

• ISSN 2072-8158 •

# ВОДА:

## ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 12 • 2023

**НОВЫЕ  
РЕШЕНИЯ**

В ТЕОРИИ  
И ПРАКТИКЕ  
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА

органическая и биоорганическая химия |  
неорганическая химия | исследования в сфере  
химической, мембранной технологии | экология  
и гидробиология | новые и перспективные  
материалы для химической и микробиологической  
очистки воды | технологические инновации в сфере  
промышленной и бытовой очистки вод | исследования  
в области гидробиологии | вопросы мониторинга  
водных объектов и экономики водной отрасли |  
обзор передовых российских и зарубежных  
разработок, существующих патентов и нормативной  
документации | анализ чрезвычайных экологических  
ситуаций | совершенствование и разработка  
контрольно-измерительного оборудования в области  
водопользования | методическое и материально-  
техническое обеспечение образовательного процесса  
по специальностям, связанным с химией и экологией



• ISSN 2072-8158 •



# ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

г. Москва

№12, 2023



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

**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:

**Будко Елена Вячеславовна:** Доктор фармацевтических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет»

**Гасаналиев Абдулла Магомедович:** Доктор химических наук, профессор кафедры, директор НИИ Общей и неорганической химии, заслуженный деятель науки РД и РФ, Дагестанский Государственный Педагогический Университет (Махачкала)

**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)

**Евжанов Ходжанепес:** Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей химии, Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева. Лауреат государственной премии Туркменистана в области науки и техники

**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)

**Кузнецов Максим Валерьевич:** Доктор химических наук, главный научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России"

**Кузьмина Лариса Владимировна:** Доктор физико-математических наук, Профессор кафедры химии твердого тела и химического материаловедения Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»

**Леонов Валерий Евгеньевич:** Доктор технических наук, профессор, действительный член международной академии «Экоэнергетика», Херсонская государственная морская академия

**Мурадов Шухрат Одилович:** Доктор технических наук, профессор, член межвузовского координационного совета при МГУ им. Ломоносова, Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан), профессор

**Мухамбетжанов Салтанбек Талапеденович:** доктор физико – математических наук, член – корр. Международной Инженерной Академии, Казахский национальный университет имени аль – Фараби, профессор кафедры вычислительной науки и статистики

**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)

**Пчелинцева Нина Васильевна:** Доктор химических наук, доцент, ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского, профессор кафедры органической и биорганической химии Института химии СГУ (Саратов)

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

**Федосов Сергей Викторович:** Доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, профессор, академик РААСН (Москва)

**Хацаева Раиса Мусаевна:** Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, зав. кабинетом электронной микроскопии (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:

*Budko Elena Vyacheslavovna: Kursk State Medical University, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor*

*Abdulla Magomedovich Hasanaliyev: Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department, Director of the Research Institute of General and Inorganic Chemistry, Honored Scientist of the Republic of Dagestan and the Russian Federation, Dagestan State Pedagogical University (Makhachkala)*

*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)*

*Evzhanov Khojanepes: Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Chemistry, Yagshygeldi Kakaev International University of Oil and Gas. Laureate of the State Prize of Turkmenistan in the field of science and technology*

*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)*

**Kuznetsov Maxim Valerievich:** Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher, Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia"

**Kuzmina Larisa Vladimirovna:** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Solid State Chemistry and Chemical Materials Science Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University"

**Leonov Valery Evgenievich:** Doctor of Technical Sciences, Professor, full member of the International Academy "Ecoenergetics", Kherson State Maritime Academy

**Muradov Shukhrat Odilovich:** Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Interuniversity Coordinating Council at Lomonosov Moscow State University, Karshi Institute of Engineering and Economics (Uzbekistan), Professor

**Mukhambetzhanov Saltanbek Talapedenovich:** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding member. International Engineering Academy, Al-Farabi Kazakh National University, Professor of the Department of Computational Science and Statistics

**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)

**Pchelintseva Nina Vasilyevna:** Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Organic and Bioorganic Chemistry, Associate Professor, Saratov National Research State University named after N.G.Chernyshevsky (Saratov)

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

**Fedosov Sergey Viktorovich:** Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Laureate of the Russian Government Prize in Science and Technology, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

**Khatsaeva Raisa Musaevna:** Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Head. the electron microscopy room (Moscow)

## СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

### ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Газетдинов Ришат Ринатович, Онина Светлана Александровна, Абдулгафарова Гульназ Халиловна, Шаймарданова Милена Игоревна.  
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СКЛАРЕОЛА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ ШАЛФЕЯ  
ЛЕКАРСТВЕННОГО (SALVIAE FOLIA OFF) 13

Корчуганова Ксения Алексеевна, Ильякова Наталья Николаевна, Галкина Елена Владимировна, Каленский Александр Васильевич.  
АДСОРБЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 19

### БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Власова Алена Юрьевна, Алихаджиев Сайдмагомед Хаважиевич, Кузнецов Максим Геннадьевич.  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ  
ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДО И ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ 28

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

Зубрилов Сергей Павлович, Растрыгин Николай Васильевич.  
ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ 35

### МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Зарипова Римма Солтановна, Магомедова Севиль Анверовна, Рамазанова Барият Махмудовна.  
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЕМБРАННОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТВОРОВ В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ 42

Зарипова Римма Солтановна, Масаева Лиза Мусаевна, Валеев Сергей Ильдусович.  
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АМИДОВ И ГИДРАЗИДОВ  
АРОМАТИЧЕСКИХ КАРБОНОВЫХ И СУЛЬФИНОВЫХ КИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ  
СУЛЬФИНИЛИРОВАНИЯ 47

### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

Иванов Захар Александрович, Федорова Владислава Игоревна, Лунева Татьяна Анатольевна, Слащинин Дмитрий Геннадьевич.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ 55



## ЭКОЛОГИЯ

**Заитов Руслан Ильдарович, Тарамов Юсуп Хатабович, Умархаджиев Магомед-Хабиб Русланович.**

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЗА КАЧЕСТВОМ ВОДЫ В ГОРОДСКИХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

64

**Рудой Валерий Игоревич, Масаева Лиза Мусаевна, Элипханов Мансур Умарович.**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РФ

71

**Сытник Наталья Александровна.**

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ПЕРЕГРУЗКЕ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ ФИЛИАЛА ГУП РК «КМП» «КЕРЧЕНСКИЙ ТОРГОВЫЙ ПОРТ»

78

## ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

**Новожилова Алия Ильдусовна, Валиев Айрат Данилович, Земский Дмитрий Николаевич, Линькова Татьяна Сергеевна.**

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СОСТАВА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

86

## CONTENTS

### PHYSICAL CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Gazetdinov Rishat Rinatovich, Onina Svetlana Alexandrovna, Abdulgafarova Gulnaz Khalilovna, Shaimardanova Milena Igorevna.  
FUNCTIONALIZATION OF SCLAREOL ISOLATED FROM MEDICINAL SAGE (SALVIAE FOLIA OFF) 13

Korchuganova Ksenia Alekseevna, Ilyakova Natalia Nikolaevna, Galkina Elena Vladimirovna, Kalensky Alexander Vasilyevich.  
ADSORBENT FOR WASTEWATER TREATMENT 19

### BIOORGANIC CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Vlasova Alyona Yuryevna, Alikhajiev Saidmagomed Khavazhievich, Kuznetsov Maxim Gennadievich.  
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WATER TREATMENT PLANT OF A THERMAL POWER PLANT BEFORE AND AFTER MODERNIZATION 28

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

Zubrilov Sergey Pavlovich, Rastrygin Nikolai Vasilyevich.  
PLASMA TECHNOLOGIES FOR WATER DISINFECTION 35

### MEMBRANES AND MEMBRANE TECHNOLOGY (CHEMICAL SCIENCES)

Zaripova Rimma Soltanovna, Magomedova Sevil Anverovna, Ramazanovna Bariyat Makhmudovna.  
SIMULATION OF THE OPERATION OF A MEMBRANE SENSOR FOR DETERMINING THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOLUTIONS IN A TRANSIENT MODE 42

Zaripova Rimma Soltanovna, Masaeva Lisa Musaevna, Valeev Sergey Ildusovich.  
INVESTIGATION OF THE REACTIVITY OF AMIDES AND HYDRAZIDES OF AROMATIC CARBOXYLIC AND SULFINIC ACIDS IN THE PROCESS OF SULFINYLATION 47

### WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

Zakhar Alexandrovich Ivanov, Vladislava Igorevna Fedorova, Tatyana Anatolyevna Luneva, Dmitry Genadyevich Slashchinin.  
DETERMINATION OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF THE YENISEI RIVER 55

## ECOLOGY

Zaitov Ruslan Ildarovich, Taramov Yusup Khatabovich, Akhmarov Turpal-Ali Vakhaevich.

DEVELOPMENT OF WATER QUALITY CONTROL METHODS IN URBAN WATER SUPPLY SYSTEMS USING SENSOR TECHNOLOGIES

64

Rudoy Valery Igorevich, Masaeva Lisa Musaevna, Elipkhanov Mansur Umarovich.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE RUSSIAN FEDERATION

71

Sytnik Natalia Alexandrovna.

ECOLOGICAL CONDITION OF THE KERCH STRAIT WATER AREA IN THE AREA OF BULK CARGO TRANSSHIPMENT OF THE BRANCH OF THE STATE UNITARY ENTERPRISE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN "KMP" KERCH COMMERCIAL PORT

78

ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGY  
PROCESSES AND CORROSION PROTECTION

Novozhilova Aliya Ildusovna, Valiev Airat Danilovich, Zemsky Dmitry Nikolaevich, Linkova Tatyana Sergeevna.

DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE COMPOSITION OF ANTICORROSIVE PROTECTION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

86

# ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

---



## ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ СКЛАРЕОЛА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ ШАЛФЕЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО (*SALVIAE FOLIA OFF*)

Газетдинов Ришат Ринатович,  
Онина Светлана Александровна,  
Абдулгафарова Гульназ Халиловна,  
Шаймарданова Милена Игоревна

В статье рассматриваются особенности выделения и функционализации биологически активного соединения – склареола – из вегетативной массы Шалфея лекарственного (*Salviae Folia off.*) – доступного растительного сырья, выращенного в Бирском районе Республики Башкортостан. Осуществлена трансформация склареола в склареолактон – ценный продукт, используемый в парфюмерном производстве, как заменитель идентичный серой амбры кашалота. Изучены физико-химические и спектральные свойства продукта реакции. Синтезированный склареолактон обладает необходимыми для парфюмерного производства свойствами. Установлено, что шалфей лекарственный возможно использовать как сырье для извлечения склареола, с выходом ключевого продукта ниже, чем с Шалфея душистого (*Salviae sclarea*) примерно на 20 %.

**Ключевые слова:** склареол, склареолактон, склареоловая кислота, шалфей лекарственный, биологически активное вещество, экстракция.

Растительное сырье любого вида является возобновляемым, доступным и относительно дешевым источником для получения большого разнообразия органических веществ, представляющих интерес для промышленности, фармакологии, медицины и других отраслей. Важное практическое значение имеют соединения, выделяемые из растений в чистом виде и имеющие в структуре некоторые функциональные группы и хиральные центры. Соединения такого рода сами могут обладать биологической активностью, либо являться предшественниками для синтеза таких веществ. В синтезе органических биологически активных соединений широкое применение нашли, например, монотерпеноиды – ментол, пулегон, цитронеллол и другие. [1-4]

Другим направлением промышленного применения растительного сырья и выделяемых из него веществ является парфюмерная отрасль. Многие высококачественные и дорогостоящие туалетные воды, духи, одеколоны содержат душистые компоненты растительного происхождения, например, цитраль, гераниол, ментол и т.д. Для придания устойчивости и стойкости аромата применяют особую группу веществ – фиксаторы запаха, среди которых необходимо выделить серую амбру, добываемую из желудка кашалотов. Естественная серая амбра – это уникальный продукт – добывается в малом количестве и требует больших временных затрат. В середине прошлого столетия были найдены ряд соединений, способные заменить его в составе парфюмерии, например, склареол, выделяемый из мускатного шалфея (*Salviae sclarea*). [5,6]

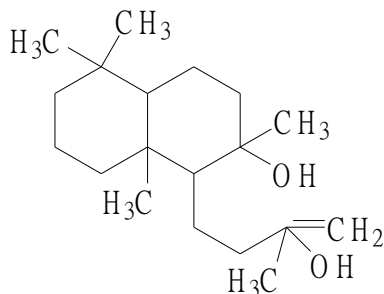
Таким образом, поиск и выделение биологически активных веществ из доступного растительного сырья, а также их функционализация и синтез целевых соединений для различных областей жизнедеятельности человека является актуальной и практически важной задачей.

Нами изучена возможность выделения склареола из шалфея лекарственного (*Salviae Folia off.*) – доступного растительного сырья, выращенного в Бирском районе Республики Башкортостан, и возможности функционализации склареола в практически ценные продукты (склареолактон, склареоловая кислота).

Сclareол (лабд-14-ен-8,13-диол) – основной компонент эфирных масел мускатного шалфея – добывается в эфиромасличных заводах экстракционным методом. Сclareол выделяют из углеводородного экстракта свежесобранных соцветий шалфея мускатного или вторичного сырья после паровой отгонки из соцветий эфирного масла. [7]

Формула:  $C_{20}H_{36}O_2$

Молекулярная масса: 308,50



Представляет собой белый кристаллический порошок без запаха и вкуса, не растворим в воде, хорошо растворяется в органических растворителях. Сclareол, получаемый из шалфея представляет собой эпимерную смесь по тринадцатому атому углерода.

Выделение сclareола осуществлено экстракционным методом. Вегетативная масса шалфея лекарственного, собранная в период цветения, предварительно высушена при комнатной температуре в тени и измельчена до частиц размером 2 мм. Для экстракции 200 г сухой массы шалфея подвергалась трехкратной обработке равными количествами петролейного эфира (ПЭ 40/70) общим объемом 1000 мл. Каждая экстракция длилась 10-12 часов. После завершения экстракции, эфирные фазы объединили и провели упаривание на роторном испарителе при температуре бани не более 100 °С.

Выход сухого остатка составил 6,5 г (3,25% от исходной сухой растительной массы).

Сclareол, полученный экстракционным методом, содержит значительные количества воскообразных примесей, которые были отделены перекристаллизацией из сухого этилового спирта. Для этого сухой остаток растворили в горячем этиловом спирте с ориентировочным объемом 100 мл (этанол прибавляется небольшими порциями до растворения экстракта), затем выдерживали раствор при охлаждении до 0 °С в течение 5 часов. Выпавший осадок и нерастворенные примеси отделили фильтрованием через стеклянный фильтр. Фильтрат, содержащий целевой сclareол, упаривали на роторном испарителе до полной отгонки этанола. Для окончательной очистки сclareола проведена кратная перекристаллизация из сухого ацетона (объем на одну перекристаллизацию 10-15 мл) до достижения температуры плавления вещества не менее 100 °С.

Выход чистого сclareола 1,8 г (27,7 % от массы экстракта).

Т.пл. 104 °С;  $\alpha_D - 6^\circ$  (при 20 °С, абс.этанол).

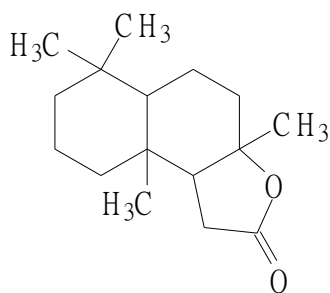
Для качественной идентификации проведена реакция на третичную гидроксильную группу: в стеклянную ампулу помещают смесь из 0,1 г сclareола и 0,1 г сухого  $CuSO_4$ , запаивают и нагревают в течение 1 ч при температуре 100 °С. Появление синей окраски смеси свидетельствуют о наличии третичного гидроксила.

Широкое практическое применение в парфюмерии как фиксатор запаха находят сclareолактон (аналог амбреинолида – компонента серой амбры, извлекаемой из желудка кашалатов), который можно получить окислением сclareола хромовым ангидридом. [8,9]

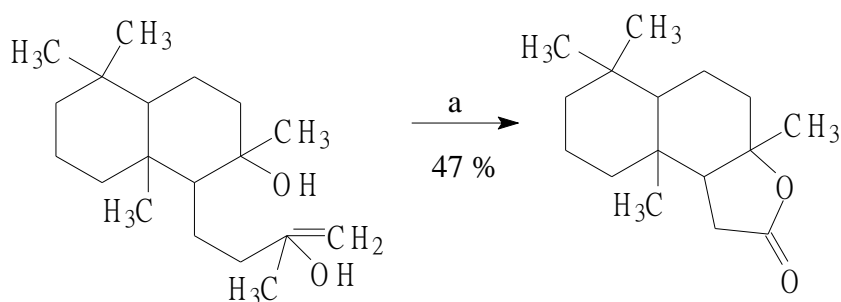
Сclareолактон (норамбреинолид).

Формула:  $C_{16}H_{26}O_2$

Молекулярная масса: 250,38



Использование перманганата калия в качестве окислителя вместо хромового ангидрида, позволяет улучшить выход целевого продукта. Нами выполнено окисление склареола до склареолактона с выходом 47 %.



Реагенты: а) 1.  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; 2.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ; 3.  $\text{KOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

Для этого к тщательно перемешиваемой суспензии 10 г склареола в 80 мл воды прибавляли небольшими порциями 19 г перманганата калия, выдерживая температуру не выше  $35\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 3 ч. Раствор обесцвечивается, после чего к реакционной массе добавляли 70 мл ледяной уксусной кислоты и раствор 12 г  $\text{KMnO}_4$  в 12 мл уксусной кислоты и продолжали перемешивание в течение 2 ч при температуре не выше  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . Полученную смесь оставили на 12 ч при комнатной температуре, затем при перемешивании добавили 100 мл 4н раствора серной кислоты (до  $\text{pH} = 2$  по универсальной индикаторной бумаге). Далее через реакционную смесь барботировали сернистый газ до обесцвечивания раствора при температуре не выше  $15\text{ }^\circ\text{C}$ . Для отделения гетерогенной фазы проводили фильтрование через стеклянный фильтр, остаток промывали и обработали 80 мл 7 % метанольным раствором гидроксида калия. Затем кипятили в течение 2 ч. При этом образующиеся лактон и ацетат оксикислоты омыляются, а калийная соль оксикислоты переходит в водный раствор.

Извлечение нейтральных примесей проводили экстракцией гексаном в делительной воронке. Затем оставшийся нижний слой подкисляли серной кислотой до  $\text{pH} = 2$ , при это происходит выпадение осадка оксикислоты, который отфильтровали через фильтр Шотта и подвергли лактонизации при температуре  $140\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. Очистку склареолактона производили перекристаллизацией из гексана.

Выход чистого склареолактона 4,7 г (47 % от склареола).

Изучены физико-химические свойства синтезированного склареолактона. ИК спектры записывали на приборе UR-20 в тонком слое. Спектры ЯМР (300.13 МГц для  $^1\text{H}$  и 75.47 МГц для  $^{13}\text{C}$ ) получали на спектрометре BRUKER AMX-300 в  $\text{CDCl}_3$  ( $\delta$ , м. д., J, Гц). За внутренний стандарт принято значение сигналов  $\text{CDCl}_3$  (в ПМР –  $\delta$  7.27 м.д., а в ЯМР  $^{13}\text{C}$  – средний сигнал  $\delta$  77.00 м.д.).

Установлены:

Т.пл.  $124\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_D - 46^\circ$  (при  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{CHCl}_3$ ).

ИК-спектр (2% раствор в  $\text{CCl}_4$ ,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): полосы поглощения в области 1730, 1173, 1156 (сложноэфирная группа), 1074 и 1098 (тетрагидропирановый цикл).

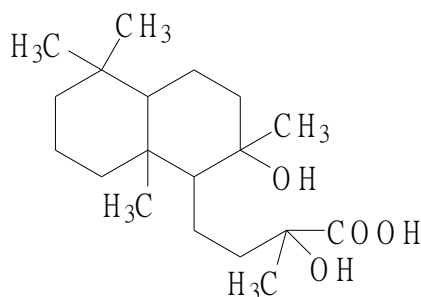
Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\delta_c$ , м.д.): 47.9 (C1), 26.9 (C2), 51.7 (C3), 34.9 (C4), 56.3 (C5), 27.1 (C6), 38.2 (C7), 37.3 (C8), 59.9 (C9), 39.6 (C10), 32.7 (C11), 176.4 (C12), 22.0 (C13), 21.7 (C14), 15.5 (C15), 15.9 (C16).

Нами также проведено окисление склареола до склареоловой кислоты, которая находит практическое применение в парфюмерной и табачной промышленности.

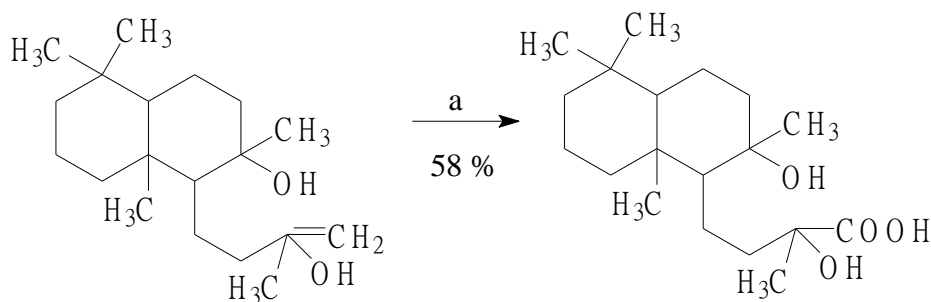
Склареоловая кислота.

Формула:  $C_{19}H_{34}O_4$

Молекулярная масса: 326,45



Окисление склареола проведено в водном растворе перманганата калия по следующей методике. К 10 г склареола, растворенного в 120 мл ацетона и 40 мл воды при перемешивании и охлаждении прикапывали раствор 18 г перманганата калия в смеси 160 мл ацетона и 60 мл воды. Скорость прикапывания должна быть такой, чтобы температура не поднималась выше 12 °С. После окончания прикапывания реакционную массу продолжили перемешивать 30 мин при температуре 10-12 °С. После окончания реакции отфильтровали выпавший  $MnO_2$  на фильтре Шотта, осадок промыли 10% раствором  $Na_2CO_3$ . К фильтрату добавили 15 мл 10% раствора  $Na_2CO_3$  и отогнали растворитель на ротормном испарителе. Полученный остаток объединили с раствором, которым промывали диоксид марганца, перенесли в делительную воронку и экстрагировали 20 мл диэтилового эфира. Эфирный слой отделили, добавили новую порцию эфира также 20 мл и по каплям добавили 20%  $H_2SO_4$  до кислой реакции по индикатору конго. Образовавшаяся склареоловая кислота переходит в эфирную фазу, которую сушили над прокаленным  $Na_2SO_4$  в течение 10-12 ч, затем эфир отгоняли на ротормном испарителе.



Реагенты: а) 1.  $KMnO_4$ ,  $H_2O$ , ацетон; 2.  $K_2CO_3$ ; 3.  $H_2SO_4$ .

Очистку продукта реакции выполнили перекристаллизацией из петролейного эфира.

Выход склареоловой кислоты 5,8 г (58 % от склареола).

Установлены:

Т.пл. 153 °С;  $\alpha_D - 1,3^\circ$  (при 20 °С,  $CHCl_3:CH_3OH = 5:2$ ).

Подводя итоги исследования, можно отметить, что в ходе проведенной работы установлена возможность использования Шалфея лекарственного в качестве исходного доступного сырья для извлечения склареола с удовлетворительным для практических целей выходом. Проведена функционализация выделенного склареола – получены склареолактон с выходом 47 % и склареоловая кислота с выходом 58%. Физико-химические свойства соединений доказаны, парфюмерная пригодность продуктов подтверждены. Таким образом, проведенные исследования подтверждает целесообразность и экономическую выгодность использования



растительного сырья местного происхождения (в частности вегетативной массы Шалфея лекарственного) в парфюмерной отрасли.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Synthesis of Optically Active Macrolides From L-Menthone Derivatives and Hydrazides of Adipic and 2,6-Pyridinedicarboxylic Acids / M. P. Yakovleva, K. S. Denisova, G. R. Mingaleeva [et al.] // Chemistry of Natural Compounds. – 2018. – Vol. 54, No. 3. – P. 496-498.
2. Растения рода *Salvia* L. как перспективный источник активных фармацевтических ингредиентов при разработке лекарственных средств / С. Б. Холов, Ф. Б. Холназаров, К. С. Махсудов [и др.] // Наука и инновация. – 2023. – № 1. – С. 67-74.
3. Шамбазов, Д. В. Определение содержания ликопина в природном сырье / Д. В. Шамбазов, Г. Х. Абдулгафарова, Р. Р. Газетдинов // Инновационная наука. – 2020. – № 3. – С. 15-16.
4. Монотерпеноиды в химии оптически активных феромонов насекомых / Г. Ю. Ишмуратов [и др.] ; Российская акад. наук, Уфимский науч. центр, Ин-т органической химии. – М.: Наука, 2012.
5. Усов, А. П. Выделение склареола из углеводородного экстракта шалфея мускатного / А. П. Усов, Н. А. Турышева, Е. С. Кочетков, А. В. Липская // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2006. – № 2-3. – С. 75-77.
6. Лазуревский, Г. В. Практические работы по химии природных соединений / Г. В. Лазуревский, И. В. Терентьева, А. А. Шамшурин – М.: Высшая школа. – 1966. – 335 с.
7. Sclareol. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/#query=Sclareol>, свободный. – (Дата обращения: 23.11.2023).
8. Sclareolide. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/#tab/sidsrcname=ChemIDplus&query=564-20-5&input\\_type=text](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/#tab/sidsrcname=ChemIDplus&query=564-20-5&input_type=text), свободный. – (Дата обращения: 23.11.2023).
9. Патент США 3050532 / РЖХим. – 1964. – № 6. – Р464. П.

\*\*\*\*\*

#### FUNCTIONALIZATION OF SCLAREOL ISOLATED FROM SALVIAE FOLIA OFF.

Gazetdinov R. R., Onina S. A., Abdulgafarova G. Kh., Shaimardanova M.I.

*The article discusses the features of the isolation and functionalization of a biologically active compound – sclareol – from the vegetative mass of *Salvia officinalis* (*Salviae Folia off.*) – an accessible plant material grown in the Birska region of the Republic of Bashkortostan. The transformation of sclareol into sclareolactone has been carried out – a valuable product used in perfume production as a substitute identical to sperm whale ambergris. The physicochemical and spectral properties of the reaction product were studied. The synthesized sclareolactone has the properties necessary for perfume production. It has been established that *Salvia officinalis* can be used as a raw material for the extraction of sclareol, with the yield of the key product being approximately 20% lower than from *Salviae sclarea*.*

**Keywords:** *sclareol, sclareolactone, sclareolacid, salvia officinalis, biologically active substance, extraction.*

#### Сведения об авторах:

Газетдинов Ришат Ринатович

Канд. хим. наук, доцент,

ФГБОУ ВПО «Уфимский университет науки и технологий», филиал в г.Бирск

E-mail: aldrich@mail.ru

**Онина Светлана Александровна**

Канд. хим. наук, доцент,

ФГБОУ ВПО «Уфимский университет науки и технологий», филиал в г.Бирск

**Абдулгафарова Гульназ Халиловна**

Магистрант,

ФГБОУ ВПО «Уфимский университет науки и технологий», филиал в г.Бирск

**Шаймарданова Милена Игоревна**

Бакалавр,

ФГБОУ ВПО «Уфимский университет науки и технологий», филиал в г.Бирск

## АДСОРБЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

---

Корчуганова Ксения Алексеевна,  
Ильякова Наталья Николаевна,  
Галкина Елена Владимировна,  
Каленский Александр Васильевич

*В работе исследованы наноконпозиты на основе углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами биметаллов Ft/Pt, перспективные для применения в качестве адсорбентов. Описан схема получения образцов, а также проведено исследование композитов комплексом физико-химических методов. Методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показано, что форма частиц шестиугольная, размеры частиц от 3 до 14 нм, межрядовое расстояние  $2,50 \pm 0,02$  Å. Все рефлексы на рентгенофазовом спектре принадлежат металлической платине, но смещены в большие углы благодаря включению железа в состав платины. Размер мельчайшей фракции наночастиц попадает в интервал от 2 до 6 нм, следующая фракция частиц размером около 10 нм и присутствуют агрегаты с размером от 15 до 35 нм. При этом поверхность наноконпозита достаточно чистая.*

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, адсорбент, очистка сточных вод, наноконпозиты, однослойные углеродные нанотрубки, наночастицы, биметаллические системы

---

Разработка методов очистки воды является актуальной проблемой во всем мире [1]. Важное значение имеют как обеззараживание сточных вод и жидких отходов, так и очистка природной воды [2-4]. В работе [1] проведен краткий анализ способов и разработанных технологий очистки воды. Большинство разработанных технологий финальной очистки сточных вод опираются на использование гранулированных образцов активных углей [1-5] с характерным размером частиц около 100 мкм. Образцы в этом случае состоят из углерода (более чем на 85 %) и имеют развитую поверхность [5].

Для очистки воды (как сточной, так и природной) от загрязнения нефтепродуктами применяются гидрофобные сорбенты [5]. Адсорбция в этом случае определяется дисперсионным притяжением диполей электрически нейтральных молекул, атомы в которых связаны ковалентными (полярными или неполярными) связями. Эффективность сорбентов [6] может достигать 70 % (оцененная по поглощению нефтепродуктов в объеме 70% от объема сорбента). Сорбенты более сложного химического состава в том числе из природных компонентов исследованы в работах [7-9]. Введение в образец магнитных наночастиц позволяют получить магнитный сорбент, методика получения которого представлена в работах [3, 10].

В качестве сорбирующей матрицы применяется активированный уголь (например, БАУ-А [3]). Однако в последние тридцать лет появился новый углеродный материал, имеющий существенно более развитую поверхность – углеродные нанотрубки [11]. Развитие технологии их синтеза позволило уменьшить их стоимость и сделало доступным их применение в очень большой сфере применения [12-15]: электрокатализаторы топливных элементов; гетерогенные катализаторы дегидрирования органических веществ; активные элементы электронных устройств; накопление и хранение водорода; элементы микросхем размерами меньше 10 нанометров; магнитные и радиопоглощающие покрытия. Перспективным является использование однослойных углеродных нанотрубок для решения экологических задач, в том числе фильтрации и адсорбции [16]. Углеродные нанотрубки можно модернизировать различными способами, придавая им те или иные принципиально новые особенности [12-16]. Одним из таких способов является заполнение нанотрубок различными металлами, а также

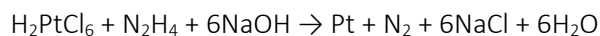
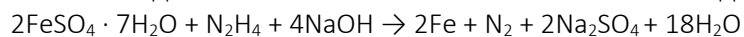
биметаллами (например, наноядрами Fe и Pt). Композиционный материал на основе углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами с каталитическими свойствами Fe/Pt, может стать уникальным адсорбентом для очистки воды.

Основная цель работы – синтез и исследование физико-химических характеристик композитов на основе углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами Fe/Pt.

### Материалы и методы исследования

Методика получения углеродных нанотрубок наполненных наночастицами Fe-Pt

Основная идея синтеза – восстановление металлов из водных растворов их солей.



Предварительно были рассчитаны и взяты необходимые количества требуемых для осуществления синтеза реактивов, перечень которых представлен в таблице 1. Химические реактивы обладали высокой чистотой не менее 98 % (ч.д.а.)

Таблица 1

Реактивы
Углеродные нанотрубки
Царская вода $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$
Сульфат железа (II) 7-водный $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Раствор гексахлороплатината (IV) водорода $\text{H}_2\text{PtCl}_6$
Гидроксид натрия $\text{NaOH}$
Гидразин гидрат $\text{N}_2\text{H}_4$

### Ход синтеза:

Навеску углеродных нанотрубок [15] помещаем в пробирку – эппендорф и приливали 2 мл воды. Пробирку плотно упаковывали и помещали в ультразвуковую ванну на 15 минут. Производили добавление раствора царской водки, после чего наблюдали изменение цвета и выделение пузырьков газа. Продолжали обработку ультразвуком. После чего отмываем очищенные углеродные нанотрубки на воронке Бюхнера.

Промытые углеродные нанотрубки помещали в пробирку, добавляли навеску кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и раствор гексахлороплатината (IV) водорода  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ . Для тщательного перемешивания пробирку с реакционной средой вновь помещаем в ультразвук.

Переходим к процессу восстановления, для чего в реакционную среду одновременно добавляли навеску щелочи и гидразингидрата. За прекращением синтеза наблюдали по изменению цвета и прекращению выделения пузырьков газа.

Полученный образец промывали на воронке Бюхнера и сушили в вакуумном шкафу в инертной атмосфере.

Хранение наночастиц осуществляли в стеклянных бюксах с притертой крышкой и направляли на комплекс физико-химических исследований.

Синтез осуществлялся на установке, схема которой представлена на рисунке 1:

Исследование полученных нанокомпозитов

Для характеристики полученных образцов применен комплекс физико-химических методов исследования:

- рентгенофазовый анализ (РФА) – определение элементного, химического и фазового составов продуктов, конкретизация границ на диаграммах фазовых состояний;



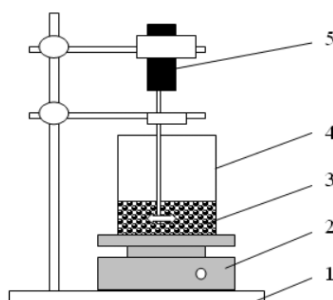


Рисунок 1. Схема установки: 1 – штатив, 2 – нагревательный элемент, 3 – реакционная среда, 4 – сосуд, 5 – механическая мешалка

- малоугловое рентгеновское рассеяние (МУР) и просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – характеристики частиц по форме и размеру, морфология структур;
- дериватомасс-спектрометрия (ДМС) – анализ химического состава поверхности частиц, а также изучение процессов, стимулируемых температурой [17, 18].

Чтобы проверить состояние образующихся наночастиц, провели синтезы по их получению вне углеродных матриц (рисунок 2). Анализируя рентенофазовый спектр оказалось, что все рефлексы принадлежат металлической платине, но смещены в большие углы, что свидетельствует о включении железа в состав платины. В образцах с содержанием железа менее 54 моль % наблюдается выпадение отдельной железосодержащей фазы в области  $53\ 2\theta^\circ$ . Образец состава, приближенного к эквиаtomному, практически монофазный. К тому же на диаграмме отсутствуют оксидно-гидроксидные фазы, таким образом, получаемые порошки отнесем к рентгенографически чистым [18,19].

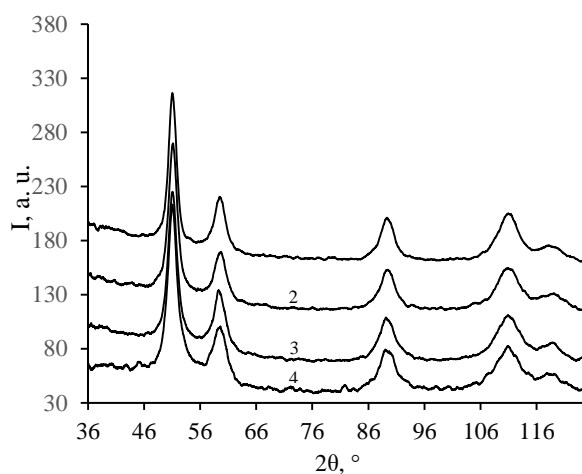


Рисунок 2. РФА образцов FePt (1 – 13%, 2 – 22%, 3 – 28%, 4 – 54% Fe)

Для определения формы и размеров частиц провели исследование образцов методом ПЭМ (рисунок 3).

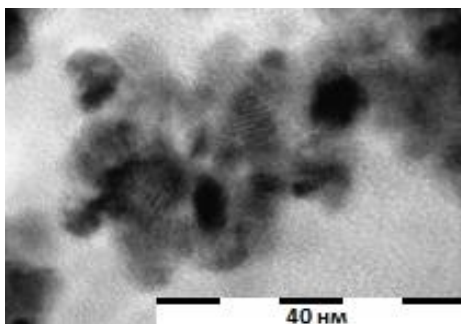


Рисунок 3. ПЭМ изображение наночастиц состава Fe50Pt50

В основном форма частиц шестиугольная, размеры частиц от 3 до 14 нм, межрядовое расстояние оценено при помощи программы «ImageJ» соответствует размеру  $2,50 \pm 0,02 \text{ \AA}$ .

Для сопоставления результатов, полученных методом ПЭМ проведено исследование наночастиц методом МУР (рисунок 4), которое показало, что размер мельчайшей фракции составляет 2-6 нм, встречаются частицы размером около 10 нм и агломераты размером от 15 до 35 нм.

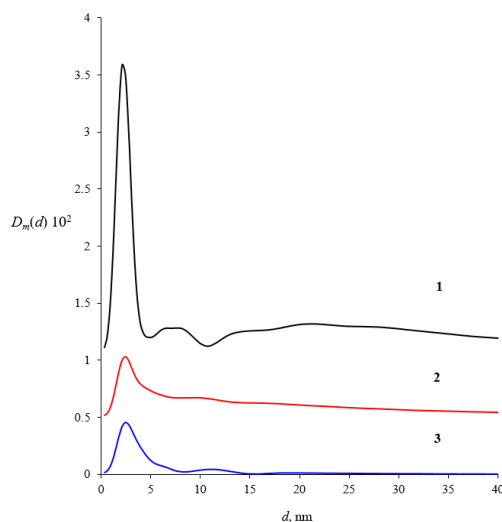


Рисунок 4. Экспериментальный спектр малоуглового рентгеновского рассеяния образцами Fe-Pt (1 – 13%, 2 – 22%, 3 – 28% Fe). Массовые функции распределения неоднородностей по размерам в наноразмерной области

Для рассмотрения чистоты поверхности полученных образцов, а также для выяснения характера термостимулируемых процессов, был использован метод термогравиметрии с одновременным определением улетучивающихся газов (масс-приставка). Дериватограмма и масс-спектры представлены на рисунке 5.

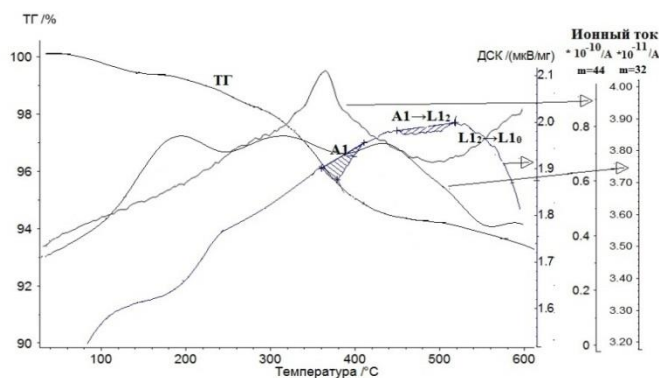


Рисунок 5. Кривые ТГ, ДСК и изменения содержания  $O_2$  и  $CO_2$  по данным МСА при нагревании образца Fe50Pt50

При прогреве образцов протекает ряд последовательных процессов:

- десорбция газов при температуре 70-120 °С. Улетучивается адсорбированный кислород, углекислый газ и вода;
- в диапазоне температур 200-400 °С наблюдается термораспад при поверхностных карбонатах и гидрокарбонатах.

В целом поверхность образцов достаточно чистая, но образцы пористы и в ходе термического анализа улетучивается значительное количество адсорбированных газов, что показывает потеря массы до 6 %. При этом на адсорбированный кислород приходится до 4 % потери массы (рисунок 5).

### Система УНТ Fe50/Pt50

Выбрав наиболее оптимальную систему, содержащую 50 к 50 моль % железа к платине, как монофазную и рентгенографически чистую, перейдем к экспериментам по получению композитов на основе углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами биметалла. В ходе работы были проведены эксперименты с целью оптимизации условий получения, а именно: предварительная промывка трубок царской водкой, а также без таковой, с применением поверхностно-активных веществ для улучшения смачиваемости УНТ (рисунок 6). По данным ПЭМ и РФА видно, что получены углеродные трубки с поверхностными частицами биметаллов (по уширению рефлексов на РФА-спектре размеры частиц биметалла превышают размеры каналов в углеродных трубках). Частицы не отмываются с поверхности, не разбиваются ультразвуком, тем самым получены устойчивые структуры с возможными каталитическими и адсорбционными свойствами. На рисунке 7 представлен результат эксперимента с углеродными трубками с большим диаметров каналов (от 5 до 10 нм). Частиц на поверхности трубок не видно, при этом наблюдаем частицы в каналах. Подобные структуры интересны для применения их в качестве магнитопроводов. Исследования в выбранном направлении будут продолжены.

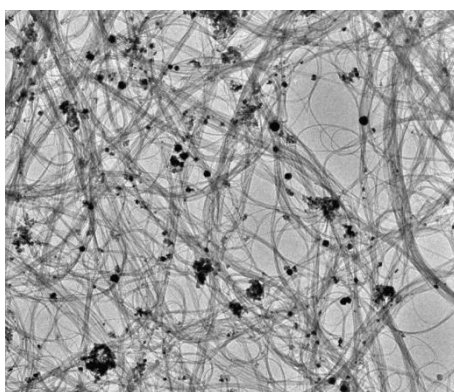


Рисунок 6. Микрофотография системы УНТ Fe50/Pt50 методом ПЭМ

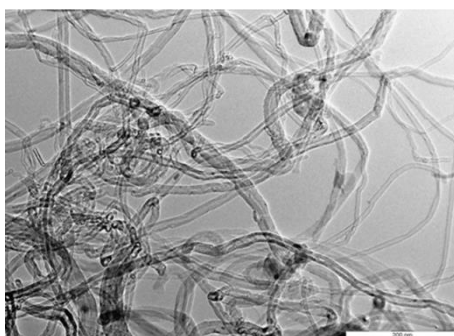


Рисунок 7. Микрофотография системы УНТ Fe50/Pt50 методом ПЭМ

### Основные результаты

В работел разработан и осуществлен на практике пошаговый синтез наполненных наночастицами Fe-Pt углеродных нанотрубок, путем восстановления нужных нам металлов из водных растворов их солей гидразин гидратом в щелочной среде. Данные нанокompозиты были получены во всем диапазоне составов Fe-Pt.

Наноструктуры были рассмотрены совокупностью физико-химических методов исследования. Кратко приведены результаты:

- ПЭМ – форма частиц шестиугольная, размеры частиц от 3 до 14 нм, межрядовое расстояние  $2,50 \pm 0,02 \text{ \AA}$ . В образцах УНТ Fe50/Pt50 биметаллы расположены как внутри каналов УНТ, так и снаружи;
- РФА – все рефлексы на рентгенофазовом спектре принадлежат металлической платине, но смещены в большие углы (включение железа в состав платины). В образцах с содержанием железа менее 54 моль. % наблюдается выпадение отдельной железосодержащей фазы в области  $53 2\theta^\circ$ . Полученные порошки рентгенографически чистые;

- МУР – размер мельчайшей фракции от 2 до 6 нм, встречаются частицы размером около 10 нм и агломераты размером от 15 до 35 нм;
- ДМС – поверхность образцов достаточно чистая, но образцы пористы и в ходе термического анализа улетучивается значительное количество адсорбированных газов.

Разработанный нами метод синтеза углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами Fe-Pt пригоден для получения рентгенографически чистых систем с сопоставимыми формо-размерными характеристиками.

### Заключение

Разработан метод синтеза углеродных нанотрубок, наполненных наночастицами Fe-Pt. Полученные композиты имеют необходимые для использования в адсорбции физико-химические характеристики. Исследованию адсорбционных характеристик полученных нанокомпозитов будут посвящены следующие работы.

*Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZSR-2020-0007 в рамках государственного задания № 075-03-2020-097/1).*

*Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н. Шандакову С.Д. за предоставление УНТ, м.н.с. Руссакову Д.М. за помощь в проведении ПЭМ измерений и м.н.с. Чирковой И.М. за помощь в проведении исследований методом КРС.*

### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Матвеева, В.Е. Анализ методов очистки воды в современных условиях/ В.Е. Матвеева, С.А. Степанова// Интерэкспо гео-сибирь. – 2022. – Т.7, – № 2. – С. 50-54.
2. Власова, А.Ю. Повышение эффективности очистки воды питьевого качества путем внедрения сорбционного метода/ А.Ю. Власова, И.Н. Шкиндерова, С.Н. Савдур // Вода: химия и экология. – 2023. – № 10. – С. 10-15.
3. Каленский, А.В. Получение магнитных углеродных материалов при разложении солей железа, нанесенных на пористую углеродную матрицу/ А.В. Каленский, А.А. Звекон, А.Н. Попова и др.// Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94. – Вып. 4. – С. 491- 495.
4. Фоменко, А.И. Адсорбция катионов железа из водных растворов минеральными сорбентами/ А.И. Фоменко // Вода: химия и экология. – 2023. – №. 10. – С. 22-28.
5. Москвичева, Е.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод с использованием смешанного реагента/ Е.В. Москвичева, И.В. Стрепетов, Э.П. Доскина, А.В. Москвичева// Монография: 2018. Волгоград. с. 110. ISBN: 978-5-9948-3007-9
6. Юдаков, А.А. Новые высокоэффективные искусственно гидрофобизированные сорбенты для очистки сточных вод от нефтепродуктов / А.А. Юдаков, Т.В. Ксеник, А.В. Перфильев // Водоочистка. – 2009. – № 5-6. – С. 64-65.
7. Звекон, А.А. Исследование сорбции ионов свинца гуминовыми кислотами/ А.А. Звекон, А.С. Зверев, О.Н. Булгакова и др.// Бутлеровские сообщения. – 2022. – Т. 72. – № 11. – С. 42-51.
8. Солодкова, А.Б. Разработка технологии изготовления и использования адсорбента на основе отработанного активного ила для очистки сточных вод / А.Б. Солодкова, Н.А. Собгайда, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №20. – С. 179-182.
9. Кошелев, А.В. Разработка технологии получения сорбентов на основе бентонитовых глин для систем очистки воды/ А.В. Кошелев, Н.В. Веденева, В.А. Заматырина и др. // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – №2. – С. 32-39.
10. Kalenskii, A. The adsorption performance of porous activated carbons prepared from iron (II) precursors precipitated on the porous carbon matrix thermolysis/ A. Kalenskii, A. Ivanov, D. Sevostyanov и др.// Magnetochemistry. – 2023. – Т. 9. – № 6. – С. 151.
11. Shandakov S.D. Effect of gaseous and condensate products of ethanol decomposition on aerosol CVD synthesis of single-walled carbon nanotubes / S.D. Shandakov, A. V. Kosobutsky, M.S. Rybakov et al. // Carbon. – 2018. – Vol. 126. – P. 522-531.



12.Пирский, Ю.К. Биметаллические палладиевые электрокатализаторы на основе углеродных нанотрубок и хлоридов Co, Ni, Fe / Ю.К. Пирский, О.С. Крупенникова // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2013. – № 2. – С. 248-255.

13.Ефимов, М.Н. Получение и структура каталитических нанокompозитных углеродных материалов, содержащих металлы платиновой группы / М.Н. Ефимов, Л.М. Земцов, Г.П. Карпачева и др. // Вестник МИТХТ. – 2008. – том 3. – № 1. – С. 66-69.

14.Пирский, Ю.К. Гибридные Pd-M (M= Ni, Co, Fe) кремнезем-углеродные электрокатализаторы восстановления кислорода / Ю.К. Пирский, В.М. Огенько, Л.Ф. Шаранда и др. // Ученые записки Таврического федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2013. – № 4. – С. 323-333.

15.Shandakov S.D. Controllable growth of single-walled carbon nanotubes by ethanol-ferrocene aerosol method / S.D. Shandakov, M.S. Rybakov, A.V. Kosobutsky и др. // Nanotechnologies in Russia. – 2012. – Vol. 7, № 7-8. – P. 370-376.

16.Вершинина, А.И. Сетчатые структуры на основе углеродных нанотрубок как материал для фильтрации / А.И. Вершинина, Н.С. Звиденцова, О.Р. Гордая, С.Д. Шандаков // Вода: химия и экология. – 2023. – № 11. – С. 56-62.

17.Shandakov, S.D. Effect of gaseous and condensate products of ethanol decomposition on aerosol CVD synthesis of single-walled carbon nanotubes / S.D. Shandakov, A.V. Kosobutsky, M.S. Rybakov и др. // Carbon. – 2018. – Vol. 126. – P. 522-531. – DOI 10.1016/j.carbon.2017.10.064.

18.Zakharov, Y.A. Influence of Ni<sub>core</sub>Au<sub>shell</sub> nanoparticles' morphology on their magnetic properties / Y.A. Zakharov, V.M. Pugachev, K.A. Korchuganova и др. // Journal of Physical Chemistry C. – 2020. – Т. 124. № 1. – P. 1008-1019. – DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b07897.

19.Pugachev V.M. Nanostructured Ni-Cd powders / V.M. Pugachev, Y.A. Zaharov, A.S. Valnyukova и др. // Russian Chemical Bulletin. – 2018. – Т. 67. № 6. – P. 1018-1025.

\*\*\*\*\*

## ADSORBENT FOR WASTEWATER TREATMENT

Korchuganova K.A., Ilyakova N.N., Galkina E.V., Kalenskii A.V.

*This work examines nanocomposites based on carbon nanotubes filled with Ft/Pt bimetal nanoparticles, which are promising for use as adsorbents. A scheme for obtaining samples is described, and a study of composites using a complex of physical and chemical methods has been carried out. Transmission electron microscopy (TEM) showed that the particle shape is hexagonal, particle sizes range from 3 to 14 nm, and row spacing is  $2.50 \pm 0.02 \text{ \AA}$ . All reflections in the X-ray phase spectrum belong to metallic platinum, but are shifted to large angles due to the inclusion of iron in the platinum composition. The size of the smallest fraction of nanoparticles falls in the range from 2 to 6 nm, the next fraction of particles is about 10 nm in size, and agglomerates with a size from 15 to 35 nm are present. At the same time, the surface of the nanocomposite is quite clean.*

**Keywords:** carbon nanotubes, adsorbent, wastewater treatment, nanocomposites, single-walled carbon nanotubes, nanoparticles, bimetallic systems.

### Сведения об авторах:

#### Корчуганова Ксения Алексеевна

К.х.н, доцент, Кафедра химии твердого тела и химического материаловедения, Институт фундаментальных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия

E-mail: [datiy-kseniya@mail.ru](mailto:datiy-kseniya@mail.ru)

SPIN-код: 9678-1668

**Ильякова Наталья Николаевна**

Ассистент, Кафедра химии твердого тела и химического материаловедения,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово

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

SPIN-код: 2270-3520

**Галкина Елена Владимировна**

Ассистент, Кафедра химии твердого тела и химического материаловедения,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово

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

SPIN-код: 9284-9785

**Каленский Александр Васильевич**

Д.ф.-м.н., профессор, Заведующий кафедрой химии твердого тела и химического  
материаловедения, Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»,  
г. Кемерово

E-mail: [kalenskyav@gmail.com](mailto:kalenskyav@gmail.com)

SPIN-код: 7705-6111

# БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

---

УДК 628.1

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ДО И ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ**

**Власова Алена Юрьевна,  
Алихаджиев Сайдмагомед Хаважиевич,  
Кузнецов Максим Геннадьевич**

*Большая часть водоподготовительных установок тепловых электрических станций в РФ организована с применением «традиционных» технологий: предварительная очистка на осветлительном оборудовании и обессоливание на ионообменных фильтрах. Но данные установки морально устарели и требуют больших эксплуатационных затрат. Внедрение модернизаций возможно только после тщательного анализа капитальных затрат. В работе проведен сравнительный анализ по технико-экономическим показателям действующей «традиционной» установки и установки блока обратного осмоса. Были получены расчеты по расходам на химические реагенты, себестоимости обессоленной воды, затраты на выработку 1 тонны обессоленной воды. На основании полученных результатов представлено заключение о экономической эффективности внедрения блока обратного осмоса.*

**Ключевые слова:** водоподготовительная установка, установка обратного осмоса, сравнительный анализ, модернизация.

Основное оборудование тепловых электрических станций обладает повышенной чувствительностью к любому виду загрязнений. Учитывая, что на станциях используются паровые турбины, то основным рабочим телом является пар, который вырабатывают в котлах из обессоленной воды. Для бесперебойной и эффективной работы оборудования к воде предъявляется ряд требований. Вода очищается различными методами, а чаще их комбинацией. На большей части станций России водоподготовка организована с применением физических и химических методов. Такая технология объединяет предварительную очистку с применением осветлительного оборудования и двухступенчатый ионный обмен. Данная комбинация обладает рядом недостатков: отсутствие автоматизации узлов установки, большой расход химических реагентов на регенерацию ионообменных смол, высокоминерализованные кислые и щелочные сточные воды, которые требуют предварительной очистки перед сбросом. Поэтому на сегодняшний день производят различные модернизации установок, которые позволяют экономить ресурсы, либо вырабатывать воду лучшего качества. Внедрение модернизации возможно только после тщательного расчета затрат на установку и срока окупаемости.

Анализ применения новых технологий в системе подготовки воды показал, что основные тенденции опираются на внедрение физических мембранных методов подготовки воды. Так, допустим на Уфимской ТЭЦ был апробирован способ внедрения обратного осмоса после процесса умягчения воды. Умягченная вода была подготовлена по следующей схеме: коагуляция в осветлителе в сочетании с известкованием и магниезиальным обескремниванием – фильтрование воды на механическом фильтре – двухступенчатое Na- катионирование. [1]

Кардинальная реконструкция касается не только блока обессоливания, но и предварительной очистки. На Невинномысской ГРЭС внедрена модернизация в блок предварительной очистки согласно технологии: контактная коагуляция (с осветлением на механических фильтрах) – ультрафильтрация – установка обратного осмоса.

Модернизация Сакмарской ТЭЦ заключалась в организации малосточного процесса подготовки воды. Данная цель достигалась за счет установки промежуточной емкости –

отстойника-усреднителя, который выполнял роль сепаратора, жидкая часть стоков отправлялась на очистку и заново вводилась в цикл станции, а твердые часть отправлялась нашламоотвал. Для организации процесса очистки стоков использовали следующую технологическую схему: механические дисковые фильтры – установка удаления железа – установка осветления (коагуляция и блок ультрафильтрации) – установка обратного осмоса. Данная модернизация позволит повысить экологическую безопасность станции и высвободить площади после устаревших блоков ионного обмена [2]

В литературе предлагается достаточное количество технических решений по перевооружению водоподготовительных установок, но любое внедрение требует существенных затрат тепловой энергии, закупка фильтрационных установок с фильтрующими материалами, а также химических реагентов для поддержания работы. [3]

Сравнительный анализ «традиционной» и модернизированной установки был произведен на основании установки водоподготовки Уфимской ТЭЦ-4. До модернизации установка подготовки включала следующие стадии обработки: очистка от взвешенных веществ в осветителе – промежуточная емкость известково-коагулированной воды – механическая фильтрация – Н и ОН фильтры первой ступени – Н и ОН фильтры второй ступени – деаэрационная установка.

Оценка эффективности установки анализировалась на протяжении пяти лет в период 2017-2022 г. За этот период было выявлено, что при одинаковой годовой выработке воды (2500 тыс. тонн) количество расходуемых реагентов увеличилось на 40%, количество регенераций увеличилось на 30%, а количество потерь воды на собственные нужды увеличилось в два раза. Такая тенденция негативно сказывается на эффективности производства. Причина таких затрат устаревшее оборудование, а значит увеличение трудозатрат по выработке воды надлежащего качества. Плохое качество воды влечет за собой быстрый износ фильтрующего оборудования, требуется больше средств на проведение ремонтных работ [4,5].

На основании тщательного анализа и заключения актов осмотра действующего оборудования было принято решение о внедрении блока обратного осмоса. Также основанием для принятия данного решения послужил анализ показателей качества воды в водоисточнике (р. Белая). Данный водоисточник относится к маловодным и наблюдаются ежегодные ухудшения качества воды в реке. [6]

Модернизация водоподготовительной установки Уфимской ТЭЦ-4 включала блок обратного осмоса, технологическая схема представлена на рисунке 1.

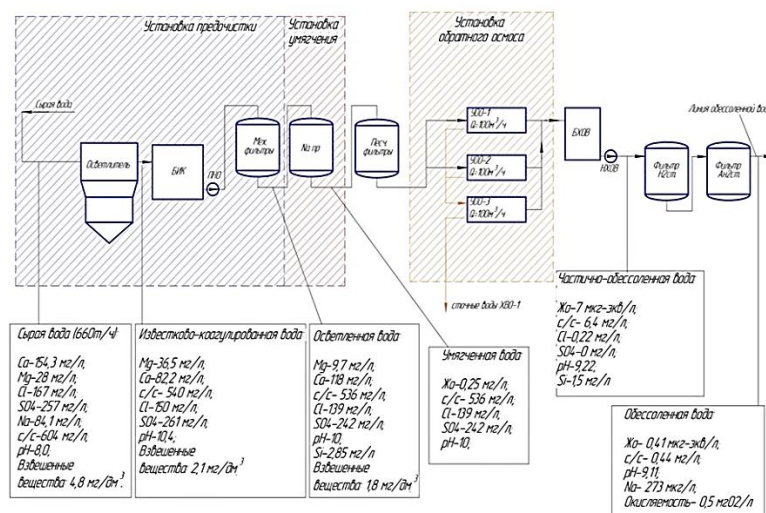


Рисунок 1. Модернизированная установка водоподготовки Уфимской ТЭЦ-4

Внедрение блока обратного осмоса вместо первой ступени Н и ОН фильтров позволит снизить эксплуатационные расходы, трудозатраты на обслуживание блоков. Использование обратного осмоса для водоподготовки объектов ТЭЦ, имеет большие перспективы как с экологической, так и с экономической точки зрения, поскольку позволяет отказаться от большого

количества дорогостоящих реагентов и одновременно избавляться от сточных вод, содержащих эти реагенты. [7-9]

Для анализа эффективности внедрения модернизации были произведены расчеты затрат как для «традиционной» (устаревшей) схеме ВПУ, так и для схемы с блоком обратного осмоса. По исходным данным были определены основные группы затрат:

- эксплуатационные затраты на предварительную очистку воды;
- затраты на Н-катионитовые фильтры I ступени;
- затраты на анионитовые фильтры I ступени;
- затраты на Na-катионитовые фильтры I ступени
- расход на химические реагенты для эксплуатации установки обратного осмоса;
- дополнительные реагенты для промывки ионообменных фильтров ВПУ.

Полученные значения представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1

**Сводная таблица сравнительных характеристик разных технологий водоподготовительной установки**

Наименование	Ед. измерения	Двухступенчатое обессоливание	Установка обратного осмоса	Разница
Годовые затраты на исходную воду	тыс.руб/год	27468,1	24872,7	2595,4
Количество извести "пушонка" 67% на обработку	т/год	635,63	575,6	60,03
Количество коагулянта на обработку 47%	т/год	184,63	167,4	17,23
Годовые затраты на реагенты для установки предочистка (осветлитель)	тыс.руб/год	17665,77	16003,6	1662,17
Увеличение затрат на транспортные расходы по вывозу шлама	тыс.руб/год	18	0	18
Затраты на досыпку ф.м	тыс.руб	140,44	134,6	5,84
Себестоимость обессоленной воды от величины эксплуатационных затрат	руб/т	74,74	52,84	21,9
Эксплуатационные затраты на выработку обессоленной воды	руб/год	142605,2	100821,91	41783,29

Для наглядной интерпретации, полученных данных, результаты были представлены в форме диаграмм. (рисунок 2-3)



*Рисунок 2. Затраты на химические реагенты для организации процесса предварительной очистки*

Как видно по диаграмме при организации процесса обратного осмоса расходы на химические реагенты снижаются примерно на 10%.

Наиболее показательной сравнительной величиной будет себестоимость тонны подготовленной воды согласно различным способам подготовки воды. По диаграмме видно, что себестоимость обессоленной воды при выработке на установке обратного осмоса составляет всего 52,84 рублей, а при организации двухступенчатого обессоливания себестоимость достигает 74,74 рублей. Получается, что с внедрением установки обратного осмоса себестоимость обессоленной воды снижается почти на 30%.

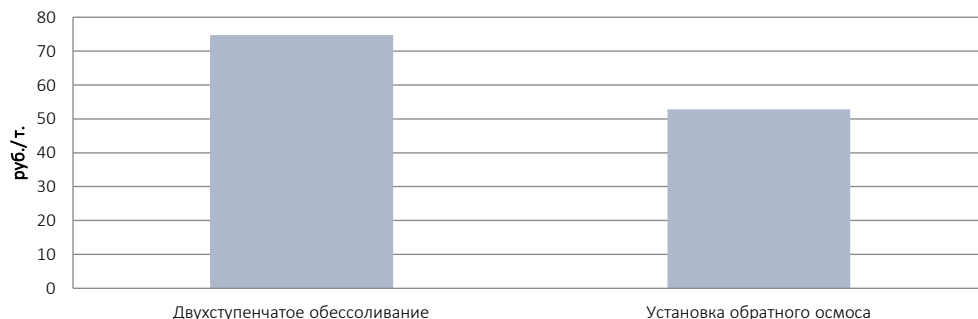


Рисунок 3. Себестоимость обессоленной воды подготовленной различными способами

На рисунке 4 представлена диаграмма зависимости для эксплуатационных затрат на выработку обессоленной воды.



Рисунок 4. Диаграмма зависимости для эксплуатационных затрат на выработку обессоленной воды

Также по расчетам получилось, что эксплуатационные затраты на выработку обессоленной воды ниже при работе установки обратного осмоса.

На основании проведенных технико-экономических расчетов эффективности использования двухступенчатого обессоливания на ионообменных фильтрах и применения установки обратного осмоса получили, что по эксплуатационным затратам и по себестоимости готовой продукции наиболее экономично использование установки обратного осмоса.

Внедрение установки обратного осмоса также позволяет снизить расходы на химические реагенты примерно на 10-20 % в зависимости от сезона. Но наиболее значимым показателем эффективности является себестоимость тонны обессоленной воды, которая при установке обратного осмоса составила 52,84 рублей.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Веселовская Е.В., Шишло А.Г. Опыт применения перспективных технологий водоподготовки на отечественных тепловых электростанциях/ Известия ВУЗов Северо-Кавказский регион. 2016. №2. С. 62-66.

2. Левин Е.В., Сагитов Р.Ф., Баширов В.Д., Шабанова С.В., Василевская С.П., Волошин Е.В. Оптимальные пути модернизации существующих систем очистки сточных вод Сакмарской ТЭЦ / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №6. С. 220-222.
3. Бушуев Е.Н., Ларин А.Б., Еремина Н.А., Логинова А.Ю. Проблемы модернизации систем водоподготовки российских ТЭЦ / Энергосбережение и водоподготовка, 2021. №4. С. 4-9.
4. ТЗ на выполнение работ по модернизации обессоливающей установки путем внедрения обратного осмоса в схему химводоочистки в химическом цехе Уфимской ТЭЦ-4 филиала ООО «БГК».
5. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, , 2003, 310 с.
6. Асфандиярова Л. Р., Асфандияров Р. Н., Рашидова А. Р., Юнусова Г. В. Анализ сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ в р. Белая / Башкирский химический журнал. 2013. Том 20. № 4. С. 126-131.
7. Ларин Б.М., Коротков А.Н., Опарин М.Ю. и др. Освоение новых технологий обработки воды на ТЭЦ // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем (ЭНЕРГО-2010): тр. всерос. науч.-практ. конф. – Москва, 1-3 июня Т. 1. Секц. 1-4. – М.: МЭИ(ТУ), 2010. С. 274-276.
8. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Применение мембранных технологий в очистке воды / Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11. № 3-2. С.76-79.
9. Овсеенко Г.А., Кашаев Р.С., Козелков О.В., Каляшина А.В. Моделирование цифрового фильтра для систем измерения концентраций веществ / Научно-технический Вестник Поволжья. 2023. №4. С.30-33.

\*\*\*\*\*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WATER TREATMENT INSTALLATION OF THERMAL POWER PLANT BEFORE AND AFTER MODERNIZATION

Vlasova A.Yu., Alikhadzhiev S.Kh., Kuznetsov M.G.

*Most of the water treatment plants of thermal power plants in the Russian Federation are organized using "traditional" technologies: preliminary purification using clarification equipment and desalting using ion exchange filters. But these installations are obsolete and require high operating costs. The introduction of modernization is possible only after a thorough analysis of capital costs. The work carried out a comparative analysis of the technical and economic indicators of the existing "traditional" installation and the installation of a reverse osmosis unit. Calculations were obtained for the costs of chemical reagents, the cost of demineralized water, and the cost of producing 1 ton of demineralized water. Based on the results obtained, a conclusion is presented on the economic efficiency of implementing a reverse osmosis unit.*

**Keywords:** water treatment plant, reverse osmosis plant, comparative analysis, modernization

### Сведения об авторах:

**Власова Алена Юрьевна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомные и тепловые электрические станции»,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

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

**Алихаджиев Сайлмагомед Хаважиевич**

Кандидат физико-математических наук, доцент,

ФГБОУ ВО "Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова"



**Кузнецов Максим Геннадьевич**

Кандидат технических наук,

доцент кафедры "Оборудования пищевых производств",

ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет;

доцент кафедры "Цифровых технологий и прикладной информатики",

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

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

---

## ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

---

Зубрилов Сергей Павлович,  
Растрюгин Николай Васильевич

*Показана опасность традиционных химических технологий обеззараживания воды. Приведены основные недостатки дезинфекции воды под действием ультрафиолетового облучения. Обоснована перспективность применения плазменных технологий. Дана краткая характеристика физико-химических преобразований в воде под воздействием плазмы, по аналогии с другими физическими воздействиями, сопровождающимися кавитацией. Представлен обзор наиболее интересных, по мнению авторов, технических решений в области плазменной обработки воды. Подчеркнута необходимость исследований последствий воздействия на воду высоких энергий.*

**Ключевые слова:** плазма, вода, кавитация, обеззараживание воды.

---

Традиционные технологии обеззараживания воды, применяемые в процессах водоподготовки и очистки сточных вод, на сегодняшний день уже представляют реальную опасность. Во-первых, это связано с наличием в воде ксенобиотиков, по которым современные технологии очистки оказались малоэффективными. Так, при обработке воды, содержащей сложные органические соединения, методами хлорирования и озонирования значительно увеличивается вероятность образования высокотоксичных диоксинов и их производных. Во-вторых, установлено, что в результате мутационных процессов за последние 20 лет значительно возросла устойчивость патогенной микрофлоры к действию традиционных окислителей (в первую очередь, к хлору) [20]. Следовательно, для обеспечения требуемой степени обеззараживания необходимо увеличивать рабочую дозу названных реагентов, а это еще увеличивает вероятность образования тех же диоксинов.

Эти обстоятельства обусловили высокий интерес к безреагентным технологиям обеззараживания воды. Их перспективность была доказана еще в 1970-е годы, в частности, кавитационных технологий, как комплекса различных воздействий, широкий спектр которых придает им универсальный характер, что в свою очередь обуславливает их экономическую эффективность (на пример, интегральный параметр затрат составляет для кавитации 162, ультрафиолета – 261, хлорирования – 482, озонирования – 1600) [9, 19]. Также разработка безреагентных методов обезвреживания воды соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечню критических технологий Российской Федерации [18].

Внедрение в практику обеззараживания воды под действием ультрафиолетового облучения стало настоящим прорывом в водоснабжении и водоотведении. Накопленный на сегодняшний день отечественный и зарубежный опыт позволил выявить существенные недостатки названной технологии обеззараживания. В качестве первого недостатка следует указать отсутствие пролонгирующего действия, что требует, по-прежнему, использования хлорирования на станциях подготовки питьевой воды с целью предотвращения вторичного ее заражения в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. Вторым недостатком является необходимость постоянного повышения дозы облучения, вызванная повышением устойчивости патогенной микрофлоры к воздействию ультрафиолета в результате мутационных процессов, что ставит под сомнение экономическую целесообразность рассматриваемых технологий обеззараживания воды. [9].

Возможной альтернативой, как традиционным технологиям, так и ультрафиолетовому облучению, может послужить плазменная обработка воды. Существенный вклад в разработку этих технологий внесли Fridman A., Laroussi M., Юткин Л.А., Суворов И.Ф., Пискарев И.М., Яворовский Н.А., Корнев Я.И., Коликов В.А., Крымский В.В., Stoffels E., Kelly-Wintenberg K., Rajasekaran P., Gupta S. B., Sato M., Юдин А.С., Лапшакова К.А., Никифоров А. Ю., Максимов А. И., Stará Z., Křtma F. и другие, опубликовавшие большое количество работ, в том числе, посвященных обеззараживанию воды барьерным, тлеющим, коронным, искровым, дуговым и другими электрическими разрядами и их разновидностями [10].

Как правило, под плазмой понимают частично ионизированный газ, состоящий из атомов, ионов и электронов при температуре порядка  $10^4$  °К. В наших работах, обобщенных в [8, 9], достаточно много уделено внимания плазмохимии кавитационной обработки воды. В кавитационном пузырьке вещество представляет собой низкотемпературную нейтральную парогазовую плазму. Теоретические расчеты показывают, что на стадии сжатия температура внутри кавитационного пузырька может достигать 4000-5000 °С, что вполне подтверждается косвенными экспериментальными данными (данные о прямых измерениях в настоящее время отсутствуют)[2].

В общем случае принято различать равновесную, неравновесную стационарную и неравновесную нестационарную низкотемпературную плазму. При этом наибольшее распространение имеет полностью или частично неравновесная низкотемпературная плазма. Эта плазма отличается прозрачностью по отношению к ее собственному излучению в большей части спектра, в результате чего это излучение свободно покидает область плазмы. Степень неравновесности такой плазмы возрастает при увеличении разницы скоростей прямых и обратных процессов. В то же время, неравновесная низкотемпературная плазма обладает стабильностью, обусловленной ее способностью сохранять свои параметры в течение более длительного времени, чем время релаксации. Не смотря на сильные различия в характеристиках электроразрядной плазмы, определяемые способом ее генерации, при воздействии на воду и водные системы вызывает эффект развитой кавитации [10].

Последние экспериментальные исследования, основанные на современных методиках, позволяющих осуществлять съемку «плазменного сгустка» у поверхности раздела «газ – жидкость» и пробоя объемной жидкости [6, 10, 11, 12, 15, 17, 21], подтвердили данные теоретических расчетов о сверхвысоких температурах в полостях разрыва объемной жидкости, измеряемых в тысячах градусах по шкале Кельвина. По мнению многих ученых, например [10, 17, 21], они возникают при сжатии (расширении) пузырьков.

В большинстве случаев бактерицидное действие объясняется прямым воздействием на микроорганизмы высоких температур в кавитационной области и действием ударных волн, возникающих в результате импульсов давления, распространяющихся в окружающей жидкости при пульсации кавитационных пузырьков. Но, по нашему мнению, также большое значение имеют свободные радикалы и сильные окислители, образующиеся в результате химических реакций, протекающих в воде под действием кавитации. Количественная оценка таких химических преобразований были выполнены в наших ранних работах, и обобщены в [9]. Так как особенность плазменной обработки воды заключается в возникновении эффекта кавитации в результате электрического пробоя объемной жидкости, учитывая результаты многочисленных исследований поведения одиночной кавитационной полости (пузырька), показывающие, что независимо от природы ее возникновения, поведение такой полости носит аналогичный характер, то при плазменной обработке будут протекать аналогичные химические процессы. Это подтверждается в ряде современных работ, посвященных плазменной обработке воды [10, 21]. Таким образом, можно говорить о достаточно сложном физико-химическом механизме обеззараживания воды под воздействием плазмы.

В настоящее время большое число работ посвящено техническим решениям в области плазменной обработки воды. Так на пример, в работе [14] предложена технология плазмохимической обработки водных растворов с использованием электрического разряда, основанная на совместном действии природных окислителей (озона, атомарного кислорода, радикалов  $\text{OH}^-$  и других активных частиц) и УФ-излучения, генерируемых в дисперсном водном потоке, которая по мнению авторов, повышает эффективность очистки воды по сравнению с

распространенными технологиями и уменьшает энергозатраты. В [6] дается описание опытного образца установки на базе импульсного электрического разряда, предполагающей генерирование в протоке воды неравновесного импульсного рассеянного разряда и рециркуляционной напорной аэрации, предназначенной для дезинфекции непрерывного потока воды в зоне плазменного разряда, а также очистки воды от тяжелых металлов, радионуклидов, солей жесткости и т.д. При этом подчеркивается, что использование плазменного процесса при атмосферном давлении обеспечивает его совместимость с окружающей средой при относительно невысоких эксплуатационных расходах. Приводятся некоторые экспериментальные данные по изменению состава сточных вод в результате их плазменного электролиза [11] и по обработке воды в пленочном слое лавиностримерными разрядами [12].

Предложен реактор проточного типа, внутри которого расположен плазматрон, генерирующий плазменную струю, выполняющую обеззараживание воды, протекающей через внутреннюю полость реактора [15]. Из сопла плазматрона в воду истекает струя плазмы со скоростью 300...1500 м/с, имеющая температуру 7-30 тыс.°С. Она является мощным источником ультрафиолетового излучения бактерицидного спектра, а на ее периферии присутствуют ионы кислорода  $O^+$  и  $O^{++}$ , атомарный кислород  $O$  и молекулы озона  $O_3$  (что соответствует рекомбинациям приведенным в [7, 9]). Также при воздействии плазмы продуцируется широкий спектр вторичных активных частиц [7, 9], часть которых обладает малыми константами скорости реакций, что является причиной сохранения водой повышенной химической активности в течение достаточно длительного времени.

Объемно-диффузионный разряд в пористом электролите, образованном пузырьковой средой [4, 5], в связи с тем, что разряд проходит по границе раздела «вода-воздух», эффективен для глубокой очистки биологически и химически сильно загрязненных вод, даже при наличии высокостойких микроорганизмов и химических реагентов, при минимальных энергетических затратах. При этом для электропитания установок используется стандартное промышленное напряжение 220, 380 или 660 В [4, 5].

Из зарубежных разработок интерес представляет плазменный генератор для очистки воды, который создает напряжение для ионизации газа при атмосферном давлении и вызывает каскадную реакцию, обеспечивающую более высокое качество очистки воды [1, 16]. При этом импульсы настолько короткие, что не меняет температуру обрабатываемой воды. В отличие от распространенных в США плазменных очистителей воды, выделяющих озон [1, 16], предлагаемое устройство основано на производстве гидроксильных радикалов, что позволяет обойти такие трудности, как высокое потребление энергии и чрезмерный нагрев.

Несмотря на то, что в процессе плазменной обработки (как и любой другой, порождающей кавитацию) протекает сложный комплекс химических превращений, упомянутых выше, вряд ли это может обеспечить пролонгированной действие достаточной продолжительности. Для решения этой задачи предложена технология диафрагменного электрического разряда [10, 13], получившая реальное практическое внедрение [13]. В соответствии с данной технологией пролонгирующий эффект обеспечивается за счет насыщения воды ионами меди, поступающих с медных электродов при плазменной обработке воды в реакторе с горизонтальным ее протоком относительно диафрагменной мембраны с серебряными и медными электродами, что обеспечивает, по мнению авторов, более высокую эффективность, низкую энергоемкость и улучшает эксплуатационные характеристики предлагаемой технологии обеззараживания.

Медь, как пролонгирующий агент, безусловно, предпочтительнее хлора по своим последствиям. Она является эссенциальным, т.е. крайне необходимыми для процессов жизнедеятельности человека веществом, в том числе для функционирования иммунной системы человека (входит в состав многих ферментов, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях), образования сигнальных молекул нервной системы и гемоглобина [3]. Но нельзя забывать, что это тяжелый металл и его избыток представляет не меньшую опасность, чем недостаток. В связи с этим, технология диафрагменного электрического разряда представляется достаточно перспективной для использования в регионах с явным дефицитом меди (например, Санкт-Петербург и Ленинградская область), но вряд ли она может применяться в регионах с избытком этого металла (на пример, Южный Урал).

По своей сути плазменные технологии обработки воды следует отнести к деструктивным методам, основанным на сложном комплексе физико-химических процессов, проявляющихся под действием закачанной в электрический разряд и обуславливающих изменения в структуре и составе как содержащихся в воде примесей различной природы, так и самой воды. При этом воздействие оказывается на весь объем обрабатываемой жидкости, чем объясняется более высокий по сравнению с другими методами бактерицидный эффект [4, 5].

Подводя итог представленному обзору, можно говорить о перспективности плазменных технологий обеззараживания воды, но их область применения, в виду высокой энергоёмкости (порядка 2 кВт·ч/м<sup>3</sup> [17]), на сегодняшний день ограничивается станциями обработки воды малой и средней производительности. В связи с этим, требуются существенные изменения в конструкции предлагаемых аппаратов пригодных для промышленного освоения, в первую очередь, с целью снижения их энергозатрат.

Кроме того, нерешенным остается вопрос о последствиях воздействий на воду высоких энергий, в том числе, плазменной. В результате облучения воды этими энергиями изменяются ее структура и основные свойства, увеличивается число свободных радикалов, накапливаются продукты неполного распада органических соединений (как исходно содержащихся в воде, так и образовавшихся при гибели микроорганизмов (бактерий, вирусов, микроводорослей и т.д.), кроме того, возможны мутации представителей микрофлоры и микрофауны и другие эффекты. Влияние таких последствий высокоэнергетической обработки воды и водных систем на здоровье человека и других биологических вида (в первую очередь, гидробионтов) на сегодняшний день не изучено [9].

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Abdul-Majeed W. S. Development of wastewater treatment system based on cascade dielectric barrier discharge plasma atomizers / W.S. Abdul-Majeed, E. Karunakaran, C.A. Biggs, W.B. Zimmerman // *Journal of Environmental Science and Health, Part A.* – 2015. – Vol. 50(12). – Pp. 1249-1258. DOI: 10.1080/10934529.2015.1055150
2. Flannigan D.J. Inertially confined plasma in an imploding bubble / D.J. Flannigan, K.S. Suslick // *Nat. Phys.* – 2010. – Vol. 6. – Pp. 598-601.
3. Баренбойм Г.М. Загрязнение природных вод лекарствами / Г.М. Баренбойм, М.А. Чиганова. – М.: Наука, 2015. – 285 с.
4. Быков А.А. Исследование газожидкостных течений и характеристик электрического разряда в процессах очистки промышленных и бытовых сточных вод: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы / А.А. Быков. – М.: ГОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2011. – 25 с.
5. Великородный В.Ю. Плазменные технологии очистки сточных вод / В. Ю. Великородный, М. Д. Беркова, В. П. Воротилин, В. Г. Гришин, О. В. Крыченко, В. В. Попов, О. Я. Полотнюк, Е. Н. Рычагов А. А. Быков, Ю. В. Добринец, Б. Н. Толкунов // *Прикладная физика.* – 2008. – № 6. – С. 108-118
6. Забулонов Ю. Плазмохимическая очистка воды / Ю. Забулонов, С. Петров // *Водоочистка.* – 2019. – № 9. – С. 67-75
7. Зубрилов С.П. Исследование структуры воды и её стабилизация кислородом / С.П. Зубрилов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.* – 2018. – Т. 10. – № 6. – С.1234-1243
8. Зубрилов С.П. Кавитация: эрозия, управление. Монография. / С.П. Зубрилов, Н.В. Растрыгин. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова., 2020. – 120 с
9. Зубрилов С.П. Микрозагрязнители в питьевой воде городов. Безреагентная очистка воды: монография / С.П. Зубрилов. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2018. – 168 с.
10. Какауров С.В. применение импульсного источника питания для обеззараживания воды диафрагменным электрическим разрядом: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 05.14.12 – Техника высоких напряжений /

С.В. Какаулов. – Чита, Томск: ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» – 2016. – 110 с.

11. Кравченко А.В. Применение низкотемпературного плазменного электролиза для очистки сточных вод. / А.В. Кравченко, В.С. Кублановский // Электронная обработка материалов. – 2003. – №3. – С.70-75

12. Кухно А.В. Очистка воды от органических загрязнений лавиностремительными разрядами / А.В. Кухно, Л.М. Макальский, О.Г. Цеханович // Самарский научный вестник. – 2017. – Т. 6. – № 1. – С. 46-51

13. Лапшакова К.А. Обеззараживание бытовых сточных вод малых населенных пунктов диафрагменным электрическим разрядом: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 05.23.04 – Водоснабжение, канализация строительные системы охраны водных ресурсов / К.А. Лапшакова. – Иркутск: ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет». – 2009. – 19 с.

14. Одарюк В.А. Плазмохимические технологии очистки промышленных сточных вод, газовых выбросов, переработки нефти, твердых бытовых отходов (ТБО) и промышленных отходов / В.А. Одарюк, С.Я. Тронин // Технологии гражданской безопасности. – 2014. – Т. 11. – № 3 (41). – С. 46-51

15. Пат. 180015U1 Российская Федерация, МПК C02F 1/46 Устройство для плазменной обработки воды и водных растворов / С.В. Алексеев, Д.В. Ребенок; заяв. и патентообл. Алексеев С.В. – 2017110324; заявл. 29.03.2017; опубл. 30.05.2018, Бюл. № 15. – 9 с.

16. Рутберг А.Ф. Исследование и создание установок по переработке токсичных веществ и смешанных отходов с использованием свободно горящих сильноточных дуг и плазмотронов переменного тока: Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки / А.Ф. Рутберг. – СПб.: Институт электрофизики и электроэнергетики РАН. – 2008. – 122 с.

17. Сергеева О.В. Теоретические основы процесса плазмохимической обработки водных растворов играющих роль жидкого катода / О. В. Сергеева, А.А. Пивоваров // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) | NAUKI INŻYNIERYJNE I TECHNICZNE. – 2016. – № 8. – С. 121-126

18. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 899 Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514> (дата обращения: 15.11.2023)

19. Шиян Л. Н. Химия воды и водоподготовка: учеб. пособие / Л. Н. Шиян. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 107 с.

20. Якубова И.Ш. Гигиеническая оценка обеспечения населения Санкт-Петербурга безопасной, безвредной и физиологически полноценной питьевой водой / И.Ш. Якубова // Гигиена и санитария. – 2015. – № 94(4). – С. 21-25

21. Якушин Р.В. Интенсификация окислительно-восстановительных процессов в водных растворах с использованием метода электроразрядной плазмы: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 20.00.04 – Физическая химия / Р.В. Якушин. – Москва: ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева – 2015. – 163 с.

## PLASMA TECHNOLOGIES FOR WATER DISINFECTION

Zubrilov S.P., Rastrygin N.V.

*The danger of traditional chemical technologies of water disinfection is shown. The main disadvantages of disinfection of water under the action of ultraviolet irradiation are given. The prospects of using plasma technologies are substantiated. A brief description of the physico-chemical transformations in water under the influence of plasma is given, by analogy with other physical effects accompanied by cavitation. An overview of the most interesting, according to the authors, technical*

*solutions in the field of plasma water treatment is presented. The necessity of research on the effects of high-energy effects on water is emphasized.*

**Keywords:** *plasma, water, cavitation, water disinfection*

---

**Сведения об авторах:**

**Зубрилов Сергей Павлович**

Профессор, д.т.н., профессор,  
ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала  
С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург  
E-mail: [zubrilovsergei@yandex.ru](mailto:zubrilovsergei@yandex.ru)

**Растрыгин Николай Васильевич**

Профессор, к.т.н., доцент,  
ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала  
С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург  
E-mail: [rastryginv@gumrf.ru](mailto:rastryginv@gumrf.ru)



# МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

---

УДК 543.3:004

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЕМБРАННОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТВОРОВ В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ

Зарипова Римма Солтановна,  
Магомедова Севиль Анверовна,  
Рамазанова Барият Махмудовна

*В данной статье проводится моделирование работы мембранного датчика определения химического состава растворов в переходном режиме. Исследование направлено на анализ процессов, происходящих в мембранном датчике во время измерения концентрации ионов металлов в водном растворе, что имеет важное значение для мониторинга химических реакций и процессов. Результаты моделирования представляют собой важный вклад в понимание динамики работы мембранных датчиков и могут быть применены для разработки более эффективных и точных методов определения химического состава растворов в различных условиях. В статье предложена электронная модель работы мембранного датчика в переходном режиме для обоснования адекватности быстродействующего метода определения состава раствора.*

**Ключевые слова:** моделирование, измерение концентрации, мембранные технологии, мембранный датчик, ионоселективные электроды, потенциометрический метод, электрохимия, электронная модель, переходный режим.

Потенциометрическими называют методы химического контроля, основанные на измерении значений потенциалов электродов, помещенных в анализируемую среду [1, 2]. Электродный потенциал определяется природой электрода, концентрацией и природой раствора, в который электрод опущен, характером протекающих в системе электрод – раствор химических реакций, физическими параметрами раствора. Главным компонентом всех потенциометрических датчиков являются ионоселективные мембраны [3]. Электрический потенциал на границе электрод – электролит возникает благодаря окислительно-восстановительной реакции, которую можно описать в виде:



где Ox – окислитель, а Red – восстановитель.

Перспективным направлением в создании миниатюрных датчиков определения химического состава растворов электролитов является использование полевых транзисторов, на поверхность которых наносят различного типа ионоселективные мембраны. Известно много научных работ по созданию и исследованию пленочных ионоселективных электродов с твердым контактом, без внутреннего жидкостного исполнения, которые удобны при транспортировке из-за их малого размера. В конструкции таких электродов отсутствует раствор со вспомогательным электродом. Это достигается нанесением ионоселективной мембраны на металлическую или графитовую подложку, служащую токоотводом.

Ионоселективные полевые транзисторы (ИСПТ) имеют ряд преимуществ перед традиционными ионоселективными электродами:

- миниатюрность;
- повышенную помехоустойчивость;
- быстродействие;

- возможность создания многофункциональных электродов в едином технологическом цикле на одном кристалле вместе со схемами первичной обработки сигнала [4];
- обеспечение аналитических характеристик, близких к характеристикам ионоселективных электродов;
- низкое внутреннее сопротивление;
- полностью твердотельное исполнение;
- возможность массового производства с помощью современной технологии микроэлектроники.

К тому же, в силу своих конструктивных особенностей ионоселективные полевые транзисторы в отличие от ионоселективных электродов не требуют включения мембраны в электрическую цепь, что существенно расширяет круг веществ, которые могут быть использованы в мембранах [5].

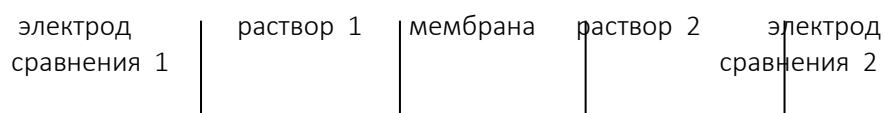
Использование стандартных ионоселективных мембран на основе поливинилхлорида в комплексе с ИСПТ и различными видами твердого контакта сталкивается с рядом трудностей: постепенное отслаивание мембраны, в результате чего появляется дрейф характеристики и сокращается время жизни сенсора [6].

В отличие от ионоселективных электродов, применяемых в потенциометрии, для ИСПТ измеряемой величиной является не напряжение, а потребляемый ток. Поскольку зависимость потребляемого тока от вольтовой разности потенциалов имеет лишь приближенно линейный вид, а эта разность потенциалов, являясь внешним потенциалом, в свою очередь зависит от свойств мембранной поверхности (например, от наличия адсорбированных поверхностно-активных веществ), для измерения активности ионов ИСПТ необходимо тщательно калибровать. Время отклика ИСПТ определяется свойствами мембраны и не зависит от природы твердофазных компонентов сенсора.

В настоящее время одной из серьезных проблем, препятствующих массовому производству ионоселективных полевых транзисторов с пластифицированными мембранами, является их недолговечность, связанная с плохой адгезией мембраны к покрытию зоны затвора (чипа). По опубликованным данным время жизни созданных устройств не превышает полутора месяцев.

Значительную часть потенциометрических сенсоров составляют мембранные датчики (ионоселективные электроды – ИСЭ). Мембранный датчик – это электрохимический датчик, позволяющий потенциометрическим методом определять активность ионов в присутствии мешающих ионов. Применение таких датчиков основывается на измерении мембранных потенциалов. Эти потенциалы определяются косвенным методом из величины ЭДС электрохимической ячейки, состоящей из ионоселективной мембраны, разделяющей растворы, в которые помещены два электрода сравнения.

В измерениях с использованием ИСЭ измеряют ЭДС следующей электрохимической ячейки [19]:



Применение мембранных датчиков в области производственного контроля позволяет автоматически непрерывно контролировать ионный состав растворов [7, 8].

В настоящее время компьютеры широко применяются в электрохимических исследованиях и признаны необходимыми во многих исследованиях такого рода. Они значительно облегчили численное решение дифференциальных уравнений, часто сопутствующих различным электрохимическим методам. Обработка экспериментальных данных с помощью компьютеров является обычной процедурой, одновременно экономящей время и увеличивающей точность [9]. При наличии входного преобразующего устройства данные могут непосредственно подаваться на компьютер в числовой форме и обрабатываться в реальном времени. Это позволяет управлять процессом с помощью компьютера с одновременной обработкой данных. Блок-схема такого устройства показана на рис. 1.

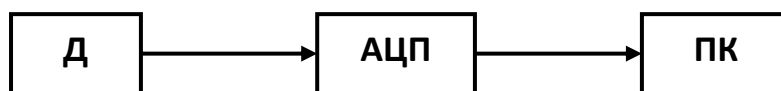


Рисунок 1. Схема контроля и обработки данных на ЭВМ для исследования электродных процессов, где Д – датчик (ИСЭ); АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПК – компьютер

Компьютер накладывает на электрохимическую ячейку желаемое возмущение, включает АЦП, накапливает выход с АЦП в памяти, анализирует накопленные данные в соответствии с предыдущими инструкциями и выдает проанализированные данные в необходимой форме. Конечные проанализированные результаты доступны обычно через 1–100 с после завершения каждого эксперимента в зависимости от сложности анализа.

Приборы-анализаторы промышленного типа в отличие от лабораторных приборов работают непрерывно, без участия оператора, нередко в менее благоприятных условиях и при предельно допустимых характеристиках анализируемых растворов. Такие операции, как установление нуля и проверка градуировки шкалы прибора, должны выполняться автоматически. Выходной сигнал анализатора должен известным образом зависеть от состава технологического раствора и быть рассчитан на подключение регистрирующего прибора, регулятора или компьютера [10].

Далее была смоделирована работа мембранного датчика в переходном режиме для определения концентрации ионов металлов в водном растворе. Электронная модель работы мембранного датчика на рисунке 2 является визуализацией быстродействующего метода и позволяет подобрать оптимальные временные границы для его применимости.

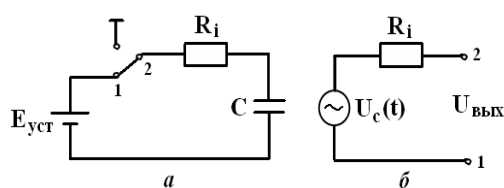


Рисунок 2. Эквивалентная схема мембранного датчика

Электронная модель работы датчика в переходном режиме базируется на эквивалентной схеме  $RC$ -цепочки следующего вида (рис. 2), в которой мембранный датчик является комбинацией конденсатора  $C$  и активного сопротивления  $R_i$ .  $U_c(t)$  – идеальный источник напряжения,  $R_i$  – выходное сопротивление датчика. 1 и 2 – клеммы датчика. Схемы  $a$  и  $b$  эквивалентны. Схема  $a$  представляет собой эквивалентную схему датчика в переходном режиме работы (при погружении мембранного датчика в исследуемый раствор ключ 12 замыкается и происходит заряд конденсатора  $C$ , а при извлечении датчика из раствора ключ размыкается и происходит разряд конденсатора  $C$ ). Схема  $b$  представляет собой эквивалентную схему датчика для анализа преобразования сигнала.

Основываясь на этих принципах, было проведено схемотехническое моделирование работы мембранного датчика в переходном режиме.

Электронная модель работы мембранного датчика в переходном режиме построена на основе блок-диаграммы, представленной на рисунке 3.

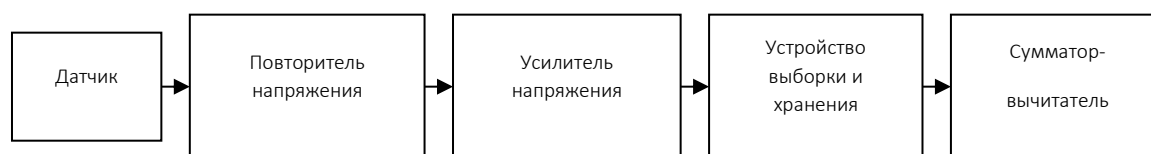


Рисунок 3. Блок-схема электронной модели работы мембранного датчика переходном режиме

Электронная модель, представленная на рисунке 4, включает в себя источник напряжения  $E$  и  $RC$ -цепочку, представляющую собой мембранный датчик. Сигнал с датчика подается на

повторитель напряжения  $OY1$ , затем – в устройство выборки и хранения  $OY2$  и  $OY3$ , где происходит отбор значений  $E(t)$  путем размыкания ключей  $K1$  и  $K2$  в момент  $t_1$ , а ключей  $K3$  и  $K4$  в момент  $t_2$ . Далее значения  $E(t_1)$  и  $E(t_2)$  подаются на повторители напряжения  $OY4$ ,  $OY5$  и сумматор-вычитатель  $OY6$ . На выходе схемы сигнал поступает на усилитель  $OY7$  и цифровой индикатор, показывающий значение ЭДС  $E_{ycm}$ . Четыре ключа, два устройства выборки и хранения, сумматор-выключатель используются для увеличения быстродействия датчика.

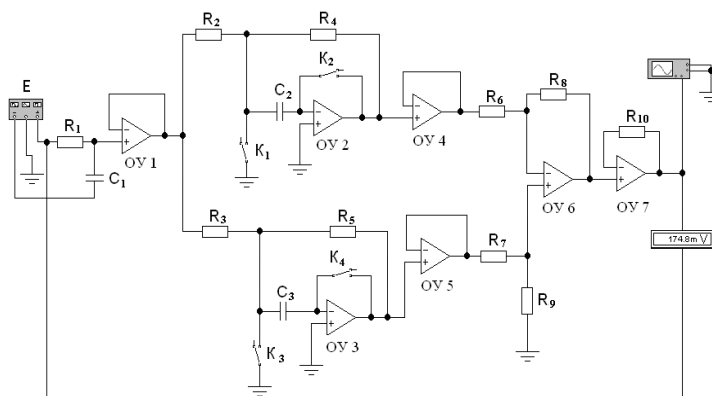


Рисунок 4. Электронная модель работы мембранного датчика в переходном режиме

На электронной модели были подобраны оптимальные временные границы применимости быстродействующего метода. Для этого определялось наиболее точное значение ЭДС  $E_{ycm}$  в зависимости от расположения засечек времени  $t_1$  и  $t_2$ . Анализ результатов даёт основание сделать вывод, что в пределах временного интервала 32 мс погрешность измерения составляет  $\sim 0,01\%$ , независимо от расположения засечек времени  $t_1$ ,  $t_2$  и величины  $\Delta t = t_1 - t_2$ , и это соответствует погрешности метода при идеальных условиях измерений. Отсюда следует, что электронная модель работы мембранного датчика в переходном режиме может использоваться для определения временных границ применимости быстродействующего метода самостоятельно.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Зарипова, Р. С. Мониторинг концентрации ионов металлов в водной среде с применением мембранных технологий / Р. С. Зарипова, А. В. Каляшина, Г. С. Степанова // Вода: химия и экология. – 2023. – № 3. – С. 31-38.
2. Власова, А. Ю. Анализ очистки воды на комбинированных водоподготовительных установках ТЭС УФ-спектрофотометрическим методом / А. Ю. Власова, О. Е. Бабилов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 82-93.
3. Гатин, Р. Р. Исследование применимости моделей различной структуры для решения обратных задач определения пороговых концентраций металлов в питьевой воде, безопасных для населения / Р. Р. Гатин, С. В. Новикова, Г. В. Моисеев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 2(54). – С. 71-81.
4. Зарипова, Р. С. Мониторинг влияния температуры водной среды на измерение ионной концентрации с применением мембранных технологий в системах теплоснабжения / Р. С. Зарипова, Е. В. Самаркина, А. Н. Петрова // Вода: химия и экология. – 2023. – № 9. – С. 15-19.
5. Овсенко, Г. А. Моделирование цифрового фильтра для систем измерения концентраций веществ / Г. А. Овсенко, Р. С. Кашаев, О. В. Козелков, А. В. Каляшина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 4. – С. 30-33.
6. Власова, А. Ю. Исследование компонентного состава сточной шламовой воды водоподготовительной установки ТЭС для повторного использования / А. Ю. Власова, Р. Р. Галлямов, А. Ю. Шарифуллина // Вода: химия и экология. – 2023. – № 8. – С. 28-32.

7. Овсеенко, Г. А. Математическое моделирование измерительной системы цифрового фильтра измерительного контура / Г. А. Овсеенко, М. М. Тюрина, А. В. Чупаев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 5. – С. 77-80.

8. Смирнов Ю.Н. О внедрении цифровых платформ в промышленных предприятиях / Ю. Н. Смирнов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы IV Национальной научно-практической конференции. Казанский государственный энергетический университет. 2019. С. 37-42.

9. Косулин, В. В. Основы информационных и измерительных технологий: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2011. – 290 с. – ISBN 978-5-89873-329-2.

10. Гизатуллин, З. М. Прогнозирование помехоустойчивости вычислительной техники на основе физического моделирования / З. М. Гизатуллин, М. Г. Нуриев. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2019. – 140 с. – ISBN 978-5-907130-55-5.

\*\*\*\*\*

## MODELLING OF MEMBRANE SENSOR OPERATION FOR DETERMINING CHEMICAL COMPOSITION OF SOLUTIONS IN TRANSIENT MODE

Zaripova R.S., Magomedova S.A., Ramazanova B.M.

*This paper simulates the operation of a membrane sensor for determining the chemical composition of solutions in transient mode. The study aims to analyse the processes occurring in the membrane sensor during the measurement of metal ion concentration in aqueous solution, which is important for monitoring chemical reactions and processes. The modelling results represent an important contribution to the understanding of membrane sensor dynamics and can be applied to develop more efficient and accurate methods for determining the chemical composition of solutions under different conditions. The paper proposes an electronic model of membrane sensor operation in transient mode to substantiate the adequacy of a fast method for determining solution composition.*

**Keywords:** modelling, concentration measurement, membrane technology, membrane sensor, ion-selective electrodes, potentiometric method, electrochemistry, electronic model, transient mode

---

### Сведения об авторах:

**Зарипова Римма Солтановна**

канд. техн. наук, доцент,

Казанский государственный энергетический университет

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

**Магомедова Севиль Анверовна**

канд. биол. наук, доцент,

Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова

**Рамазанова Барият Махмудовна**

канд. биол. наук, доцент,

Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова

УДК 547.825.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АМИДОВ И ГИДРАЗИДОВ АРОМАТИЧЕСКИХ КАРБОНОВЫХ И СУЛЬФИНОВЫХ КИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ СУЛЬФИНИЛИРОВАНИЯ

Зарипова Римма Солтановна,  
Масаева Лиза Мусаевна,  
Валеев Сергей Ильдусович

*Исследование, посвященное реакционной способности амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот в процессе сульфонилирования, направлено на раскрытие новых перспектив в области органической химии. Амиды и гидразиды, как важные компоненты органических молекул, подвергнуты внимательному анализу при использовании различных сульфенирующих агентов и условий реакции. Исследование проводится с применением современных методов аналитической химии, таких как ядерный магнитный резонанс (NMR), масс-спектрометрия и хроматография. Целью исследования является выявление особенностей реакции сульфонилирования для данных классов соединений, а также определение оптимальных условий для эффективного синтеза сульфонированных продуктов. Ожидаемые результаты представляют собой важную информацию о возможностях синтеза сульфонированных соединений на основе амидов и гидразидов.*

**Ключевые слова:** сульфонилирование, амиды, гидразиды, ароматические карбоновые кислоты, сульфоновые кислоты, электронные свойства.

Современная органическая химия стремится к постоянному расширению методологии синтеза и углублению понимания реакционной способности органических соединений. Одним из актуальных направлений в данной области является исследование сульфонилирования амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот. Эта тема представляет не только теоретический интерес, но и практическое значение в контексте современного синтеза функциональных органических соединений.

Амиды и гидразиды, содержащие разнообразные функциональные группы, играют важную роль в синтезе биологически активных соединений, лекарственных препаратов и материалов с продвинутыми свойствами. Исследование их поведения в реакции сульфонилирования представляет собой ключевой этап в раскрытии новых стратегий функционализации и создания высокоэффективных химических процессов.

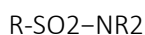
Сульфонилирование, как реакция введения сульфонильных групп в молекулу, имеет широкий спектр применений, включая синтез фармацевтических препаратов, красителей, полимеров и других важных химических продуктов. Изучение реакции сульфонилирования с амидами и гидразидами может значительно расширить арсенал доступных стратегий синтеза, повышая эффективность и селективность процессов [7, с. 90].

Итак, сульфонилирование представляет собой важное химическое преобразование, используемое в органическом синтезе для введения сульфонильных групп в молекулы органических соединений. Эта реакция открывает широкие перспективы в создании функциональных материалов и соединений с улучшенными свойствами. Сульфонильные группы (SO<sub>2</sub>R) представляют собой высокофункциональные химические мотивы, внедрение которых в органические молекулы существенно изменяет их свойства и повышает их потенциальную ценность. Эти группировки обладают уникальными электрофильными и нуклеофильными

свойствами, что делает их важными строительными блоками в органическом синтезе. Сульфонильные группы характеризуются высокой электрофильностью центрального атома серы (S), что обуславливает их способность взаимодействия с различными нуклеофильными центрами. Это взаимодействие приводит к образованию сильных связей и дает возможность широкого спектра реакций.

Сульфонильные группы могут представлять разнообразные структуры, включая сульфонамиды, сульфониимиды, сульфоксиды и сульфоны. Эти различные типы сульфонильных групп имеют уникальные химические свойства и широкий спектр приложений.

Сульфонамиды являются соединениями, в которых атом серы связан с азотистой группой через две кислородные атомы. Эти группы обладают высокой устойчивостью и находят применение в синтезе фармацевтических препаратов, катализаторов и функциональных материалов благодаря своей биологической активности и разнообразию свойств [4, с. 29].



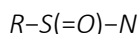
где RR представляет органический радикал, а NR<sub>2</sub>NR<sub>2</sub> – азотистую группу, такую как метиламин (CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>), этиламин (CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>) и т.д.

Пример конкретной молекулы сульфонамида может быть представлен следующей формулой:



Эта формула отражает структуру сульфонамида, где фенольное кольцо связано с сульфонильной группой через азотистую группу.

Далее, сульфониимиды, которые содержат связь между атомом серы и азотистым атомом через кислород и азот соответственно. Эти группы являются важными компонентами в синтезе сложных органических соединений, включая лекарственные препараты, антибиотики и биологически активные соединения. Химическая формула для сульфониимида представляет собой органическое соединение, включающее в себя атом серы (S), связанный с азотистой группой (N) и кислородом (O). Общая формула сульфониимида может быть представлена как R-S(=O)-N, где R обозначает остаток органического радикала. Таким образом, химическая структура сульфонамида выглядит следующим образом:



Где RR представляет собой органический радикал. Приведенная формула демонстрирует, что молекула сульфонамида включает в себя две сульфоксидные группы (=O)<sub>2</sub> и азотистую группу NH, связанные с органическим радикалом R. Эта структура придает сульфонамиду химические свойства, которые часто используются в органическом синтезе и фармацевтической промышленности.

Наконец, сульфоксиды представляют собой соединения, в которых атом серы связан с кислородом и углеродом. Они обладают свойствами, позволяющими использовать их в качестве реакционных промежуточных продуктов в органическом синтезе и фармацевтической промышленности. Эти соединения широко используются как реакционные промежуточные продукты в органическом синтезе и обладают разнообразными свойствами, что делает их ценными строительными блоками для создания новых химических соединений. Химическая формула общего сульфоксида имеет общий вид R-S(=O)-R', где R и R' представляют органические радикалы или остатки. Это представление описывает структуру сульфоксида, где атом серы (S) связан с двумя атомами кислорода (O), один из которых связан с атомом углерода или другим элементом (обычно органическим радикалом), а другой кислород связан с другим органическим радикалом или водородом [8, с. 13].

Примеры сульфоксидов включают диметилсульфоксид (DMSO) с формулой (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO и диэтилсульфоксид с формулой (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>SO.



Сульфонильные группы оказывают значительное влияние на свойства органических молекул, что находит практическое применение в синтезе фармацевтических соединений. Их интродукция в молекулы лекарств может значительно модифицировать их активность, стабильность и взаимодействие с биологическими объектами. Сульфонильные группы могут изменять электронные и стереохимические свойства органических молекул, что влияет на их взаимодействие с белками, ферментами и рецепторами в организме. Эта модуляция активности является ключевым аспектом в разработке новых лекарственных препаратов с повышенной эффективностью.

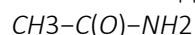
Добавление сульфонильных групп в молекулы фармацевтических соединений может также значительно улучшить их биодоступность и фармакокинетические свойства. Это особенно важно при создании лекарств, поскольку оно влияет на эффективность доставки активного вещества в организм и его общую стойкость. Изменение структуры молекул с использованием сульфонильных групп может создавать фармацевтические соединения с более точным и направленным действием, что часто является ключом к эффективному лечению заболеваний. Например, антибиотики, противовоспалительные препараты, противораковые средства и препараты для лечения сердечно-сосудистых заболеваний часто используются в медицинской практике благодаря внесению сульфонильных мотивов.

#### *Амиды и Гидразиды: Свойства и Применения*

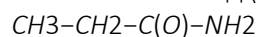
Амиды представляют собой класс органических соединений, включающих карбонильную группу, связанную с аминогруппой. Этот класс соединений широко распространен в природе, входя в состав белков, аминокислот и нуклеиновых кислот. В органическом синтезе амиды играют ключевую роль, служа строительными блоками для создания сложных молекул. Их структурная устойчивость и реакционная подвижность делают амиды важными промежуточными продуктами в синтезе фармацевтических соединений и биологически активных веществ [2, с. 48].

Амиды имеют общую структурную формулу  $R-C(O)-NR_2$ , где R представляет собой органическую группу, а  $NR_2$  – аминогруппу. Примеры химических формул амидов:

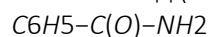
1. Метиламид (acetamide):



2. Этиловый амид (ethyl acetate):



3. Бензамид (benzamide):



Общая черта для всех этих формул – наличие карбонильной группы ( $C=O$ ), связанной с аминогруппой ( $NH_2$ ).

Гидразиды – это органические соединения, содержащие азотистые группы и являющиеся важными промежуточными продуктами в органическом синтезе. Их уникальные свойства и реакционная активность находят широкое применение в различных отраслях химии.

Свойства гидразидов:

- гидразиды могут образовывать стабильные гидразоны, что является ключевым этапом в различных органических превращениях и синтезе сложных молекул;
- азотистые группы в структуре гидразидов придают им высокую реакционную активность, делая их прекрасными источниками атомов азота для формирования новых химических связей;
- гидразиды способны образовывать азидные соединения, что расширяет их потенциал в качестве промежуточных продуктов для последующих синтезов.

*Применения гидразидов:*

1. Гидразиды играют важную роль в синтезе азинов и гидразинов, которые широко применяются в производстве красителей, пестицидов и фармацевтических веществ. Гидразины представляют собой важные промежуточные продукты в органическом синтезе и находят широкое применение в различных областях. Они служат строительными блоками для создания разнообразных соединений, таких как гидразинидины, триазины и гетероциклические соединения. Гидразиды могут быть конвертированы в азины, которые представляют собой класс соединений, содержащих азотистые атомы в кольцевой структуре. Азины находят применение в

фармацевтической и органической химии, а также используются как катализаторы в различных химических процессах.

Гидразиды являются важными источниками гидразинов, которые широко используются в производстве ракетных топлив, а также в синтезе препаратов для лечения болезней нервной системы. Гидразины также используются в качестве восстановителей в органическом синтезе, способствуя образованию аминов и других полезных соединений [6, с. 203].

Синтез азинов и гидразинов с использованием гидразидов предоставляет эффективные и экологически безопасные методы получения этих важных классов соединений. Эти продукты имеют большое значение в различных областях, включая промышленность, медицину и химическую науку.

2. Гидразиды служат эффективными реагентами для различных органических реакций, таких как гидразонообразование, азидация и восстановление функциональных групп. Гидразиды являются важными исходными соединениями для образования гидразонов. Это реакция, в результате которой образуются устойчивые азотсодержащие соединения, широко используемые в синтезе биологически активных веществ и других органических соединений. Гидразиды также используются для превращения в азиды. Азиды, в свою очередь, являются важными промежуточными соединениями в синтезе фармацевтических препаратов и других органических соединений.

Гидразиды обладают способностью восстанавливать функциональные группы в органических молекулах. Это делает их важными реагентами для модификации и преобразования молекулярной структуры.

Их реакционная активность, совместно с возможностью образования разнообразных соединений, позволяет гидразидам играть ключевую роль в современном органическом синтезе. При этом развитие новых методов синтеза гидразидов и их использование в различных химических превращениях продолжают привлекать внимание химиков и исследователей в поисках эффективных и универсальных стратегий в синтезе органических соединений.

3. Некоторые гидразиды нашли применение в медицине, в частности, в качестве противотуберкулезных средств.

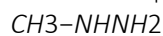
Исследования в области гидразидов продолжаются, раскрывая новые методы их синтеза и применения. В их основе лежит стремление к расширению функциональных возможностей этих соединений и разработке новых стратегий в синтезе органических соединений [9, с. 153].

Гидразиды – класс органических соединений с азотистыми группами, и их общая структура выражается формулой  $R-NHNNH_2$ , где R может представлять органическую группу. Примеры химических формул гидразидов:

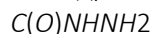
1. Гидразин (hydrazine):



2. Метилгидразин (methylhydrazine):



3. Гидразинкарбоновая кислота (hydrazinecarboxylic acid):



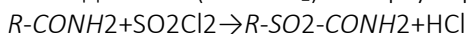
Гидразиды обладают высокой реакционной активностью, особенно по отношению к карбонильным соединениям, что делает их важными в органическом синтезе и различных химических превращениях. В реакциях с кетонами и альдегидами они могут образовывать гидразоны, предоставляя путь к различным органическим продуктам.

Реакция сульфонилирования, представляющая введение сульфонильных групп в органические соединения, является ключевым методом функционализации молекул и находит широкое применение в синтезе фармацевтических препаратов, красителей, полимеров и других важных продуктов. В случае амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот, реакция сульфонилирования обладает рядом характерных особенностей.

Реакция сульфенилирования может протекать через различные механизмы, однако общим этапом для многих сценариев является образование промежуточного комплекса сульфенилирующего агента. Ниже представлен общий механизм, демонстрирующий основные этапы реакции:

- **Шаг 1:** Формирование активного сульфенирующего агента, часто представленного  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  (хлорсульфонил хлорид).
- **Шаг 2:** Нуклеофильное атакование молекулы амид или гидразида, приводящее к образованию промежуточного комплекса.
- **Шаг 3:** Детали механизма зависят от реакции, но обычно включают образование сульфинилации (введение  $\text{SO}_2$ -группы) и регенерацию сульфенирующего агента [3, с. 119].

Примером реакции сульфинилирования может служить взаимодействие ароматического амидного соединения ( $\text{R}-\text{CONH}_2$ ) с хлорсульфонил хлоридом ( $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ), как показано в уравнении:



В этом уравнении R представляет собой ароматическую или органическую часть молекулы амидного соединения. Образовавшийся продукт,  $\text{R}-\text{SO}_2-\text{CONH}_2$ , является сульфинилированным амидом. При необходимости, реакция может происходить в присутствии катализаторов или других условий, в зависимости от конкретной методологии синтеза.

В контексте сульфинилирования амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот, эффект заместителей играет ключевую роль в определении селективности и эффективности этой реакции.

- *Электродонорные Заместители:* Наличие электрондонорных групп (например,  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{OCH}_3$ ) может активировать молекулу к атаке сульфенирующего агента. Это может повысить скорость реакции и улучшить селективность.
- *Электроакцепторные Заместители:* Обратная ситуация наблюдается при наличии электроакцепторных заместителей (например,  $-\text{NO}_2$ ,  $-\text{CF}_3$ ), что может замедлить реакцию и изменить продуктовую селективность.
- *Большие Заместители:* Большие заместители могут влиять на пространственную доступность активных центров в молекуле, что может изменять механизм реакции и выбор областей атаки.
- *Положение Заместителей:* Положение заместителей в ароматическом кольце также может оказывать существенное влияние на характер реакции.

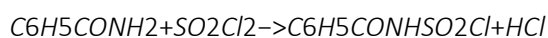
- Некоторые заместители могут стабилизировать промежуточные состояния реакции, что влияет на энергетические барьеры и, следовательно, скорость химической реакции.

Предположим, у нас есть ароматический амид с электроакцепторным заместителем (например,  $-\text{NO}_2$ ) и электродонорным заместителем (например,  $-\text{OCH}_3$ ) в различных положениях. Реакция сульфинилирования может привести к различным продуктам в зависимости от положения заместителей и их взаимодействия с сульфенирующим агентом.

Роль растворителя в химических реакциях, таких как сульфинилирование, является важным аспектом, который может существенно влиять на характер и эффективность процесса. Растворитель выполняет несколько ключевых функций, оказывая влияние на реакционные условия, скорость процесса, селективность и образование продуктов [5, с. 20].

Например, растворитель выполняет роль среды, в которой протекают основные этапы реакции сульфинилирования. Сначала он способствует диспергированию сульфенирующего агента и молекул амидов или гидразидов в химической системе. Это важно для эффективного взаимодействия реагентов и образования промежуточных комплексов.

Действуя как среда, растворитель обеспечивает молекулярную подвижность, позволяя реакционным частицам встречаться и взаимодействовать. Эта мобильность молекул в растворе содействует преодолению активационных барьеров и ускоряет ход химической реакции. Более того, растворитель может влиять на степень диссоциации реагентов и их взаимодействие с промежуточными комплексами, что в конечном итоге влияет на конечный результат сульфинилирования.

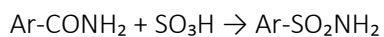


В данной реакции бензамид ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CONH}_2$ ) реагирует с хлорсульфонил хлоридом ( $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ), приводя к образованию сульфинилированного продукта  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CONHSO}_2\text{Cl}$  и образованию  $\text{HCl}$  в качестве побочного продукта. Уравнение показывает, как сульфинильная группа ( $\text{SO}_2$ ) вводится в молекулу бензамида, что является типичным результатом реакции сульфинилирования амидов.

Получается, правильный выбор растворителя важен не только для обеспечения растворимости всех компонентов, но и для создания оптимальной реакционной среды, благоприятной для эффективного протекания сульфенилирования.

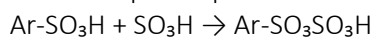
Наконец, селективность в реакции сульфенилирования амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот является ключевым параметром, определяющим образование конкретных сульфенилированных продуктов. В химических терминах, селективность может быть описана через ряд характеристик [1, с. 82].

1. Селективность в зависимости от электронных свойств:



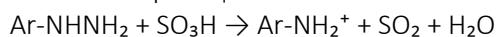
(амид) (сульфенирующий агент) (сульфенилированный продукт)

2. Влияние растворителя:



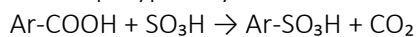
(сульфенирующий агент) (растворитель) (сульфенилированный продукт)

3. Механизм реакции:



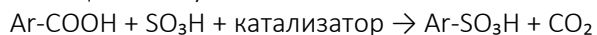
(гидразид) (сульфенирующий агент) (промежуточные стадии)

4. Температурные условия:



(карбоксильная кислота) (сульфенирующий агент) (сульфенилированный продукт)

5. Реакционные условия:



(карбоксильная кислота) (сульфенирующий агент) (сульфенилированный продукт)

Эти примеры иллюстрируют разнообразные сценарии, которые могут влиять на селективность в реакции сульфенилирования амидов и гидразидов. Определение оптимальных условий является ключевым для достижения желаемых продуктов с высокой селективностью.

**Заключение.** Исследование реакции сульфенилирования амидов и гидразидов ароматических карбоновых и сульфоновых кислот представляет собой значимый вклад в область органической химии, предоставляя понимание особенностей этого процесса и потенциал для разработки эффективных методов синтеза функциональных органических соединений.

Основные Выводы:

- реакция сульфенилирования обладает выраженной специфичностью для амидов и гидразидов, предпочитая введение сульфенильных групп в ароматическую часть молекулы, что предоставляет возможность селективного функционализирования;
- электронные свойства молекул существенно влияют на реакцию, определяя направление сульфенилирования. Электродонорные или электроакцепторные заместители на ароматическом кольце могут модулировать селективность процесса;
- растворитель и температурные условия играют важную роль в регулировании селективности. Выбор оптимальных параметров обеспечивает возможность получения конкретных сульфенилированных продуктов;
- глубокое понимание механизма реакции и воздействие реакционных условий являются ключевыми аспектами, позволяющими оптимизировать процесс сульфенилирования.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на более детальное изучение влияния конкретных структурных элементов на селективность, разработку новых сульфенилирующих агентов, а также применение реакции сульфенилирования в синтезе сложных биологически активных соединений.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гостев, Ф. Г. "Современные методы сульфенилирования амидов и гидразидов." Журнал органической химии, 2015, т. 25, № 3, с. 345-357.
2. Захаров, В. И. "Исследование реакционной способности гидразидов в условиях сульфенилирования." Химические исследования, 2017, т. 40, № 2, с. 112-125.
3. Иванов, А. П. "Синтез и свойства сульфенилированных амидов ароматических карбоновых кислот." Журнал прикладной химии, 2016, т. 15, № 4, с. 521-534.

4. Козлов, С. Н. "Эффективные сульфенирующие агенты для синтеза сульфонируемых гидразидов." Журнал органической синтеза, 2018, т. 30, № 1, с. 78-89.
5. Лебедев, Г. М. "Оптимизация условий сульфонирования ароматических амидов." Российский химический журнал, 2014, т. 22, № 5, с. 632-645.
6. Михайлов, В. В. "Сульфонирование с использованием гидразидов: механизмы и кинетика." Журнал физической химии, 2019, т. 35, № 7, с. 910-923.
7. Никитин, Д. А. "Сульфонирование амидов ароматических сульфоновых кислот: новые подходы и перспективы." Химия и технология органических соединений, 2017, т. 28, № 6, с. 789-801.
8. Орлов, Ю. В. "Исследование влияния структуры амидов на эффективность сульфонирования." Журнал химической термодинамики, 2015, т. 18, № 4, с. 432-445.
9. Петров, К. С. "Применение сульфенирующих агентов в синтезе сульфонируемых ароматических гидразидов." Журнал неорганической химии, 2018, т. 12, № 2, с. 245-257.
10. Смирнов, Е. И. "Сульфонирование ароматических амидов: новые методы и перспективы применения." Российский химический журнал, 2016, т. 24, № 3, с. 356-368.

\*\*\*\*\*

#### STUDY OF THE REACTIVITY OF AMIDES AND HYDRAZIDES OF AROMATIC CARBOXYLIC AND SULFONIC ACIDS IN THE PROCESS OF SULFONYLATION

Zaripova R.S., Masaeva L.M., Akhmarov T.-A. V.

*The study, which focuses on the reactivity of amides and hydrazides of aromatic carboxylic and sulfonic acids during sulfonylation, aims to reveal new perspectives in the field of organic chemistry. Amides and hydrazides, as important components of organic molecules, have been subjected to careful analysis using various sulfenating agents and reaction conditions. The research is carried out using modern methods of analytical chemistry, such as nuclear magnetic resonance (NMR), mass spectrometry and chromatography. The purpose of the study is to identify the characteristics of the sulfonylation reaction for these classes of compounds, as well as to determine the optimal conditions for the effective synthesis of sulfonated products. The expected results provide important information about the possibilities for the synthesis of sulfonated compounds based on amides and hydrazides.*

**Keywords:** sulfonylation, amides, hydrazides, aromatic carboxylic acids, sulfonic acids, electronic properties.

---

#### Сведения об авторах:

**Зарипова Римма Солтановна,**

Доцент, канд. техн. наук,

Казанский государственный энергетический университет

ул. Красносельская, д. 51,

г. Казань

E-mail: [mamed95region@mail.ru](mailto:mamed95region@mail.ru)

**Масаева Лиза Мусаевна**

К.б.н., доцент кафедры "Безопасность жизнедеятельности"

Грозненский государственный нефтяной технический университет

им. академика М.Д. Миллионщикова

**Валеев Сергей Ильдусович**

К.т.н., доцент,

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: [vsi73@mail.ru](mailto:vsi73@mail.ru)

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ

---

Иванов Захар Александрович,  
Федорова Владислава Игоревна,  
Лунева Татьяна Анатольевна,  
Слащинин Дмитрий Геннадьевич

*В данной статье рассмотрены методы определения таких показателей, как общая и свободная щелочность, а также методика определения химического потребления. Настоящее исследование распространяется на питьевую и природную (поверхностную и подземную) воду, в том числе воду источников питьевого водоснабжения.*

*Применяемый метод – определение свободной и общей щелочности питьевой воды, в том числе расфасованной в емкости (кроме газированной), воды источников питьевого водоснабжения, природной и сточной воды титрованием до значений pH 8,3 и 4,5, с использованием полученных значений щелочности. Методы позволяют определять молярные концентрации щелочности от 0,1 до 100 ммоль/дм<sup>3</sup>.*

*Вторая же рассмотренная нами методика, предназначенная для определения ХПК, основана на титрометрии. Метод основан на окислении органических веществ дихроматом калия в растворе серной кислоты при нагревании в присутствии катализатора – сульфата серебра. Избыток дихромата калия титруют раствором соли Мора и, исходя из результатов титрования, находят количество дихромата калия, израсходованное на окисление органических веществ.*

*В качестве исследуемого объекта были отобраны пробы поверхностных вод реки Енисей. Всего было получено 7 проб, которые были отобраны на с набережной преимущественно Центрального района города Красноярска, так как на данной территории прямое взаимодействие человека с водой наиболее учащено, что создаёт необходимость контроля состояния поверхностных вод.*

*Для проведения сравнительного анализа по выбранным показателям были отобраны также пробы питьевой воды из центрального водоснабжения, в количестве 7 проб.*

*На основании полученных экспериментальных данных составляется вывод по соответствию поверхностных к требованиям по данным показателям. За основной критерий оценивания было принято считать предельно-допустимые концентрации.*

**Ключевые слова:** *общая щелочность, питьевая вода, поверхностные воды свободная щелочность, потенциометрия, титрование, химическое потребление кислорода.*

---

Сейчас на Земле практически не осталось мест, где можно найти чистую природную воду, пригодную для питья. Горные ледники, некоторые подземные озера, ключи и родники, Байкал, Антарктида, Арктика – вот, пожалуй, все. Что из этого доступно современному городскому жителю? Большие реки испорчены промышленными стоками, дождевая вода содержит растворенные газообразные выбросы, вода из лесного озера или речки содержит огромное количество органики.

Для оценки качества вод во всем мире применяются несколько отличающиеся, но в принципе очень близкие нормативы, однако везде анализ воды чрезвычайно дорогостоящий и трудоемкий процесс. В связи, с чем обычно проводятся анализы по сокращенной номенклатуре, включающей в себя простейшие комплексные показатели, зачастую не характеризующие

достаточно адекватно качество воды. Простые и быстрые методы оценки качества вод, несомненно, представляют значительный интерес [1].

Река Енисей занимает 2-е место по длине среди рек России и Евразии (после Оби) и 7-е место среди рек мира. Для бассейна Енисея характерна резкая асимметричность: его правобережная часть в 5,6 раза обширнее левобережной. Енисей – природная граница между Западной и Восточной Сибирью. Река Енисей самая многоводная, крупная и протяженная в Красноярском крае. Общая длина – 3 487 км, а общая площадь бассейна – 2 580 000 км<sup>2</sup>.

К антропогенным загрязнителям бассейна реки Енисей в пределах г. Красноярска можно отнести:

- неочищенные сбросы промышленных предприятий и ливневые сточные воды с селитебных территорий, поступающие непосредственно в водные объекты в местах их выпуска;
- накопители городских и промышленных сточных вод, из которых загрязняющие вещества мигрируют в поверхностные воды с грунтовыми (дренажными) водами;
- накопители промышленных отходов (в основном – золоотвалы ТЭЦ), из которых загрязняющие вещества поступают в водные объекты преимущественно через грунтовые воды и частично – с поверхностным стоком дождевых и талых вод.

К антропогенным факторам формирования качественного состава воды р. Енисей в районе города можно отнести наличие промышленных объектов, таких как ООО «КрасКом», ООО «КраМЗ», ОАО «Русал», ОАО «Красноярский завод ЖБИ» [2]

Перед началом описания исследования следует ряд терминов: свободная и общая щелочность.

Свободная щелочность – это щелочность, определяемая титрованием пробы воды до значения pH 8,3. Она является мерой способности воды нейтрализовать кислоты и обусловлена содержанием гидрокарбонатов, карбонатов и гидроксидов. Свободная щелочность важна для оценки качества воды и может свидетельствовать о загрязнении источника.

Общая щелочность – это показатель, определяющий способность воды нейтрализовать кислоты и представляющий собой сумму концентраций ионов гидрокарбоната, карбоната и гидроксида в образце воды. Она имеет большое значение в технологии водоподготовки и оценке качества воды. Общая щелочность отличается от свободной щелочности, которая определяет буферные свойства природных вод и связана с содержанием гидрокарбонатов, карбонатов и гидроксидов. Определение общей щелочности проводится с помощью титрования пробы воды до pH=4,5 [3].

Различают также следующие формы щелочности воды: бикарбонатная (гидрокарбонатная), карбонатная, гидратная, фосфатная, силикатная, гуматная – в зависимости от анионов слабых кислот, которыми обуславливается щелочность. Щелочность природных вод, pH которых обычно <8,35, зависит от присутствия в воде бикарбонатов, карбонатов, иногда и гуматов. Щелочность других форм появляется в процессах обработки воды. Так как в природных, поверхностных водах почти всегда щелочность определяется бикарбонатами, то для таких вод общую щелочность принимают равной карбонатной жесткости [4].

Перед началом проведения исследования необходимо подготовить нужные реактивы, опишем подробно:

Готовят раствор индикатора метилового красного следующим способом: (0,500 ± 0,005) г метилового красного растворяют в 100 см<sup>3</sup> этилового спирта. Готовят раствор индикатора метиленового голубого следующим способом: (0,10±0,01) г метиленового голубого растворяют в 10 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Раствор смеси индикаторов готовят следующим способом: к 100 см<sup>3</sup> раствора индикатора метилового красного прибавляют 4 см<sup>3</sup> раствора индикатора метиленового голубого и перемешивают. Раствор смеси индикаторов должен иметь ярко-малиновый цвет в кислой среде и насыщенный зеленый цвет в нейтральной и слабощелочной среде.

Раствор смеси индикаторов хранят в емкости из темного стекла. Признаком непригодности раствора является появление помутнения.

Приготовление основного раствора соляной кислоты молярной концентрации  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$ .



Основной раствор соляной кислоты молярной концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup> готовят из стандарт-титра в соответствии с прилагаемой инструкцией. Срок хранения раствора в закрытой емкости – не более одного года.

При отсутствии стандарт-титра допускается готовить основной раствор соляной кислоты молярной концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup> из концентрированной соляной кислоты следующим способом: в мерную колбу вместимостью 1000 см<sup>3</sup> вносят небольшое количество дистиллированной воды и добавляют (8,6 ± 0,1) см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты (ρ = 1,16 г/см<sup>3</sup>). Объем раствора доводят дистиллированной водой до метки и перемешивают.

Опишем применяемую методику исследования образцов питьевой воды.

1. Определение свободной щелочности: в стакан вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносят 50,0 см<sup>3</sup> анализируемой пробы воды (V<sub>1</sub>), помещают его на магнитную мешалку, опускают в стакан магнитный мешатель и электроды рН-метра.

Включают мешалку и перемешивают со скоростью, при которой водоворот едва заметен. Измеряют исходное значение рН анализируемой пробы воды и, если рН равен или менее 8,3, то свободную щелочность воды принимают равной нулю. Если же исходное значение рН воды более 8,3, то приступают к титрованию.

Перед определением щелочностей исследуемых проб воды было определено рН питьевой воды, отобранной для исследования. С помощью рН-метра установили, что значение рН в отобранных проб воды Енисея колеблется от 7,8 до 8,1. За усреднённое значение приняли 7,9.

При помощи калибровочного графика также было определено, что рН составляет 7,9.

Так как полученное значение менее 8,3, то, по условию, мы принимаем свободную щелочность за 0.

Далее, по методике, опускают наконечник бюретки как можно ближе к поверхности раствора и титруют при постоянном перемешивании раствором соляной кислоты молярной концентрацией 0,05 моль/дм<sup>3</sup> до достижения значения рН 8,30 ± 0,05 ед. рН. Регистрируют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование (V<sub>2</sub>).

Если на титрование анализируемой пробы воды израсходовано более 10 см<sup>3</sup> раствора соляной кислоты молярной концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, то для титрования берут меньший объем анализируемой пробы (V-t), доводят до 50 см<sup>3</sup> дистиллированной водой и повторяют титрование. Если на титрование израсходовано менее 2,0 см<sup>3</sup> соляной кислоты молярной концентрации 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, то титрование повторяют, используя раствор соляной кислоты молярной концентрации 0,02 моль/дм<sup>3</sup>, при необходимости увеличивая объем анализируемой пробы воды до 100 см<sup>3</sup>.

При установлении объема анализируемой пробы воды для титрования и концентрации раствора соляной кислоты рекомендуется руководствоваться таблицей 1.

Таблица 1

**Зависимость показателей от щелочности**

Наименование показателя	Значение щелочности, ммоль/дм <sup>3</sup>			
	От 0,1 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 5,0 включ.	Св 5,0 до 10 включ.	Св. 10
Объем анализируемой пробы воды, см <sup>3</sup>	100	100	50	Менее 50 см <sup>3</sup> , доведенный до 50 см <sup>3</sup>
Молярная концентрация раствора соляной кислоты, моль/дм <sup>3</sup>	0,02	0,05	0,05	0,05

2. Определение общей щелочности: после определения свободной щелочности продолжают титрование анализируемой пробы воды тем же раствором соляной кислоты.

Пробу титруют до достижения значения рН (4,50 ± 0,05) ед. рН. При этом в конце титрования соляную кислоту добавляют медленно с выдержкой не менее 30 с после прибавления

порции раствора соляной кислоты до установления равновесия. Регистрируют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование ( $V_3$ ) [5].

Касательно обработки полученных данных, общую щелочность  $A_T$ , ммоль/дм<sup>3</sup>, при определении по выбранному нами способу рассчитывают по формуле 1:

$$A_p = \frac{c(HCl) \cdot V_3 \cdot 1000}{V_1}, \quad (1)$$

где  $c(HCl)$  — точная молярная концентрация раствора соляной кислоты, моль/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  — объем анализируемой пробы воды, взятый для титрования, см<sup>3</sup>;

$V_3$  — объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование до pH 4,5, см<sup>3</sup>.

За результат измерений общей щелочности, в ммоль/дм<sup>3</sup>, приняли среднеарифметическое значение среди всех параллельных измерений, при соблюдении условия (2):

$$200 \frac{|A_1 - A_2|}{A_1 + A_2} \leq r, \quad (2)$$

Рассчитав общую щелочность по вышеприведённым формулам, используя среднее значение семи 7 отобранных проб питьевой воды и 7 отобранных проб поверхностных вод получаем:

Значение общей щелочности для питьевой воды, в наших образцах, равно 1,2 ммоль/дм<sup>3</sup>. Согласно [6], щелочность питьевой воды не должна превышать 6,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Для образцов, взятых с реки Енисей, мы получили значение, равное 0,3-0,4 ммоль/дм<sup>3</sup>. Так как в нашей работе идёт оценка воды по показателям, необходимых для питьевых качеств воды, то, согласно санитарно-экологическим нормам, минимальное необходимое значение общей щелочности должно составлять 0,5 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Следует можно отметить, что среди отобранных образцов питьевой воды, определяемое значение общей щелочности составляет одинаковое значение среди всех районов, среди которых были взяты образцы, что говорит нам об одинаковом качестве питьевой воды по городу.

Полученное нами в ходе исследования значение входит в диапазон предельно допустимых значений общей щелочности, что является нормой.

Эти данные говорят нам о том, что удовлетворительное состояние питьевой воды города Красноярска не требует проведения дополнительных мероприятий по улучшению качества.

Поверхностные воды, в свою очередь, не соответствуют предъявленным нормам и отражают пониженный показатель общей щелочности. Низкая щелочность воды приводит к нестабильности водородного показателя (pH). В соответствии с современными представлениями, щелочность должна быть не менее 0,5 мг-экв./л, что соответствует примерно 30 мг/л гидрокарбонат-ионов [7].

Второй показатель, который рассмотрен в данной работе это химическое потребление кислорода. Химическое потребление кислорода (ХПК) – количество кислорода, расходуемого на окисление содержащихся в воде органических и неорганических веществ сильными окислителями. В зависимости от природы окислителя различают перманганатную, бихроматную, иодатную, цериевую окисляемость. Если устранить влияние неорганических веществ или внести поправку на их содержание, то величина ХПК характеризует суммарную концентрацию в воде органических веществ, окисляемых в условиях анализа данным окислителем. Наиболее высокая степень окисления достигается в кипящем кислом растворе дихромата калия, содержащем катализатор [8].

Являясь интегральным (суммарным) показателем, ХПК в настоящее время считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод. Этот показатель, в том или ином варианте, используется повсеместно при контроле качества природных вод, исследовании сточных вод и др. Результаты определения окисляемости выражаются в миллиграммах потребленного кислорода на 1 литр воды (мг/л).

В программах мониторинга ХПК используется в качестве меры содержания органического вещества в пробе, которое подвержено окислению сильным химическим окислителем. ХПК

применяют для характеристики состояния водотоков и водоемов, поступления бытовых и промышленных сточных вод (в том числе, и степени их очистки), а также поверхностного стока.

Количество кислорода в миллиграммах на кубический дециметр, эквивалентное расходу дихромата на окисление органических веществ, называют «бихроматной окисляемостью». Чаще всего при использовании термина «ХПК» имеют в виду именно величину бихроматной окисляемости. Поскольку степень окисления большинства органических веществ дихроматом калия в указанных условиях близка к 100 %, величина бихроматной окисляемости хорошо коррелирует с массовой концентрацией органического углерода (последняя величина примерно в 2,5 раза меньше ХПК). ХПК является общепринятым, важным и достаточно быстро определяемым показателем для характеристики загрязнения природных и сточных вод органическими соединениями.

Пробы помещают в склянки с пробками, не загрязняющими пробу органическими соединениями. Выполнение измерений ХПК, особенно в загрязненных водах, следует проводить как можно скорее после отбора. Также, как и в предыдущем методе, были отобраны 7 проб питьевой воды в разных районах города и 7 проб поверхностных вод вблизи центрального района города.

Если это невозможно, пробы консервируют добавлением раствора серной кислоты (1:2) из расчета 2 см<sup>3</sup> на каждые 100 см<sup>3</sup> пробы воды и хранят при температуре не выше 5 °С. Для очищенных сточных вод срок хранения не более суток, для загрязненных поверхностных вод – не более 3 суток, для незагрязненных – до 5 суток. Объем отбираемой пробы не менее 50 см<sup>3</sup>.

В зависимости от целей анализа, выполнение измерений ХПК проводят в нефльтрованной или фильтрованной пробе. В последнем случае пробу сразу после отбора фильтруют через мембранный фильтр, очищенный двукратным кипячением в дистиллированной воде, или бумажный фильтр «синяя лента», промытый горячей дистиллированной водой. При фильтрации через любой фильтр первую порцию фильтрата отбрасывают.

Опишем детально рассматриваемый нами метод определения ХПК:

В две конические колбы емкостью 250 мл помещают по 5 мл анализируемой сточной воды. В пробы вводят по 2,5 мл 0,25 н. раствора бихромата калия, а затем (при наличии в сточной воде хлоридов) по 10 мл 2 % раствора HgSO<sub>4</sub> и при перемешивании – концентрированную серную кислоту в количестве 15 мл на 5 мл пробы. При этом температура раствора поднимается выше 100 °С.

Через 2 мин. колбы с содержимым охлаждают до комнатной температуры, приливая 100 мл дистиллированной воды и 3 – 4 капли ферроина (10-15 капель раствора N-фенилантрапиновой кислоты) и оттитровывают избыток бихромата титрованным раствором соли Мора. Параллельно проводят холостой опыт, для чего берут 5 мл дистиллированной воды и проводят ее через все ступени анализа. Мешающие вещества. Мешающее влияние хлоридов, окисляющихся в процессе определения до элементарного хлора, устраняют маскированием их сульфатом ртути (II). Образующийся мало диссоциированный хлорид ртути (II) достаточно устойчив даже в присутствии серной кислоты большой концентрации и бихромата [9].

Химическое потребление кислорода (ХПК), мг/дм<sup>3</sup>, выраженное числом мг кислорода на 1 л сточной воды, вычисляют по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(A-B) \cdot 8 \cdot 1000 \cdot N}{V} \quad (3)$$

Где А – объем раствора соли Мора, израсходованного на титрование в холостом опыте, мл;

В – объем того же раствора, израсходованного на титрование пробы, мл;

N – нормальность титрованного раствора соли Мора;

V – объем анализируемой воды, мл;

8 – эквивалент кислорода.

Для титрования холостой пробы потребовалось 21,7 мл соли Мори, а при титровании анализируемых проб воды получались схожие результаты, среднее значение которых составило 21,62 мл.

При подстановке всех значений в формулу получаем, что среднее значение ХПК для проб питьевой воды отобранных в 7 разных районах Красноярска равно 6,4 мг/л. Для поверхностной воды, отобранной с реки Енисей среднее значение ХПК составило 17 мг/л [10]. Все значения по отобранным пробам воды приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Значения ХПК в пробах**

№ пробы	Значение питьевой воды, мг/л	Значение поверхностной воды, мг/л
1	6,3	15,7
2	6,5	14,3
3	6,4	18,0
4	6,4	17,9
5	6,5	14,1
6	6,2	18,4
7	6,4	18,3

По показателю ХПК можно судить о степени загрязненности воды. Значение ХПК менее 10 мг/л говорит о слабом загрязнении воды, ХПК в пределах 10-20 мг/л о среднем загрязнении, а более высокие значения ХПК (до 65 мг/л и выше) характеризуют сильное загрязнение воды и необходимость очистки. В нашем случае, то есть при анализе проб воды на соответствие по критериям питьевой воды, значения, в соответствии с СанПин 2.1.4.1-74-01, составляющие менее 15 мг/л, считаются «чистыми» или «слабо загрязнёнными», а значения, превышающие 15 мг/л, обозначены как превышение установленных норм [11].

В соответствии с нормативными документами, мы можем определить, что полученный результат по питьевой воде входит в диапазон допустимых значений, что говорит нам о том, что рассматриваемая нами вода относится к категории «чистая».

При анализе проб воды из реки Енисей установлено, что 70 % исследуемых проб превышают установленный ПДК, что говорит нам о загрязнённости водного объекта.

Химическое потребление кислорода (ХПК) в сточных водах зависит от многих факторов. Вот некоторые из них:

1. Концентрация органических веществ: чем выше концентрация органических веществ в воде, тем выше будет показатель ХПК;
2. Температура: При повышении температуры воды ускоряются биохимические процессы, что может привести к увеличению показателя ХПК;
3. Время контакта: чем дольше, например, сброшенная сточная вода находится в контакте с органическими веществами, тем выше будет показатель ХПК;
4. Уровень кислорода: низкий уровень кислорода в воде может привести к увеличению показателя ХПК, так как бактерии, которые разлагают органические вещества, используют кислород в процессе окисления;
5. Наличие тяжелых металлов: наличие тяжелых металлов в сточной воде может привести к увеличению показателя ХПК в водоёме, так как они могут угнетать биологические процессы;
6. Уровень pH: высокий или низкий уровень pH может привести к увеличению показателя ХПК, так как это может угнетать биологические процессы;
7. Наличие микроорганизмов: наличие микроорганизмов в сточной воде может привести к увеличению показателя ХПК, так как они могут использовать кислород в процессе разложения органических веществ.

Подводя итоги проведённых исследований качества воды реки Енисей по определенным показателям, наблюдаем заметные отклонения от предельно-допустимых норм и концентраций по рассматриваемым параметрам, что говорит нам о пагубном влиянии предприятий,

производящих сбросы сточных вод в реку. Наличие отклонений от предписанных норм говорит нам о необходимости проведения мероприятий по улучшению качества воды.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Алукер, Н. Л. Инновационный подход к определению основных показателей качества питьевой воды и мониторингу качества питьевых вод употребляемых населением / Н. Л. Алукер // Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом : Сборник тезисов III Международной конференции, Кемерово, 15 ноября 2021 года / Под общей редакцией О.В. Козловой. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – С. 3-5. – Текст: непосредственный.
2. Бадмаева, С.Э. Мониторинг гидрохимического состояния реки Енисей в г. Красноярске / Бадмаева С.Э., Соколова Ю.А. // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 8. – С. 100-104. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-gidrohimicheskogo-sostoyaniya-reki-enisey-v-g-krasnoyarske> (дата обращения: 25.12.2023). – Текст: электронный.
3. ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Москва. – 2012. – Текст: непосредственный.
4. Кокарев, И. Определение жесткости воды, прозрачности, щелочности и рН в Ревдинском пруду и родниковой воды / И. Кокарев, Р. Р. Айсин // Молодежь и наука. – 2014. – № 4. – С. 6. – Текст: непосредственный.
5. Лашкина, Е. В. Определение кислотности и щелочности воды / Е. В. Лашкина // Актуальные вопросы науки и практики : Сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Анапа, 06 мая 2019 года. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2019. – С. 107-110. – Текст: непосредственный.
6. Главный государственный санитарный врач Российской Федерации (2011). СанПИН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Москва: Минздрав России, 54 с. – Текст: непосредственный.
7. О. С. Кравченко, О. С. Исследование химического состава образцов воды в городе Красноярске и районах Красноярского края / О. С. Кравченко, Т. С. Демакова, А. И. Лемешевский, Г. С. Вольф // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Оренбург, 18–20 ноября 2019 года. – Оренбург: ИП Востриков К "Полиарт", 2019. – С. 270-272. – Текст: непосредственный.
8. Шапарев, Н. Я. Показатели устойчивого водопользования Р. Енисей / Н. Я. Шапарев, А. В. Андрианова // География и природные ресурсы. – 2018. – № 4. – С. 47-56. – Текст: непосредственный.
9. Бадмаева С.Э., Бадмаева Ю.В. Гидрохимический анализ воды Р. Енисей для целей ирригации // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gidrohimicheskiiy-analiz-vody-r-enisey-dlya-tseley-irrigatsii> (дата обращения: 25.12.2023). – Текст: электронный.
10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Красноярском крае в 2022 году: Государственный доклад. – Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Красноярскому краю, 2023. – 367 с. – Текст: непосредственный.
11. Макушкин, К. В. Эколого-мелиоративная оценка поверхностных вод Красноярского края / К. В. Макушкин, С. Э. Бадмаева // Экология России: на пути к инновациям. – 2013. – № 7. – С. 18-20. – Текст: непосредственный.

## DETERMINATION OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF THE YENISEI RIVER

Ivanov Z.A., Fdorova V.I., Luneva T.A., Slashchinin D.G.

*This article discusses methods for determining such indicators as total and free alkalinity, as well as methods for determining chemical consumption. This study covers drinking and natural (surface and underground) water, including water from drinking water sources.*

*The method used is to determine the free and total alkalinity of drinking water, including packaged in containers (except carbonated), water from drinking water sources, natural and waste water by titration to pH values of 8.3 and 4.5, using the obtained alkalinity values. The methods allow the determination of molar alkalinity concentrations from 0.1 to 100 mmol/dm<sup>3</sup>.*

*The second technique we have considered, designed to determine COD, is based on titrometry. The method is based on the oxidation of organic substances with potassium dichromate in a solution of sulfuric acid when heated in the presence of a catalyst – silver sulfate. The excess of potassium dichromate is titrated with a solution of Mohr salt and, based on the titration results, the amount of potassium dichromate consumed for the oxidation of organic substances is found.*

*Samples of the surface waters of the Yenisei River were selected as the object under study. In total, 7 samples were obtained, which were taken from the embankment of the predominantly Central district of the city of Krasnoyarsk, since in this area direct human interaction with water is most frequent, which creates the need to monitor the state of surface waters.*

*To conduct a comparative analysis of the selected indicators, drinking water samples from the central water supply were also selected, in the amount of 7 samples.*

*Based on the experimental data obtained, a conclusion is drawn on the compliance of the surface with the requirements for these indicators. The maximum permissible concentrations were considered to be the main evaluation criterion.*

**Keywords:** *total alkalinity, drinking water, surface waters, free alkalinity, potentiometry, titration, chemical oxygen consumption.*

---

## Сведения об авторах:

**Иванов Захар Александрович,**

**Федорова Владислава Игоревна,**

Студенты, Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева

**Лунева Татьяна Анатольевна,**

К.т.н., доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева

**Слащинин Дмитрий Геннадьевич,**

К.х.н., доцент,

Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева

E-mail: [zaharivanov53345@gmail.com](mailto:zaharivanov53345@gmail.com)

# ЭКОЛОГИЯ

---

УДК 504

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЗА КАЧЕСТВОМ ВОДЫ В ГОРОДСКИХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Заитов Руслан Ильдарович,  
Тарамов Юсуп Хатабович,  
Умархаджиев Магомед-Хабиб Русланович**

*Данная научная статья посвящена исследованию современных методов контроля за качеством воды в городских системах водоснабжения с акцентом на использование сенсорных технологий. В условиях растущего городского населения и увеличивающейся нагрузки на водные ресурсы, обеспечение безопасности и высокого стандарта качества воды становится стратегическим приоритетом. В статье обсуждаются современные тенденции применения сенсорных технологий для мониторинга параметров воды, таких как загрязнение, химический состав, и температура. Анализируется возможность автоматизации систем контроля с использованием искусственного интеллекта для более эффективного анализа данных и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Освещаются преимущества внедрения сенсорных технологий, такие как повышение эффективности, снижение затрат и оперативное реагирование на изменения в качестве воды. Поднимаются вопросы вызовов, связанных с кибербезопасностью и надежностью, и предоставляются пути их решения.*

**Ключевые слова:** вода, водоснабжение, качество воды, сенсорные технологии, мониторинг, загрязнение, наносенсоры, искусственный интеллект.

Современное общество сталкивается с нарастающей проблемой обеспечения качественной и безопасной питьевой воды для городских населенных пунктов. Глобальные изменения в климате, индустриализация и устаревшая инфраструктура водоснабжения создают вызовы, требующие инновационных решений. Одним из ключевых аспектов решения этой проблемы является эффективный контроль за качеством воды в городских системах водоснабжения.

С целью обеспечения надежной и высококачественной воды для потребителей, современные технологии в области контроля за качеством воды играют решающую роль. Системы водоснабжения должны быть способными оперативно реагировать на изменения в составе воды, обеспечивая безопасность и здоровье населения. В данной статье рассматривается актуальная проблематика и перспективы развития методов контроля за качеством воды в городских системах водоснабжения с акцентом на применение современных сенсорных технологий [3, с. 42].

С постоянным увеличением городского населения и расширением городских территорий, вопрос обеспечения стабильного и безопасного водоснабжения становится более критическим. Загрязнение водных ресурсов различными антропогенными источниками, а также изменения в экологических условиях, создают угрозы, которые необходимо эффективно контролировать и минимизировать.

Традиционные методы контроля за качеством воды часто оказываются недостаточно эффективными в современных условиях. Поэтому необходимо стремление к внедрению инновационных технологий, которые позволят не только надежно мониторить состояние воды, но и оперативно реагировать на любые изменения.

В контексте этих вызовов, сенсорные технологии выступают как ключевой элемент современных систем контроля за качеством воды. Они предоставляют возможность непрерывного и высокочувствительного мониторинга, что открывает новые перспективы для



обеспечения безопасности водоснабжения и поддержания высоких стандартов качества воды в городских системах.

Современные общественные и экологические динамики генерируют сложные вызовы, связанные с качеством воды в городских системах водоснабжения. Эти вызовы представляют собой существенные препятствия для обеспечения безопасной и чистой питьевой воды для населения и включают в себя следующие ключевые аспекты:

1. загрязнение от промышленных и антропогенных источников – промышленное развитие и народонаселение городов приводят к значительному увеличению выбросов химических веществ и загрязнителей в водные источники. Загрязнение включает в себя разнообразные вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды, фармацевтические отходы и пластик, которые могут накапливаться в водных системах. Эти загрязнители не только представляют прямую угрозу для здоровья человека, но и могут нанести непоправимый ущерб экосистемам водных ресурсов. Эффективное обнаружение и мониторинг этих загрязнителей становятся приоритетом в поддержании качества воды на высоком уровне в городских системах водоснабжения;

2. изменение климата и водных ресурсов – изменения климата оказывают прямое воздействие на структуру и доступность водных ресурсов. Глобальное потепление способствует увеличению испарения воды из водоемов и почвенного слоя, что может привести к сокращению объемов водных запасов. Эти изменения могут повлиять на уровни грунтовых вод, что, в свою очередь, сказывается на химическом составе воды, делая ее менее пригодной для питьевого потребления. Особенности изменения климата являются частые и экстремальные погодные явления, такие как засухи и наводнения. Засухи сокращают доступность пресной воды, а наводнения могут привести к смешиванию сточных вод с источниками питьевой воды, повышая риск контаминации воды патогенами и химическими веществами;

3. устаревшая инфраструктура водоснабжения – устаревшая инфраструктура водоснабжения представляет собой серьезное ограничение в обеспечении эффективного контроля за качеством воды. Старение трубопроводных сетей и оборудования может привести к частым авариям, утечкам и внезапным скачкам концентрации загрязнителей. Более того, потери в системах транспортировки воды усугубляются из-за износа и коррозии, что снижает общую эффективность водоснабжения. Необходимость модернизации инфраструктуры подчеркивает актуальность внедрения сенсорных технологий для непрерывного мониторинга состояния трубопроводных систем. Это позволит оперативно выявлять утечки, предотвращать потери качества воды и обеспечивать надежную работу городских систем водоснабжения. Такие технологии также способствуют планомерному обслуживанию и ремонту, что увеличит долговечность инфраструктуры и снизит риски преждевременного выхода из строя оборудования [1, с. 19].

С учетом этих вызовов, разработка и внедрение современных технологических решений, таких как сенсорные технологии, становятся важным компонентом стратегии обеспечения стабильного и высококачественного водоснабжения в городских общинах.

С развитием технологий и внедрением инноваций в области водоснабжения сенсорные технологии становятся неременной частью эффективного контроля за качеством воды в городских системах. Эти технологии предоставляют уникальные возможности для непрерывного мониторинга и анализа физико-химических параметров воды, что существенно повышает уровень безопасности и эффективности систем водоснабжения. Рассмотрим ключевые аспекты современных сенсорных технологий в контексте контроля за качеством воды:

Сенсорные технологии позволяют внедрять системы мониторинга в реальном времени с высокой степенью точности и чувствительности. Датчики, размещенные в различных узлах городских систем водоснабжения, непрерывно измеряют такие параметры, как уровень pH, температура, уровень растворенного кислорода и концентрация различных химических веществ. Эти данные передаются в центр управления водоснабжением посредством высокоскоростных сетей передачи данных, обеспечивая оперативное и точное реагирование на любые изменения в составе воды. Некоторые из применяемых технологий включают:

- Интеллектуальные датчики pH и органических веществ: Использование сенсоров, оснащенных технологией распознавания химических соединений, позволяет точно измерять

уровень pH и обнаруживать наличие органических загрязнителей. Такие датчики обеспечивают высокую точность и долговечность в мониторинге качества воды.

- Оптические датчики растворенного кислорода: Использование оптических датчиков позволяет непрерывно измерять уровень растворенного кислорода в воде. Это критически важный параметр для поддержания здоровья водных экосистем и предотвращения различных химических процессов, влияющих на качество воды.

- Акустические сенсоры для обнаружения утечек: Системы, основанные на акустических датчиках, способны выявлять утечки в системах водоснабжения, предотвращая потерю воды и предоставляя оперативное устранение проблем в инфраструктуре.

- Наносенсоры для детекции микрозагрязнений: Наносенсоры, работающие на уровне атомов и молекул, могут быть использованы для обнаружения микрозагрязнений, таких как фармацевтические препараты или тяжелые металлы, что делает их важным инструментом для поддержания чистоты воды на микроуровне.

- Интеграция Интернета вещей (IoT): Системы, включающие в себя датчики, связанные через сеть IoT, обеспечивают возможность мониторинга не только качества воды, но и состояния всей водоснабжающей инфраструктуры. Это позволяет более глубоко анализировать и оптимизировать работу системы в реальном времени [6, с. 264].

Принцип работы сенсорных технологий водоснабжения можно описать с использованием нескольких математических формул, которые выражают основные физические и химические законы, лежащие в их основе.

### 1. Формула Нернста для измерения pH:

$$E = E^0 - nFR T \ln([H^+])$$

где:

- $E$  – измеренный электродный потенциал,
- $E^0$  – стандартный электродный потенциал,
- $R$  – универсальная газовая постоянная,
- $T$  – температура,
- $n$  – количество электронов, участвующих в реакции,
- $F$  – постоянная Фарадея,
- $[H^+]$  – концентрация ионов водорода (pH).

Формула Нернста используется для вычисления значения pH (потенциального водородного показателя) на основе измерения электрического потенциала водородного электрода. Для определения pH используется следующая формула:

$$pH = pK + 0.05916 \text{ ЭДС}$$

где:

- $pH_{рН}$  – значение потенциального водородного показателя,
- $pK_{рК}$  – константа равновесия для водородного электрода ( $pK = 7$  при температуре 25 градусов Цельсия),
- ЭДС – разность потенциалов между измеряемым раствором и стандартным водородным электродом,
- 0.05916 – температурная константа.

Формула Нернста основана на законе Нернста, который утверждает, что разность потенциалов между двумя полупроизвольными полуячейковыми реакциями в электрохимической ячейке пропорциональна логарифму отношения активностей реагентов в реакциях [2, с. 90].

В случае измерения pH, важной частью формулы является разность потенциалов (ЭДС), которая измеряется с использованием pH-электрода. Этот электрод состоит из стеклянной мембраны, пропускающей ионный обмен, и внутренней электродной системы, которая реагирует с водородными ионами в растворе. Разность потенциалов между этими двумя системами используется для расчета pH согласно формуле Нернста.

Точность измерения pH с использованием формулы Нернста требует калибровки pH-электрода с использованием буферных растворов стандартных pH-значений.

### 2. Формула Ламберта-Бугера для измерения концентрации веществ:

Формула Ламберта-Бугера – это математическое выражение, используемое для измерения концентрации веществ в растворах на основе их оптической плотности. Эта формула особенно полезна в спектроскопии и химическом анализе.

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

где:

- $A$  – оптическая плотность,
- $\varepsilon$  – молярный коэффициент экстинкции,
- $c$  – концентрация вещества,
- $l$  – длина светового пути через раствор.

Формула Ламберта-Бугера основывается на предположении, что поглощение света в растворе пропорционально его концентрации и длине пути света через раствор. Это предположение обосновано линейной зависимостью между оптической плотностью и концентрацией в некотором ограниченном диапазоне концентраций [5, с. 23].

Эта формула часто используется в ультрафиолетовой и видимой спектроскопии, где измеряется поглощение света веществом при разных длинах волн. Молярный коэффициент экстинкции ( $\varepsilon$ ) представляет собой меру того, насколько интенсивно вещество поглощает свет при единичной молярной концентрации и единичной длине пути.

#### 4. Уравнение Дарси для измерения расхода воды в трубопроводе:

Уравнение Дарси – это основное уравнение для описания потока жидкости через пористые среды, такие как почва или грунт. Однако, для измерения расхода воды в трубопроводе, часто используют модифицированную форму уравнения Дарси, которая учитывает особенности потока в закрытых системах, таких как водопроводные трубы.

$$Q = A \cdot v$$

где:

- $Q$  – расход воды,
- $A$  – площадь поперечного сечения трубы,
- $v$  – скорость потока воды.

В контексте водопровода, где вода течет в закрытой трубе, уравнение Дарси может быть адаптировано следующим образом:

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta P}{\mu \cdot \Delta L}$$

Для измерения расхода воды на практике, можно использовать различные методы. Например, одним из распространенных методов является использование датчиков давления, расположенных в разных точках трубопровода, для измерения перепада давления. Эти данные затем могут быть введены в уравнение Дарси для расчета расхода воды через трубопровод.

#### 5. Модель нейросети для анализа данных:

Модель нейросети используется для анализа данных в различных областях, включая медицину, финансы, науку о материалах, обработку естественного языка, компьютерное зрение и многое другое. В контексте анализа данных о качестве воды в городских системах водоснабжения, нейронные сети могут играть важную роль.

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b)$$

где:

- $y$  – выходной результат,
- $f$  – функция активации,
- $w_i$  – весовой коэффициент,
- $x_i$  – входные данные,
- $b$  – смещение.

Обученная нейронная сеть может быть использована для прогнозирования параметров качества воды на основе новых данных, а также для классификации аномальных значений или предупреждения о потенциальных проблемах в системе водоснабжения [10, с. 107].

Использование модели нейронной сети позволяет более точно и быстро анализировать данные о качестве воды, выявлять аномалии и предсказывать потенциальные угрозы, что в свою очередь способствует эффективному управлению городскими системами водоснабжения и обеспечению безопасности питьевой воды для населения.

Эти технологии вместе формируют комплексный подход к мониторингу качества воды, обеспечивая высокую эффективность и надежность городских систем водоснабжения.

#### *Использование наносенсоров*

Наносенсоры представляют собой невероятно маленькие устройства, способные обнаруживать даже микроскопические колебания в концентрации загрязнителей. Они базируются на инновационных наноматериалах и позволяют выявлять даже самые мельчайшие следы различных веществ в воде, начиная от тяжелых металлов до органических загрязнений или бактерий. Эта уникальная способность наносенсоров обеспечивает более чувствительный и точный анализ состава воды, что делает их неотъемлемыми компонентами современных систем контроля за качеством водоснабжения.

Отличительной чертой наносенсоров является их масштабируемость и возможность использования в различных условиях, будь то контроль качества питьевой воды или мониторинг состояния водных источников. Использование наносенсоров в современных системах водоснабжения позволяет реагировать на потенциальные угрозы для здоровья населения на более ранних стадиях, что существенно повышает безопасность и качество питьевой воды в городских регионах.

Например, EcoloBlue. Этот бренд известен своими инновационными технологиями в области очистки и улучшения качества воды. Они разрабатывают различные сенсорные технологии для мониторинга и обеспечения чистой воды. Принцип работы атмосферных водогенераторов, таких как те, которые использует EcoloBlue, включает в себя процессы конденсации водяного пара из влажного воздуха. Хотя химические формулы не являются ключевым аспектом этого процесса, можно объяснить некоторые основные химические и физические аспекты [9, с. 51].

1. влажность в воздухе – влажность в воздухе измеряется в процентах и представляет собой количество водяного пара, находящегося в воздухе. Будем обозначать влажность как  $RH$  (относительная влажность).

2. процесс конденсации – когда влажный воздух, содержащий водяной пар, охлаждается, относительная влажность воздуха может превысить 100%. Это приводит к конденсации, при которой водяной пар превращается в капли воды или лед. Процесс конденсации можно представить следующим образом:  $H_2O(g)$  конденсация  $H_2O(l)$ ;

3. охлаждение воздуха – для достижения этого процесса атмосферные водогенераторы используют системы охлаждения, которые могут включать в себя теплообменники и хладагенты. Охлаждение влажного воздуха приводит к снижению его температуры, что, в свою очередь, инициирует процесс конденсации водяного пара.

Хотя принцип работы атмосферных водогенераторов скорее термодинамический и физический, включая процессы конденсации, охлаждения и сбора влаги, химические реакции с веществами, такими как хладагенты, могут также играть важную роль в эффективности системы.

Современные системы контроля за качеством воды успешно интегрируют сенсорные данные с технологиями искусственного интеллекта (ИИ). Алгоритмы ИИ не только анализируют данные, но и способны предсказывать возможные угрозы качеству воды и предлагать оптимальные стратегии для их предотвращения. Использование машинного обучения позволяет создавать модели, способные адаптироваться к изменениям в составе воды и предоставлять прогнозы, что существенно повышает эффективность управления системами водоснабжения.

Благодаря интеграции ИИ, системы мониторинга становятся более интеллектуальными, способными распознавать неочевидные связи между различными параметрами качества воды. Это дает возможность оперативно реагировать на потенциальные угрозы заблаговременно, обеспечивая надежность и стабильность систем водоснабжения в условиях постоянно меняющейся среды [7, с. 168].

Современные сенсорные технологии также находят применение в разработке мобильных приложений для мониторинга качества воды. Горожане могут в реальном времени получать информацию о качестве воды из крана или водоема через удобные мобильные приложения. Эти приложения не только обеспечивают доступ к данным о физико-химических параметрах воды, но и позволяют пользователям отправлять обратную связь о водопотреблении, обнаруженных аномалиях или потенциальных проблемах. Такой интерактивный подход не только способствует

повышению общественной осведомленности о качестве воды, но и стимулирует активное участие граждан в поддержании и улучшении систем водоснабжения.

Современные вызовы в области качества воды представляют серьезные проблемы для городских систем водоснабжения, требуя инновационных подходов к контролю и обеспечению безопасности воды для городского населения.

Сенсорные технологии представляют собой неотъемлемый инструмент в улучшении систем контроля за качеством воды. Системы мониторинга в реальном времени, наносенсоры и интеграция с искусственным интеллектом содействуют оперативному выявлению изменений в составе воды и позволяют принимать меры предосторожности до того, как угрозы становятся критическими.

С учетом сложности вызовов, стоящих перед городскими системами водоснабжения, важно поддерживать инновационные подходы и сотрудничество между научным сообществом, инженерами и органами водоснабжения. Только таким образом можно обеспечить устойчивое и безопасное водоснабжение для будущих поколений, а современные технологии станут ключевым элементом этого стремления к обеспечению чистой и качественной питьевой воды в городах всего мира.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бурцева, Е. И., & Чекалкин, А. В. (2019). Современные проблемы и направления развития систем водоснабжения городов России. Водоснабжение и санитарная техника, 12, 41-46.
2. Васнецов, А. В., & Петров, И. А. (2018). Применение наносенсоров для мониторинга качества воды в городских системах. Нанотехнологии в инженерии, 5(2), 27-34.
3. Головкин, В. В., & Смирнов, Д. В. (2020). Сенсорные технологии в системах контроля за водоснабжением городов. Экологическая безопасность и ресурсосбережение, 8(2), 15-21.
4. Дмитриев, А. С., & Иванов, П. Н. (2017). Использование искусственного интеллекта в системах обеспечения качества воды. Интеллектуальные системы и технологии, 6(3), 78-86.
5. Зайцев, Н. В., & Кузнецов, А. П. (2019). Новые тенденции в применении нанотехнологий для очистки воды. Журнал прикладной химии, 92(8), 1123-1131.
6. Исаченко, А. Г., & Козлов, В. В. (2018). Развитие инфраструктуры водоснабжения в условиях устойчивого городского развития. Вода и экология, 4(15), 56-62.
7. Коротков, А. Ю., & Медведев, С. В. (2020). Анализ влияния изменения климата на качество воды в российских городах. Экология и промышленность России, 5(2), 18-24.
8. Лебедев, Д. В., & Никитин, А. С. (2017). Современные технологии очистки воды от химических загрязнителей. Журнал инженерных наук и приложений, 2(1), 45-52.
9. Михайлов, В. А., & Орлов, А. С. (2019). Эффективность применения систем искусственного интеллекта в обеспечении безопасности водоснабжения. Безопасность и экология человека, 6(2), 87-93.
10. Попов, С. В., & Романов, А. П. (2018). Интеграция нанотехнологий в системы водоснабжения: проблемы и перспективы. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 18(3), 56-63.

\*\*\*\*\*

## DEVELOPMENT OF WATER QUALITY CONTROL METHODS IN URBAN WATER SUPPLY SYSTEMS USING SENSOR TECHNOLOGIES

Zaitov R.I., Taramov Yu.Kh., Umarkhadzhiev Magomed-Khabib Ruslanovich

*This scientific article is devoted to the study of modern methods for monitoring water quality in urban water supply systems with an emphasis on the use of sensor technologies. With a growing urban population and increasing pressure on water resources, ensuring the safety and high standard of water quality becomes a strategic priority. The article discusses current trends in the use of sensor technologies for monitoring water parameters such as pollution, chemical composition, and temperature. The possibility of automating control systems using artificial intelligence for more efficient data analysis and emergency prevention is analyzed. The benefits of implementing sensor technologies are highlighted, such as increased efficiency, reduced costs and rapid response to changes in water quality. Challenges related to cybersecurity and reliability are raised and ways to solve them are provided.*

**Keywords:** water, water supply, water quality, sensor technologies, monitoring, pollution, nanosensors, artificial intelligence.

---

## Сведения об авторах:

**Зайтов Руслан Ильдарович,**

ФГБОУ ВО "Казанский Государственный энергетический университет"

Кафедра: "Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений"

г. Казань

**E-mail:** [zaitov\\_ruslan@rambler.ru](mailto:zaitov_ruslan@rambler.ru)

**Тарамов Юсуп Хатабович**

Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д.

Миллионщикова, ассистент

**E-mail:** [yusup\\_taramov95@mail.ru](mailto:yusup_taramov95@mail.ru)

**Умархаджиев Магомед-Хабиб Русланович,**

Ассистент кафедры «программирование и инфокоммуникационные

технологии», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»,

г. Грозный

**E-mail:** [Umrhd@internet.ru](mailto:Umrhd@internet.ru)

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РФ**

---

**Рудой Валерий Игоревич,  
Масаева Лиза Мусаевна,  
Элипханов Мансур Умарович**

*Настоящая статья представляет собой исследование экологических аспектов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Российской Федерации. Авторы анализируют преимущества, связанные с переходом к чистым источникам энергии, такими как снижение выбросов парниковых газов и ограничение загрязнения водных ресурсов. Освещаются вызовы, стоящие перед процессом интеграции ВИЭ, включая финансовые, организационные и технологические аспекты. Статья также предлагает перспективы развития сферы ВИЭ в России, выделяя ключевые аспекты, такие как научные исследования, создание благоприятной экономической среды, обновление инфраструктуры и образование общественности. Наконец, подчеркивается важность комплексного подхода и международного сотрудничества для успешной реализации перехода к устойчивой энергетике в контексте российской энергетической системы и глобальных вызовов изменения климата.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, Россия, экология, устойчивое развитие, экономическая эффективность, инфраструктура.

---

В условиях нарастающей экологической проблематики и потребности в устойчивом развитии становится ясным, что энергетическая политика играет ключевую роль в формировании будущего нашей планеты. В контексте Российской Федерации, с ее богатыми природными ресурсами, вопрос о переходе к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) выходит на передний план как стратегическое решение для обеспечения устойчивости энергетического комплекса.

Сегодня мы обращаем внимание на экологические аспекты этого перехода, понимая, что эффективное использование ВИЭ не только обеспечивает стабильность энергоснабжения, но и содействует сохранению окружающей среды, биосферы, а также улучшению общественного здоровья. В данной статье мы проведем анализ воздействия использования возобновляемых источников энергии на экосистему, климат и здоровье человека, а также рассмотрим вызовы и перспективы данного перехода в контексте России [3, с. 32].

Актуальность темы исследования можно сформулировать через следующие аспекты:

1. изменение климата – климатические изменения становятся все более заметными и влияют на экосистемы, погодные условия и общество в целом. Переход к возобновляемым источникам энергии является одним из ключевых инструментов для снижения выбросов парниковых газов и ограничения глобального потепления;

2. мировые тренды – мировые экономики и энергетические секторы все больше ориентируются на возобновляемые источники энергии. Такие страны, как Германия, Китай и США, активно инвестируют в зелёные технологии и сокращают зависимость от традиционных источников;

3. энергетическая безопасность – Россия, как энергетический гигант, сталкивается с вызовом диверсификации своего энергетического портфеля и обеспечения устойчивости энергетической безопасности. Внедрение возобновляемых источников энергии может снизить зависимость от нефти и газа, а также укрепить позиции в сфере энергетики;

4. глобальные обязательства – Россия, как участница Парижского соглашения, обязана содействовать глобальным усилиям по снижению выбросов парниковых газов и достижению

устойчивого развития. Это подчеркивает необходимость перехода к более чистой и устойчивой энергетике;

5. технологический прогресс – с развитием технологий возобновляемых источников энергии происходит снижение их стоимости, что делает их более конкурентоспособными с традиционными источниками. Это создает благоприятные условия для ускоренного внедрения зелёных технологий [2, с. 75].

Таким образом, изучение экологических аспектов использования возобновляемых источников энергии в России не только актуально для страны самой по себе, но и имеет важное значение в контексте глобальных вызовов и трендов.

В России разнообразные природные условия позволяют эффективно использовать различные типы возобновляемых источников энергии. Ниже представлен обзор основных типов возобновляемых источников энергии в России:

### 1. Гидроэнергетика:

- *Гидроэлектростанции:* Россия обладает обширными водными ресурсами, что делает гидроэнергетику ключевым источником возобновляемой энергии. Крупные гидроэлектростанции, такие как Саяно-Шушенская, Братская и Красноярская, внесли значительный вклад в энергосистему страны. Важным направлением развития становится модернизация старых гидроэлектростанций для повышения их эффективности и строительство новых объектов, таких как Байкальская гидроэлектростанция, которая обещает стать одним из крупнейших гидроэнергетических проектов в мире. Также активно внедряются малые гидроэлектростанции для энергоснабжения удаленных районов.

### 2. Ветроэнергетика:

- *Ветряные электростанции:* Россия имеет обширные территории с подходящими условиями для ветроэнергетики. Проекты ветроэлектростанций активно разрабатываются в различных регионах, таких как Калининградская область и Республика Карелия.

- *Малая ветроэнергетика:* В последние годы наблюдается повышенный интерес к малым ветроэлектростанциям, которые могут быть установлены на удаленных и труднодоступных территориях. Эти установки могут предоставлять энергию для отдаленных поселений, что особенно важно в суровых климатических условиях Севера [4, с. 15].

Развитие ветроэнергетики предоставляет России возможность диверсификации энергетического портфеля и сокращения зависимости от традиционных источников, таких как уголь и природный газ. Поддержка и инвестиции в проекты ветроэнергетики способствуют созданию более устойчивой и экологически чистой энергетической системы.

### 3. Солнечная энергия:

Солнечная энергия – это энергия, излучаемая Солнцем в виде электромагнитного излучения, которое можно использовать для генерации электроэнергии. Процесс получения энергии от Солнца включает несколько основных этапов, и его можно описать математическими формулами.

#### 1. Интенсивность Солнечного Излучения (I):

Интенсивность солнечного излучения – это количество энергии, поступающее на единичную площадку, перпендикулярную лучам солнечного света. Эта величина зависит от расстояния от Солнца и может быть выражена следующей формулой:

$$I = \frac{L}{4\pi D^2}$$

где:

- $I$  – интенсивность солнечного излучения,
- $L$  – светимость Солнца,
- $D$  – расстояние от Солнца до Земли.

Солнечная постоянная – это среднее значение интенсивности солнечного излучения на внешней границе атмосферы Земли и используется как стандартный показатель солнечной активности. Она определяется следующим образом:

$$S = \frac{L}{4\pi r^2}$$



где:

- $S$  – солнечная постоянная,
- $L$  – светимость Солнца,
- $r$  – расстояние от Солнца до внешней границы атмосферы Земли.

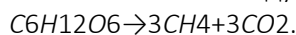
Это стандартное значение солнечной постоянной, которое используется в солнечной энергетике. Величина  $S_0$  равна примерно  $1361 \text{ Вт/м}^2$ . Энергия, поступающая на единичную площадку поверхности Земли, может быть рассчитана с использованием закона Больцмана:

$$E = S_0 \cdot (1 - A) \cdot \cos(Z)$$

Эти математические формулы помогают описать процессы, связанные с получением солнечной энергии и её использованием для генерации электроэнергии, а также позволяют оптимизировать эффективность солнечных энергетических установок [6, с. 20].

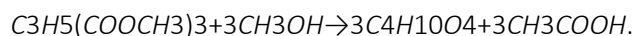
#### 4. Биоэнергетика:

• *Биомасса и биогаз:* Использование биомассы и биогаза для производства энергии представляет собой перспективное направление в России. Проекты, связанные с производством биогаза из органических отходов, активно развиваются. Биогаз может быть произведен путем анаэробного биологического разложения органического материала. Реакция анаэробного распада органического вещества может быть описана следующей упрощенной формулой:



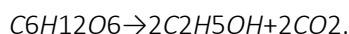
где  $C_6H_{12}O_6$  – глюкоза, а  $CH_4$  и  $CO_2$  – метан и углекислый газ, соответственно.

Производство биодизеля из растительных масел может быть представлено следующей реакцией трансэфицирования:



где  $C_3H_5(COOCN_3)_3$  – триэтиловый эфир глицерина, а  $C_4H_{10}O_4$  – триглицерид, основной компонент биодизеля.

Производство биоэтанола из сахара может быть представлено следующей ферментативной реакцией:



Эти формулы представляют упрощенные модели процессов биоэнергетики. В реальности ферментативные и химические процессы подвергаются дополнительным параметрам и факторам, таким как температура, давление и катализаторы [10, с. 163].

#### 5. Геотермальная энергия:

• *Геотермальные установки:* Несмотря на меньшее распространение, геотермальные ресурсы также используются в определенных регионах. Например, на Камчатке существуют проекты геотермальных установок. Математические формулы, связанные с геотермальной энергией, включают законы теплопередачи и вычисление теплового потока.

Закон Фурье описывает теплопроводность в материалах и выражается формулой:

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

1. где:

- $Q$  – тепловой поток через материал,
- $k$  – коэффициент теплопроводности материала,
- $A$  – площадь поперечного сечения,
- $\frac{dT}{dx}$  – градиент температуры по длине материала.

Уравнение теплопроводности описывает распределение температуры в материале в зависимости от времени и координаты:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$$

где:

- $\frac{\partial T}{\partial t}$  – изменение температуры по времени,
- $\alpha$  – теплопроводность материала,
- $\nabla^2 T$  – оператор Лапласа температуры.

#### 6. Особенности использования морской энергии:

- *Энергия приливов и волн:* Россия обладает обширным прибрежным поясом, что создает потенциал для использования морской энергии. Проекты по энергии приливов и волн находят поддержку в стране.

Развитие и диверсификация возобновляемых источников энергии в России являются важными шагами для создания устойчивой и энергоэффективной системы, а также для снижения зависимости от традиционных источников энергии.

*Экологические преимущества возобновляемых источников.*

Одним из главных экологических преимуществ возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является существенное снижение выбросов парниковых газов, таких как углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и метан. В отличие от традиционных источников энергии, таких как уголь и нефть, ВИЭ не создают вредных отходов, которые усиливают эффект парникового газа, способствуя борьбе с изменением климата. Сокращение этих выбросов не только снижает воздействие на климат, но также оказывает положительное воздействие на качество атмосферы и здоровье человека. Парниковые газы являются основной причиной глобального потепления, и переход к ВИЭ является важным шагом в направлении уменьшения этих негативных воздействий на нашу планету [10, с. 182].

Возобновляемые источники энергии в значительной мере содействуют улучшению качества воздуха за счет отсутствия выбросов вредных веществ при производстве электроэнергии. Примером является солнечная энергия, которая основывается на фотоэлектрическом эффекте и не производит вредных выбросов в процессе генерации электроэнергии. В отличие от традиционных электростанций, работающих на ископаемых топливах, солнечные установки не взаимодействуют с атмосферой, не создавая дыма, газовых выбросов или других загрязнителей, что приводит к значительному снижению загрязнения воздуха.

Другим примером является ветровая энергия. Ветрогенераторы, используемые для производства электроэнергии, также не создают выбросов в атмосферу в процессе работы. Энергия ветра может быть эффективно преобразована в электроэнергию без сжигания топлива, что значительно снижает загрязнение воздуха и влияние на климат.

Такие технологии не только смягчают отрицательное воздействие человеческой деятельности на атмосферу, но и способствуют улучшению здоровья человека и снижению затрат на медицинское обслуживание, связанного с заболеваниями, вызванными загрязнением воздуха.

Процессы добычи и транспортировки традиционных источников энергии могут привести к загрязнению водных ресурсов нефтепродуктами и химическими веществами. Возобновляемые источники, не требующие подобных процессов, способствуют сохранению чистоты водоемов и ограничению негативного воздействия на экосистемы. Например, традиционная добыча и использование нефти и газа часто связаны с риском разлива нефти в морских и пресных водах. Примером подобного экологического инцидента является катастрофа с танкером Exxon Valdez в 1989 году в заливе Принца Уильяма, что привело к серьезному загрязнению вод Тихого океана [5, с. 22].

С другой стороны, возобновляемые источники, такие как гидроэнергия, предоставляют возможность генерации электроэнергии без создания значительных вредных отходов. Например, солнечные электростанции не требуют прямого воздействия на водные ресурсы и не представляют риска для морской жизни. Таким образом, использование ВИЭ помогает сохранить чистоту водных экосистем и поддерживает устойчивость водных ресурсов.

В России, где деятельность нефтедобывающих компаний имеет стратегическое значение, возобновляемые источники энергии представляют собой важный инструмент для снижения экологического воздействия на водные системы.

- сокращение рисков проливов нефти. На протяжении многих лет нефтяные проливы становились серьезной угрозой для водных ресурсов в регионах добычи нефти. Внедрение возобновляемых источников энергии в этих регионах, таких как солнечные станции или ветрогенераторы, может снизить зависимость от нефтяных операций и, следовательно, уменьшить риск загрязнения водных бассейнов нефтепродуктами;

- ограничение тепловых выбросов в реках. Процессы, связанные с тепловой генерацией водохранилищ для нужд энергетики, могут создавать проблемы для экосистем рек и водных организмов. Внедрение гидроэнергетических установок и солнечных электростанций вместо

традиционных тепловых источников может помочь снизить тепловые выбросы и сохранить биоразнообразие в водных экосистемах.

Такие меры демонстрируют, как использование возобновляемых источников энергии может прямо влиять на снижение вредного воздействия на водные ресурсы и способствовать устойчивому развитию регионов, зависящих от природных водных систем.

Добыча традиционных источников энергии, таких как уголь и нефть, часто сопряжена с разрушительными методами добычи, которые влияют на природные экосистемы. Использование ВИЭ минимизирует потребность в эксплуатации природных ресурсов, таких как угольные месторождения или нефтяные скважины, сокращая экологическое давление на земельные угодья и биоразнообразие [9, с. 19].

В России, как стране с богатыми природными ресурсами, использование возобновляемых источников энергии может значительно снизить экологическое давление, связанное с добычей традиционных источников. Примерами могут служить:

- *Гидроэнергетика* – в России расположены множество водохранилищ и рек, предоставляющих огромный потенциал для гидроэнергетики. Проекты по строительству гидроэлектростанций, таких как Саяно-Шушенская ГЭС, не только способствуют снижению зависимости от традиционных источников энергии, но и уменьшают потребность в добыче и транспортировке угля;

- *Ветроэнергетика* – с развитием ветроэнергетических технологий в России становится возможным использование ветряных ферм на прибрежных участках и в открытых районах. Это позволяет избежать экологически вредной добычи и транспортировки природных ресурсов, которые традиционно используются для производства электроэнергии;

- *Солнечная энергия* – Россия, несмотря на свой холодный климат, обладает огромным потенциалом для использования солнечной энергии, особенно в южных регионах. Внедрение солнечных электростанций позволит уменьшить необходимость в добыче и переработке нефти для производства электроэнергии.

Таким образом, переход к возобновляемым источникам энергии в России не только снизит давление на природные ресурсы, но также содействует снижению негативного воздействия добычи на экосистемы, сохраняя природные богатства страны для будущих поколений.

Процессы конвертации традиционных источников энергии, особенно тепловой энергии, часто сопровождаются большими потерями. Возобновляемые источники, такие как гидроэнергия и солнечная энергия, позволяют более эффективно использовать энергию без значительных потерь, что снижает общее энергетическое потребление и связанный с этим экологический след. Возобновляемые источники, такие как гидроэнергия и солнечная энергия, позволяют более эффективно использовать энергию без значительных потерь, что снижает общее энергетическое потребление и связанный с этим экологический след.

Гидроэнергетика является одним из важных направлений возобновляемых источников энергии в России. Множество водохранилищ и рек в стране предоставляют уникальные возможности для строительства гидроэлектростанций (ГЭС). Примером успешной реализации является Саяно-Шушенская ГЭС в Красноярском крае. Эта станция, введенная в эксплуатацию в 2009 году, не только обеспечивает значительный объем электроэнергии, но и минимизирует энергетические потери благодаря использованию потенциала течения воды для производства электричества [1, с. 328].

Комплексное использование гидроэнергии в России сокращает энергетический отход и вносит вклад в устойчивое развитие, обеспечивая стабильное и экологически чистое энергоснабжение.

Таким образом, необходимо активизировать научные исследования в области возобновляемых источников энергии с целью разработки более эффективных технологий и методов их интеграции. Инвестиции в фундаментальные и прикладные исследования могут способствовать разработке инновационных решений, увеличивающих эффективность и снижающих эксплуатационные затраты.

Также необходимо совершенствование энергетической инфраструктуры, включая сети передачи электроэнергии, хранения энергии и зарядных станций для электротранспорта, играет

ключевую роль в успешном внедрении ВИЭ. Инвестиции в современные технологии и обновление существующей инфраструктуры помогут обеспечить стабильное и эффективное функционирование возобновляемых источников энергии.

Улучшить правовую базу в области возобновляемых источников энергии, включая стандарты и лицензирование. Это создаст прозрачные правила игры, укрепит права инвесторов и предоставит стабильность для развития индустрии ВИЭ в России. Реализация данных перспектив и рекомендаций может создать благоприятные условия для устойчивого развития энергетического сектора России, сокращая отрицательное воздействие на окружающую среду и способствуя достижению глобальных целей по устойчивому развитию.

**Заключение.** Внедрение возобновляемых источников энергии в Российской Федерации представляет собой перспективный и важный шаг в направлении устойчивого развития и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Рассмотренные в данной статье экологические преимущества ВИЭ, такие как снижение выбросов парниковых газов, улучшение качества воздуха и ограничение загрязнения водных ресурсов, подчеркивают необходимость перехода к чистым источникам энергии.

Однако, для успешной реализации перехода к возобновляемым источникам энергии в России требуется комплексный подход. Научные исследования, создание благоприятной экономической среды, развитие инфраструктуры, образование общественности и международное сотрудничество играют ключевую роль в достижении этой цели.

С учётом текущих тенденций в мировой энергетике и стремления к устойчивому будущему, Россия имеет возможность занять ведущую роль в развитии возобновляемых источников энергии, что не только поддержит экологическую стабильность, но и способствует экономическому и социальному прогрессу страны.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

1. Абрамов, И. О. (2019). "Энергетика будущего: возобновляемые источники энергии в России." Издательство "Энергополис".
2. Белкин, А. Л. (2020). "Экологические и социальные аспекты развития возобновляемой энергетики в России." Журнал "Экологические технологии и ресурсосбережение."
3. Васнецов, Н. В. (2018). "Роль солнечной энергии в современной энергетике России." Московский энергетический институт.
4. Григорьев, А. В. (2021). "Экономический анализ использования ветровой энергии в России." Журнал "Энергетическая экономика."
5. Данилов, П. М. (2017). "Гидроэнергетика как один из приоритетных источников энергии в России." Вестник Российской академии наук.
6. Козлов, Е. А. (2019). "Технологические аспекты использования солнечной энергии в холодных климатических условиях России." Энергетические технологии.
7. Лебедев, В. И. (2018). "Проблемы и перспективы развития ветроэнергетики в России." Экология и промышленность России.
8. Мельников, А. П. (2020). "Энергетическая эффективность возобновляемых источников энергии в России." Энергетический журнал.
9. Новиков, С. В. (2017). "Сравнительный анализ экологических аспектов ветровой и гидроэнергетики в России." Журнал "Экология и промышленность."
10. Федоров, Д. С. (2019). "Оценка социальных последствий перехода на возобновляемую энергию в России." Экономический анализ: теория и практика.

\*\*\*\*\*

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE RUSSIAN FEDERATION

Rudoy V.I., Masaeva L.M., Eliphanov M.U.

*This article is a study of the environmental aspects of using renewable energy sources (RES) in the Russian Federation. The authors analyze the advantages associated with the transition to clean energy sources, such as the reduction of greenhouse gas emissions and the limitation of water resource pollution. Challenges facing the integration of RES are also addressed, including financial, organizational, and technological aspects. The article also provides perspectives on the development of the RES sector in Russia, highlighting key aspects such as scientific research, creating a favorable economic environment, infrastructure renewal, and public education. Finally, the importance of a comprehensive approach and international cooperation for the successful implementation of the transition to sustainable energy in the context of the Russian energy system and global climate change challenges is emphasized.*

**Keywords:** *renewable energy sources, Russia, ecology, sustainable development, economic efficiency, infrastructure.*

---

#### Сведения об авторах:

**Рудой Валерий Игоревич,**

Забайкальский государственный университет,  
младший научный сотрудник,  
г. Чита, Россия

E-mail: [valera\\_rud\\_99@mail.ru](mailto:valera_rud_99@mail.ru)

**Масаева Лиза Мусаевна,**

кан. биологических наук, доцент кафедры "Безопасность жизнедеятельности",  
Грозненского государственного нефтяного технического университета им.акад.  
М.Д.Миллионщикова  
г. Грозный, Российская федерация.

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

**Элипханов Мансур Умарович,**

старший преподаватель кафедры экологии и БЖ, Чеченский государственный  
педагогический университет  
г. Грозный, Российская федерация.

E-mail: [elipkhanov83@bk.ru](mailto:elipkhanov83@bk.ru)

УДК 504.05

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ПЕРЕГРУЗКЕ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ ФИЛИАЛА ГУП РК «КМП» «КЕРЧЕНСКИЙ ТОРГОВЫЙ ПОРТ»**

**Сытник Наталья Александровна**

*В работе представлены результаты экологического мониторинга акватории Филиала Государственного унитарного предприятия Республики Крым «Крымские морские порты» «Керченский торговый порт». Проведена оценка загрязнения морской воды и донных отложений в процессе осуществления производственной деятельности предприятия. За исследуемый период в Филиале было установлено 7 действующих выпусков ливневых сточных вод в Керченскую бухту Керченского пролива, объем сброса сточных вод от которых за год составил 65146,7 м<sup>3</sup>.*

*Анализ проведенных исследований показал, что гидрологические и гидрохимические показатели водной среды и донных отложений исследуемой акватории не выходили за пределы диапазона многолетних наблюдаемых концентраций и находились в пределах, характерных для вод Керченского пролива.*

*Гидробиологические исследования позволяют сделать вывод о высоком уровне развития фито- и зооценоза. Качественный состав альгоценоза и зоопланктона соответствовал сезонной динамике развития организмов в летний период.*

**Ключевые слова:** *экологический мониторинг, акватория, ливневые выпуски, источники сбросов загрязняющих веществ, донные отложения, морской торговый порт.*

Морские порты Российской Федерации имеют стратегическое значение для развития народно-хозяйственного комплекса и обеспечения экспортных потребностей страны. Для соответствия торговым и транспортным потребностям государства морские порты России должны предоставлять конкурентоспособную на международном уровне портовую инфраструктуру и оказывать качественные услуги в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе [1]. Потребность в долгосрочном планировании особенно остро ощущается в сфере развития портовой инфраструктуры – жизненный цикл проектов в морских портах охватывает десятилетия, что обозначает необходимость долгосрочного прогнозирования спроса на портовую инфраструктуру, её влияния на экономику и экологию [2].

В наибольшей степени нежелательные экологические последствия проявляются в период строительства морских портов и их масштабной реконструкции. Именно в это время происходит уничтожение прибрежных донных биоценозов. После введения в строй уже сама непосредственная эксплуатация причалов и различных терминалов при осуществлении погрузочно-разгрузочных операций со строгим соблюдением норм, правил и имеющегося природоохранного законодательства не оказывает столь существенного воздействия на биологические компоненты прибрежных экосистем. В этот период формируются новые сообщества гидробионтов, соответствующие новому комплексу факторов. Наибольшую опасность для биоты экосистем акваторий морских портов в процессе их функционирования несет загрязнение водной среды различными токсическими веществами, возникающее в результате аварий, потерь при погрузочно-разгрузочных работах, эксплуатации механизмов, утечки нефтепродуктов и нефтесодержащих вод, неконтролируемого сброса хозяйственно-бытовых

стоков и пр. В целом, экосистемы акваторий морских портов испытывают разнообразное прямое и опосредованное антропогенное воздействие [3].

Поэтому для определения влияния деятельности порта на окружающую среду необходим комплекс объективных оценок этого влияния. Оценки деятельности подобного рода могут и должны служить основой планирования развития портов, совершенствования их инфраструктуры.

В настоящее время разработка оценок экологических последствий увеличения объемов морских перевозок и их технического обеспечения в Керченском регионе особенно актуальны [4].

**Цель исследования** – анализ экологического состояния акватории Керченского пролива в районе проведения работ по перегрузке навалочных грузов филиала ГУП РК «КМП» «Керченский торговый порт».

**Материалы и методы исследования.** Материалами для данного исследования являлись экологическая документация филиала ГУП РК «КМП» «Керченский торговый порт», а также фондовые материалы и статистические данные Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерства экологии и природных ресурсов Республики Крым.

Теоретической базой научной работы служили результаты научных исследований, представленные в трудах отечественных и зарубежных ученых А.К. Виноградова, Б.Н. Панова и др. [3-7].

При проведении исследований был использован комплекс методов, в том числе общенаучных: анализа и синтеза, сравнения, системного анализа и научных абстракций.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Филиал Государственного унитарного предприятия Республики Крым «Крымские морские порты» «Керченский торговый порт» (далее – Филиал), расположен на берегу обширной, хорошо защищенной Керченской бухты. Ширина бухты при входе, между мысами Ак-Бурун и Еникале – 5 км. В вершину бухты впадает речка Мелек-Чесме, в акваторию Филиала впадает река Булганак. *На подходах к морскому порту расположен Керчь-Еникальский канал, Керченский подходной канал (рис.1).*



Рисунок 1. Схема акватории филиала Государственного унитарного предприятия Республики Крым «Крымские морские порты»

«Керченский торговый порт»

*Морской порт принимает суда длиной до 200 метров и осадкой до 8 метров. Порт оснащен современным оборудованием, перегрузочными машинами и механизмами, позволяющими перерабатывать 2,5 млн. т в год генеральных грузов, включая контейнеры, навалочные грузы, колесную автотехнику, зерновые, непосредственно у причалов порта, и до миллиона тонн на рейде.*

Согласно данным Филиала общее количество перерабатываемых грузов за 2021 год составило 553,4 тыс. тонн.

С ростом размеров судов и объемов перевозки навалочно-насыпных грузов происходят изменения в технологии их перегрузки, основанные на использовании прогрессивных технических решений. Вместе с тем обостряются проблемы, связанные с негативными воздействиями перегрузочных работ на окружающую среду в силу особенностей грузов этой категории. Процессы пылеобразования приводят к загрязнению атмосферного воздуха, водного бассейна и прилегающей территории. Загрязнению водной среды способствует поступление ливневых стоков, содержащих вредные вещества.

Как показывает практика работы морских и речных портов по перегрузке и хранению грузов, основное воздействие на окружающую среду оказывают перегрузочные процессы с пылящими грузами. К этой категории грузов относятся сода, песок, а также металлолом, бобовые, зерновые и семена [8].

Источниками вредного воздействия на окружающую среду являются также и выбросы теплоэнергетических установок административного здания порта и судов, стоящих у причала. При работе трубы вспомогательного двигателя судна в атмосферу выделяются такие загрязняющие вещества как оксиды азота, сажа, окись углерода, предельные углеводороды.

Количественные показатели загрязняющих веществ зависят от схемы механизации. Применяемая на исследуемом объекте традиционная крановая схема механизации приводит к потерям груза от 1,0 до 2,3 % от грузооборота, что приводит к превышению показателей запыленности воздуха в десятки раз по сравнению с установленными санитарными нормами.

При хранении сыпучих грузов на открытых складах потери груза от пылеуноса лежат в пределах от 0,1 до 0,3 кг/т при удельном пылеуносе от 1,65 до 9 мг/м<sup>2</sup>·в секунду. При этом запыленность воздуха достигает 500 мг/м<sup>3</sup>.

Филиал ГУП РК «КМП» «Керченский торговый порт» осуществляет пользование поверхностным водным объектом – Керченской бухтой Керченского пролива, находящимся в федеральной собственности Российской Федерации.

За исследуемый период в Филиале было установлено 7 действующих выпусков ливневых сточных вод в Керченскую бухту Керченского пролива.

Ливневая канализация раздельная. Дождевые воды отводят по одной сети труб и каналов с выпуском в водный объект. Хозяйственные бытовые сточные воды по существующим сетям отводятся в общую сеть городской канализации.

Ливневая канализация оснащена дождеприемниками, горизонтальными отстойниками, колодцами технического назначения и ливневыпусками.

С целью объективной оценки влияния ливневых сточных вод, отводимых с промплощадки Филиала, на экологическое состояние водной среды проводился мониторинг системы сбора и очистки сточных вод на территории предприятия, состава и свойств сточных вод, а также мониторинг донных отложений.

Расположение и количество точек наблюдения было выбрано в соответствии со схемами ливневой канализации Филиала. Отбор проб осуществлялся как в ливневых колодцах, так и в точках ливневыпуска: в 2-х ливневых колодцах (лк1 и лк2) и 6 точках ливневыпуска и смешения вод в районах выпуска ливневых вод в акваторию Филиала, в районе причалов №№ 2-7. Кроме того были отобраны пробы в р. Булганак, протекающей по территории города и впадающей в Керченскую бухту в акватории Филиала. Схемы станций отбора проб и расположение 7 ливневыпусков Филиала представлены на рисунке 2.

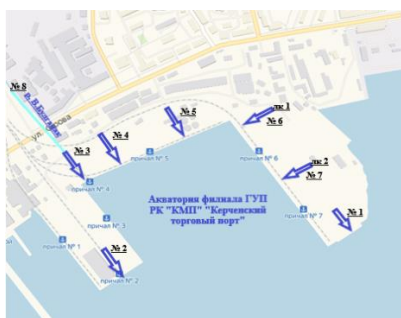


Рисунок 2. Схемы станций отбора проб и расположение 7 ливневыпусков Филиала

Объем сбрасываемых сточных вод представлен в таблице 1.

Периодичность отбора и анализа сточных (ливневых, дождевых и талых) вод с территории Филиала в акваторию Керченского пролива определена программой производственного экологического контроля и составляет 1 раз в квартал. Состав и свойства таких вод определяются на выпусках их в водный объект.



С целью объективной оценки влияния ливневых сточных вод, отводимых с промплощадки Филиала, на экологическое состояние водной среды проводился мониторинг системы сбора и очистки сточных вод на территории предприятия, состава и свойств сточных вод, а также мониторинг донных отложений.

За весь период наблюдений величин растворенного кислорода ниже ПДК зафиксировано не было. Превышение величин биологического потребления кислорода также не зафиксировано, за исключением единого случая в июне в районе фоновой станции. Кислородный режим исследуемых акваторий был благоприятным для жизнедеятельности водных организмов.

Таблица 1

**Объем сброса сточных вод в акваторию Керченского пролива**

Выпуски	Объем сброса сточных вод, м <sup>3</sup> /год
Выпуск № 1	11 115,205
Выпуск № 2	6 230,350
Выпуск № 3	12 693,948
Выпуск № 4	11 030,022
Выпуск № 5	5 650,900
Выпуск № 6	15 320,975
Выпуск № 7	3 105,300

Источник: Составлено автором на основании экологической документации предприятия

Содержание биогенных элементов (минеральных форм азота и фосфатов), основных ионов (хлоридов и сульфатов) также было в пределах многолетних наблюдаемых величин. Превышений ПДК не зафиксировано.

Гидролого-гидрохимическое состояние водных масс акватории Керченской бухты в зоне деятельности Филиала в 2021 г. было удовлетворительными – величины контролируемых показателей соответствовали среднемноголетним наблюдаемым значениям.

Донные отложения акватории, как наиболее консервативная составляющая водной среды, контролировались по следующим показателям: водородный показатель, потери массы при прокаливании (сухой остаток), аммоний обменный, подвижные формы железа, нефтепродукты, сульфаты, общий фосфор, общий азот, подвижный фосфор. Содержание данных показателей в донных отложениях не нормируется.

Диапазон и средние концентрации контролируемых показателей в донных отложениях акватории Керченской бухты в зоне деятельности Филиала в 2021 г. представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Показатели качества донных отложений акватории Филиала в июне 2021 г**

Наименование показателя	Единица измерения	Концентрации		
		Минимальная	Максимальная	Средняя
pH	ед.	7,02	7,95	7,45
Сухой остаток/потери массы при прокаливании	%	24,2	44,5	30,4
Подвижная форма фосфора	мг/кг	10,0	268,0	140,2
Общий фосфор	мг/кг	30,4	812,2	424,7
Аммоний обменный	мг/кг	16,8	243,8	141,5
Общий азот	мг/кг	2430	35140	20297
Подвижная форма железа	мг/кг	12800	27870	21584
Нефтепродукты	мг/кг	1540	4208	2347
Сульфаты	мг/кг	183,6	275,6	230,8

Источник: Составлено автором на основании экологической документации предприятия

Величина водородного показателя донных отложений изменялась в небольшом диапазоне – 7,02-7,95 ед. Наименьшее значение этого показателя определено в донных отложениях в районе причалов №№ 4 и 5.

Циклы фосфора, так и азота, в водных экосистемах не являются замкнутыми и потребляются растениями эти биогенные элементы одновременно. Если для азота большое значение имеет обмен у границы «воздух-вода», чем у границы «вода-дно», то фосфор частично выводится из цикла при обмене с донными осадками, особенно в мелководных прибрежных зонах. В связи с этим осуществлялся контроль содержаний азота общего фосфора в донных отложениях исследуемых акваторий.

В прибрежной зоне концентрация фосфора общего изменялась в большом диапазоне – 30,4-812,2 мг/кг сухого вещества, составляя в среднем 424,7 мг/кг сухого вещества. В донных отложениях причалов №№ 1-7 минимальное количество, составляющее 177,6 мг/кг сухого вещества, зафиксировано в районе причала № 3, максимальное – причала № 7.

Диапазон концентраций подвижной формы фосфора в донных отложениях был широким – 10,0-268,0 мг/кг сухого вещества при средней величине, равной 140,2 мг/кг сухого вещества. В донных отложениях в районах причалов №№ 3, 5 его количество было ниже среднего значения.

В донных отложениях в районе причала № 1 концентрация азота общего была ниже средней величины, равной 20297 мг/кг сухого вещества, а наибольшее содержание – 35140 мг/кг определено в районе причала № 4.

В донных отложениях исследуемой акватории концентрация аммония обменного изменялась в пределах 16,8-243,8 мг/кг сухого вещества, составляя в среднем 141,5 мг/кг сухого вещества. Его наибольшее содержание определено в районе причала № 4.

В донных отложениях содержание сульфатов изменялось в пределах 183,6-275,6 мг/кг сухого вещества, составляя в среднем 230,8 мг/г сухого вещества.

Уровень загрязнения донных отложений железом был достаточно низким. Так, содержание металла изменялось в пределах 12800-27870 мг/кг сухого вещества и не превышало величину геохимического фона, характерного для осадков Азово-Черноморского бассейна (36800 мг/кг сухого вещества).

В районе причалов №№ 1 и 2 содержание железа составило 23670 и 22430 мг/кг сухого вещества. На участке акватории причалов №№ 3-7 в наименьшей степени были загрязнены железом донные отложения у причала № 3 – 14710 мг/кг сухого вещества, к причалу № 7 концентрация металла устойчиво возрастала до 26670 мг/кг сухого вещества.

В донных отложениях прибрежной зоны содержание нефтепродуктов изменялось в большом диапазоне 1540-4208 мг/кг сухого вещества, составляя в среднем 2346,8 мг/кг сухого вещества. В районе причалов №№ 3-7 наименьшее содержание, составляющее 1760 мг/кг сухого вещества, зафиксировано у причала № 6, к причалу № 7 оно увеличилось до 2040 мг/кг сухого вещества, к причалу № 3 – 3380 мг/кг сухого вещества. В донных отложениях у причалов №№ 1, 2 концентрация нефтепродуктов составила соответственно 2926 мг/кг, 1917 мг/кг и 2160 мг/кг сухого вещества.

Анализ фракционного состава показал, что в нефтепродуктах, аккумулированных донными отложениями акватории прибрежной зоны, доминировала сильно трансформированная фракция – смолы и асфальтены, составляя в среднем 67%.

Анализ многолетней динамики содержания нефтепродуктов в донных отложениях прибрежной зоны показал достаточно высокий уровень их загрязнения на протяжении ряда лет, что вызвано, прежде всего, особенностями гранулометрического состава осадков: донные отложения прибрежной зоны бухты представлены в основном илистыми фракциями, обладающими высокими сорбционными свойствами [4, 7, 8].

Для оценки влияния деятельности предприятия на морскую экосистему контролировались также гидробиологические показатели акватории – качественный и количественный состав планктоценоза (фито- и зоопланктон) и донных организмов.

Гидробиологические исследования показали высокий уровень развития фитоценоза. Качественный состав альгоценоза соответствовал сезонной динамике развития водорослей в летний период. Уровень развития фитопланктона в основном был обусловлен массовым

развитием мелкоразмерной, гетеротрофной перидиниевой *E.cordata* и довольно крупной диатомовой *S.bergonii*.

Уровень развития кормового зоопланктона был также высок. Качественный состав зоопланктона по всему исследованному району был характерным для мелководных прибрежных участков Черного моря и соответствовал сезонной динамике развития организмов в летний период. Высокие показатели развития кормового зоопланктона в районе исследования формировали из веслоногих раков *A.tonsa*, временных обитателей пелагиали – личинки *Gastropoda*, *Lamellibranchiata* и *Polychaeta*.

Стоит отметить, что экосистемы всех морских портов классического типа, состоящие из подсистем пелагиали, перифитали и бентали, формируются и функционируют на основании общих экологических закономерностей. В этой связи исследование важнейших абиотических и биотических особенностей экосистем акваторий морских портов необходимо для определения их ассимиляционного потенциала в целях устойчивого развития региона [10].

**Выводы.** Мониторинг экологического состояния акватории Керченской бухты в условиях производственной деятельности Филиала позволил дать качественную и количественную оценку антропогенной нагрузки на водную среду.

Анализ проведенных исследований показал, что гидрологические и гидрохимические показатели водной среды и донных отложений исследуемых акваторий не выходили за пределы диапазона многолетних наблюдаемых концентраций и находились в пределах, характерных для вод Керченского пролива.

В целом, химико-токсикологическое состояние исследуемой акватории оценивается как удовлетворительное, по отдельным показателям наблюдалось снижение уровня загрязненности вод и донных отложений, негативного влияния на гидробионты не выявлено.

Мониторинг портовых зон является необходимой мерой по контролю их состояния, поскольку влияние антропогенных факторов отражается не только на портовой территории, но и на прилегающих к порту объектах – поверхностных водоемах, населённых пунктах, сельскохозяйственных территориях, граничащих с портовыми и прибрежными зонами.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Распоряжение Правительства РФ от 30.08.2019 N 1930-р «О Стратегии развития морской деятельности в РФ до 2030 года» / «Собрание законодательства РФ», 02.09.2019, N 35, ст. 5013.
2. Южилин, В. А. Состояние и перспективы развития морских портов в России // Наука и транспорт. – 2019. – № 6. – С. 8–10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rostransport.com/science\\_transport/pdf/32-33/8.pdf](http://rostransport.com/science_transport/pdf/32-33/8.pdf) (дата обращения: 22.11.2023).
3. Экосистемы акваторий морских портов Черноморско-Азовского бассейна : (Введение в экологию морских портов) : [монография] / А. К. Виноградов, Ю. И. Богатова, И. А. Синегуб. – Одесса : Астропринт, 2012. – 528 с.
4. Панов Б. Н. Влияние перевалки грузов и дноуглубительных работ в Керченском морском торговом порту на загрязнение его акватории соединениями тяжелых металлов и нефтепродуктами / Б. Н. Панов, Е. О. Спиридонова, Д. Б. Панов // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: Географические науки. – 2014. – Т.27 (66), №2. – С. 87-96.
5. Manasbay A., Beisengaliev B., Turekulova A. et al. Impact of the marine transport system and public administration on the environmental protection. // Journal of environmental Management and Tourism. – 2021. – Vol. 12, Issue3. – P. 654-667.
6. Свецкий А.В. – Обеспечение безопасности и охраны окружающей среды при международных морских перевозках углеводородов // Международное право. – 2022. – № 4. – С. 12 – 22. DOI: 10.25136/2644-5514.2022.4.39140 EDN: FBRXSP URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=39140](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=39140)
7. Куделькин Н.С. Правовые вопросы предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов // Юридические исследования. 2021. № 7. С. 74–84.

8. Сытник Н.А. Оценка воздействия на акваторию Керченского пролива перевалки грузов на примере филиала ГУП РК «Крымские морские порты» «Керченский торговый порт» / Н.А. Сытник, В.В. Тарасова // В сборнике: Водные биоресурсы и аквакультура Юга России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции приуроченной к 20-летию открытия в Кубанском государственном университете направления подготовки "Водные биоресурсы и аквакультура". Отв. ред. Г.А. Москул. 2018. С. 239-242.

9. Флот встраивают в ситуацию // Коммерсантъ. – 2020. – №63.

10. Сытник Н.А. Социально-экономические и экологические аспекты обеспечения устойчивого развития Республики Крым // Вестник КГМУ. 2022. № 3. С. 399-426.

\*\*\*\*\*

#### ECOLOGICAL CONDITION OF THE KERCH STRAIT WATER AREA IN THE AREA OF BULK CARGO TRANSshipment OPERATIONS AT THE KERCH TRADE PORT, A BRANCH OF GUP RK «KMP»

Sytnik N.A.

*The paper presents the results of environmental monitoring of the water area of the Branch of the State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Crimean Sea Ports" "Kerch Trade Port". The assessment of pollution of sea water and bottom sediments in the process of industrial activity of the enterprise was carried out. During the study period in the Branch there were installed 7 operating storm water outlets into the Kerch Bay of the Kerch Strait, the volume of wastewater discharge from which for the year amounted to 65146.7 m<sup>3</sup>.*

*Analysis of the conducted studies showed that hydrological and hydrochemical indicators of the aquatic environment and bottom sediments of the studied water area did not exceed the range of long-term observed concentrations and were within the limits typical for the Kerch Strait waters.*

*Hydrobiological studies suggest a high level of phyto- and zoocenosis development. The qualitative composition of algocenosis and zooplankton corresponded to the seasonal dynamics of organisms development in summer.*

**Keywords:** *environmental monitoring, water area, storm water outlets, sources of pollutant discharges, bottom sediments, commercial seaport.*

---

#### Сведения об авторах:

**Сытник Наталья Александровна**

Заведующий кафедрой экологии моря, кандидат биологических наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Керченский государственный морской технологический университет»,  
г. Керчь

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

SPIN-код 7498-7783

**ТЕХНОЛОГИЯ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ И ЗАЩИТА ОТ  
КОРРОЗИИ**

---

УДК 620.193.2

## РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СОСТАВА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

Новожилова Алия Ильдусовна,  
Валиев Айрат Данилович,  
Земский Дмитрий Николаевич,  
Линькова Татьяна Сергеевна

*Антикоррозионная защита требуется любым конструкционным изделиям и технологическому оборудованию, изготовленным из металла, так как все они испытывают на себе негативное коррозионное влияние окружающей среды в ходе эксплуатации и транспортировки в том числе. В данной статье рассмотрены маслорастворимые ингибиторы коррозии. Эти соединения обладают рядом уникальных свойств, которые делают их эффективными средствами для предотвращения коррозии технологического оборудования.*

*В процессе работы проводилась разработка консервационного состава на основе коммерчески доступных материалов, разработаны рецептуры двенадцати составов. Проведены экспериментальные исследования по определению эффективности защиты разработанных составов на основе стандартизированных методик. Определен показатель «Площадь коррозионного поражения», приведен внешний вид образцов до и после испытаний.*

*В результате исследований получен консервационный состав, обеспечивающий необходимую защиту от коррозии металлических изделий.*

**Ключевые слова:** *коррозия, металл, ингибитор коррозии, защита технологического оборудования, маслорастворимый антикоррозионный состав.*

---

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, одним из главных условий успешного функционирования любого промышленного предприятия является обеспечение надежной антикоррозионной защиты его оборудования и деталей к нему.

Важное практическое значение имеет и защита от коррозии на период транспортировки или хранения оборудования до введения в эксплуатацию. Антикоррозионная защита требуется любым инструментальным и конструкционным изделиям, изготовленным из металла, так как в той или иной мере все они испытывают на себе негативное коррозионное влияние окружающей среды [1]. Ведь коррозия не только приводит к преждевременному износу и выходу из строя оборудования, но также может стать причиной аварий и серьезных экологических проблем.

Антикоррозионная защита технологического оборудования предполагает использование различных средств, направленных на предотвращение или замедление процесса коррозии. При этом, состав должен обеспечивать надежную защиту металла от воздействия агрессивных сред и влаги [2]. Предполагается простота и удобство нанесения: состав должен легко наноситься на поверхность металла, не требуя специального оборудования и навыков. С точки зрения экологической безопасности: состав не должен выделять вредных веществ в окружающую среду и не должен оказывать негативного воздействия на здоровье людей. А также, должен сохранять свои свойства на протяжении длительного времени, не теряя эффективности защиты от внешних воздействий.

В работе поставлена задача разработать комплексный состав, сочетающий в себе преимущества жидких защитных смазок, пленкообразующих составов с маслорастворимыми ингибиторами коррозии и загустителями.

К защитным составам предъявляют следующие требования:

- высокая адгезия к поверхности металла, которая зависит от энергии взаимодействия металла с маслом. Работа адгезии представляет собой работу отрыва адсорбционного мономолекулярного слоя от металла;
- высокая когезия консерванта, которая определяется энергией связи между различными частицами смазки и характеризует её способность удерживаться на смазанной поверхности всем нанесённым слоем. Работа когезии определяет минимальную энергию разрыва столба консерванта с образованием двух новых поверхностей раздела;
- низкая коррозионная агрессивность самого консерванта по отношению к защищаемой металлической поверхности;
- фазовая стабильность консерванта во времени;
- химическая стабильность консерванта во времени, например, за счёт подавления взаимодействия с кислородом воздуха, агрессивными газами и т.п.;
- микробиологическая стабильность и способность противодействовать микробиологической коррозии;
- низкая гигроскопичность, достаточная эластичность защитной плёнки, низкая испаряемость, способность противостоять высыханию;
- высокая термо- и морозостойкость в интервале температур от -40 до +40 °С. Используется широкая номенклатура пластичных углеводородных смазок, которые можно разделить на две большие группы - неингибированные и ингибированные [3].

Также среди требований, предъявляемых к разрабатываемому антикоррозионному составу отмечены - отсутствие в составе вредных летучих веществ, требующих особых условий утилизации; антикоррозионный состав должен применяться в виде масляного раствора, без нагрева, наноситься распылением или с помощью кисти; должен легко смываться при использовании средств для мытья сильнозагрязненных поверхностей.

По характеристикам разрабатываемый состав должен отвечать заявленным требованиям, указанным в таблице 1:

Таблица 1

**Требуемые параметры разрабатываемого консервационного состава**

№ п/п	Параметр	Значение
1	Вязкость кинематическая при 40°C, сСт	30-80
2	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не менее	180
3	Температура застывания, °С, не более	-5
4	Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	850-950
5	Площадь коррозионного поражения по ГОСТ 9.054-75 (метод 1, 240 часов, Ст.10), %, не более	50

В качестве основного компонента консервационного состава было выбрано индустриальное масло, так как маслорастворимые ингибиторы коррозии являются одним из самых эффективных способов защиты металлов от коррозии. Они предотвращают коррозию, блокируя процесс окисления металлов при контакте с окружающей средой [4, 5].

Маслорастворимые ингибиторы представляют собой химические соединения, которые растворяются в маслах и смазках и обеспечивают защиту металлических деталей от коррозии. Эти соединения обладают рядом уникальных свойств, которые делают их эффективными средствами для предотвращения коррозии:

1. Ингибиторы, растворенные в масле, равномерно распределяются по всей поверхности металла. Это обеспечивает простоту использования и надежную защиту даже в труднодоступных местах.

2. Широкий спектр действия: маслорастворимые ингибиторы эффективны против коррозии различных металлов, таких как сталь, чугун, медь, алюминий и другие.

3. Устойчивость к высоким температурам: многие ингибиторы сохраняют свою эффективность даже при высоких температурах, что делает их идеальным выбором для применения в условиях повышенных температур.

4. Безопасность: большинство маслорастворимых ингибиторов безопасны для использования и не вызывают негативных последствий для окружающей среды.

В качестве ингибирующего реагента выбраны соли жирных кислот, так как они обладают такими свойствами, как адсорбция на поверхности металла - соли жирных кислот имеют тенденцию адсорбироваться на поверхности металла, образуя тонкий слой, который препятствует контакту металла с коррозионно-активной средой [6, 7]. Образуют защитную пленку. Эта пленка предотвращает доступ коррозионно-активных агентов к металлу и замедляют коррозию. Обладают буферным действием - соли жирных кислот стабилизируют значение pH раствора, что может замедлить коррозию металла [8, 9].

Итак, для обеспечения требуемого уровня защиты для разработки консервационного состава выбраны следующие составные части:

- индустриальное масло как основная часть консервационного состава;
- технический парафин, солидол технический как загустители и водоотталкивающие агенты;
- соли жирных кислот как ингибиторы коррозии.

При выборе сырья акцент был сделан на наиболее коммерчески доступные и дешевые материалы. В качестве индустриальных масел были выбраны масла производства фирмы ПАО «Газпром нефть». В качестве загустителя были выбраны парафин технический Т-1 [10] и солидол синтетический. В качестве ингибитора коррозии был выбран октанодеканоеат кальция с показателем кислотного числа не более 2 мг КОН/г, содержанием кальция в пределах 6,4 – 7,5 % и содержанием оксида кальция в пределах 9,0 – 10,5 %. Характеристики использованных масел и солидола синтетического представлены в таблицах 2-3.

Таблица 2

**Характеристики индустриальных масел**

Показатели	Масло ИГП-18 (Газпромнефть)	Масло HLP-32 (Газпромнефть)
Вязкость кинематическая при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	27,0	32,0
Индекс вязкости	92	100
Температура вспышки в открытом тигле, °C	219	229
Температура застывания, °C	-19	-38
Плотность при 20 °C, кг/м <sup>3</sup>	871	870

Таблица 3

**Характеристики солидола синтетического**

Показатели	Солидол С
Внешний вид и цвет	Однородная масса без комков от светло- до темно-коричневого цвета
Испытание коррозионного действия	выдерживает
Массовая доля свободных щелочей в пересчете на NaOH, %	0,2
Массовая доля свободных органических кислот	отсутствие
Содержание механических примесей, нерастворимых в соляной кислоте	отсутствие



Температура каплепадения, °С	75
Содержание механических примесей, %, не более	0,3
Коллоидная стабильность, % выделения масла	2-4
Влажность, %	3

Лабораторная установка получения консервационного состава представляет собой трехгорлый реактор с рубашкой и с верхнеприводной мешалкой, количество оборотов мешалки, 500 об/мин. К реактору подключен циркуляционный термостат, обеспечивающий постоянную температуру  $65 \pm 5$  °С, время процесса составляло 4 часа.

При разработке состава консервационных масел варьировалось соотношение парафина, солидола и ингибитора коррозии, выработаны 12 образцов, которые в дальнейшем подвергались испытаниям. В составах, имеющих завышенное содержание масла, наблюдаются пониженные защитные свойства в условиях испытаний, завышенное содержание парафина приводит к понижению текучести и температуры застывания состава.

Для определения наилучшего состава были проведены испытания согласно таблице 4.

Таблица 4

#### Методики испытания консервационных составов

№ п/п	Характеристика	Метод испытаний
1	Вязкость кинематическая при 40°С, сСт	По ГОСТ 33-2000
2	Температура вспышки в открытом тигле, °С	По ГОСТ 4333-2014
3	Температура застывания, °С	По ГОСТ 20287-91
4	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	По ГОСТ 3900-85
5	Площадь коррозионного поражения, %	По ГОСТ 9.054-75 метод 1

Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5

#### Данные по коррозионным испытаниям консервационных составов

№п/п	Наименование	Процент поражения по площади, %	Скорость коррозии, г/м <sup>2</sup>	Степень защиты, %
1.	Образец 1	32	0,05	69
2.	Образец 2	30	0,03	72
3.	Образец 3	30	0,034	72
4.	Образец 4	25	0,027	75
5.	Образец 5	18	0,022	78
6.	Образец 6	12	0,02	80
7.	Образец 7	5	0,009	87
8.	Образец 8	5	0,007	92
9.	Образец 9	20	0,023	79
10.	Образец 10	15	0,018	81
11.	Образец 11	25	0,029	75
12.	Образец 12	22	0,025	76

Для дальнейших испытаний в виду наилучших результатов взят состав образца 8.

Результаты испытаний на определение площади коррозионных испытаний показали соответствие состава техническим требованиям по показателю «Площадь коррозионного поражения». Результаты коррозионных испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты коррозионных испытаний образца № 8

№ образца	Время выдержки, ч	Вид поражения	Справочно			
			Площадь поверхности образца, мм <sup>2</sup>	Площадь поражения, мм <sup>2</sup>	Процент поражения по площади, %	Количество очагов поражения
2.1	240	Очаги более 1 мм.	2923,08	866,69	29,65	> 100
2.2		Очаги более 1 мм.	2810,68	1027,30	36,55	> 100
2.3		Очаги более 1 мм.	2884,98	871,84	30,22	> 100
Среднее			2872,91	921,94	32,14	> 100

Внешний вид образцов до и после испытаний можно увидеть в таблице 7.

Таблица 7

Внешний вид образцов

№	Внешний вид образца до испытания	Внешний вид образца после испытания	Примечание
1	2	3	4
2.1			Наличие большого количества очагов коррозии диаметром более 1 мм., Очаги коррозии 5 мм.
2.2			Наличие большого количества очагов коррозии диаметром более 1 мм., Очаги коррозии 5 мм.

2.3			<p>Наличие большого количества очагов коррозии диаметром более 1 мм., Очаги коррозии 5 мм.</p>
-----	---	--	--

Физико-химические свойства консервационного состава представлены в таблице 8.

Таблица 8

**Физико-химические свойства консервационного состава №8**

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Вязкость кинематическая при 40°C, сСт	45
2	Температура вспышки в открытом тигле, °С	>180
3	Температура застывания, °С	-10
4	Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	882
5	Площадь коррозионного поражения, %	32,14

Оценка результатов испытаний показала соответствие испытуемого антикоррозионного состава изначальным требованиям, обеспечивающим необходимую защиту от коррозии металлических изделий.

В работе показано, что разработка новых составов маслорастворимых ингибиторов коррозии особенно важна для обеспечения надежности и долговечности металлических деталей в различных отраслях промышленности.

**БИБЛИОГРАФИЯ**

1. Виды антикоррозионной обработки. Антикоррозийная защита, обработка материалов, защита металлов, методики защиты / К. В. Жиганов, А. Р. Дашевский, П. В. Данилов [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны, Иваново, 20–21 сентября 2017 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2017. – С. 224-229. – EDN YSRTOI.
2. Антикоррозионная защита – все современные способы защита металла от коррозии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tutmet.ru/antikorroziionnaja-zashhita-obrabotka-metalla-korrozii-sposoby.html> (дата обращения: 12.12.2023).
3. Топливо смазочные материалы и технические жидкости. Учебно-методическое пособие / А.И. Боровник [и др.] // Н.А. Поздняков, Т.А. Варфоломеева, В.М. Головач – Минск: БГАТУ. - 2010. – 212 с.
4. Средства для защиты автомобилей от коррозии: «Механизм действия и особенности применения маслорастворимых ингибиторов коррозии». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autoinstruction.ru/paper/corrosion/read/1655586014> (дата обращения: 12.12.2023).

5. Алцыбеева А. И., Левин С. Ингибиторы коррозии металлов / Справочник // Под ред. Л.И. Антропова – Л: Химия, 1968. – 264 с.
6. Каштанова, Людмила Евгеньевна. Ингибиторы коррозии сталей на основе синтетических жирных кислот : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 02.00.13 / НИИ малотоннаж. хим. продуктов.- Уфа, 1999.- 24 с.: ил.
7. Шель, Наталья Владимировна. Научные основы создания малокомпонентных антикоррозионных консервационных материалов на масляной основе : диссертация ... доктора химических наук : 05.17.03.
8. Осетров, Александр Юрьевич. Защита от коррозии стали ингибированными составами на базе товарных и отработавших масел в атмосфере, содержащей SO<sub>2</sub> : диссертация ... кандидата химических наук : 05.17.03.
9. Прохоренков, Вячеслав Дмитриевич. Разработка методов противокоррозионной защиты и технологических процессов хранения сельскохозяйственной техники : диссертация ... доктора технических наук : 05.17.03.
10. Чубарова, В. В. Технический парафин Т-1 / В. В. Чубарова // Новые технологии - нефтегазовому региону: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 24–28 апреля 2017 года. Том III. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 142-144. – EDN ZIABNR.

\*\*\*\*\*

#### DEVELOPMENT OF EFFECTIVE COMPOSITION OF CORROSION PROTECTION OF PROCESS EQUIPMENT

Novozhilova A. I., Valiev A. D., Zemsky D. N.,  
Linkova T. S.

Corrosion protection is required for any structural products and process equipment made of metal, since all of them experience a negative corrosion effect of the environment during operation and transportation, including. Oil-soluble corrosion inhibitors are considered in this article. These compounds possess a number of unique properties that make them effective media for preventing corrosion of process equipment.

In the process of work, a conservation composition was developed based on commercially available materials, formulations of twelve compositions were developed. Experimental studies were carried out to determine the effectiveness of protection of the developed compositions based on standardized method. The indicator "Corrosion damage area" was determined, the appearance of the samples before and after testing is given.

As a result of the studies, a preservation composition was obtained that provides the necessary protection against corrosion of metal products.

**Keywords:** corrosion, metal, corrosion inhibitor, protection of techno-logical equipment, oil-soluble anticorrosive composition.

---

#### Сведения об авторах:

**Новожилова Алия Ильдусовна**

Проректор по учебной работе, к.т.н.,

Автономная некоммерческая организация высшего образования

«Высшая школа науки и технологий», г. Нижнекамск

E-mail: [Aliya.n-kamsk@mail.ru](mailto:Aliya.n-kamsk@mail.ru)

**Валиев Айрат Данилович**

Заведующий научно-исследовательской лабораторией,  
Автономная некоммерческая организация высшего образования  
«Высшая школа науки и технологий», г. Нижнекамск

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

**Земский Дмитрий Николаевич**

Проректор по научной работе, к.х.н., доцент,  
Автономная некоммерческая организация высшего образования  
«Высшая школа науки и технологий», г. Нижнекамск

E-mail: [79172546004@yandex.ru](mailto:79172546004@yandex.ru)

**Линькова Татьяна Сергеевна**

Ректор, к.т.н., доцент, автономная некоммерческая организация  
высшего образования «Высшая школа науки и технологий», г. Нижнекамск

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

## 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)

---

**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 редакции:** 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», ОГРН 1226100004679),  
344114, РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, Г.О. ГОРОД РОСТОВ-НА-ДОНУ,  
Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ, УЛ БОРЯНА, Д. 20, 24

Подписано в печать 10.12.2023. Выход в свет 20.12. 2023г.

Тираж 230 экз. Заказ № 20–121/ РС–23. Цена свободная



