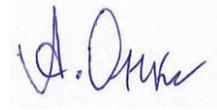


*На правах рукописи*



**ОНКАЕВ АДИК ВИКТОРОВИЧ**

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

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
**Лимаренко Николай Владимирович**

**Официальные оппоненты:** **Киров Юрий Александрович**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства»

**Гордеев Владислав Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства - филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

Защита диссертации состоится «09» июля 2025 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: [www.rgatu.ru](http://www.rgatu.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

Юхин Иван Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 низкоконцентрированного 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. Луновой, в растениеводстве – Warren E. Cores, 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. Серпокровым, В.В. Денисовым, И.А. Денисовой, Т.И. Дровозовой. В работах В.В. Гордеева рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности водоснабжения объектов АПК, О.Ш. Кедровой указаны условия эксплуатации животноводческих комплексов и водопользования на фермах КРС. Значительный вклад в исследования механизации данного направления внесён учёными: А.М. Бондаренко, П.И. Грдневым, 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. Установка 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.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе «Современное состояние вопроса использования дезинфицирующих средств в сельском хозяйстве»** из анализа мировых практик, связанных с деятельностью фермерских хозяйств, следует, что хлорсодержащие растворы широко применяются для обеззараживания воды, профилактики и лечения заболеваний животных, борьбы против спор, бактерий и других вредителей зерновых и овощных культур. Основным препаратом для этих целей служит раствор ГХН. Этому продукту свойственна высокая бактерицидная эффективность с широким спектром применения, что

обеспечивает не только экономическую устойчивость фермерских хозяйств, но и высокий уровень экологической безопасности. Ориентировочная потребность ГХН для нужд Республики Калмыкия в пересчете на активный хлор составляет порядка 440 кг.

До сих пор на объектах сельскохозяйственного назначения используют привозной ВГХН с высокой концентрацией активного хлора (до 190 г/л), произведенный на предприятиях химической промышленности, что относит его к высокотоксичным веществам (2 класс опасности), и, как следствие, требует соблюдения строгих мер при перевозке, хранении и дозировании.

В работе показана возможность производить электролизом (не более 10 г/л) НГХН (вещество 4 класса опасности), используя в качестве сырья местные минеральные водные ресурсы, что позволит отказаться от привозного ВГХН и соответствует экологическим критериям. Отмечено, что широкому распространению заданного способа препятствует недостаточная изученность процессов, в том числе, образование на поверхности катода, а также в объеме аппарата электролизера нерастворимых соединений кальция и магния, что приводит к разрушению электродов и снижению производительности установки. В ходе анализа предложены пути минимизации влияния осадкообразования в электролизере, а также проанализированы и выделены основные факторы и особенности электрохимических процессов с учетом многообразия качества природной воды Республики Калмыкия для обоснования параметров установки получения дезинфектанта – НГХН. Сформулированы цель и задачи работы.

**Во второй главе «Методика проведения опытов, приборы и оборудование»** представлены исследования – минеральных поверхностных (р. Элиста и оз. Улан-Хол) и подземных растворов (п. Юста) территории Республики Калмыкия (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав поверхностных и подземных растворов, используемых для получения НГХН, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

№ п/п	Место отбора	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	pH	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>
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

Для опытов была изготовлена лабораторная установка: на рис. 1 представлена ее схема, а на рис. 2 – общий вид. Она позволяет вести опыты в проточном и циркуляционном режимах одновременно на трех электродах с разным составом оксидного покрытия на основе металлов платиновой группы: иридия, рутения, палладия для определения среди них наиболее эффективного (по выходу а.х.). Электроды изготовлены в ООО НПП «ЭКОФЕС» и были переданы для исследований.

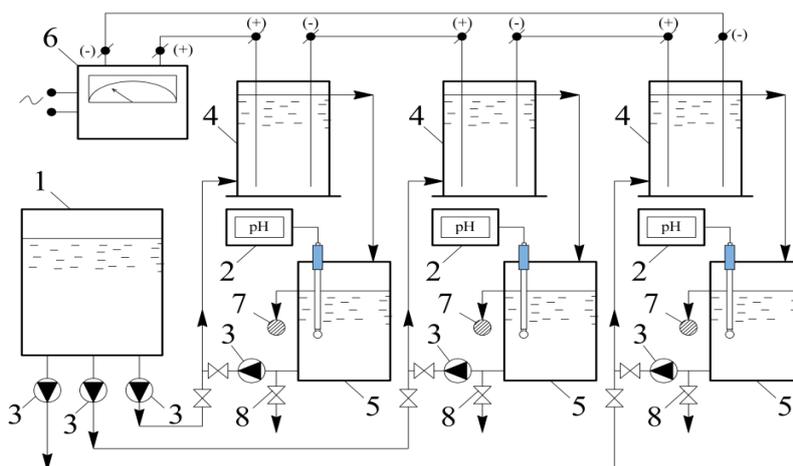


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки:

1 – емкость исходного раствора; 2 – рН-метр с термометром; 3 – перистальтический насос; 4 – электролизная ванна с электродами; 5 – накопитель раствора НГХН; 6 – блок питания – AC/DC; 7 – пробоотборник; 8 – перелив в канализацию

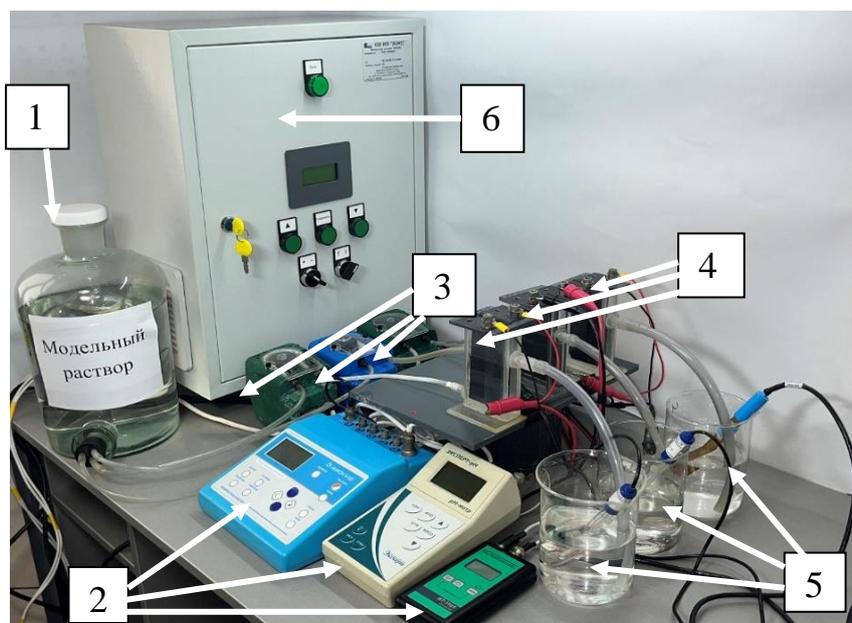


Рисунок 2 – Общий вид лабораторной установки

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

Исследования проводились в бездиафрагменном электролизере объемом  $0,12 \text{ дм}^3$  с двумя электродами размером  $103 \times 45 \times 1 \text{ мм}$  каждый (анод и катод) с использованием постоянного и переменного токов, плотности которых ( $\text{А/м}^2$ ) были выбраны и обоснованы с учетом концентрации хлоридов:  $10 \div 30 \text{ г/дм}^3$  – 1000;  $5 \div 10 \text{ г/дм}^3$  – 500;  $1 \div 5 \text{ г/дм}^3$  – 100. При переменной поляризации варьировали время прохождения прямого и обратного тока для устранения образования осадка на катоде. При этом электроды электролизера имели покрытие ОРТА. Для предотвращения разрушения оксидного слоя электрода

при катодной поляризации переменным током плотность тока не превышала  $200 \text{ А/м}^2$ . В опытах одновременно вели оценку напряжения на электролизере, концентрацию активного хлора  $\text{ClO}^-$ ,  $\text{г/дм}^3$ , его выход по току,  $\eta$ , %, удельному расходу электроэнергии,  $W$ ,  $\text{кВт}\cdot\text{ч/кг}$  произведенного активного хлора, изменение температуры,  $^{\circ}\text{C}$ , pH раствора и напряжения  $U$ , В, при различных плотностях тока и химического состава раствора. Исходная температура растворов была  $25^{\circ}\text{C}$ .

В третьей главе представлены «Результаты экспериментальных исследований», из которых следует, что анод из ОРТА (окисно-рутениево-титановый анод) имеет преимущество перед другими покрывными материалами благодаря наименьшей цене и удовлетворительным показателям по выходным параметрам ( $\eta$ ,  $W$ ):  $\eta$  - выход хлора по току,  $W$  – удельные энергетические затраты. В табл. 2 представлены результаты исследования электролиза в проточном режиме трех природных растворов, от плотности постоянного и переменного токов на выход НГХН, а также внешний вид катодов после электролиза представлен на рис. 3, 4.

Таблица 2 – Условия проведения и выходные результаты исследований трех природных растворов

№ п/п	Исследуемый раствор объекта	Время отбора проб, ч	Ток в цепи, $I$ , А	Плотность тока, $i$ , $\text{А/м}^2$	Расход раствора, $q$ , $\text{дм}^3/\text{ч}$	Измеряемые параметры				
						$[\text{ClO}^-]$ , $\text{г/дм}^3$	$t$ , $^{\circ}\text{C}$	pH	$U$ , В	$W$ , $\text{кВт}\cdot\text{ч/кг а.х.}$
постоянный ток										
1	р. 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
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
3	оз. 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
переменный ток (прямая и обратная поляризация по 2 часа)										
1	р. 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
2	подземная вода п. 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
3	оз. 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	2,6
		4				1,31	27	8,28	2,6	2,6

Из таблицы 2 следует, что во всех исследуемых растворах образуется активный хлор с концентрацией, которая вполне пригодна для применения в фермерском хозяйстве независимо от того, какой величины и формы ток использовался при электролизе.

В опытах на постоянном токе отмечено образование осадка на поверхности катода (рисунок 3).

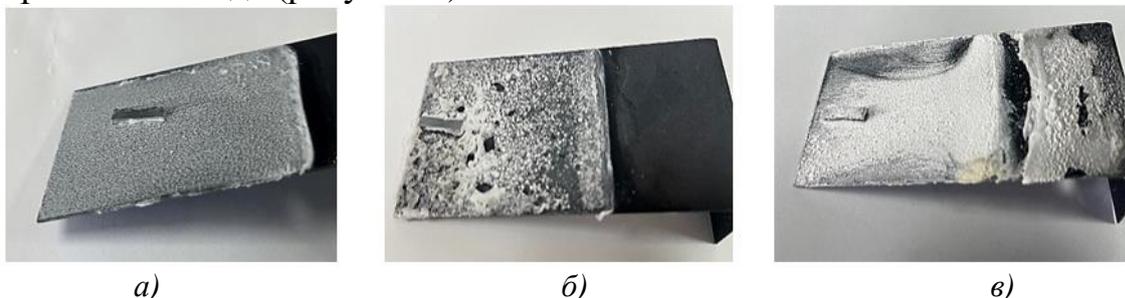


Рисунок 3 – Морфология осадков поверхности катодов после 10 часов электролиза постоянным током, в растворах:

а) р. Элиста,  $i - 100 \text{ A/m}^2$ ; б) п. Юста,  $i - 500 \text{ A/m}^2$ ; в) оз. Улан-Хол,  $i - 1000 \text{ A/m}^2$

Однако использование переменного тока устраняет накопление осадка на электродах при электролизе растворов р. Элиста и п. Юста, а оз. Улан-Хол – нет (рисунок 4 а, б и таблица 3). Накопление осадка на поверхности катода при электролизе раствора оз. Улан-Хол 2 ч объясняется тем, что с учетом его высокой минерализации, особенно по сульфат-ионам, образуется пленка, не поддающаяся кислотному растворению в анодный период тока. После того, как время электролиза было сокращено до 0,5 ч, образование осадка не наблюдали в растворе оз. Улан-Хол.

Таблица 3 – Состав и масса нерастворимых солей, образующихся при электролизе (переменный ток)

№ п/п	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 <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>
1	Электролизная ячейка	88,02	11,97	0	13,72	49,98	36,28	64,66	16,48	18,84
2	Вынесенный потоком осадок	80,87	19,12	0	65,91	29,63	4,44	53,98	22,21	23,80
3	$M_{\text{осадка}}$ , Г (катод)	*0/0			*0/0			0,89		
4	Толщина (катода) край слева, мм	*0/0			*0/0			1,16		
5	Толщина (катода) край справа, мм	*0/0			*0/0			1,17		
6	Толщина (катода) середина, мм	*0/0			*0/0			1,13		

Примечание: \*замеры массы и толщины каждого электрода электролизера

Как следует из данных таблицы 3 химический состав исследуемых растворов существенно влияет на количество и качество образуемых не растворимых соединений  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  как в ячейке, так и в потоке на выходе из электролизера.

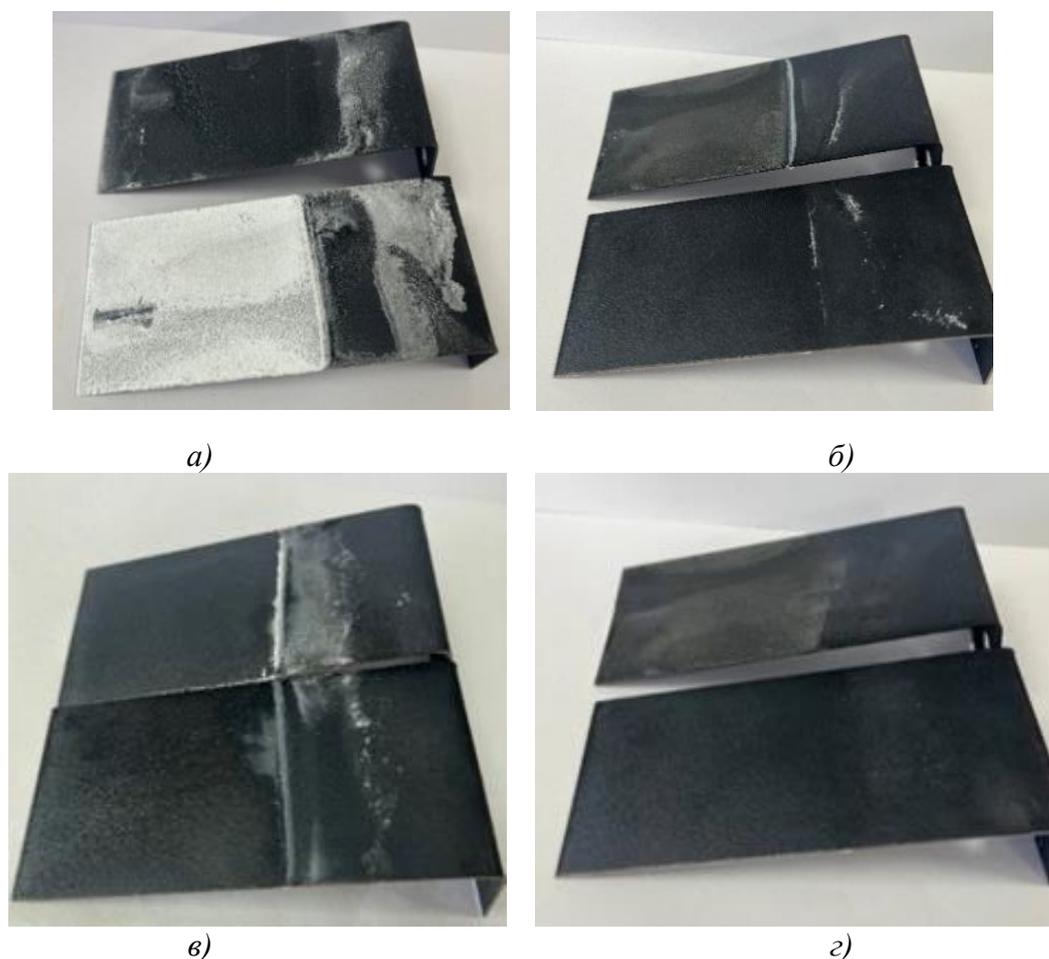


Рисунок 4 – Морфология осадков поверхности катодов после 12 часов электролиза переменным током; время прямого и обратного тока – 2 ч; в растворах:

а) р. Элиста,  $i - 100 \text{ A/m}^2$ ; б) п. Юста,  $i - 100 \text{ A/m}^2$ ;  
в) оз. Улан-Хол,  $i - 200 \text{ A/m}^2$ , г) 0,5 ч, оз. Улан-Хол,  $i - 200 \text{ A/m}^2$

В результате электролиза показатель кислотности раствора НГХН составляет 7,5-8,5 единиц, что указывает на присутствие каустической соды ( $\text{NaOH}$ ). С целью повышения эффективности биоцидного воздействия НГХН в качестве бактерицидных и противовоспалительных препаратов требуется снижение рН. Другим методом снижения или устранения такого негативного явления в работе предложена предварительная водоподготовка природного раствора с целью устранения осадкообразующих веществ. Однако, наиболее предпочтительным является использование активирующих веществ –  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и  $\text{CuSO}_4$  для снижения рН полученного раствора НГХН. В табл. 4 приведены значения рН раствора НГХН (начальная концентрация  $6 \text{ г/дм}^3$ ) при отдельной добавке  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4$  и их совместном присутствии для достижения

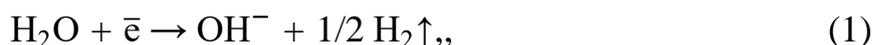
нейтральной рН (7 единиц). Данное решение защищено Патентом РФ на изобретение №2828663.

Таблица 4 – Влияние массы реактивов  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и  $\text{CuSO}_4$  на рН среды при отдельном и совместном присутствии в растворе НГХН

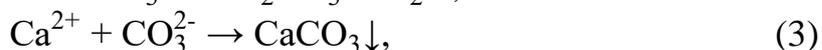
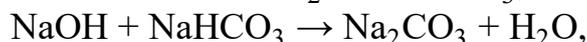
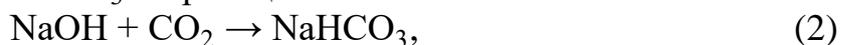
№ п/п	Масса добавляемого реактива, г в 100 мл раствора гипохлорита натрия	рН раствора гипохлорита натрия при добавке борной кислоты $\text{H}_3\text{BO}_3$	рН раствора гипохлорита натрия при добавке медного купороса $\text{CuSO}_4$	рН раствора гипохлорита натрия при добавке смеси борной кислоты с медным купоросом с массовым отношением 1:1
1	0	9,30	9,30	9,30
2	0,2	8,55	7,94	8,23
3	0,4	8,32	7,43	7,81
4	0,6	8,18	6,83	7,49
5	0,8	7,92	-	7,16
6	1,0	7,85	-	-
7	3,0	6,99	-	-

**В четвертой главе «Обсуждение результатов экспериментальных исследований»** Представлены результаты исследований, даны рекомендации для разработки установки получения НГХН. При этом принято во внимание суточное потребление порядка 440 кг НГХН для нужд Калмыкии, расположение потребителя, состав и источник сырья на территории Калмыкии.

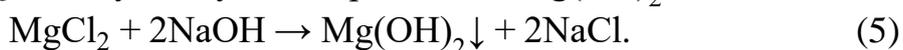
*Постоянный ток. Проточный режим электролиза.* Известно, что наибольшее влияние на образование отложений солей жесткости и гипса при электролизе солевых растворов оказывает химический состав раствора, что связано с наличием в нем ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и растворенного  $\text{CO}_2$  в тех или иных концентрациях 30 – 40, мг/л. В щелочном (по реакции среды) прикатодном пространстве



где  $\bar{e}$  – катод свободная углекислота  $\text{CO}_2$  и ионы гидрокарбоната  $\text{HCO}_3^-$  взаимодействуют с катионами кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и анионами гидроксила  $\text{OH}^-$  с последующим образованием  $\text{CaCO}_3$  по реакциям:



Выделившиеся при электролизе ионы  $\text{OH}^-$  не только смещают карбонатное равновесие в область  $\text{CO}_3^{2-}$ , 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  $\text{CaSO}_4$ .

Пояснение процессов во времени в виде последовательных событий электролиза постоянным током природных растворов на поверхности катода и в ячейке представлено на рисунке 5.

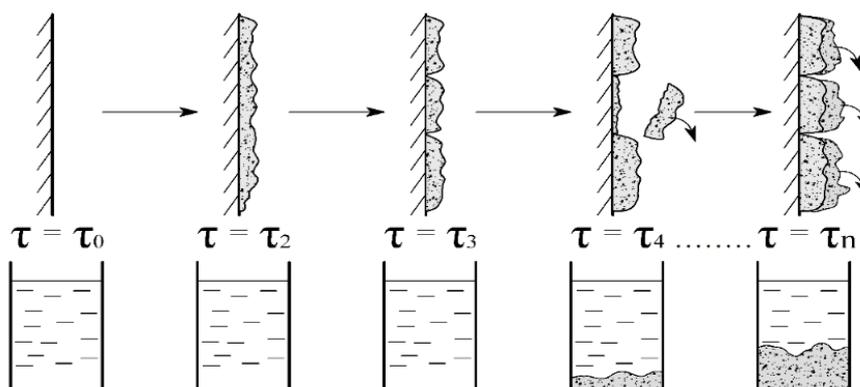


Рисунок 5 – Схема, поясняющая процессы на поверхности катода при электролизе постоянным током и динамика накопления осадка в ячейке электролизера за время  $\tau = 10$  часов

*Переменный ток. Проточный режим электролиза.* Накопление осадка на катоде при электролизе переменным током происходит по тем же последовательным химическим процессам, что и на постоянном. Все это реализуется пока электрод остается катодом. При смене полярности, когда электрод становится анодом, реализуется реакция окисления воды:



а выделяющаяся кислота  $\text{H}^+$ , растворяет часть осадка на границе раздела электрод-осадок согласно рисунку 6. Осадок теряет контакт и покидает поверхность анода, ввиду циклично повторяющихся во времени процессов в ячейке и на электродах, последовательно являющихся: катодом  $\rightarrow$  анодом  $\rightarrow$  катодом  $\rightarrow$  анодом... и т. д.

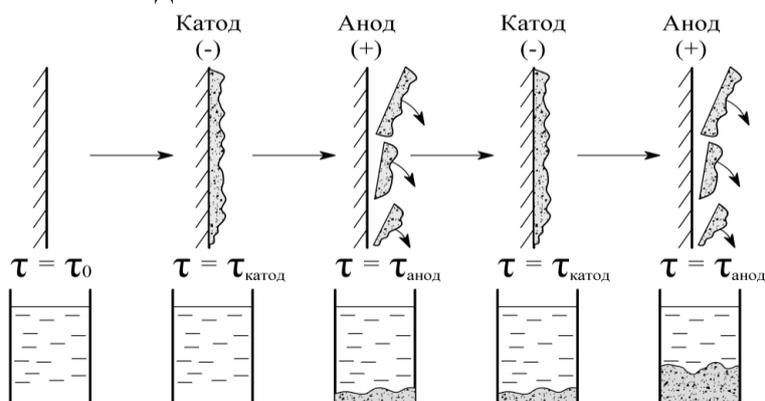


Рисунок 6 – Схема, поясняющая процессы на поверхности электрода при последовательном изменении полярности тока и динамика накопления осадка в ячейке электролизера за время  $\tau = 2$  часа

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

**В пятой главе «Оценка экономической эффективности получения НГХН электролизом природных растворов»** определена стоимость  $L_1$  использования НГХН по «сотовой» схеме организации с учетом капвложений и эксплуатационных расходов на его получение  $\approx 600$  м<sup>3</sup>/год (установленная производительность по хлору до 10 кг/сут.):

$$L_1 = \sum_{ij} S_{ij} + \lambda K_1 + C_1, \quad (7)$$

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

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

Эксплуатационные затраты  $C_1$  с учетом обратного масштабирования производительности (82 к 10 кг/сут.) примем в размере: 645645,2 руб./год.

Тогда  $L_1$  («сотовый» вариант):

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

Стоимость  $L_2$  использования ВГХН включает его производство, узел распределения и доставки с логистическими затратами составляет 1860673,4 руб.

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

$$(L_i) \rightarrow (L_1, L_2) \rightarrow \min, \quad (8)$$

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

Согласно методу приведенных затрат, следует отдать предпочтение сотовой схеме организации экологически безопасного обеспечения НГХН сельскохозяйственного получения для небольшой части Республики Калмыкия.

При масштабировании предлагаемых технических решений к организации экологически безопасного обеспечения ГХН сельскохозяйственного назначения на большую часть или всю Республику Калмыкия возможны иные структурно-инвестиционные дополнения.

### 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  $\text{CaCO}_3 : \text{CaSO}_4 : \text{Mg}(\text{OH})_2 = 50 : 40 : 10 \%$ .

5. Предложены параметры позволяющие устранить или подавить образование осадка путем использования переменного тока плотностью  $100 \text{ А/м}^2$  (для маломинерализованных) и  $200 \text{ А/м}^2$  (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  $100 \text{ кг/сут.}$  по активному хлору) обеспечить замену импортных материалов и компонентов, машин и оборудования на отечественную продукцию с высокой инновационной составляющей.

### **Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

#### **Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России**

1. 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.

2. 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. – 2025. – Т.17, № 1. – С 151-163.

**Патент РФ**

3. Патент № 2828663 С9 Российская Федерация, МПК С25В 1/26, А61L 2/18, А61L 101/06. Способ получения дезинфектанта на основе гипохлорита натрия: № 2023136024: заявл. 29.12.2023: опубл. 19.11.2024 / А. В. Онкаев, В. А. Онкаев, И. В. Пчельников, Л. Н. Фесенко; заявитель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие "ЭКОФЕС".

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная*

*Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1650 подписано в печать 07.05.2025г.*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени  
П.А. Костычева»*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических  
пособий ФГБОУ ВО РГАТУ*

*390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*