0,70	24	8,56	3,3	0,74	25	8,12	3,2
	2,4	400	2,76	0,63	23	8,25	3,2	0,61	24	8,47	3,2	0,65	25	8,10	3,1
	1,8	300	2,76	0,52	23	8,02	3,1	0,50	24	8,33	3,1	0,55	25	7,90	3,0
	1,2	200	2,76	0,43	23	8,09	3,0	0,41	24	8,41	3,0	0,45	25	7,73	2,9
	0,6	100	2,76	0,26	23	8,00	2,9	0,24	24	7,88	2,9	0,28	25	7,30	2,8
2	3	500	2,36	0,72	23	7,95	3,3	0,70	24	8,25	3,3	0,74	25	8,44	3,2
	2,4	400	2,36	0,63	23	7,89	3,2	0,61	24	8,39	3,2	0,65	25	8,10	3,1
	1,8	300	2,36	0,53	23	7,61	3,1	0,50	24	8,03	3,1	0,55	25	7,86	3,0
	1,2	200	2,36	0,43	23	7,70	3,0	0,41	24	8,21	3,0	0,45	25	7,62	2,9
	0,6	100	2,36	0,26	23	7,52	2,9	0,24	24	8,22	2,9	0,28	25	7,45	2,8
3	3	500	1,74	0,74	23	8,12	3,3	0,72	24	8,33	3,3	0,76	25	8,50	3,2
	2,4	400	1,74	0,65	23	7,65	3,2	0,63	24	8,42	3,2	0,67	25	8,16	3,1
	1,8	300	1,74	0,56	23	7,28	3,1	0,54	24	7,86	3,1	0,59	25	7,73	3,0
	1,2	200	1,74	0,46	23	7,55	3,0	0,44	24	8,00	3,0	0,48	25	7,41	2,9
	0,6	100	1,74	0,28	23	7,49	2,9	0,27	24	8,00	2,9	0,31	25	7,24	2,8
4	3	500	1,02	0,83	23	7,75	3,3	0,79	24	8,35	3,3	0,85	25	8,80	3,2
	2,4	400	1,02	0,72	23	8,00	3,2	0,70	24	8,32	3,2	0,74	25	8,11	3,1
	1,8	300	1,02	0,63	23	7,66	3,1	0,60	24	8,13	3,1	0,65	25	7,75	3,0
	1,2	200	1,02	0,53	23	7,30	3,0	0,51	24	7,91	3,0	0,55	25	7,53	2,9
	0,6	100	1,02	0,34	23	8,70	2,9	0,32	24	8,12	2,9	0,35	25	7,30	2,8
5	3	500	0,55	0,92	23	7,95	3,3	0,89	24	8,53	3,3	0,94	25	8,90	3,2
	2,4	400	0,55	0,81	23	7,72	3,2	0,78	24	8,26	3,2	0,83	25	8,30	3,1
	1,8	300	0,55	0,72	23	7,35	3,1	0,69	24	7,84	3,1	0,74	25	7,90	3,0
	1,2	200	0,55	0,61	23	7,79	3,0	0,58	24	7,85	3,0	0,64	25	7,35	2,9
	0,6	100	0,55	0,41	23	8,86	2,9	0,39	24	7,77	2,9	0,43	25	7,30	2,8

Таблица Б.3 – Постоянный ток озеро Улан-Хол

№ п/п	I, А	i, А/м ²	Q, дм ³ /ч	Измеряемые параметры											
				I				II				III			
				$t_{\text{вход}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,35$				$t_{\text{вход}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,35$				$t_{\text{вход}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{pH}_{\text{вход}} = 7,35$			
				[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В	[ClO ⁻], г/дм ³	t, °C	pH	U, В
1	6	1000	2,85	2,94	23	8,37	3,3	2,69	24	8,51	3,3	3,11	25	8,23	3,2
	4,8	800	2,85	1,69	23	8,24	3,2	1,59	24	7,79	3,2	2,01	25	8,06	3,1
	3,6	600	2,85	1,43	23	8,06	3	1,34	24	7,67	3	1,58	25	7,83	2,8
	2,4	400	2,85	1,06	23	8,01	2,9	0,98	24	7,45	2,9	1,19	25	7,83	2,6
	1,2	200	2,85	0,73	23	7,98	2,6	0,63	24	7,41	2,6	0,82	25	7,68	2,4
2	6	1000	2,43	3,08	23	8,36	3,3	2,83	24	8,43	3,3	3,28	25	8,88	3,2
	4,8	800	2,43	1,79	23	8,20	3,2	1,69	24	8,37	3,2	2,06	25	8,18	3,1
	3,6	600	2,43	1,53	23	8,08	3	1,44	24	8,32	3	1,68	25	8,08	2,8
	2,4	400	2,43	1,06	23	7,80	2,9	0,98	24	8,10	2,9	1,19	25	7,75	2,6
	1,2	200	2,43	0,73	23	7,82	2,6	0,63	24	8,00	2,6	0,82	25	7,68	2,4
3	6	1000	1,77	3,55	23	8,54	3,3	3,33	24	8,67	3,3	3,85	25	8,24	3,2
	4,8	800	1,77	2,30	23	7,91	3,2	2,04	24	8,24	3,2	2,49	25	8,19	3,1
	3,6	600	1,77	1,91	23	7,97	3	1,78	24	7,71	3	2,06	25	7,87	2,8
	2,4	400	1,77	1,24	23	8,09	2,9	1,16	24	8,02	2,9	1,44	25	7,79	2,6
	1,2	200	1,77	0,81	23	7,95	2,6	0,73	24	8,05	2,6	0,92	25	7,32	2,4
4	6	1000	0,93	4,76	23	7,96	3,3	4,55	24	7,72	3,3	5,06	25	8,90	3,2
	4,8	800	0,93	3,97	23	7,95	3,2	3,60	24	7,79	3,2	4,18	25	7,91	3,1
	3,6	600	0,93	3,16	23	7,84	3	3,00	24	8,24	3	3,27	25	7,82	2,8
	2,4	400	0,93	2,12	23	8,06	2,9	2,04	24	8,19	2,9	2,30	25	7,58	2,6
	1,2	200	0,93	1,31	23	8,00	2,6	1,16	24	8,02	2,6	1,44	25	7,47	2,4
5	6	1000	0,43	6,60	23	7,86	3,3	6,31	24	8,03	3,3	6,78	25	8,65	3,2
	4,8	800	0,43	5,43	23	7,97	3,2	5,07	24	8,31	3,2	5,82	25	8,43	3,1
	3,6	600	0,43	4,25	23	8,16	3	4,10	24	8,35	3	4,58	25	8,25	2,8
	2,4	400	0,43	3,50	23	7,85	2,9	3,12	24	7,71	2,9	3,61	25	7,50	2,6
	1,2	200	0,43	1,88	23	7,39	2,6	1,78	24	7,25	2,6	2,07	25	7,30	2,4

Приложение В - Состав нерастворимых солей, образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде при переменном токе

После электролиза (переменного тока) раствора реки Элиста были получены следующие результаты анализа осадка, образующегося на:

1. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $J_o = 220$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 220$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 0$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 20$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

$CaCO_3 + CaSO_4 + Mg(OH)_2$.
200 200 20 20 0

В том числе:

$CaCO_3 = 200 \cdot 50 = 10000$ мг или 88,02 %;

$CaSO_4 = 20 \cdot 68 = 1360$ мг или 11,97 %;

2. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

Жесткость общая: $J_o = 135$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 135$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 20$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

$CaCO_3 + CaSO_4 + Mg(OH)_2$.
115 115 20 20 0

В том числе:

$CaCO_3 = 115 \cdot 50 = 5750$ мг или 80,87 %;

$CaSO_4 = 20 \cdot 68 = 1360$ мг или 19,12 %;

Или в общем виде процент распределения нерастворимых форм, входящих в состав осадка, образующегося при электролизе раствора реки Элиста, можно представить в форме таблицы В.1.

Таблица В.1 – Процент распределения нерастворимых форм осадка, образующегося при электролизе раствора реки Элиста

Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
В объеме электролизера (стенки и дно)	88,02	11,97	0
В потоке на выходе из электролизера	80,87	19,12	0

После электролиза подземного раствора (переменного тока) п. Юста были получены следующие результаты анализа после кислотного растворения осадка, образующегося на:

1. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $J_0 = 230$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 103$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 127$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 75$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

CaCO₃ + CaSO₄ + Mg(OH)₂.
 28 28 75 75 127

В том числе:

CaCO₃ = $28 \cdot 50 = 1400$ мг или 13,72 %;

CaSO₄ = $75 \cdot 68 = 5100$ мг или 49,98 %;

Mg(OH)₂ = $127 \cdot 29,15 = 3702,05$ мг или 36,28 %.

2. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

Жесткость общая: $J_0 = 175$ мг-экв/л;

$Ca^{2+} = 161$ мг-экв/л;

$Mg^{2+} = 14$ мг-экв/л;

$SO_4^{2-} = 40$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

CaCO₃ + CaSO₄ + Mg(OH)₂.
 121 121 40 40 14

В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 121 \cdot 50 = 6050 \text{ мг или } 65,91 \text{ \%};$$

$$\text{CaSO}_4 = 40 \cdot 68 = 2720 \text{ мг или } 29,63 \text{ \%};$$

$$\text{Mg(OH)}_2 = 14 \cdot 29,15 = 408,1 \text{ мг или } 4,44 \text{ \%}.$$

В общем виде результаты исследований состава осадка, образующегося при электролизе подземной воды п. Юста сведены в таблицу В.2.

Таблица В.2 – Процентное содержание нерастворимых примесей в осадке, образующемся при электролизе подземной воды п. Юста

Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
В объеме электролизера (стенки и дно)	13,72	49,98	36,28
В потоке на выходе из электролизера	65,91	29,63	4,44

После электролиза раствора (переменного тока) озера Улан-Хол были получены следующие результаты анализа осадка, образующегося на:

1. В объеме электролизера:

Жесткость общая: $J_o = 540$ мг-экв/л;

$\text{Ca}^{2+} = 380,0$ мг-экв/л;

$\text{Mg}^{2+} = 160,0$ мг-экв/л;

$\text{SO}_4^{2-} = 60,0$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей

$\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4 + \text{Mg(OH)}_2$.
 320 320 60 60 160

В том числе:

$\text{CaCO}_3 = 320 \cdot 50 = 16000$ мг или 64,66 %;

$\text{CaSO}_4 = 60 \cdot 68 = 4080$ мг или 16,48 %;

$\text{Mg(OH)}_2 = 160 \cdot 29,15 = 4664$ мг или 18,84 %.

2. Вынесенных с потоком гипохлорита натрия:

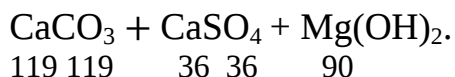
Жесткость общая: $J_o = 245$ мг-экв/л;

$\text{Ca}^{2+} = 155,0$ мг-экв/л;

$\text{Mg}^{2+} = 90,0$ мг-экв/л;

$\text{SO}_4^{2-} = 36,0$ мг-экв/л.

Количество нерастворимых солей



В том числе:

$$\text{CaCO}_3 = 119 \cdot 50 = 5950 \text{ мг или } 53,98 \%;$$

$$\text{CaSO}_4 = 36 \cdot 68 = 2448 \text{ мг или } 22,21 \%;$$

$$\text{Mg(OH)}_2 = 90 \cdot 29,15 = 2623,5 \text{ мг или } 23,80 \%.$$

В общем виде результаты исследований состава осадка, образующегося при электролизе раствора озера Улан-Хол, представлены в таблице В.3.

Таблица В.3 – Процентное содержание примесей в осадке, образующемся при электролизе раствора озера Улан-Хол

Место образования осадка	Процент содержания нерастворимых примесей		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
В объеме электролизера (стенки и дно)	64,66	16,48	18,84
В потоке на выходе из электролизера	53,98	22,21	23,80

Для сравнения показателей состава солей и оценки толщины осадка трех природных растворов результаты таблиц В.1–В.3 сведены в таблицу В.4.

Таблица В.4 – Состав нерастворимых солей, в образующихся при электролизе трех природных растворов, масса и толщина осадка на катоде (переменный ток)

Место скопления осадка, толщина на катоде	Состав нерастворимых солей, в % после электролиза, толщина и масса осадка								
	Река Элиста			Подземная вода Юста			Озеро Улан-Хол		
	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂	CaCO ₃	CaSO ₄	Mg(OH) ₂
Электролизная ячейка	88,02	11,97	0	13,72	49,98	36,28	64,66	16,48	18,84
Вынесенный потоком осадок	80,87	19,12	0	65,91	29,63	4,44	53,98	22,21	23,80
<i>M</i> _{осадка} , г (катод)	*0/0*			*0/0*			*0,89*		
Толщина (катода) край слева, мм	*0/0*			*0/0*			*1,16*		
Толщина (катода) край справа, мм	*0/0*			*0/0*			*1,17*		
Толщина (катода) середина, мм	*0/0*			*0/0*			*1,13*		

Примечание: * замеры массы и толщины каждого электрода электролизера

Приложение Г - Результаты исходных данных для оценки эффективности сравнения ВГХН и НГХН

1. Общие сведения о ГХН:

- низкоконцентрированный ГХН (НГХН) – 7 г/л $\rightarrow$ 7 кг/м³;
- высококонцентрированный ГХН (ВГХН) – 160 г/л $\rightarrow$ 160 кг/м³.

2. Потребители ГХН (объекты потребления м³/сут.):

а) НГХН:

- 1) точка 1 – 1 м³/сут. = 365 м³/год;
- 2) точка 2 – 0,5 м³/сут. = 182,5 м³/год;
- 3) точка 3 – 0,1 м³/сут. = 36,5 м³/год;

б) ВГХН:

- 1) точка 1 – 21 м³/год;
- 2) точка 2 – 10,6 м³/год;
- 3) точка 3 – 2,2 м³/год.

3. Отпускная цена ВГХН в г. Элиста – 52000 руб. м³ [198].

4. Логистика потребления/использования НГХН/ ВГХН:

- транспорт: автомобиль «Нива» с прицепом (расход бензина АИ-92 14 – 15 л/100 км; цена бензина АИ-92 – 52 руб./л);
- емкость для транспортировки ГХН: еврокуб (1 м³) (пластмасса) у каждого потребителя;
- длина маршрутов при перевозке ГХН (км):

«сотовая» схема организации:

точка 0 (фермерское хозяйство); точка 1, точка 2, точка 3

0 $\rightarrow$ 1 – 10 км; 0 $\rightarrow$ 2 – 5 км; 0 $\rightarrow$ 3 – 24 км;

централизованная схема организации:

точка 0 (точка распределения, г. Элиста), до пос. Утта 150 км, точка 1, точка 2, точка 3

0 $\rightarrow$ 1 – 160 км; 0 $\rightarrow$ 2 – 155 км; 0 $\rightarrow$ 3 – 174 км.

5. Капитальные вложения (K_i) на установку получения НГХН в фермерском хозяйстве (пос. Утта) в соответствии с [195] из расчета ее производительности 10 кг/сут. примем равные 1520000 руб. Здесь необходимо ввести коэффициент приведения в связи с инфляцией на временном периоде 2018 – 2023 гг. По данным Росстата средневзвешенная инфляция за этот период составляла 8 – 10 %/год. Тогда коэффициент приведения $K_{\text{привед}} = (1+0,08)^5 = 1,47$.

6. Эксплуатационные затраты C_i на установку получения НГХН с учетом обратного масштабирования: производительность 30 т/год = 82 кг/сут.; $C = 5242000$ руб./год, тогда при производительности 10 кг/сут. $C = 645645,2$ руб./год. [70].

Данный результат получен обратным масштабированием производительности 82 кг/сут. к производительности 10 кг/сут.

Приложение Д.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Глава КФХ «Арл»
Яшкульский район, СМО
Улан-Эрге
А.Н.Арилов
«15» ноября 2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Онкаева Адика Викторовича на тему: «Обоснование параметров установки получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия в условиях Республики Калмыкия» по специальности 4.3.1. - Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Настоящим актом подтверждается, что в ноябре 2024 года в КФХ «Арл», расположенном в Яшкульском районе, СМО Улан-Эрге, Республики Калмыкия, проведены исследования по определению эффективности внедрения установки получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия (патент РФ №2828663).

Форма внедрения: установка получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия производительностью 10 кг/сутки активного хлора.

Объём внедрения: крестьянско-фермерское хозяйство.

Эффективность от внедрения: использование разработанного автором способа и установки получения низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия, производительностью 10 кг активного хлора в сутки, с целью обеззараживания питьевой воды и помещений для содержания овец, относительно традиционной технологии получения дезинфектанта. Предварительная оценка эффективности предложенных решений также показала потенциальное снижение заболеваемости животных (свыше 40...50 %), что положительно влияет на рост шерсти, улучшение санитарного состояния помещений и, как следствие, сокращение издержек КФХ «Арл».

Специалисты, участвующие во внедрении: д.т.н., доцент Лимаренко Николай Владимирович, аспирант Онкаев Адик Викторович, глава КФХ «Арл» Арилов Анатолий Нимеевич, механик КФХ «Арл» (Бадмаев Дорджи Бадмаевич).

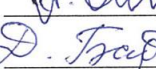
Глава КФХ «Арл»

д-р техн. наук, доцент

Аспирант

механик КФХ «Арл»






А.Н. Арилов

Н.В. Лимаренко

А.В. Онкаев

Д.Б. Бадмаев

Приложение Е – Результаты интеллектуальной деятельности

