

• ISSN 2072-8158 •



# ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№3, 2023



г. Москва



Всероссийский научно-практический журнал «Вода: Химия и Экология» публикует оригинальные научные статьи и обзоры теоретического и практического характера, посвященные:

- ✓ органической химии;
- ✓ биорганической химии;
- ✓ неорганической химии;
- ✓ процессов химической, мембранной технологии
- ✓ экологии;
- ✓ гидробиологии;
- ✓ исследованию новых перспективных материалов для химической и микробиологической очистки воды;
- ✓ технологическим инновациям в сфере промышленной и бытовой очистки вод;
- ✓ исследованиям в области гидробиологии;
- ✓ мониторингу водных объектов, экономике водной отрасли;
- ✓ обзору передовых российских и зарубежных разработок, существующих патентов и нормативной документации;
- ✓ чрезвычайным экологическим ситуациям;
- ✓ совершенствованию и разработке аналитических приборов;
- ✓ методическому и математическому обеспечению образования в области химии и экологии воды;

Миссия журнала: развитие фундаментальных и прикладных исследований в области химических, биологических наук и экологии, а также распространение оригинальных исследований в этих областях наук.

К публикации принимаются оригинальные исследования российских и зарубежных ученых, преподавателей, научных работников, аспирантов высших учебных заведений и научных организаций Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья, ранее не опубликованные.

Настоящее издание включено в Перечень ведущих научных изданий, реферируемых Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Согласно паспорту Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, журнал рекомендован для публикации результатов научных исследований, выполняющихся в рамках подготовки диссертационных работ по следующим специальностям:

- |   |   |
|---|---|
| ✓ 1.4.3. Органическая химия (химические науки),   | ✓ 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (химические науки), |
| ✓ 1.4.9. Биорганическая химия (химические науки), | ✓ 2.6.15. Мембраны и мембранная технология (химические науки)           |

Редакция журнала ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ в том числе принимает оригинальные научные труды, касающиеся сферы биологических наук и экологии.

**Язык:** Русский, английский **Количество статей в журнале:** до 15.

**Количество выпусков в год:** 12, Журналу присвоен ISSN, 2072-8158

**Регистрация СМИ:** серия ПИ № ФС 77 - 31640 10.04.2008

**Ссылка РИНЦ -** [https://www.elibrary.ru/title\\_about.asp?id=28251](https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=28251)

Журнал печатается в г. Москве

**Учредитель журнала:** Мельников Игорь Олегович, кандидат химических наук

**Адрес:** 127473, Москва г., 3-й Самотечный пер., д. 23, кв. 48, **E-mail:** [VAK-info@yandex.ru](mailto:VAK-info@yandex.ru)

**Типография и издательство:** Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Манускрипт" (ОГРН 1226100004679)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

**Каленский Александр Васильевич:** Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой химии твердого тела и химического материаловедения, чл корр РАН, один из ведущих преподавателей КемГУ, За многолетний плодотворный труд был награжден: почетными грамотами АКО, благодарностями ГОУ ВПО КемГУ, медалью «За веру и добро»

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

**Данилов-Данильян Виктор Иванович:** Доктор экономических наук, Российский учёный, экономист, эколог, гидролог, член-корреспондент РАН. Специалист в области экономики природопользования, экономико-математического моделирования, теории устойчивого развития, Институт водных проблем РАН (Москва)

**Еременко Игорь Леонидович:** Советский и Российский химик, доктор химических наук член-корреспондент РАН с 1997 года, академик РАН с 2006 года, лауреат Государственной премии Российской Федерации, институт общей и неорганической химии им. н.с. курнакова РАН (Москва)

**Койфман Оскар Иосифович,** Доктор химических наук, Российский химик, специалист в области синтеза, изучения физико-химических свойств и практического использования порфиринов, металлопорфиринов, их структурных аналогов и жидкокристаллических соединений, ректор Ивановского государственного химико-технологического университета, Ивановский государственный химико-технологический университет (Иваново)

**Колесников Владимир Александрович:** Доктор технических наук, Российский учёный в области промышленной электрохимии, безопасности и ресурсосбережения применительно к процессам обработки современных материалов, создания экологически безопасных, ресурсосберегающих процессов в гальванотехнике, переработке жидких техногенных отходов и водообработке, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (Москва)

**Мухин Виктор Михайлович:** Доктор технических наук, профессор по специальности «Экология», лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный изобретатель РФ, Почетный эколог (МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ), Почетный профессор Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), начальник лаборатории активных углей, эластичных сорбентов и катализаторов АО «Электростальское НПО «Неорганика» Ростеха (Москва)

**Фролкова Алла Константиновна,** Советский и российский химик, доктор технических наук, МИРЭА-Российский технологический университет (Москва)

## EDITOR-IN-CHIEF:

**Kalensky Alexander Vasilyevich**, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Solid State Chemistry and Chemical Materials Science, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, one of the leading teachers of KemSU, For many years of fruitful work was awarded: honorary diplomas of the AKO, commendations of the State Educational Institution of KemSU, the medal "For Faith and Kindness"

## EDITORIAL BOARD:

**Danilov-Danilyan Viktor Ivanovich**: Doctor of Economics, Russian scientist, economist, ecologist, hydrologist, corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. Specialist in the field of environmental economics, economic and mathematical modeling, theory of Sustainable Development, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

**Eremenko Igor Leonidovich**: Soviet and Russian chemist, Doctor of Chemical Sciences Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences since 1997, Academician of the Russian Academy of Sciences since 2006, laureate of the State Prize of the Russian Federation, N.S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

**Koifman Oskar Iosifovich**, Doctor of Chemical Sciences, Russian chemist, specialist in the field of synthesis, study of physico-chemical properties and practical use of porphyrins, metalloporphyrins, their structural analogues and liquid crystal compounds, Rector of Ivanovo State University of Chemical Technology, Ivanovo State University of Chemical Technology (Ivanovo)

**Kolesnikov Vladimir Aleksandrovich**: Doctor of Technical Sciences, Russian scientist in the field of industrial electrochemistry, safety and resource conservation in relation to the processes of processing modern materials, creating environmentally safe, resource-saving processes in electroplating, processing of liquid technogenic waste and water treatment, D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology (Moscow)

**Mukhin Viktor Mikhailovich**: Doctor of Technical Sciences, Professor in the specialty "Ecology", laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Honored Inventor of the Russian Federation, Honorary Ecologist (INTERNATIONAL ACADEMY of Sciences of Ecology, Human Safety AND NATURE), Honorary Professor of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), Head of the Laboratory of Active coals, elastic sorbents and catalysts of Neorganika Rostec Moscow)

**Frolkova Alla Konstantinovna**, Soviet and Russian chemist, Doctor of Technical Sciences, MIREA-Russian Technological University (Moscow)

## СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Сытник Наталья Александровна.**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УСТРИЦЕВОДСТВА У  
БЕРЕГОВ КРЫМА

8

### ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

**Овсенко Галина Анатольевна, Кашаев Рустем Султанхамитович, Чупаев  
Андрей Викторович.**

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛЕЙ И НЕФТИ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРОТОННО-  
МАГНИТНЫМ РЕЛАКСОМЕТРОМ

18

**Шылбатыр Алтынай Айдоскызы, Досатов Тилеген Исатайулы, Хорошайло  
Дмитрий Витальевич.**

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ И ИНГИБИРОВАНИЯ ГИПСА В  
РУДОНОСНОМ ПЛАСТЕ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОЙ  
КОЛЬМАТАЦИИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСВ

23

### МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

**Зарипова Римма Солтановна, Каляшина Анна Викторовна, Степанова Галина  
Станиславовна**

МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

31

## CONTENTS

### BIOLOGICAL SCIENCES

**Sytnik Natalia Alexandrovna.**

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OYSTER FARMING  
OFF THE COAST OF CRIMEA

8

### PROCESSES AND APPARATUSES OF CHEMICAL TECHNOLOGIES (CHEMICAL SCIENCES)

**Ovseenko Galina Anatolyevna, Kashaev Rustem Sultanhamitovich, Chupaev Andrey  
Viktorovich.**

CONCENTRATION OF SALT AND OIL MEASUREMENTS IN WASTEWATER BY  
PROTON-MAGNETIC RELAXOMETER

18

**Shylbatyr Altynai Aydoskyzy, Dosatov Tilegen Isatayuly, Khoroshailo Dmitry  
Vitalievich.**

INVESTIGATION OF METHODS FOR THE REGENERATION AND INHIBITION OF  
GYPSUM IN AN ORE-BEARING FORMATION RESULTING FROM CHEMICAL  
COLMATATION DURING ISR

23

### MEMBRANES AND MEMBRANE TECHNOLOGY (CHEMICAL SCIENCES)

**Zaripova Rimma Soltanovna, Kalyashina Anna Viktorovna, Stepanova Galina  
Stanislavovna.**

MONITORING OF METAL ION CONCENTRATIONS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT  
USING MEMBRANE TECHNOLOGY

31

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 574.6

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УСТРИЦЕВОДСТВА У БЕРЕГОВ КРЫМА

Сытник Н.А.

*Рассмотрены история, современное состояние и перспективы развития устрицеводства в Республике Крым. Выявлен потенциал для выращивания, разведения и территориального размещения продуктов аквакультуры. Введение в отношении нашей страны санкций привело к ограничению закупок европейского спага устриц российскими устрицеводами. Основной задачей является проведение исследований по изучению роста и развития владивостокского спага устриц в водах Черного моря. Приводится оценка биоразнообразия автохтонного разведения беспозвоночных в рамках ряда ограничений, связанных с сохранением запасов биомассы, набора ключевых промысловых видов аквакультурной продукции. Данный подход позволяет научно обосновать механизмы оптимизации и развития данного промысла при разных стратегиях управления.*

**Ключевые слова:** аквакультура, спат, культивирование, Республика Крым, черноморская устрица, тихоокеанская устрица.

Введение. Аквакультура является самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания в течение последних двух десятилетий и во многом является следствием неспособности удовлетворить растущий спрос на рыбную продукцию естественных природных запасов. В мире аква- и марикультура бурно развиваются и уже стали мощным альтернативным источником получения рыбопродукции, обеспечивая до 40% её рыночного оборота.

К сожалению, несмотря на мировые тенденции, Россия серьезно отстаёт от других стран в развитии аквакультуры. На долю аквакультуры в России приходится только 3% мирового улова [1].

В условиях санкционного давления, которое испытывает наша страна, в настоящий момент возросла необходимость импортозамещения. В значительной мере это коснулось аквакультуры. Усиление экономических санкций требует уточнения долгосрочных целей, стратегических задач, переоценки ресурсного потенциала и ресурсных ограничений, что обуславливает актуальность настоящих исследований.

Республика Крым является традиционным центром рыбоводства и рыболовства в Азово-Черноморском бассейне. Особый интерес представляет прибрежная зона, прилегающая к полуострову, обладающая значительным ресурсом для выращивания промысловых беспозвоночных (мидии, устрицы, креветки и рапана). Протяженность береговой линии Республики Крым, на которой располагаются промышленные объекты разведения промысловых беспозвоночных, использующие естественную кормовую базу, составляет 1,1 тыс. км. Кроме того, Крым является пилотным регионом по внедрению инновационных проектов и программ развития, которые в дальнейшем можно будет адаптировать в других регионах Российской Федерации.

Целью исследований является анализ современного состояния устрицеводства в Республике Крым и прогнозная оценка перспектив его развития.

Материал и методы исследования. Материалами для данной работы послужили результаты исследований, проведенных на протяжении 2004-2011 гг. в лимане Донузлав (западное побережье Крыма) Черного моря и Керченском проливе [2], а также фондовые материалы и статистические данные Федерального агентства по рыболовству.



Теоретической базой научной работы служили результаты научных исследований, представленные в трудах В.В. Домаскина, Т.Ф. Каракатицы, А.П. Золотницкого, М.В. Переладова, А.Н. Орленко и др. [6-13].

Результаты исследования. Устрицеводство явилось одним из первых направлений марикультуры моллюсков на Черном море, имеющим более чем 200-летнюю историю. Большие запасы плоской устрицы существовали в Черноморском бассейне ещё в начале 20-го столетия [3-6]. Устричники (устричные банки) располагались вдоль берегов Кавказа, Крыма, в Керченском проливе и заливах северо-западной части Черного моря, что давало возможность проведения весьма интенсивного их промысла.

Культивирование устриц впервые было начато на базе садкового хозяйства, организованного В.А. Штолем в 1881 г. в Южной бухте близ Севастополя [7]. В дальнейшем, начиная с 1884 г., на акватории Севастопольской и ряда окружающих бухт были заложены несколько морских ферм (заводов) по выращиванию устриц, а в 1894 г. было основано «1-е Русское товарищество устрицеводства на Черном море», ставшее в дальнейшем крупнейшим поставщиком устриц в города Российской империи. На этих заводах применялись различные биотехнологии, начиная от сбора личинок устриц на коллекторах в толще воды с последующим дорастиванием молоди до товарного размера в садках, кончая простым кондиционированием устриц, собранных на естественных банках. В зависимости от применяемой технологии цикл выращивания устриц до получения товарной продукции составлял от 3 – 4 месяцев до 2–3 лет. [8].

В начале 20-го века ежегодная продажа устриц только с заводов Севастополя достигала 2,0–2,5 миллионов штук, основная масса которых добывалась на банках самой Севастопольской бухты, а также на акватории Каркинитского и Джарлыгачского заливов и на участках Крымского побережья, расположенных к северу от мыса Тарханкут и к югу от мыса Херсонес до бухты Ласпи. В меньших количествах, но стабильно устрицы добывались также на ряде участков Южного берега Крыма: в Судакском заливе, в районе Феодосии, в Керченском проливе, у берегов Тамани и у берегов Кавказа. В период с 80-х годов 19 века по начало 20-го века суммарная добыча устриц на Российском побережье Черного моря (от берегов Турции до берегов Румынии) составляла около 3 миллионов экземпляров товарных устриц ежегодно [9].

Устричные хозяйства перестали функционировать во время первой мировой войны. Попытки восстановления устричных заводов 1929 и 1957 гг. не были доведены до конца, и до 60-х годов нашего столетия работы по разведению и выращиванию устриц на Черном море не проводились [6, 7].

С 1964 г. в АзЧерНИРО (впоследствии ЮгНИРО) начались планомерные исследования, направленные на разработку биологических основ и технических средств культивирования плоской устрицы [2].

На основе изучения отдельных сторон биологии естественных популяций устриц были разработаны биологические основы и подготовлена «Временная инструкция по биотехнике культивирования устриц в полуциклических хозяйствах северо-западной части Черного моря» [2].

Однако резкое изменение экологической ситуации в северо-западной части Черного моря, обусловленной зарегулированием стока рек, загрязнением прибрежных вод солями тяжелых металлов, хлорорганическими пестицидами детергентами, нефтепродуктами, заморными явлениями и эвтрофикации, а также прогрессирующим на этом фоне грибковым заболеванием черноморской устрицы (болезнь раковины) резко подорвали естественные запасы устриц. В результате этого разработанные биотехнологии товарного выращивания, основанные, на сборе спата на коллекторы в естественных условиях оказалась, непригодной для промышленного выращивания [2].

Таким образом, восстановление устрицеводства на черноморском бассейне в 70-х годах завершились неудачей, а созданные устричные хозяйства в 80-х годах были перепрофилированы.

Анализ всего комплекса проблем, ограничивающих развитие марикультуры устриц, показал два реальных пути для их решения [10].

Первый путь был направлен на сохранение запасов аборигенного вида путем разведения и выращивания аборигенного вида устриц в искусственных условиях. Это направление в значительной степени было связано с массовым получением личинок и спата плоской устрицы в искусственных условиях, т.е. с заводским методом воспроизводства этого вида. Однако к началу

90-х гг. природная популяция этого вида практически исчезла, что привело к занесению черноморского вида устриц *Ostrea edulis* в Красную книгу Черного моря.

Второе направление работ было связано с акклиматизацией в Черном море экологического эквивалента плоской устрицы, которая могла бы занять освободившуюся экологическую нишу, но в то же время не подавляла бы существование черноморской устрицы или других моллюсков, обитающих в Черном море. Таким потенциальным объектом для вселения в Черное море могла быть тихоокеанская (гигантская или японская) устрица – *Crassostrea gigas* (Thunberg), акклиматизация которой успешно прошла практически на всех континентах [11, 12].

Через полвека тихоокеанская устрица стала встречаться повсеместно у берегов Крыма, в единичных экземплярах, но крупных размеров. Специалисты считают, что *Crassostrea gigas* уже стала постоянным аллохтонным видом фауны Черного моря, который успешно акклиматизировался в данном регионе и существуют все предпосылки для ее товарного культивирования [11]. Основными параметрами, лимитирующими ростовые процессы устриц, являются пониженная соленость (менее 17-18‰) и кормовая база акватории. Нижний порог температуры воды, при которой рост моллюсков останавливается (биологический ноль), близка к 11°C и для Черного моря не является препятствием для выращивания *C.gigas*. [12].

Начиная с 2005 года, на южном берегу Крыма тихоокеанскую устрицу выращивала только одна морская ферма компании ООО «Яхонт ЛТД» (пос. Кацивели). Мощности фермы рассчитаны на получение урожая в объеме 500 000 штук ежегодно. Технологический процесс выращивания тихоокеанской устрицы в черноморском регионе предусматривает получение спата в искусственных условиях, а затем размещение его на выростных носителях в море. При отсутствии собственных питомников на территории Крыма и Севастополя морские фермеры вынуждены были закупать спат устрицы в питомниках других стран, в частности, Великобритании, Франции, Испании.

В настоящее время аквакультурная продукция, произведенная в Республике Крым, занимает значительную долю всероссийского рынка. Этот факт подтверждается данными, приведенными Росрыболовством за 2018 год. На долю полуострова приходится производство 57 % всех устриц и мидий от совокупных объемов производства Российской Федерации (рис. 1). Причем указанные объемы имеют тенденцию к увеличению на 20% по сравнению с 2017 годом, во многом, это объясняется контрсанкционными шагами государства в обеспечении и стимулировании развития предприятий, занимающихся производством аква- и марикультур [13].

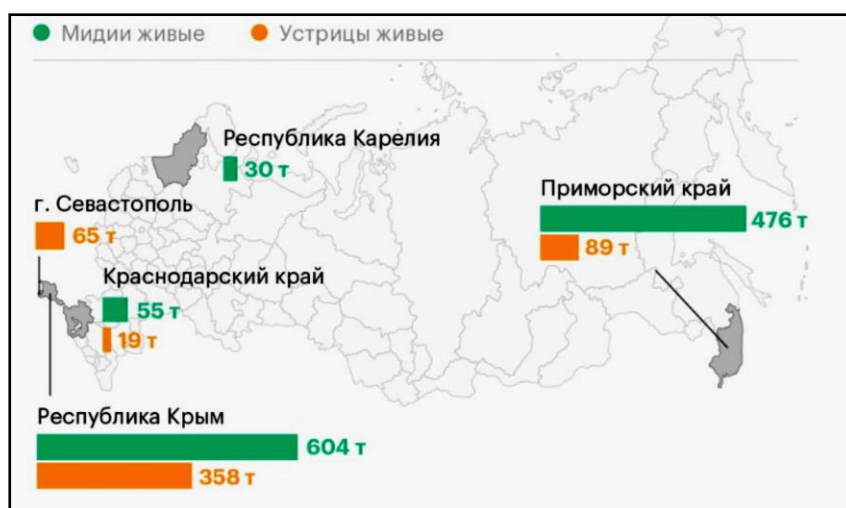


Рисунок 1 Производство аквакультурной продукции по регионам России (по данным [13])

К несомненным преимуществам для развития рынка объектов товарной автохтонной аквакультуры являются, вступившие с 1 октября 2016 года изменения в Федеральный Закон об аквакультуре, согласно которым видовой состав гидробионтов значительно расширен для выращивания хозяйствами. Также рост объемов продукции является следствием государственной

программы развития предприятий аквакультуры в Крыму. В период её реализации с 2015 по 2017 гг. бюджет ассигнований, предусмотренный в данном документе на поддержку производителей, составил 2 920 040,10 тыс. руб. [14].

Согласно официальной статистической отчетности на долю Республики в 2018 году приходилось выращивание 423 тонны устриц, что на 80 тонны больше прошлого года (таблица 1).

Таблица 1

### Динамика производства нерыбной аквакультуры в Республике Крым

Наименование продукции	2015	2016	2017	2018
Устрицы	70,5	126	343	423
Мидии	288	279	432	604
Рапаны	1123,8	1056,2	1333	1753

В 2018 году на полуострове было сформировано дополнительно 55 новых участков под разведение аквакультурных видов продукции, кроме 107 уже существующих. Из них, больше половины – 70 участков, отведены на нерыбную аквакультуру. При этом большинство организаций занимаются выловом объектов аквакультуры, произведенной в соленых водах. Лидируют по числу предприятий Ленинский и Черноморский районы, а также городской округ Ялта. Во всех остальных районах довольно мало хозяйствующих субъектов, занимающихся подобной деятельностью. В восточной, западной и северо-восточной части полуострова практически не развита деятельность по развитию, выращиванию и производству товарной аквакультурной продукции, несмотря на значительный потенциал этих территорий. Можно предположить, что сдерживающим фактором являлся вопрос неопределенности в правах собственности на водные объекты, находящихся на балансе Республики Крым и муниципальной собственности, из-за этого в последние годы были сложности с арендой водных объектов. Плотность размещения предприятий и их расположение по территории полуострова крайне неравномерна (рис. 2) [13].

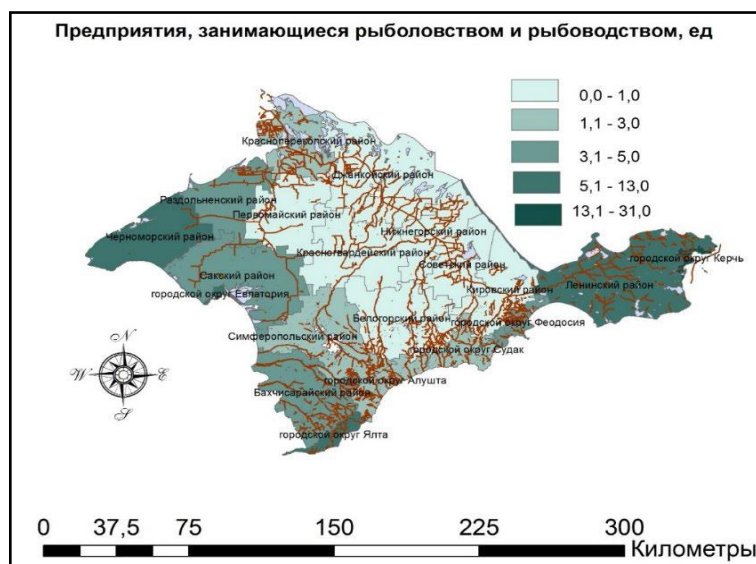


Рисунок 2. Территориальное размещение предприятий, занимающихся рыболовством и рыбоводством в Республике Крым (по данным [13])

Распределение участков предприятий-производителей в зависимости от их специализации отображено на рисунке 3.

На рисунке выделены ведущие зоны выращивания с учетом специализации. Мидии, в основном, выращиваются в Черноморском районе, в бухтах Казачьей и Стрелецкой г. Севастополя

и в бухте Ласпи, также в акватории п. Кацивели, а устрицы выращиваются по южному берегу Крыма и также в заливе Донузлав. Следует заметить, что значительная часть участков расположена на западном берегу.



Рисунок 3. Расположение и основная специализация участков аквакультуры по районам Республики Крым (по данным [13])

Мидии и устрицы, как растительноядные организмы, являются высокоэффективными преобразователями первичной (созданной растениями) продукции и животных белков. Они потребляют не только живые микроводоросли, но и мёртвое взвешенное органическое вещество (детрит) с населяющими его колониями микроорганизмов.

В летнее время необходимые белки и углеводы поступают в организм мидий из микроводорослей, в осенне-зимний период из детрита. Благодаря очень короткой пищевой цепи, рассеяние энергии сводится к минимуму в процессах трансформации пищи, что позволяет создавать на ограниченной площади ферм большие запасы животной массы, то есть получать высокие урожаи этих видов. Оптимальный диапазон солёности для черноморской мидии: 12-25‰, при солёности ниже 11‰ личинки устриц не оседают на коллекторы, а при 8‰ происходит резкое замедление их развития, поэтому этот вид хорошо развивается только в водоемах с устойчивым солевым режимом [15].

Следует отметить, что использование мидий и устриц, как эффективных фильтраторов морской воды, приводит к накоплению в их теле в загрязненной воде тяжелых металлов (в первую очередь цинка, мышьяка, меди, кадмия и др.). Растворимые металлоорганические соединения обладают высокой миграционной способностью. Поэтому выращенная продукция требует обязательного экологического контроля по остаточному содержанию этих веществ, детергентов и пестицидов, в том числе и микробиологического контроля для безопасного потребления этих моллюсков потребителем. При этом, пока остается ряд сложностей с получением высококачественной, экологически чистой аквакультурной продукции в акваториях Черного и Азовского морей. Это связано с требованиями к выращиванию, разведению и содержанию объектов аквакультуры, указанным в ГОСТ 56508-2015 «Продукция органического производства». Так, объекты органической аквакультуры основаны на молоди, полученной из органического маточного стада, корма, рацион и места содержания которого должны соответствовать видовым особенностям объектов аквакультуры. Кроме того, эти объекты надлежит содержать отдельно от стандартного производства при выращивании и транспортировке. То же касается выращивания двустворчатых моллюсков и других биофильтраторов. Не допускается использование никаких стимуляторов, которые ведут к увеличению численности фито- и зоопланктона. Схожие требования предъявляются и к водорослям, механизмам их размножения и выращивания. В связи с этим, возникает ряд взаимосвязанных проблем, связанных с не вполне очевидными критериями, которые необходимо предъявлять к производственным участкам для выращивания органической

аквакультуры, так как отсутствуют их стандарты. Данная проблема связана со сложностями по регулированию концентраций питательных веществ в воде, вопросов, связанных с химическим переносом, возникновением болезней, а также поддержанием биологического разнообразия в замкнутых экосистемах. Кроме того, сложности существуют с контролем и разработкой методов, соразмеренных с принципами органики в части контроля паразитарной активности в водоемах [16].

В настоящее время на территории Крыма классическим аквакультурным производством занимаются 12 перерабатывающих заводов, их распределение по территории полуострова показано на рисунке 4. Большая часть юридических адресов предприятий сосредоточены на южном берегу Крыма. Кроме крымских компаний, на рынке полуострова представлены много иностранных компаний, и предприятий с материка, которые реализуют свою продукцию под такими торговыми марками как «Санта Бремор», «VICI», «Лунское море», «Русское море» и т.д. Данные предприятия перерабатывают и выпускают продукцию в различных вариантах от охлаждённых до консервированных. Основным конкурентом крымской аквакультуры, является продукция, импортируемая с Южной Америки, в основном с Чили, Перу и др. Данные конкуренты занимают значительную долю отечественного рынка [16].

Предложение на рынке формируется исходя из существующей конъюнктуры, но из-за слабой представленности в торговых объектах крымской продукции, существуют сложности в удовлетворении потребительского спроса.

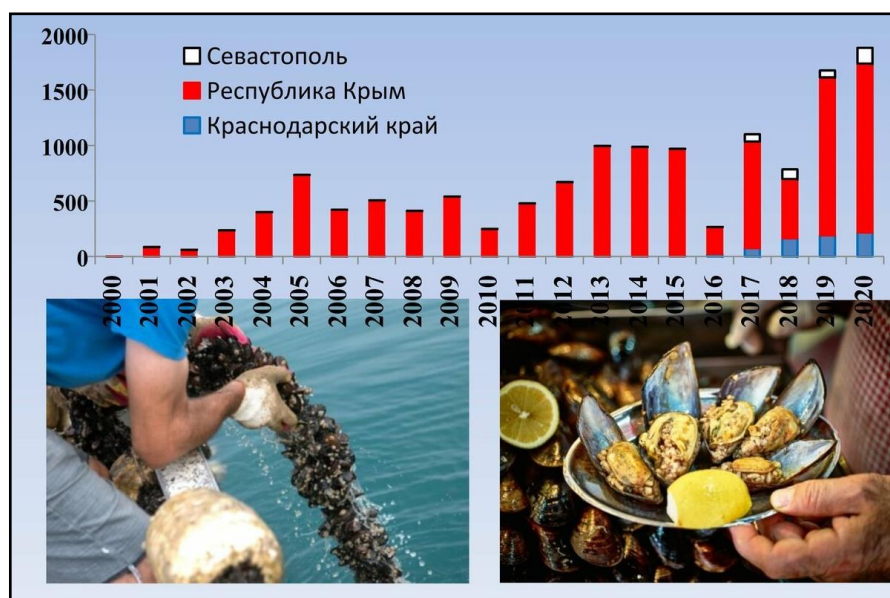


Рисунок 5. Динамика выращивания моллюсков в российских водах Черного моря, тонн

Несоответствие спроса и предложения нарушает основные принципы симбиоза экологически сбалансированного производства аквакультурной продукции и важности сбалансированного потребления на основе физиологических потребностей человека. Оценка возможных биологических перспектив эксплуатации ресурсов и их качества показывает, что существует серьезный разрыв между потребностями рынка и мощностями крымского производства. Это объясняется рядом причин, среди которых как отсутствие собственных питомников для выращивания мальков устриц и некоторых видов мидий, необходимость закупки маточного материала во Франции, так и недостаточная маркетинговая проработка стратегии развития аквакультурного хозяйства Крыма [13].

Из-за введенных санкций в отношении нашей страны российские устрицеводы стали ограничены в традиционной покупке зарубежной молоди устриц (спата). В настоящий момент в целях обеспечения устричных хозяйств страны отечественной молодью устриц, учёные Азово-Черноморского и Тихоокеанского филиалов ВНИРО приступили к изучению роста и развития владивостокского спата устриц в водах Черного моря. На площадках марикультуры

Тихоокеанского филиала ВНИРО, учёные начали проводить комплексную работу по отработке технологий заводского получения посадочного материала тихоокеанской устрицы.

В конце марта 2023 года молодь тихоокеанской устрицы из Владивостока была доставлена в два специализированных хозяйства, размещённых на крымском и кавказском побережьях Черного моря. Сотрудниками Тихоокеанского и Азово-Черноморского филиалов ВНИРО были проведены работы по размещению устричного спата на специальных носителях. В мониторинг учёных будет входить изучение темпа роста, выживаемости и развития устриц в черноморской воде.

Также разработаны и рекомендованы в производство биотехники одно- и двухстадийного, а также товарного выращивания устрицы в условиях российского побережья Кавказа и Крыма (рис. 6).



*Рисунок 6. Биотехника выращивания тихоокеанской устрицы в условиях российского побережья Кавказа и Крыма*

Инновационные технологии, разработанные учеными рыбохозяйственной науки Азово-Черноморского бассейна, а также меры поддержки, оказываемые государством производству, фермерским хозяйствам создают широкие возможности для развития аква- и марикультуры в регионе.

Выводы. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к развитию марикультуры двустворчатых моллюсков в Черном море, на территории Крыма классическим аквакультурным производством занимаются 12 перерабатывающих заводов. Протяженность черноморского побережья Крыма составляет около 1600 км, на котором могут разместиться десятки новых морских хозяйств. Существующие современные технологии и оборудование позволяют устанавливать конструкции фермы в любых (соответствующих экологическим требованиям), даже открытых, штормонеустойчивых, районах моря, и успешно выращивать товарных моллюсков.

Введение в отношении нашей страны санкций привело к ограничению закупок европейского спата устриц российскими устрицеводами. Однако, учёными Азово-Черноморского и Тихоокеанского филиалов ВНИРО проводятся исследования по изучению роста и развития владивостокского спата устриц в водах Черного моря.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Fishery and Aquaculture Statistics 2018// FAO of the United Nations. Rome. 2019. – 198 p.

2. Сытник Н.А. Функциональная экология плоской устрицы (*Ostrea edulis* L.) Черного моря: Автореф. дис... канд. биол. наук. Краснодар, 2014.
3. Милашевич К. О. Моллюски русских морей. Т. 1. Моллюски Черного и Азовского морей / К. О. Милашевич // Фауна России и сопредельных стран. - Петроград, 1916. – 312 с.
4. Невеская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология / Л.А. Невеская // Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР. – 1965. - Т. 105. – С. 116-121.
5. Самсония К. П. Влияние кислородного режима и мутности среды на выживание устриц / К. П. Самсония // Тр. Тбил. Госуниверситета. – Тбилиси: 1956. - Т. 31. - С. 34-39.
6. Домаскин В.В. Биологические основы и биотехника культивирования устриц в Джарылгачском заливе / Домаскин В.В // Матер. Всес. совещ. по морской аквакультуре. – Керчь, 1976. - С. 43-45.
7. Кракатица Т. Ф. Биология черноморской устрицы *Ostrea edulis* в связи с вопросами ее воспроизводства / Т.Ф. Каракатица // Биол. осн. морс. аквакультуры. - 1976. - В. 2 – 79 с.
8. Карпов В. Отчет о командировке на Черное море для изучения устричного дела // Вестник рыбопромышленности. Т. 18. №6–7. 1903. С. 269–245.
9. Переладов М.В. Современное состояние популяции черноморской устрицы // Труды ВНИРО. Т. 144. 2005. С. 254-274.
10. Спекторова Л.В. Выращивание молоди черноморских устриц «заводским» методом / Л.В. Спекторова, А.В. Фролов, С.Л. Паньков, С.А. Панькова // Рыбн. хоз-во. - 1991. - № 12. – С. 37-39.
11. Орленко А. Н. Гигантская устрица (*Crassostrea gigas* Thunberg) как аллохтонный вид фауны Черного моря // Труды ЮгНИРО, 2012. Т. 50. С.129-133.
12. Золотницкий А.П. О некоторых аспектах жизнедеятельности тихоокеанской устрицы (*Crassostrea gigas* Thunberg), интродуцированной в Черное море // Уч. зап. Тавр. нац. ун-та им. В. И. Вернадского, 2005. Т. 18. № 3. С. 41-47.
13. Ярош О.Б. Перспективы развития аквакультурного хозяйства в Республике Крым на принципах биоэкономики / О.Б. Ярош, В.Г. Кобечинская // Экономика строительства и природопользования № 2 (75) 2020 г. С. 24-33.
14. Государственная программа развития рыбного хозяйства Республики Крым на 2015-2017 годы. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msh.rk.gov.ru/ru/structure/458>. (дата обращения: 15.03.2023).
15. Сытник Н.А. Химико-токсикологическая характеристика и санитарно-бактериологическое состояние морской среды и моллюсков керченского пролива и предпроливья Чёрного моря. - Вестник Керченского государственного морского технологического университета [Электронный ресурс]. – Керчь : ФГБОУ ВО «КГМТУ». – Вып.4, 2019. С. 26-42. – URL: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21A1cWilbI8VxAEg&cid=645EA053FC5722E5&id=645EA053FC5722E5%211049&parId=645EA053FC5722E5%21310&o=OneUp> (дата обращения 20.03.2023).
16. Ярош О.Б. Органическая аквакультура: возможности развития в регионе / О.Б. Ярош [Текст] // Агропродовольственная экономика. – 2018. – № 2. – С. 7-12.

\*\*\*\*\*

## CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OYSTER FARMING OFF THE COAST OF CRIMEA

Sytnik N.A.

The history, current state and prospects for the development of oyster farming of the Republic of Crimea. The potential for cultivation, breeding and territorial placement of aquaculture products is revealed. The introduction of sanctions against our country has led to a restriction on the purchase of European spat oysters by Russian oyster farmers. The main task is to conduct research on the growth and development of Vladivostok spat oysters in the Black Sea waters. An assessment of biodiversity of autochthonous invertebrate breeding within a number of constraints related to preservation of biomass stocks, a set of key commercial aquaculture species is given. This approach makes it possible to scientifically substantiate the mechanisms of optimization and development of this fishery under different management strategies.

**Keywords:** aquaculture, spat, cultivation, Republic of Crimea, Black Sea oyster, Pacific oyster.

---

### Сведения об авторах:

**Сытник Наталья Александровна**

Заведующий кафедрой экологии моря, кандидат биологических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

E-mail: [amtek-kerch@mail.ru](mailto:amtek-kerch@mail.ru)



**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
(ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

---

УДК 543.422.25

## ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛЕЙ И НЕФТИ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРОТОННО-МАГНИТНЫМ РЕЛАКСОМЕТРОМ

Овсеенко Г.А., Кашаев Р.С., Чупаев А.В.

*Соляные и нефтяные загрязнения являются серьезной проблемой для окружающей среды и человека и требуют постоянного контроля и мониторинга. Для определения измерений концентрации этих загрязнений в сточных водах используются различные методы, одним из которых является протонно-магнитный релаксометр (ПМР) [1]. Этот метод основан на измерении времени релаксации протонов в воде, которое зависит от свойств ее окружения, включая наличие солей и нефти. Были проведены эксперименты на модельных растворах, в которых были добавлены известные концентрации солей и нефти. Результаты показали, что ПМР может быть использован для определения концентрации солей и нефти в сточных водах с высокой точностью. Данный метод может быть полезен для промышленных предприятий, которые используют огромные объемы воды в своей производственной деятельности и могут значительно снизить загрязнение окружающей среды через мониторинг и контроль концентрации этих веществ в сточной воде.*

**Ключевые слова:** протонно-магнитный релаксометр, сточные воды, концентрационное измерение, соли, нефтепродукты, экологические функции.

Водные ресурсы занимают особое место среди природных ресурсов, их экологические функции важны для человечества и живой природы. Однако эксплуатация промышленности, сельского хозяйства и городских территорий приводит к загрязнению водных ресурсов, что негативно сказывается на экологических функциях водных экосистем. Из-за высокой концентрации различных загрязняющих веществ, таких как соли и нефтепродукты, сточные воды могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье живых организмов.

Одним из методов оценки качества воды является определение концентрации загрязняющих веществ в сточной воде. Традиционно это делают с помощью химических анализов. Однако, эти методы требуют значительных затрат времени и ресурсов, а также не всегда могут обеспечить надежный результат.

Целью настоящего исследования является анализ применения протонно-магнитного релаксометра при концентрационном измерении солей и нефти в сточных водах.

Протонно-магнитный релаксометр является универсальным прибором, который находит применение во многих областях науки и техники [2–4]. В настоящее время он широко используется для контроля качества и загрязнения различных водных ресурсов, включая сточные воды. Этот метод основывается на анализе магнитного поля, который создается при движении протонов, находящихся в сточной воде. При наличии различных загрязнений в сточной воде данные о генерации магнитного поля изменяются, что позволяет определить концентрацию различных веществ [5].

Примером применения протонно-магнитного релаксометра является исследование концентрации нефти и нефтепродуктов в морской воде вне зоны разлива нефти после аварийной разливы [6].

Для проведения исследования были собраны образцы сточных вод с различными концентрациями солей и нефти. По экспериментальным данным, приведенным на рис.1 с поправочным по воде коэффициентом  $k_1$  выведено уравнение зависимости концентрации нефти

в сточных водах от разности амплитуд спин-эхо и шума ( $A_{\Sigma}-A_{ш}$ ) с  $R^2 = 0.998$  и СКО  $S = 1.75$  и  $k_1 = 0.91$  по уравнению:

$$C_{нф} = k_1(A_{\Sigma}-A_{ш})$$

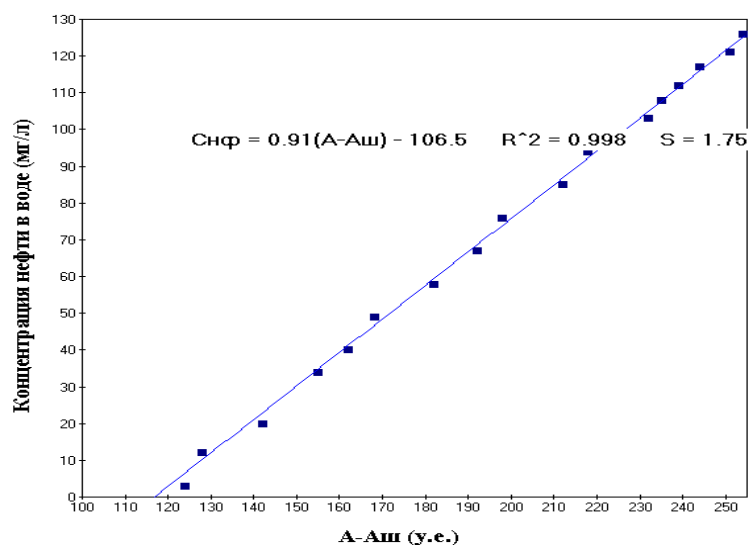


Рисунок 1. Зависимость концентрации нефти в воде от разности ( $A-A_{ш}$ ) амплитуд спин-эхо и шума.

Для растворов солей  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  и  $MgCl_2$  концентрация  $C$  (в мг/л) получены экспериментальные зависимости скоростей спин-решеточной релаксации  $R_{1B} = (T_{1B})^{-1}$  в воде. Они представлены на рис. 2 и с  $R^2 = 0,95-0,99$  и СКО  $S = 0,11- 0,28$  описываются уравнениями:

$$\text{для } NaCl, C \text{ (мг/л)} = 305,75/(T_1^{-1}) + 1083,6$$

$$\text{для } CaCl_2, C \text{ (мг/л)} = 274Ln(T_1^{-1}) + 356$$

$$\text{для } MgCl_2 C \text{ (мг/л)} = 166.5Ln(T_1^{-1}) + 211,6$$

Для смеси  $0,73 \cdot NaCl + 0,2 \cdot CaCl_2 + 0,07 \cdot$  описывается уравнением:

$$C \text{ (мг/л)} = 305,75 \cdot T_1^{-1} + 888,3$$

То есть, концентрацию хлористых солей в воде можно определять в диапазоне  $C \text{ (M)} = 0 - 6 \text{ M}$  с СКО  $\approx 0,3$  [7–9].

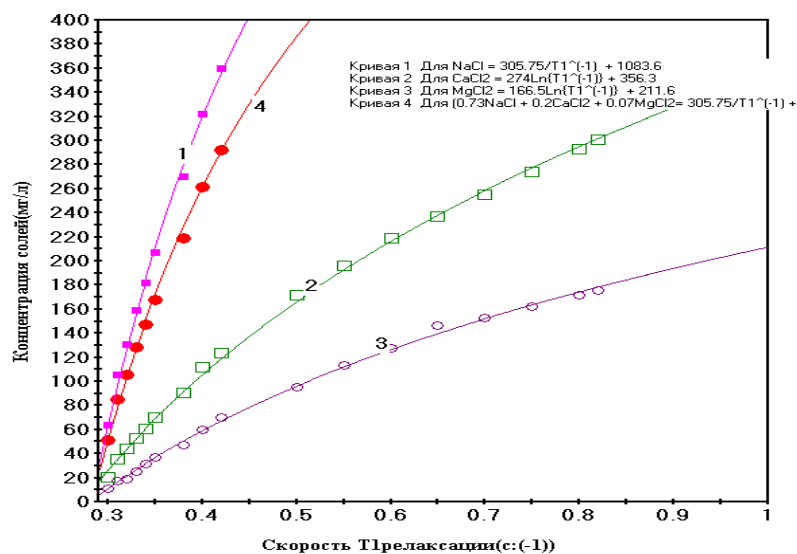


Рисунок 2. Зависимость концентрации  $C_c$ (мг/л) хлористых солей в воде от скорости релаксации  $R_1 = (T_1)^{-1}$ . Кривые 1-4 – для  $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$  и смеси солей.

В таблице 1 приведены характеристики скважинной жидкости (СКЖ) и нефти, измеряемые ПМР-параметрам методом ПМР-релаксометрии.

Таблица 1

**Характеристики СКЖ и нефти,  
измеряемые ПМР-параметрам методом ПМР-релаксометрии**

Характеристики СКЖ, нефти и воды	Параметры ПМР-релаксации (индекс i–фазы А, В, С )				
	Времена спин-решеточной релаксации $T_{1i}$	Времена спин-спиновой релаксации $T_{2i}$	Скорость релаксации $R_{1,2} = (T_{1,2i})^{-1}$	Амплитуда сигналов спин-эхо $A_i$	Населенности протонов $P_i$
Скорость потока $v$ (м/сек)	+	+	+	+	+
Скорости потоков фаз $v_i$	+	+	+	+	+
Дебит скважин $Q = v \cdot S$ (м <sup>3</sup> /час)	+	+	+	+	+
Влажность СКЖ $W$ (%)	+	+	+	+	+
Газосодержание $G$ (м <sup>3</sup> )				+	
Плотность СКЖ и нефти (кг/м <sup>3</sup> )	+	+	+	+	
Концентрация АС (%)	+	+	+		
Вязкость динамическая (мПа с)	+	+	+		
Вязкость кинематическая (мм <sup>2</sup> /с)	+	+			
Вязкостный фактор $\eta_{T_{1,2}}/T$	+	+			
Концентрация нефти в воде $C$ (мг/л)	+	+			
Концентрация солей в воде $C$ (мг/л)	+	+	+		

Результаты исследования показали, что протонно-магнитный релаксометр может быть использован для определения измерений концентрации солей и нефти в сточных водах. Образцы, обладающие высокой концентрацией солей и нефти, показали более короткие времена релаксации по сравнению с образцами с низкой концентрацией данных соединений [10–12].

Исследование показало, что методика протонно-магнитного релаксометра может быть использована для определения измерений концентрации солей и нефти в сточных водах. Данный метод может быть полезным в мониторинге загрязнения сточных вод и контроле качества питьевой воды. Однако, для получения более точных результатов необходимо дополнительное исследование по разработке калибровочных кривых, зависящих от условий эксперимента.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Сотирова А.В., & Спасов Т.И. Определение концентраций нефти и солей в сточных водах методом протонной магнитной релаксации в слабом поле / Водные исследования. 2005. 39 (19). С. 4723-4728.
2. Хайнц Э. и Десаи Дж. Определение концентраций нефти и воды в смесях нефть/вода методом релаксометрии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) / Журнал магнитного резонанса. 2006. С. 197-202.
3. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Проточные протонные магнитно-резонансные анализаторы для контроля скважинной жидкости по ГОСТ 258 Р 8.615-2005 ГСИ/ Р.С. Кашаев, О.В. Козелков, Б.Э. Кубанго // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. №1-2. С. 137-151.
4. де Аберастури Д.Дж.Р., Креггер М., Гладден Л.Ф. Количественный анализ концентраций нефти и воды в эмульсиях с использованием низкочастотного ядерного магнитного резонанса. Коллоиды и поверхности А: / Физико-химические и инженерные аспекты, №304(1-3). 2007. С. 29-36.
5. Лэшли Дж.Си., Вулери У.Т. Методы ядерного магнитного резонанса для анализа сырой нефти и нефтепродуктов в лабораторных и полевых условиях / Топливо. №75(4). 1996. С. 394-401.
6. Фернандо Б. и Лоури Т.Дж. Релаксометрия нефтяных смесей методом ядерного магнитного резонанса / Журнал науки о коллоидах и интерфейсах. №236(2). 2001. С. 268-271.
7. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборостроение и мехатроника внефтяной промышленности и энергетике (монография). / Изд. Palmarium academic publishing, Saarbrücken, Germany. 2017. С. 110.
8. Овсеенко Г.А., Козелков О.В., Кашаев Р.С. Installation for the crude oil purification from admixtures by electromagnetic fields, driving by analyzer on the base of proton magnetic resonance relaxometry (научная статья) // Proceedings of the International Conference "Process Management and Scientific Developments". Birmingham, United Kingdom. 2021. Pp. 215-218.
9. Овсеенко Г.А., Козелков О.В., Кашаев Р.С. Apparatus for on-line structure-dynamic analysis of oils by nuclear magnetic resonance relaxometry method (научная статья) // Proceedings of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration". Reports in English Beijing, PRC. 2021. Pp. 1490-194.
10. Иштыряков Н.А. Моделирование процесса измерения концентрации ионов металлов в технической воде / Н.А. Иштыряков, Р.С. Зарипова / Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург, 2017. – С. 437-439.
11. Гейер Р.П. и Фаррар Т.С. Релаксометрия ядерного магнитного резонанса: применение в разведке и добыче нефти и газа. Передний край. №11(2). 1992. С. 46-60.
12. Зарипова Р.С., Мустафин Р.Ф. Технологический суверенитет современной России и перспективы его дальнейшего развития / Цифровая трансформация промышленности: новые горизонты: материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 176-178.

\*\*\*\*\*

## CONCENTRATION OF SALT AND OIL MEASUREMENTS IN WASTEWATER BY PROTON-MAGNETIC RELAXOMETER

Ovseenko G.A., Kashaev R.S., Chupaev A.V.

Saline and oil pollution are a serious problem for the environment and human health, and require constant monitoring and control. Various methods are used to determine the concentration of these pollutants in wastewater, one of which is proton magnetic relaxation (PMR) [1]. This method is based on the measurement of proton relaxation time in water, which depends on the properties of its environment, including the presence of salts and oil. Experiments were carried out on model solutions, which were added known concentrations of salts and oil. The results showed that PMR can be used to determine the concentration of salts and oil in wastewater with high accuracy. This method can be useful for industrial enterprises that use huge amounts of water in their production activities and can significantly reduce environmental pollution through monitoring and control of the concentration of these substances in wastewater.

**Keywords:** proton-magnetic relaxometer, wastewater, concentration measurement, salts, petroleum products, environmental functions.

---

### Сведения об авторах:

**Овсеенко Галина Анатольевна**

Преподаватель кафедры цифровые системы и модели, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

E-mail: [galinka.ovseenko@mail.ru](mailto:galinka.ovseenko@mail.ru)

**Кашаев Рустем Султанхамитович**

Доктор технических наук, профессор кафедры приборостроение и мехатроника, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

E-mail: [kashaev2007@yandex.ru](mailto:kashaev2007@yandex.ru)

**Чупаев Андрей Викторович**

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ И ИНГИБИРОВАНИЯ ГИПСА В РУДОНОСНОМ ПЛАСТЕ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОЙ КОЛЬМАТАЦИИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСВ**

Шылбатыр А.А., Хорошайло Д.В., Досатов Т.Д.

*В статье рассмотрены методы разработки химического реагента ингибитора образования и растворителя сульфата кальция в сернокислой среде и методику регенерации и ингибирования скважин, с целью предупреждения выпадения гипса в поровом пространстве рудоносных пород, прифилтровых зон и фильтров скважин на всех этапах ПСВ. В результате их устранения ожидается рост дебита/приемистости скважин, сокращение времени отработки блоков, снижение расхода кислоты на закисление и выщелачивание и в целом повышение экономической эффективности добычи металла. Определение эффективности применения реагента для интенсификации добычи урана методом подземного выщелачивания. Методы или методология проведения работы - при проведении настоящих исследований использованы: метод сравнительного анализа эффективности, теоретические и экспериментальные исследования. Был разработан химический реагент ингибитора. Были проведены лабораторные работы по увеличению растворимости и ингибирования имеющимися отобранными из скважин кольматантами в сернокислой среде с применением химического реагента. Были проанализированы лабораторные работы и был подобран оптимальный состав химического реагента ингибитора для применения на технологических скважинах. Научная новизна полученных результатов заключается в том, что выбранные на основе установленных закономерностей воздействия на вмещающие породы химические реагенты многофункционального назначения повышают растворимость сульфата кальция или же, ингибирует ее.*

**Ключевые слова:** *кольматация, интенсификация, окислительно восстановительные процессы, ПАВ, освоение, химические реагенты, скважина, ингибитор.*

Введение. Возможность применения того или иного способа ПСВ определяется минеральным составом и свойствами вмещающих пород и урановых руд, а также индивидуальными особенностями месторождения (условиями залегания, наличием экранирования одних минералов другими и пр.).

Способы интенсификации ПСВ делятся на 4 класса – гидродинамические, физические, физико-химические и химические. Рациональность применения тех или иных способов зависит от характера конкретного месторождения.

В тех случаях, когда возможен выбор между двумя или более методами, значительную роль играют внешние условия (климат, транспортные расходы на доставку сырья и материалов, доступность и стоимость электроэнергии и т.п.). Эти условия, как правило, более важны не для выбора способа выщелачивания, а для его деталей (главным образом, для выбора окислителя и возможности его регенерации).

Современные этапы развития сырьевых отраслей характеризуются востребованностью прогрессивных технологий и технических решений, позволяющие интенсифицировать технологические процессы, уменьшить капитальные вложения и эксплуатационные расходы, в условиях постоянного снижения содержания целевого компонента – урана и увеличением

технологического баланса в продуктивных горизонтах. Окислительно – восстановительные процессы, протекающие в пласте, в значительной мере определяют эффективность технологии подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана, полноту извлечения металлов в раствор, удельные расходы химических реагентов, энергозатрат и в целом технико- экономические и экологические показатели производства.

Оценка современного состояния решаемой проблемы и ее актуальность.

Одной из причин, снижающих эффективность эксплуатации скважин, является образование неорганических солей, которые отлагаются в призабойной зоне скважин и на поверхности оборудования. Борьба с отложившимися солями — очень трудоемкий и не всегда эффективный процесс, поэтому практичнее использовать методы предупреждения их выпадения. Прогнозирование выпадения неорганических солей позволяет подобрать оптимальный режим работы скважины и своевременно предпринять меры по предупреждению солеобразования. В данной научно-исследовательской работе описаны состав и условия отложения солей в процессе разработки месторождения “Северный Харасан”. При этом рассмотрены методы предупреждения их выпадения, а также методы промывки скважины.

Гипсовые отложения являются одним из наиболее распространенных видов отложений в скважинах месторождения “Северный Харасан”. На месторождении “Северный Харасан” ведутся работы по добыче урановых руд методом ПСВ. Для выщелачивания используют серную кислоту. В результате реакции серной кислоты с породой (кальцит, доломит) происходит выпадение гипса в осадок. Это приводит к нарушению режима работы скважины и износу оборудования. Из этого вытекает необходимость применения технологий по предупреждению выпадения гипса, или же необходимо ввести цикл промывки скважины, что позволит снизить темпы падения её производительности.

Основание и исходные данные для разработки темы являются: Подбор и разработка химических реагентов, повышающие растворимость сульфата кальция или же ингибирующие ее.

Обоснование необходимости проведения НИР по теме: Сложно растворимые осадки в продуктивном горизонте образуют непроницаемые участки геохимического барьера, перекрывающие линии тока растворов. Как правило, непроницаемые участки не выщелачиваются и замедляют процесс отработки эксплуатационных блоков, данные блоки нуждаются в дополнительной интенсификации и повышении проницаемости пород. Разработка и применение ингибитора многофункционального назначения в интенсификации скважинной добычи урана позволят повысить эффективность технологии выщелачивания урана в сложных горно-геологических условиях. Создание геотехнологических условий для повышения полноты извлечения металла и эксплуатационных показателей блоков, что приводит к снижению удельных расходов серной кислоты, электроэнергии и других производственных расходов и обеспечит конкурентоспособность продукции рудников ПВ урана.

Актуальность темы. Актуальность исследований обусловлена необходимостью разработки эффективных методов интенсификации скважинной добычи и повышения извлечения металла на этапе отработки эксплуатационных блоков и снижения удельных норм серной кислоты в сложных горно-геологических условиях на уранодобывающих предприятиях.

Научная новизна полученных результатов заключается в разработке и научном обосновании технологии скважинной добычи урановых руд, основанной на применении нового комплекса химических реагентов; в установлении закономерностей воздействия химических реагентов на совокупность минералогического состава продуктивного горизонта; определении разрушающей способности и предотвращения осадкообразований комплекса химических реагентов. Это обеспечит полноту извлечения металла эксплуатационных блоков, способствует уменьшению осадкообразования геохимического барьера пористой среды. Кроме того, достигается снижение удельных расходов серной кислоты, и других производственных расходов в процессе скважинной добычи урана из разнообразных горно- геологических блоков.

Цели и задачи этапа исследований, их место в выполнении НИР в целом. Целью исследований является разработка комплекса химических реагентов многофункционального назначения, анализ и обоснование эффективных параметров его применения при интенсификации выщелачивания урана, разработка экологически безопасных методов



приготовления и подачи растворов в продуктивный горизонт. За отчетный период для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- Разработка химического реагента ингибитора
- Лабораторные исследования по увеличению растворимости и ингибирования с использованием имеющимися кольматантов отобранных из скважин в сернокислой среде с применением химического реагента.
- Подбор оптимальных концентраций реагентов для условий месторождения «Северный Харасан» участка Харасан-1;

Лабораторные исследования по увеличению растворимости и ингибирования с использованием имеющимися кольматантов отобранных из скважин в сернокислой среде с применением химического реагента.

Ход лабораторной работы при 40°C с разными концентрациями серной кислоты и ингибитора:

Таблица 1.

#### Концентрация воды, серной кислоты, ингибитора

1 стакан	870 г воды, 30 г серной кислоты, 100 г ингибитора
2 стакан	815 г воды, 25 г серной кислоты, 150 г ингибитора
3 стакан	780 г воды, 20 г серной кислоты, 200 г ингибитора

Мешалки также выставили на значение 1000 об\мин и мешали растворы в течение часа, при комнатной температуре.

Последующим действием было повышение температуры растворов до 40°C. Растворы так же мешали в течение часа при 1000 об\мин. Затем растворы отфильтровали и высушили осадки. После всех процедур осадки взвесили на весах (таблица-2).

Таблица 2.

#### Масса кольматанта, осадка

Номер проб (№)	Масса образца кольматанта (грамм)	Объем раствора (грамм)	Концентрация ингибитора (%)	Масса осадка (грамм)
69-4-7	10	1000	30	8,5
84-4-1	10	1000	25	7
82-6-1	10	1000	20	6,1

Результаты данной лабораторной работы:

- Растворимость гипса в 3% растворе серной кислоты и 10% растворе ингибитора (Стакан №1) при 40°C составила 1,5 грамма на литр;
- Растворимость гипса в 2,5% растворе серной кислоты и 15% растворе ингибитора (Стакан №2) при 40°C составила 3 грамма на литр;
- Растворимость гипса в 2% растворе серной кислоты и 20% растворе ингибитора (Стакан №3) составила 3,9 грамма на литр.

Выводы по лабораторной работе при 40°C:

С понижением температуры до 40°C, также с понижением концентрации ингибитора и серной кислоты падает скорость реакции. Лабораторные исследования при 40°C длились 5 дней, хотя технический процесс на месторождении длится несколько месяцев. При увеличении времени отстоя, увеличится и степень растворимости гипса.

Выбор технологического блока и проблемных по дебиту технологических скважин для проведения опыта для ингибирования и растворения химических кольматантов.

Подбор эксплуатационного блока рудника Хорасан-1 для проведения экспериментальных работ.

В качестве испытательного блока в период опытно-промышленных испытания специально был выбран новый технологический блок №109 для предотвращения образования отложения гипса. Новый Блок №109 был сооружен и введен в эксплуатацию в 2021 году. По технологическому регламенту блок включает в себя 5 откачных, 16 закачных скважин и 1 реверсную скважину. Средний расход откачных скважин и закачных в период закисления представлен ниже в таблицах (фактические показатели могут изменяться). После выбора блока, была выбрана точка дозирования ингибитора на блоке №109 участка Харасан-1. По технологической схеме было утверждено место после ТУЗ блока №109.

Таблица 3.

**Средний расход откачных и закачных скважин в период закисления**

Откачные скважины (5 скважин 50 дней закисление)	Объем ВР, м <sup>3</sup>		Кислотность, г/л	Расход серной кислоты (92,5%), тн	
	сут	нараст		сут	нараст.
		474,4	23721	25,2	12,0
Закачные скважины (16 скважин 30 дней закисление)	Объем ВР, м <sup>3</sup>		Кислотность, г/л	Расход серной кислоты (92,5%), тн	
	сут	нараст		сут	нараст.
		428	12838	25,0	10,7

Сбор и монтаж оборудования на линию подачи выщелачивающего раствора. Проведение тестовых испытаний рабочих узлов.

Образование непроницаемых участков в рудных телах продуктивного горизонта блокируют линии тока и снижают извлечение урана на блоке, понижают содержание металла в ПР. Для устранения химических и механических осадкообразований, применяется специально разработанная установка для промывки фильтровой зоны скважины ингибитором в сернистой среде. На промышленную установку АКПС оборудованную емкостью 3 м<sup>3</sup> и со специальным узлом для подачи реагента на фильтровую зону подается ингибитор в количестве 2,8 м<sup>3</sup> (привозится на автоцистерне объемом 11 м<sup>3</sup>). Далее приготовленный раствор подается на забойную зону скважины для очистки фильтров от кольматантов.



Рисунок 1. Установка АКПС для промывки скважин

Аналитический контроль процесса. Мониторинг геотехнологических параметров.

Таблица 4.

**Геотехнологические параметры технологического блока №109 при закисления**

№№ п/п	№№ блока	Кол-во скв.	Кол-во РВР при закисление	Кол-во РВР на 1 скважине	Средние результаты РВР, м3/ч		МРЦ по блоку, сут.
					до РВР	после РВР	
1	109	21	23	1,1	0,7	5	73
2	107	34	72	2,1	1,6	3,6	51
3	106	42	27	0,6	1,1	3,3	76

Как можно увидеть из таблицы-13, у №109-го блока количество скважин-21. Количество РВР при закислении составляет 23. Среднее количество РВР на одну скважину- 1,1, данное количество можно назвать средним, так как на №107 блоке среднее количество- 2,1, а на №106-0,6. Средний дебит до РВР ингибитором составлял 0,7 м3/ч, а после 5 м3/ч. Сравнительно у №107-го блока средний дебит 3,6 м3/ч, а у №106-го средний показатель дебита- 3,3 м3/ч. Результаты мониторинга свидетельствуют о высокой эффективности работ скважины на жтапе закисления. Межремонтный цикл у №109-го блока 73 сут., в то время как у №107-го- 51 сут., а у №106-го 76 сут.

Таблица 5.

**Результаты лабораторного анализа на этапе закисления**

№ скважины	Me, мг/л	pH
109-1нр	0,392	1,85
106-1нр	0,044	6,94
107-1нр	0,093	1,56

Результаты лабораторной работы показали следующие результаты, содержание металла на этапе закисления у №109-го блока 0,392 мг/л. Сравнительно, у №106го - 0,044, а у №107-го – 0,093.

Таблица 6.

**Геотехнологические параметры технологического блока №109 при активном выщелачивании**

№№ п/п	№№ блока	Кол-во скв.	Кол-во РВР при выщелачивание	Кол-во РВР на 1 скважине	Средние результаты РВР, м3/ч		МРЦ по блоку, сут.
					до РВР	после РВР	
1	109	21	14	0,7	1,3	4,8	34
2	107	34	44	1,3	1,7	3,7	16
3	106	42	27	0,6	2,1	4,1	21

Выше по приведённым данным из таблицы можно сделать вывод, что большинство скважин 109-го блока работают непрерывно с начала добычи продуктивного раствора, не требуя ремонтно-восстановительных работ по дебиту. В 106 блоке 44% скважин работают непрерывно на РВР. На 107 блоке 50% скважин работают непрерывно. Сравнивая со 109 блоком, мы видим, что количество РВР на 109 блоке меньше, чем в соседних блоках. Скважины 109-го блока также показывают хороший дебит, что указывает на положительную работу ингибитора.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мамилов В.А. «Добыча урана методом подземного выщелачивания», М., 1980 г.
2. Отчет НИР «Проведение опытно-промышленных испытаний с целью интенсификаций извлечения урана в сложных горно-геологических условиях за счет подбора оптимального состава растворов для РВР с разработкой технологического регламента по применению на ГТП месторождений северный Харасан участок «Харасан-1», 2018.
3. Отчет НИР «Совершенствование методов регенерации геотехнических блоков и технологических скважин с применением химического комплекса реагентов многофункционального назначения в условиях месторождения «Харасан-2», 2016.
4. Лаверов Н.П., «Эволюция уранового минералообразования», М., 1978 г.
5. Савченко Г.А. и др., «Типовая инструкция по геотехнологии добычи урана на месторождениях, обрабатываемых методом СПВ» 2002 г., Разраб. РУМЦ «Геотехнология».
6. Инструкция (методические указания) по подземному скважинному выщелачиванию урана. Национальная атомная компания «КАЗАТОМПРОМ». Алматы, 2006 г.
7. Добыча металлов способом выщелачивания. В.П. Новик-Качан, Н.В. Губкин, Д.Т. Десятников, Н.И. Чесноков. Министерство цветной металлургии СССР.
8. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием. А.И. Калабин. Атомиздат, Москва, 1969 г.
9. Основное оборудование для производства урана. А.Менлибаев, А.М. Интыкбаев, Б.О. Дуйсебаев. Издательство «Бастау». Алматы, 2004 г.
10. Справочник молодого аппаратчика-химика. В.К. Гусев, А.А. Черспанов. Химия. Москва, 1991 г.
11. Уранодобывающая промышленность и окружающая среда. Мосинец В.Н., Грязнов М.В., Энергоиздат, Москва, 1983 г.
12. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод. Гольдберг В.М., Недра, Москва, 1976 г.
13. «Правила обеспечения промышленной безопасности при геологоразведке, добыче и переработке урана» № 297 от 26.12.2014г.
14. Яшин, С.А. Подземное скважинное выщелачивание урана на месторождениях Казахстана / С.А. Яшин // Горный журнал. - 2008.
15. Урановые месторождения Казахстана: справочник / Н.Н. Петров [и др.]. – Алматы: Изд-во Гылым, 1995
16. Филиппов, А.П. Редокс-процессы и интенсификация выщелачивания металлов: монография / А.П. Филиппов, Ю.В. Нестеров. – М.: Руда и металлы, 2009.
17. Филиппов, А. П. Лигносulfонат аммония – добавка, интенсифицирующая сернокислотное выщелачивание урана из руд / А.П. Филиппов, Ю.В. Нестеров // Химическая технология. - 2001.
18. Филиппов, А. П. Опытнo-промышленные испытания подземного выщелачивания урана с использованием  $\text{HNO}_2$  в качестве окислителя / А.П. Филиппов, Ю.В. Нестеров // Горный журнал. - 2004.

\*\*\*\*\*

### INVESTIGATION OF METHODS FOR THE REGENERATION AND INHIBITION OF GYPSUM IN AN ORE-BEARING FORMATION RESULTING FROM CHEMICAL COLMATATION DURING ISR

Shylbatyr A.A., Khoroshailo D.V., Dosatov T.D.

The article discusses the methods for developing a chemical reagent for an inhibitor of the formation and solvent of calcium sulfate in a sulfuric acid medium and a method for regenerating and inhibiting wells in order to prevent the precipitation of gypsum in the pore space of ore-bearing rocks, near-filter zones and well filters at all stages of ISR. As a result of their elimination, it is expected to increase the flow rate / injectivity of wells, reduce the time for mining blocks, reduce acid consumption

for acidification and leaching, and, in general, increase the economic efficiency of metal mining. Determination of the effectiveness of the use of a reagent for the intensification of uranium mining by the method of in-situ leaching.

**Keywords:** clogging, intensification, redox processes, surfactants, development, chemicals, well, inhibitor.

---

**Сведения об авторах:**

**Шылбатыр Алтынай Айдоскызы**

Химик-технолог, старший научный сотрудник товарищества с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт "STARK"

E-mail: [doc@easy-tm.com](mailto:doc@easy-tm.com)

**Досатов Тилеген Исатайулы**

Магистр естественных наук, химик-технолог, старший научный сотрудник товарищества с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт "STARK", г. Москва

**Хорошайло Дмитрий Витальевич**

Директор товарищества с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт "STARK", г. Москва

**МЕМБРАНЫ  
И МЕМБРАННАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ  
(ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

---

## МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

Зарипова Р.С., Каляшина А.В., Степанова Г.С.

*Статья посвящена быстродействующему методу измерения концентрации, принцип действия которого основан на измерении разности потенциалов при помощи ионоселективных мембран. Описаны принципы работы и преимущества данного метода, а именно: быстрота измерения, небольшой объём пробы для анализа, возможность проведения измерения в любой контролируемой среде. В статье излагается идея быстродействующего метода измерения концентрации в переходном режиме работы мембранного датчика, приведено теоретическое обоснование возможности его применения. Проведено исследование быстродействующего метода, характеристики мембранного датчика, его точности и возможные ограничения, а также проанализированы перспективы дальнейшего развития. В статье также рассмотрены примеры применения мембранных датчиков в различных областях науки и техники.*

**Ключевые слова:** концентрация, мембранные технологии, мембранный датчик, ионоселективные мембраны, ионы металлов.

---

Одной из важных задач электрохимии является измерение концентрации различных веществ в водных растворах [1]. Для этого используются различные методы, некоторые из которых имеют существенные ограничения и недостатки. Один из наиболее универсальных и точных методов измерения концентрации основан на потенциометрии, а именно на использовании ионоселективных мембран [2].

Цель данной статьи – рассмотреть принципы работы, преимущества и ограничения быстродействующего метода измерения концентрации с использованием ионоселективных мембран, а также проанализировать примеры его применения в различных областях науки и техники.

Мембранный датчик включает в себя два электрода сравнения (рисунок 1). Внутренний электрод сравнения погружен во внутренний контактирующий раствор, куда через ионоселективную мембрану проникают ионы металлов. Внешний электрод погружен в стандартный электролит [3]. Для определения концентрации иона используются ионоселективные мембраны – это тонкие пленки из материалов, способных специфически связывать определенные ионы. При контакте мембраны с раствором, содержащим ионы, мембрана поглощает ионы, способствуя образованию разности потенциалов между электродами, которая может быть использована для определения концентрации соответствующих ионов в растворе [4, 5].

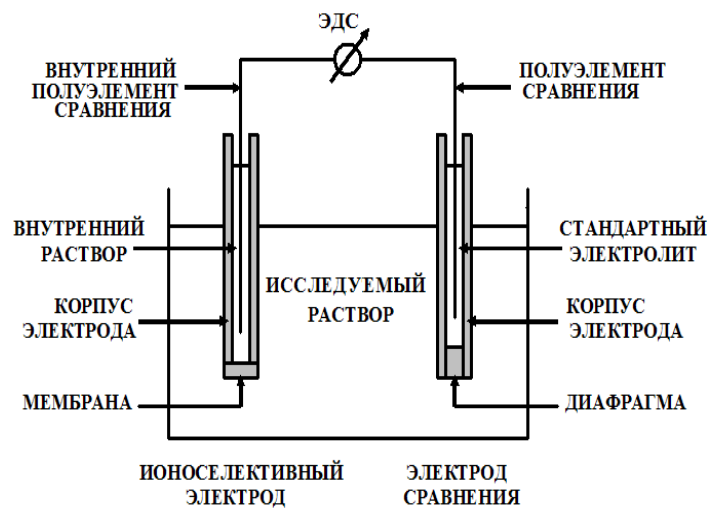


Рисунок 1. Схема мембранного датчика

Ионоселективная мембрана пропускает ионы только одного металла, не пропуская ионы других металлов. В результате потенциал мембраны, которая соответствует измеряемой концентрации, зависит только от концентрации данного иона по обе стороны мембраны.

Потенциометрический метод измерения концентрации основан на измерении разности потенциалов между двумя электродами, один из которых погружен в исследуемый раствор, а другой находится в сравнительной среде. Разность потенциалов определяется по уравнению Нернста:

$$E = const + \frac{RT}{zF} \ln C, \quad (1)$$

где  $const$  – это постоянный член, который объединяет все величины, не зависящие от концентрации определяемого иона в исследуемом растворе;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура;  $z$  – заряд иона;  $F$  – постоянная Фарадея;  $C$  – активность иона. В этом случае электродная функция имеет нернстовский линейный наклон.

Основная идея разработанного быстродействующего метода заключается в определении концентрации ионов металлов в переходном режиме работы мембранного датчика при условии, что он является измерительной системой первого порядка. В этом случае работа датчика описывается следующим уравнением:

$$E(t) = E_{уст} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (2)$$

где  $E(t)$  – разность потенциалов (ЭДС) в момент времени  $t$ ,  $E_{уст}$  – разность потенциалов в стационарном режиме работы датчика,  $\tau$  – постоянная времени.

После помещения датчика в раствор необходимо засечь моменты времени  $t_1$ ,  $t_2 = t_1 + \Delta t$  и замерить значения ЭДС  $E(t_1)$ ,  $E(t_2)$  (рисунок 2). Если справедливо условие  $\Delta t \ll \tau$ , то при определении значения  $\Delta E = E(t_2) - E(t_1)$  можно ограничиться линейным приближением при разложении в ряд Тейлора:

$$\Delta E \cong \left. \frac{dE}{dt} \right|_{t=t_1} \Delta t = E_{уст} e^{-\frac{t_1}{\tau}} \frac{\Delta t}{\tau}. \quad (3)$$



Отсюда при  $t_1 \ll \tau$  легко определить значение ЭДС  $E_{уст}$ :

$$E_{уст} = \tau \frac{\Delta E}{\Delta t}. \quad (4)$$

Измеряя величины  $\Delta E$ ,  $\Delta t$  и зная  $\tau$ , можно найти  $E_{уст}$ .

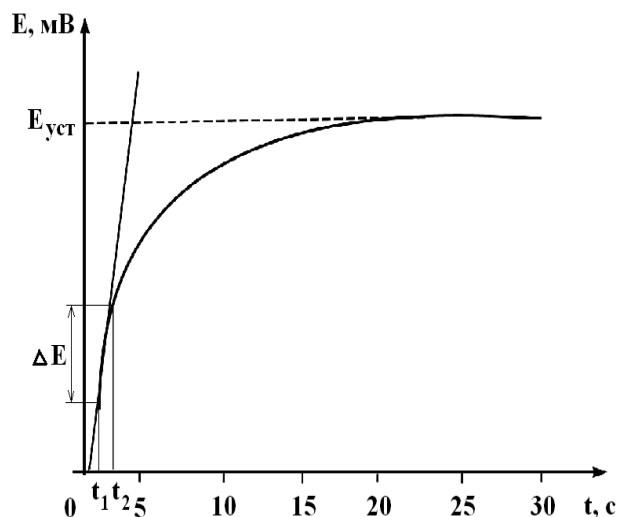


Рисунок 2. Быстродействующий метод определения концентрации

Для обоснования возможности применения метода необходимо доказать, что:

- мембранный датчик является системой измерения первого порядка с переходной характеристикой, описываемой уравнением (2);
- величина  $E_{уст}$ , измеренная в переходном режиме, совпадает с величиной  $E_{уст}$ , измеренной в стационарном режиме;
- зависимости  $E_{уст}$  от температуры и концентрации, измеренные в переходном режиме, совпадают с аналогичными характеристиками, измеренными в стационарном режиме.

Была исследована зависимость формы переходной характеристики от толщины ионоселективной мембраны. Переходные характеристики с использованием трех мембран с разной толщиной показаны на рисунке 3. Математическая обработка экспериментальных кривых методом наименьших квадратов показывает, что переходные характеристики мембранного датчика описываются уравнением (3).

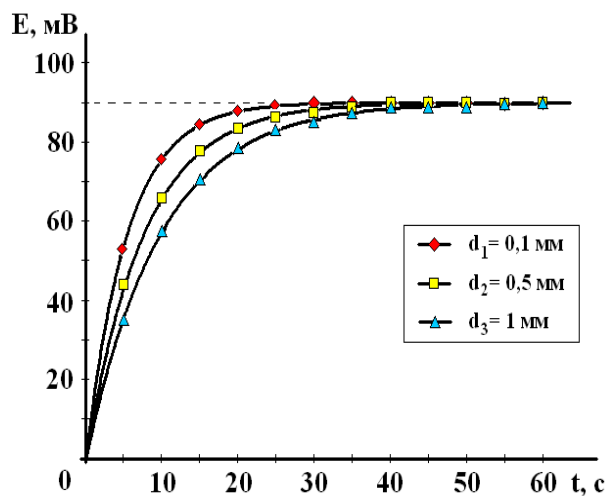


Рисунок 3. Переходные характеристики датчика при разной толщине мембраны

График зависимости постоянной времени  $\tau$  от толщины ионоселективной мембраны  $d$  представлен на рисунке 4.

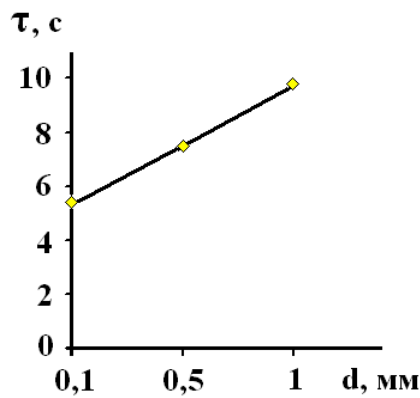


Рисунок 4. Зависимость постоянной времени  $\tau$  от толщины мембраны  $d$

Нетрудно заметить, что эта зависимость, которая приведена на рисунке 4, аппроксимируется прямой линией, уравнение которой будет иметь вид:

$$\tau = kd + \tau_0. \tag{5}$$

Из рисунка 4 следует, что с увеличением толщины мембраны в 5 раз постоянная времени увеличивается на 10 с, а с увеличением толщины мембраны в 10 раз – на 20 с. Это означает, что ионы металла преодолевают мембрану с постоянной скоростью и время перехода датчика в стационарный режим определяется только её толщиной. Поэтому при определении ЭДС  $E_{уст}$  в переходном режиме (при  $\Delta t \ll \tau$ ) можно выбрать мембрану с большей толщиной, что не приведет к существенным погрешностям, но значительно увеличит срок службы датчика.

При исследовании зависимости переходной характеристики мембранного датчика от температуры раствора было обнаружено, что повышение температуры раствора на  $1^\circ\text{C}$  приводит к увеличению значения ЭДС  $E_{уст}$  на 1 мВ (рисунок 5). Это соответствует измерениям, проведенным в стационарном режиме, и согласуется с уравнениями Нернста и Никольского, описывающим линейную зависимость мембранного потенциала от температуры [6]. Математическая обработка результатов измерений с использованием метода наименьших квадратов показывает, что температурная зависимость  $E_{уст}(T)$  хорошо аппроксимируется линейной функцией

$$E_{уст} = b_0 + b_1T, \tag{6}$$

где  $b_0 = 65 \pm 0,002$  мВ,  $b_1 = 1 \pm 0,006$  мВ/ $^\circ\text{C}$ .

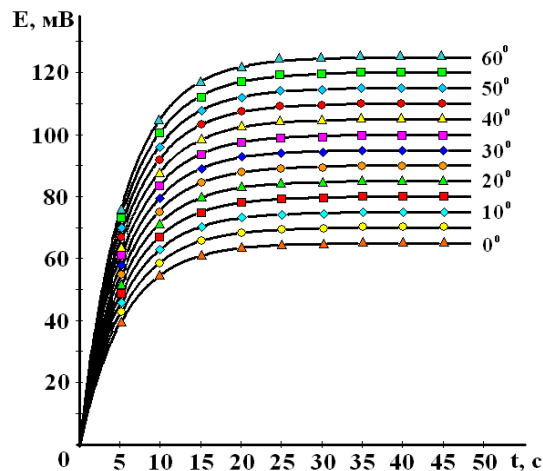


Рисунок 5. Переходные характеристики датчика при разных температурах раствора

График зависимости  $E_{уст}$  от температуры раствора представлен на рисунке 6.

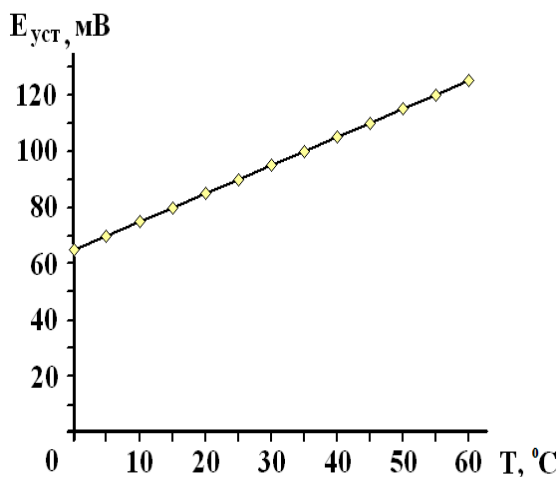


Рисунок 6. Зависимость ЭДС от температуры раствора

Также была исследована зависимость переходной характеристики датчика от концентрации ионов металла (рисунок 7). Нетрудно заметить, что форма переходной характеристики не зависит от концентрации ионов металла в исследуемом растворе и имеет экспоненциальную форму, в то время как  $E_{уст}$  зависит от концентрации.

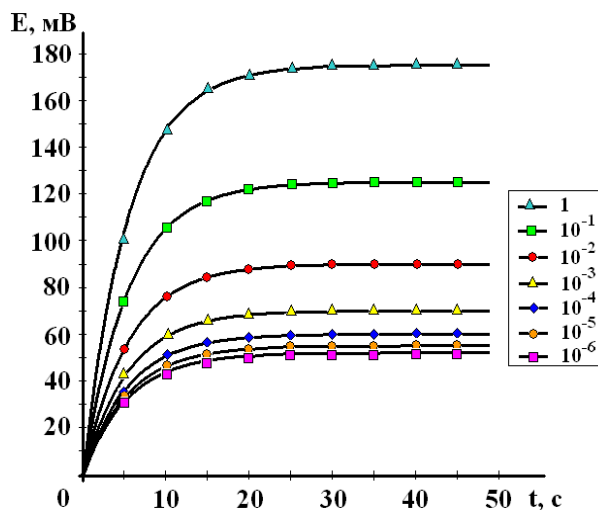


Рисунок 7. Переходные характеристики при разных концентрациях ионов металла (моль/л)

На рисунке 8 представлен график зависимости  $E_{уст}$  от концентрации ионов металла, что совпадает с аналогичной зависимостью, полученной в стационарном режиме работы мембранного датчика.

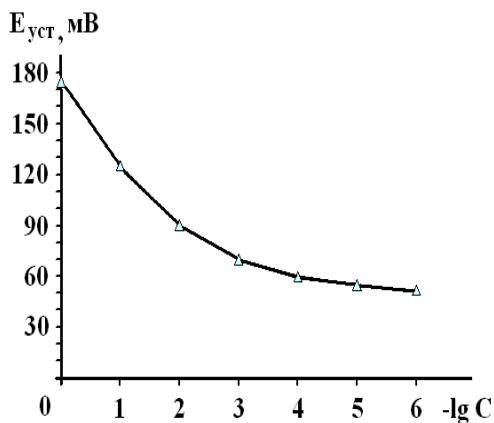


Рисунок 8. Зависимость ЭДС от концентрации ионов металла

В результате проведенных исследований было выведено уравнение зависимости  $E_{уст}(-\lg C)$ , которое выглядит следующим образом:

$$E_{уст} = \begin{cases} 50\lg C + 175, & 0 \leq -\lg C < 1, \\ 35\lg C + 160, & 1 \leq -\lg C < 2, \\ 15\lg C + 120, & 2 \leq -\lg C < 3, \\ 10\lg C + 115, & 3 \leq -\lg C < 4, \\ 5\lg C + 80, & 4 \leq -\lg C < 5, \\ 3\lg C + 70, & 5 \leq -\lg C < 6. \end{cases} \quad (7)$$

Наклон данной функции показывает чувствительность мембраны к иону металла в конкретном интервале изменения концентраций. Следовательно, чем больше наклон переходной характеристики, тем чувствительнее ионоселективная мембрана. При концентрациях, меньших  $10^{-6}$  моль/л, крутизна становится нулевой, поэтому предел обнаружения ионов в данном случае ограничивается  $10^{-6}$  моль/л.

В результате проведенных исследований переходных характеристик мембранного датчика можно сделать вывод, что он является измерительной системой первого порядка с переходной характеристикой экспоненциального типа.

Основным преимуществом потенциометрического метода является его высокая точность и чувствительность [7]. Возможность использования ионоселективных мембран позволяет проводить измерения с высокой степенью селективности. Это делает метод потенциометрии ионоселективных мембран широко применимым в области аналитической химии, биохимии, микробиологии, медицины, экологии и других областях науки и техники [8]. Однако также существуют ограничения и недостатки данного метода, такие как ограниченная селективность, проблемы стабильности и долговечности мембранных электродов. Также необходимость постоянного контроля и калибровки мембран может усложнять применение метода в некоторых условиях. Для устранения этих проблем необходимы дальнейшие исследования и разработки [9]. Тем не менее, общий вывод, который можно сделать из данного исследования, заключается в том, что потенциометрический метод измерения концентрации с использованием ионоселективных мембран является одним из наиболее точных и эффективных методов, применяемых в области анализа и оценки концентрации различных веществ [10, 11]. Даже несмотря на некоторые ограничения, он находит широкое применение в различных областях науки и техники и представляет собой перспективное направление для дальнейших исследований.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Иксанова О.Е., Власова А.Ю. Современные методы очистки сточных вод на тепловых электростанциях / Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: материалы Международной научно-технической конференции. Казань, 2023. С. 201-205.
2. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Зарипова Р.С., Каляшина А.В., Чупаев А.В. Исследование разделения водо-нефтяной эмульсии в элементе сепаратора при наличии успокоителей потока на основе численного моделирования / Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 7. С. 116-119.
3. Зарипова Р.С., Иштыряков Н.А. Определение качества технической воды / Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации: Тезисы II научно-практической конференции с международным участием. Самарский государственный технический университет. 2017. С. 43.
4. Гапеку М., Власова А.Ю. Современные технологии водоподготовки на тепловых электрических станциях / Энергетика в условиях цифровой трансформации. Наука. Технологии.

Инновации: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Волжский, 2022. С. 195-199.

5. Гизатуллин Р.М., Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г. Помехоустойчивость вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания / Журнал радиоэлектроники. 2016. № 11. С. 2.

6. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Разработка информационной системы контроля параметров системы отопления / Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. КузГТУ, 2018. С. 335.1-335.3.

7. Галеев С.Р., Зарипова Р.С. Информационно-измерительная система технологического контроля параметров центрального теплового пункта / Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: Материалы IV российской молодежной научной школы-конференции. 2016. С.328-329.

8. Зарипова Р.С., Бикеева Н.Г. Исследование характеристик ионоселективного анализатора гемодиализных растворов и крови / Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т.11.№1-2. С. 17-20.

9. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г., Назметдинов Ф.Р. Снижение электромагнитных помех и защита информации в вычислительной технике с помощью экранирующих стекол / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 3 (35). С. 46-57.

10. Рочева О.А., Рочева Я.О. Анализ условий жизни населения России / Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: материалы Международной научно-технической конференции. Казань, 2023. Т.2. С. 551-554.

11. Plotnikova L.V., Kashipova L.A., Ishmuratov R.A. Modeling of heat and power system optimal structure using software / Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 14. С. 3028-3034.

\*\*\*\*\*

## MONITORING OF METAL ION CONCENTRATIONS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT USING MEMBRANE TECHNOLOGY

Zaripova R.S., Kalyashina A.V., Stepanova G.S.

The article deals with the fast method of concentration measurement which is based on the measurement of potential differences using ion-selective membranes. The operating principles and advantages of this method are described, namely: fast measurements, small sample volume for analysis, possibility to carry out measurements in any controlled environment. The paper describes the idea of fast method for measuring the concentration in the transient mode of the membrane sensor, the theoretical substantiation of the possibility of its application is given. The high-speed method, its accuracy and possible limitations are investigated, and the perspectives of its further development are analysed. The metrological characteristics in the steady-state and transient modes of operation of the membrane sensor are investigated. The paper also considers examples of membrane sensors application in various fields of science and technology.

**Keywords:** concentration, membrane technology, membrane sensor, ion-selective membranes, metal ions

---

### Сведения об авторах:

**Зарипова Римма Солтановна**

Канд. техн. наук, доцент,

Казанский государственный энергетический университет

E-mail: [zarim@rambler.ru](mailto:zarim@rambler.ru)

**Каляшина Анна Викторовна**

Канд. техн. наук, доцент,

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ

**Степанова Галина Станиславовна**

Канд. хим. наук, доцент,

Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирязова

---

**Учредитель журнала:** Мельников Игорь Олегович, кандидат химических наук

**Издатель:** Общество с ограниченной ответственностью

"Издательство "Манускрипт" (ОГРН 1226100004679)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство серия серия ПИ № ФС 77 - 31640 10.04.2008, **Адрес:** 127473, Москва г., 3-й Самотечный пер., д. 23, кв. 48

Тел. +7 951 528 22 82 **E-mail:** [VAK-info@yandex.ru](mailto:VAK-info@yandex.ru)

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Манускрипт»

Подписано в печать 25.04.2023. Выход в свет 03.05. 2023г.

Тираж 150 экз. Заказ № 06-23/ РС-08. Цена свободная

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статья, направляемая в журнал «ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ», предоставляется в электронном виде в текстовом редакторе Microsoft Word по e-mail: [VAK-info@yandex.ru](mailto:VAK-info@yandex.ru)

Файл с текстом статьи должен иметь расширение \*.doc или \*.docx. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегель) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал полуторный с использованием автоматической расстановки переносов. Аннотация (от 100 до 150 слов); ключевые слова на русском языке (5-8 слов). Название статьи, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах должны быть переведены на английский язык.

Исключить громоздкие цифровые и формульные таблицы, а также рисунки, более, чем на 0,5 страницы. Все таблицы и рисунки должны быть в тексте, подписаны, ссылки на них по тексту обязательны.

Список использованной литературы составляется по алфавиту в конце статьи в соответствии с ГОСТ. Ссылки на литературу в тексте отмечаются арабскими цифрами в квадратных скобках.

В статье должны быть указаны следующие сведения о каждом авторе: фамилия, имя, отчество (полностью); место работы и должность; ученая степень; домашний адрес (если необходимо почтовый экземпляр); контактный телефон; адрес электронной почты. Название ВУЗов полностью, без сокращений.

**Таким образом, файл должен содержать:**

- ✓ индекс УДК
- ✓ аннотацию – 100-150 слов
- ✓ ключевые слова (не более 5-8 на русском и английском языках)
- ✓ название
- ✓ основной текст статьи
- ✓ список литературы

Основной текст рукописи экспериментальной статьи рекомендуется излагать в следующей последовательности:

- **введение** с четким и кратким изложением состояния рассматриваемого вопроса и анализом литературных данных, постановкой цели и задач данного исследования;
- **экспериментальная часть** (применяемые аппаратура, материалы, химические реактивы и методика проведения эксперимента в кратком изложении);
- **результаты** проведенных исследований и их обсуждение;

Все статьи проверяются на ПЛАГИАТ. Процент авторского текста должен составлять не менее 75%. Цитирования не более 25%.

Все поступающие в редакцию материалы должны быть проверены на наличие заимствований из открытых источников (попросту – плагиат), проверка выполняется с помощью системы AntiPlagiat.ru.

**Контактные лица:**

**Ответственный редактор:** Жанна Сергеевна, тел., +7951 528 22 82

E-mail: [VAK-info@yandex.ru](mailto:VAK-info@yandex.ru)