ISSN 2072-8158

ВОДА
ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

г. Москва

№4, 2025

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

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

- ✓ органической химии;
- ✓ биоорганической химии;
- ✓ неорганическая химия;
- ✓ 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, биологически наук и экологии, а также аспространение 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 (химическиенауки),
- ✓ 1.4.9. Биоорганическая химия (химические науки),
- ✓ 2.6.13. Процессы и аппаратыхимических технологий (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
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 РАЕН, 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:

Батаева Юлия Викторовна: *Доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела биологических технологий ФБУН Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии*

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

***Галкин Александр Фёдорович**: Доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, профессор, Институт мерзлотоведения им.П.И.Мельникова Сибирское отделение Российской академии наук*

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, прфессор 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)*

Ефремов Игорь Владимирович: *Доктор биологических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета (Оренбург)*

Кашаев Рустем Султанхамитович: *Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»*

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 биоорганической химии Института химии СГУ (Саратов)*

Селезнев Владимир Анатольевич: Доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук, филиала Самарского федерального исследовательского центра РАН (Самара)

Филатова Альбина Васильевна: Доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биоорганической химии им. академика А.С. Садыкова Академии наук Республики Узбекистан (г. Ташкент)

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:

***Bataeva Yulia Viktorovna:** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Department of Biological Technologies of the Federal State Budgetary Institution State Scientific Center for Applied Microbiology and Biotechnology*

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

***Galkin Alexander Fedorovich**: Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher, Professor, P.I. Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*

***Hasanaliev Abdulla Magomedovich**: 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)*

***Efremov Igor Vladimirovich**: Doctor of Biological Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Life Safety Department Orenburg State University (Orenburg)*

***Kashaev Rustem Sultanhamitovich**: Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State Energy University*

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)

Seleznev Vladimir Anatolyevich: Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Samara)

Filatova Albina Vasilyevna, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Institute of Bioorganic Chemistry named after Academician A.S. Sadykov of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Tashkent)

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

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Башкирцева Наталья Юрьевна, Вагапов Булат Рустемович, Фаттахов Данил Альбертович.
ВНЕДРЕНИЕ ПАРОКОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСС КЛАУСА 12

Логинова Анастасия Вячеславовна.
ФОТОКАТАЛИЗ В СОВРЕМЕННОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ 17

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Кузнецов Максим Валерьевич, Флора Руслан Леонидович.
ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В МЕСТАХ ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ, ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ 24

ЭКОЛОГИЯ

Фролов Дмитрий Андреевич.
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАСПИЯ МАХАЧКАЛИНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ 36

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Иванов Захар Александрович, Есякова Ольга Александровна, Васюк Александра Евгеньевна.
АНАЛИЗ ПРОМЫВНЫХ ВОД ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЛОИСТЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ 42

Чиши Татьяна Сергеевна, Свиридов Алексей Владиславович.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ВОД КОАГУЛЯЦИЕЙ И УГЛЕВАНИЕМ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ 49

CONTENTS

ORGANIC CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Bashkirtseva Natalia Yurievna, Vagapov Bulat Rustemovich, Fattakhov Danil Albertovich.
INTRODUCTION OF A STEAM COMPRESSOR UNIT INTO THE CLAUS PROCESS 12

Loginova Anastasia Vyacheslavovna.
PHOTOCATALYSIS IN MODERN ORGANIC SYNTHESIS 17

PHYSICAL CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Kuznetsov Maxim Valerievich, Flora Ruslan Leonidovich.
ASSESSMENT OF THE RISK OF EMERGENCY SITUATIONS IN PLACES OF PRODUCTION AND STORAGE OF HYDROCHLORIC ACID, THE POSSIBILITY OF THEIR PREVENTION AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES 24

ECOLOGY

Frolov Dmitry Andreevich.
ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE COASTAL WATERS OF THE CASPIAN SEA OF THE MAKHACHKALA COAST 36

PROCESSES AND DEVICES OF CHEMICAL TECHNOLOGIES (CHEMICAL SCIENCES)

Ivanov Zakhar Alexandrovich, Yesyakova Olga Alexandrovna, Vasyuk Alexandra Evgenyevna.
ANALYSIS OF WASHING WATERS OF THE TECHNOLOGY OF PROCESSING LAYERED PACKAGING MATERIALS 42

Chishi Tatiana Sergeevna, Sviridov Alexey Vladislavovich.
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PURIFYING HIGH-COLOR WATERS BY COAGULATION AND HEATING FOR SURFACE WATER SOURCES IN THE SVERDLOVSK REGION 49

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 661.214.232

ВНЕДРЕНИЕ ПАРОКОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСС КЛАУСА

Башкирцева Наталья Юрьевна,
Вагапов Булат Рустемович,
Фаттахов Данил Альбертович

В нефтегазовой отрасли утилизация кислых газов, таких как сероводород и углекислый газ, является ключевым аспектом обеспечения экологической безопасности и экономической эффективности. Данное исследование посвящено оптимизации процесса Клауса, используемого для извлечения элементарной серы из сероводорода. Особое внимание уделено проблеме неэффективного использования низкопотенциального пара, который, будучи невостребованным в рамках технологического цикла, приводит к значительным тепловым и энергетическим потерям. Авторы предлагают использовать парокомпрессорную установку (ПКУ) в целях повышения давления низкопотенциального пара, что позволяет интегрировать его в производственный процесс. Данное решение позволяет обеспечить снижение расхода пара среднего давления, минимизируя при этом потери тепла в аппаратах воздушного охлаждения и сокращая энергозатраты. Суммарный экономический эффект от внедрения ПКУ оценивается, по предварительным данным, в 30,5 млн рублей ежегодно за счет устранения тепловых потерь, а также сокращения потребляемой электроэнергии. Полученные результаты обосновывают востребованность механического способа утилизации пара в сравнении с термическими методами, требующими значительных затрат в плане технической реализации. Внедрение ПКУ способствует повышению рентабельности нефтегазовых предприятий, что объясняет актуальность дальнейших исследований путей практического применения данного подхода.

Ключевые слова: кислые газы; процесс Клауса; парокомпрессорная установка; низкопотенциальный пар; экономический эффект.

При переработке нефти и газа неизбежно образуются газообразные побочные продукты, среди которых особое место занимают сероводород (H_2S) и углекислый газ (CO_2). Эти так называемые кислые газы представляют собой значительную угрозу для окружающей среды, здоровья людей и технической инфраструктуры и поэтому требуют утилизации [1]. Своевременная и эффективная переработка кислых газов позволяет минимизировать риски и одновременно повысить рентабельность нефте- и газоперерабатывающих производств [2; 3].

Существуют различные способы утилизации кислых газов, включая горение, сжижение и использование в смежных производственных процессах. Выбор конкретного решения зависит от ряда факторов, включая состав газовой смеси, масштабы производства, наличие инфраструктуры и экономическую целесообразность [4].

Дезактивация кислых газов является важным организационно-технологическим аспектом функционирования нефтегазовой отрасли, поскольку ориентирована на сокращение негативного влияния промышленных предприятий на окружающую среду, повышение экономической эффективности их деятельности, а также обеспечение безопасности нефтегазовых объектов в целом [5].

Сера в данном случае выступает побочным продуктом, получаемым путем очистки нефти и природного газа от органических сульфидов и сероводорода. Серу из кислого газа получают методом Клауса. Система производства газовой серы включает в себя несколько компонентов:

1) установку Клауса, состоящую из термической ступени (в которой сероводород окисляется в реакторе с целью получения элементарной серы и диоксида серы), а также каталитическую ступень, на которой сероводород и диоксид серы подвергаются дальнейшей реакции, основанной на использовании катализатора для получения твердой серы; в целях повышения количества извлекаемой серы может быть задействовано несколько ступеней каталитических реакторов;

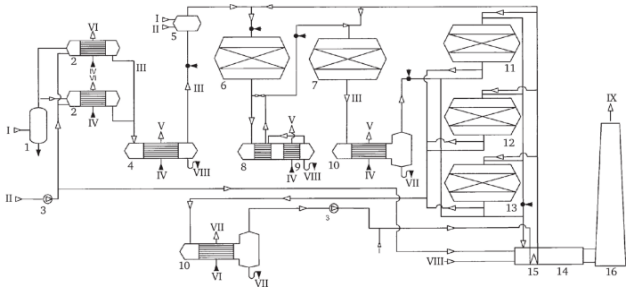
2) отделение дополнительного очищения катализатором хвостовых газов (данный компонент повышает уровень извлечения серы до 99,6%);

3) печь дожига остаточных газов (все сернистые соединения, выходящие из сероулавливающей камеры, в печи дожига преобразуются в диоксид серы перед дальнейшим выбросом в атмосферу);

4) узел дегазации жидкой серы для извлечения из полученного продукта абсорбированного сероводорода [6; 9].

Обычно применяется двух- или трехступенчатый процесс Клауса. Поскольку в большинстве случаев приемлемой долей извлечения серы в контексте нефтепереработки является показатель в 98,5%, третья ступень процесса Клауса функционирует в среде с температурой ниже точки росы серы [7]. Эта ступень может содержать катализатор селективного окисления, в ином случае при конструировании установки по производству серы необходимо будет предусмотреть установку дожигания хвостовых газов [8]. В настоящее время всё более востребованным становится подход, при котором дегазации подвергается расплавленная сера. Известны запатентованные технологические решения, разработанные научно-исследовательскими подразделениями предприятий – лидеров нефтегазовой отрасли, в рамках которых расплавленная сера дегазируется до уровня в 10–20 мас. ppm H_2S.

Принципиальная структурно-технологическая схема процесса Клауса представлена на рисунке 1.



Источник: составлено авторами на основании [9]

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема процесса Клауса.
1 – сепаратор кислого газа; 2 – реакционная печь и котел-утилизатор; 3 – воздуходувка;
4 – конденсатор-коагулятор; 5 – печь подогрева; 6, 7 – реакторы «Клаус»;
8 – теплообменник газ-газ; 9 – конденсатор-коагулятор; 10 – конденсатор-экономайзер;
11–13 – реакторы доочистки; 14 – печь дожига; 15 – подогреватель регенерационного газа;
16 – дымовая труба; I – кислый газ; II – воздух; III – технологический газ; IV – питательная вода; V – пар низкого давления; VI – пар среднего давления; VII – жидкая сера;
VIII – топливный газ; IX – дымовые газы

На данный момент основная конструктивная проблема при комплектовании данных установок заключается в том, что по завершении основного технологического процесса образуется избыточное тепло, нейтрализуемое в котлах-утилизаторах. Точками локализации выработки пара на установке Клауса являются а) котлы-утилизаторы термической стадии процесса и б) конденсаторы-коагуляторы. Генерируемый на указанных этапах пар имеет показатель давления в 0,15 МПа, что не находит применения в технологическом цикле производства серы и потому принудительно охлаждается до состояния конденсата в аппаратах воздушного охлаждения (АВО), что в итоге приводит к прямым потерям тепла и электроэнергии [10].

Для вовлечения в технологический цикл утилизируемого пара следует повысить его давление, что возможно двумя способами: 1) термическим – путем установки трансформатора тепла (теплообменника), повышающего как давление, так и температуру, и 2) механическим – за счет встраивания в технологическую цепочку парокомпрессорной установки [11].

Главным недостатком трансформаторов тепла является необходимость использования вспомогательных энергоресурсов (тепловых потоков) и обвязки оборудования, что влечет за собой дополнительные расходы для эксплуатации данного инженерного решения. В связи с этим большую экономическую эффективность представляет собой механический способ повышения давления пара [12].

Парокомпрессорная установка (ПКУ) предназначена для повышения давления низкопотенциального пара [13], поскольку, как указывалось выше, образующийся на определенном этапе данной технологии пар низкого давления зачастую не находит прямого применения, в то же время для получения пара среднего давления применяются различные редуцирующие устройства (РУ) – охладительные установки (ОУ), редукционно-охладительные установки (РОУ) и быстродействующие редукционно-охладительные установки (БРОУ), которые, включаются в схемы энергоблоков для снижения температуры пара до заданных параметров. При этом РУ, РОУ, БРОУ снижают давление пара, никак не задействуя его изначально высокие параметры [14]. ПКУ же дает возможность использовать высокое давление исходного пара продуктивно, вовлекая в повторный оборот пар низкого давления, поступающий из теплообменников и сепараторов. Даже частичное повторное использование отработанного пара экономически оправдано, поэтому в случае выработки в рамках использования конкретной технологии на предприятиях избыточного низкопотенциального пара целесообразно вместо РОУ использовать парокомпрессорные установки [15].

К примеру, подавая на вход ПКУ пар среднего давления (1,2 МПа), который получают из котла-утилизатора термической стадии процесса и низкопотенциальный пар (0,15 МПа), получаемый из котла-утилизатора II каталитической ступени, на выходе установки можно получить пар с давлением 1 МПа, в объеме на 15% превышающем, результат простого редуцирования пара 1,2 МПа, т.е. расход пара среднего давления с использованием ПКУ снижается на те же 15%. Принципиальная схема ПКУ представлена на рисунке 2.

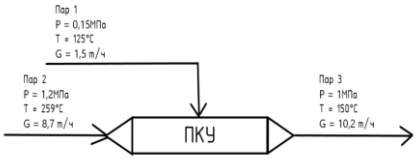


Рисунок 2 – Схема парокомпрессорной установки

При этом исключаются потери тепла от утилизации пара в аппаратах воздушного охлаждения, что позволяет экономить около 30 млн рублей в год, а также снижаются расходы на электроэнергию (примерно на 0,5 млн рублей в год), вследствие чего – нетрудно подсчитать – суммарный экономический эффект достигает 30,5 млн рублей в год.

Таким образом, внедрение в схему получения серы методом Клауса парокомпрессорной установки позволяет вовлечь в технологический цикл утилизируемый низкопотенциальный пар, получая в итоге пар низкого давления, который может использоваться в технологических целях. Кроме того, в этом случае снижается расход пара среднего давления (до 15%), благодаря чему достигается существенная экономия энергоресурсов. Средний срок окупаемости описанного инженерного решения составляет порядка 1,5–2 лет.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Колесникова, И.А. Утилизация кислых газов и получение серы методом Клауса / И.А. Колесникова // Труды НИИ угольной химии. – 2010. – Т. 57, № 1. – С. 78-84.

2. Григорьева, Л.А. Оценка экономической эффективности процесса получения серы методом Клауса / Л.А. Григорьева, А.С. Лукьянов, Н.В. Хохлова // Промышленная экология. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 64-68.

3. Манохин, А.Г. Очистка кислых газов и получение серы методом Клауса / А.Г. Манохин, А.А. Назаров, В.А. Козырев // Химическая промышленность сегодня. – 2009. – № 1. – С. 44-48.

4. Леонтьев, А.В. Получение серы методом Клауса: современное состояние и перспективы развития / А.В. Леонтьев, Е.В. Маслова, Н.В. Чулкова // Химическая промышленность сегодня. – 2012. – Т. 90, № 6. – С. 32-37.

5. Крылова, Е.А. Оптимизация процесса получения серы методом Клауса / Е.А. Крылова, А.Н. Коновалов, И.А. Баранов // Вестник УГТУ-УПИ. Серия: Химическая технология и биотехнология. – 2014. – № 1. – С. 27-33.

6. Емельянычева Е.А. Производство элементной серы: учебное пособие / сост.: Е.А. Емельянычева, Б. Р. Вагапов; М–во науки и высшего образования России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань, 2019. – 342 с.

7. Шиманский, Ю.Г. Технология получения серы методом Клауса: основные этапы и современное состояние / Ю.Г. Шиманский, Н.И. Бирюкова, А.А. Карпов // Химическая промышленность сегодня. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 14-18.

8. Андреева Е.В. и др. Исследование влияния катализатора на процесс получения серы методом Клауса – материалы конференции «Инновации в химической технологии», Санкт-Петербург: СПбГУ, 2021. – С. 17–20.

9. Арутюнов, В.С. Технология переработки углеводородных газов / В.С. Арутюнов, И.А. Голубева, О.Л. Елисеев, Ф.Г. Жагфаров: учебник для вузов. – Москва: Юрайт, 2025. – 723 с.

10. Козлова М.А. «Влияние параметров процесса на выход и качество серы при ее получении методом Клауса» – научно-технический журнал «Химическая технология», № 5, 2018. – С. 488–498.

11. Павлова, И.В. // Химия и технология неорганических веществ. – Москва: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2003. – С. 12–15.

12. Березинский, М.П. Тепловые трансформаторы / М.П. Березинский, А.Н. Кириленко, В.В. Коршунов: учебник для вузов. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 448 с.

13. Лебедев, Н.Н. Парокомпрессорные установки: учебное пособие. – Москва: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1965. – 321 с.

14. Мирошниченко, А.В. Парокомпрессорные установки и системы: учебник для вузов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 480 с.

15. Беленовский, В.А. Парокомпрессорные установки промышленных предприятий: учебник для вузов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 360 с.

IMPLEMENTATION OF A STEAM-COMPRESSOR UNIT IN THE CLAUSES PROCESS

Bashkirtseva N. Yu., Vagapov B. R., Fattakhov D. A.

In the oil and gas industry, the utilisation of sour gases such as hydrogen sulphide and carbon dioxide is a key aspect of environmental safety and economic efficiency. The present study focuses on the optimisation of the Claus process used to extract elemental sulphur from hydrogen sulphide. Particular attention is paid to the problem of inefficient use of low potential steam. This steam, not finding application in the technological cycle, leads to significant heat and energy losses. It was proposed to introduce a steam-compressor unit (SCU) to increase the pressure of low-potential steam, which allows its integration into the production process. This solution allows to provide reduction of medium pressure steam consumption, minimises heat losses in air cooling apparatuses and reduces energy costs. The total economic effect from the implementation of the SCU is estimated at RUB 30.5 million annually due to the elimination of heat losses and reduction of electricity consumption. The results obtained emphasise the promising potential of the mechanical approach to steam utilisation compared to thermal methods that require additional resources. The

introduction of SCU contributes to increasing the profitability of oil and gas enterprises, which makes this solution relevant for further research and practical application.

Keywords: sour gases; Claus process; steam-compressor unit; low-potential steam; economic effect.

Сведения об авторах:

Башкирцева Наталья Юрьевна
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Россия

Вагапов Булат Рустемович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Россия

Фаттахов Данил Альбертович
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Россия

УДК 547.5:541.14

ФОТОКАТАЛИЗ В СОВРЕМЕННОМ ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ

Логинова Анастасия Вячеславовна

Фотокатализ играет ключевую роль в современном органическом синтезе, обеспечивая эффективные и экологически безопасные пути активации химических связей. В данной работе рассмотрены история становления фотокаталитических процессов в органическом синтезе и их принципы, включая механизмы фотоинициации и образования активных интермедиатов. Особое внимание уделено работам, опубликованным за последнее время в рассматриваемой области. Показано влияние среды на ход фотокаталитических реакций и их селективность, что было проанализировано с использованием вычислительных методов. Рассмотрены перспективы использования таких перспективных материалов, как квантовые точки основе селенида кадмия, в гетерогенных катализаторах в органическом синтезе, а также их влияние на эффективность реакций. Показано, что фотокатализ продолжает эволюционировать, продвигая прорывные решения для зеленой химии, такие как катализ при комнатной температуре и синтез сложных функциональных молекул с атомной экономией. Подобные достижения открывают новые горизонты в создании устойчивых технологий для фармацевтики.

Ключевые слова: фотокатализ, фотохимия, катализ, окислительно-восстановительные процессы, зеленая химия, функционализация молекул.

Начиная с открытия Джозефом Пристли такого уникального природного процесса, как фотосинтез, в котором посредством поглощение видимого света хлорофиллом происходит сложная фотохимическая конверсия, фотохимия привлекла большое внимание научного мира, а становление органической химии привело к созданию целой парадигма для проектирования органических молекул на его основе – фотокатализа.

Фотокатализ представляет собой процесс, в котором световая энергия используется для инициации химических реакций с участием фотокатализатора – вещества, способного поглощать фотоны и переходить в активное состояние. В основе фотокаталитических процессов лежит возбуждение электронов в координационных комплексах, что приводит к образованию активных частиц, таких как свободные радикалы и ионы, способных инициировать органические трансформации [1]. Фотокаталитический процесс в общем виде можно записать следующим образом:

$$A + K + h\nu \rightarrow B + K \quad (1)$$

Ключевым аспектом является использование фотонов видимого или ультрафиолетового диапазона для генерации электронно-дырочных пар (Рисунок 1).

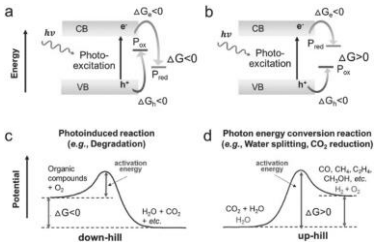


Рисунок 1 – Электронная структура фотокатализаторов (a, b) и изменение энергии Гиббса в фотокаталитических реакциях (c, d) [2]

Позиции энергетических уровней катализатора определяют восстановительный и окислительный потенциалы электронно-дырочных пар, от которых зависит направление

реакции. Если разница потенциалов обеспечивает отрицательное изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), реакция становится термодинамически выгодной. Фотокаталитические реакции могут быть как нисходящими (например, фотодеградация органических соединений), так и восходящими (такими как расщепление воды). Скорость процесса определяется кинетикой переноса заряда, которая включает генерацию, миграцию и рекомбинацию электронно-дырочных пар, а также их взаимодействие с реагентами в зоне реакции, завершая фотоокислительно-восстановительный цикл [2].

Принято считать, что фотокатализ берет свое начало в работах итальянского химика Д. Чамичана, который в начале XX века совместно с коллегой П.Зильбером разработал первые фотохимические реакции с использованием видимого света, заложившие основы для дальнейшего развития. В период «рассвета» органической химии (1980-1990-х годах) фотоокислительно-восстановительный катализ стал активно изучаться в контексте органического синтеза[3]. Однако развитие органической химии фотохимии было долгим и трудным из-за двух ключевых факторов. Первой сложностью является необходимость точного контроля параметров солнечного излучения, что критично для обеспечения высокой эффективности фотохимических процессов. Исторически прогресс в фотохимии во многом определялся совершенствованием технологий освещения, обеспечивающих стабильный и мощный источник света. Вторым ограничением выступает сравнительно низкая энергия фотонов в видимом спектре электромагнитного излучения. Для инициирования фотохимической реакции молекула должна поглощать фотоны видимого света с достаточной энергией, способной перевести электрон из основного в возбужденное состояние. Однако большинство органических соединений демонстрируют слабое поглощение в этом диапазоне, что зачастую требует использования УФ-излучения, тогда как применение инфракрасного света для возбуждения таких процессов оказывается неэффективным.

Важным этапом стала работа А. Деронзье посвященная фотоокислительно-восстановительной каталитической циклизации Пшорра, осуществляемой под действием видимого света. После Г.Пандей опубликовал работу [4] о разработке двух фотосистемы для сбора фотонов видимого света и преобразования их в электроны через последовательные процессы переноса электронов, которая позволяла активировать α,β-ненасыщенные кетоны через образование радикалов с углеродным центром и их последующую циклизацию, демонстрируя высокую стереоселективность и применимость в синтезе биологически активных соединений, таких как ангулярно конденсированные трихинаны.

Необходимость в развитии биохимии, фармакологии, а также растущие угрозы негативных последствий выбросов CO_2, связанных с изменением климата, открывает новые возможности для органического синтеза в соответствии с принципами «зеленой химии», поэтому не удивляет, что настоящее время фотокатализ является мощной стратегией для создания большого количества органических молекул. Кроме того, объединение фотокатализа с другими каталитическими методами обеспечивает пополнение арсенала органической химии новыми инструментами. Так за последние 10 лет разработано многих важных фотокаталитических превращений, к которым можно отнести реакции кросс-сочетания, α-аминофункционализации, циклоприсоединения и фторирования[5] с.3. В связи с этим фотокатализ становится все более востребованным в органическом синтезе, что подтверждается растущим числом научных публикаций, посвященных данной тематике.

Цель настоящей работы заключается в обзоре современных подходов к разработке и применению фотокатализа для органических превращений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск, анализ и обобщение научных публикаций, посвященным фотокатализу в органическом синтезе, опубликованных в рецензируемых научных журналах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Применение света в сочетании с фотокатализом стало эффективным и экологически безопасным подходом в органическом синтезе, демонстрируя универсальность для широкого спектра реакций образования химических связей. Известно, что разработка практически любого фармацевтического препарата неизбежно включает использование галогенсодержащих промежуточных веществ, проходящих через процедуру фотокатализа [6,

с.1]. Так, например, сейчас фторирование вторичных углеродных центров выполнялось с помощью амидильных радикалов, образованных из амидов, карбаматов или аминов посредством Ir-катализатора и основания при облучении синим светодиодом при комнатной температуре [7,8] (Рисунок 2). Алкоксирадикалы давно известны тем, что позволяют осуществлять удаленную функционализацию C–H связи посредством отщепления 1,5-атома водорода. Однако методы их получения традиционно опирались на металлы с высокой окислительной способностью или предварительно сформированные пероксидные промежуточные соединения, что препятствовало развитию многих желаемых превращений. Авторы работы [9, с.1] применили интересный подход для синтеза δ-фторированных спиртов, в котором различные оксимные производные пировиноградной кислоты облучались в присутствии фотокатализатора (4s,6s)-2,4,5,6-тетра(9H-карбазол-9-ил)изофталонитрила в смеси ацетонитрила и воды при комнатной температуре в атмосфере аргона (Рисунок 3).

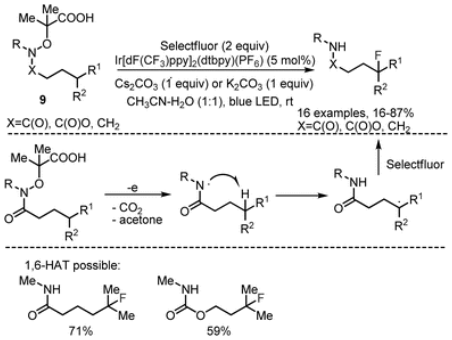


Рисунок 2 – Фторирование через образование амидильного радикала [6]

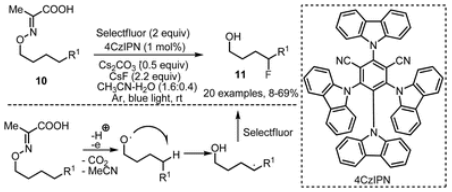


Рисунок 3 – Синтез δ-фторированных спиртов под действием видимого света[6]

Фотокаталитическое хлорирование является привлекательной стратегией для разработки хлорфункционализированных молекул. Так продемонстрирована новая стратегия [10] синтеза хлорированных азагетероциклов с использованием видимого света, посредством разработки эффективного фотохимического метода для хлораминоциклизации алленов с привязанной сульфонамидной группой, приводящей к получению 2-(1-хлорвинил)пирролидинов (Рисунок 4).

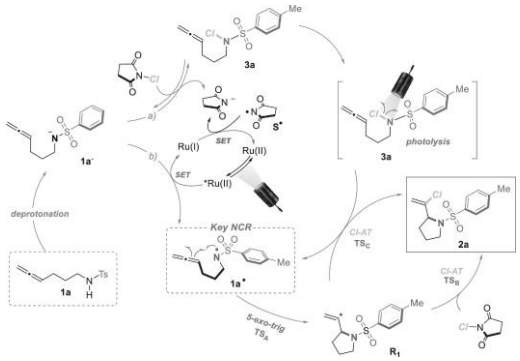


Рисунок 4 – Фотокаталитическое получение хлорвинилпирролидинов

Оказалось, что использование **N-хлорсукцинимида** в качестве источника хлора и активатора реакционного центра позволяет осуществлять реакцию в мягких условиях (456 нм, 1 ч при постоянном перемешивании без побочных продуктов) с высокой селективностью, что делает предложенный метод перспективным для синтеза сложных органических молекул.

Традиционно катализ разделяют на гомогенный и гетерогенный, который обладает рядом преимуществ относительно первого несмотря на то, что последний часто демонстрирует более высокую активность и селективность. Одним из ключевых достоинств гетерогенных катализаторов является их простота в разделении и повторном использовании, что делает процессы более экономичными и экологически устойчивыми. В отличие от гомогенных систем, где катализатор находится в той же фазе, что и реагенты, гетерогенные катализаторы могут быть легко отделены от реакционной смеси, например, путем фильтрации или центрифугирования, что особенно важно для промышленных процессов, где важно минимизировать потери катализатора и упростить его регенерацию [11]. Одним из последних достижений гетерогенного катализа в органическом синтезе является катализ ускорения реакции Дильса-Альдера между индолами и 1,3-циклогексадиенами [12]. Для предотвращения фрагментации продуктов циклоприсоединения, реакцию проводили в присутствии ацетилхлорида, что позволило получить целевые ацетилированные тетрагидрокарбазолы с хорошими выходами. Установили, что использование легированного платиной диоксида титана увеличивает эффективность преобразования фотонов в два раза по сравнению с чистым TiO_2 (Рисунок 5).

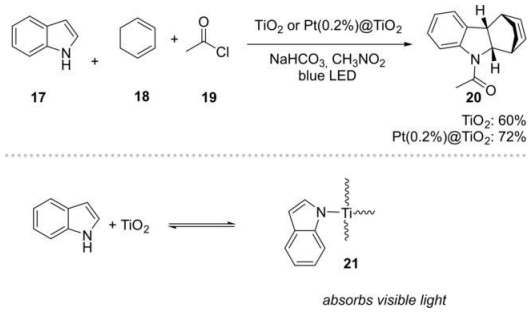


Рисунок 5 – Радикальная реакция Дильса-Альдера, катализируемая TiO_2 с использованием видимого света

В 2023 году Нобелевская премия по химии была присуждена группе ученых за открытие и синтез квантовых точек [13]. Этот перспективный класс материалов был использован для фотокаталитического разрыва C–O связи модельного субстрата [14], который имитирует деполимеризацию β-O-4-связей, которые находятся в лигнине (Рисунок 6). Первоначальное термическое окисление солью Боббитта с последующим фотокаталитическим разрывом связи C–O дает 4-ацетанизол и гваякол. Квантовые точки CdSe размером 3,3 нм, стабилизированые олеиновой кислотой и триоктилфосфиноксидом, дали число оборотов (TON) до 128 000. Сравнение с молекулярным гомогенным иридиевым фотокатализатором ($[Ir(ppy)_2(dtbbpy)]PF_6$) показало, что квантовые точки имеют в 15 раз большую частоту оборотов.

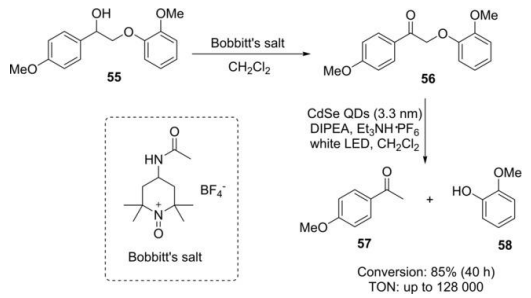


Рисунок 6 – Фотокаталитическое расщепление связи C–O в модельной структуре лигнина с использованием квантовых точек CdSe

Подобный подход с CdSe и InP использован для эффективного катализа ряда реакций олефинирования при облучении видимым светом (Рисунок 7) при комнатной температуре с выходом 90% [15].

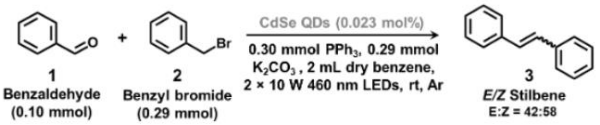


Рисунок 7 – Фотокаталитическое олефинирование при облучении видимым светом и CdSe

Механизмы реакций зачастую трудно поддаются анализу, особенно когда в них участвуют высокоэнергетические фотоактивируемые промежуточные соединения. В этом контексте вычислительные методы могут значительно облегчить процесс их изучения. Так, например, влияние H_2O на реакции фотокаталитического окисления толуола было детально изучено в рамках вычислительного анализа [16]. DFT-моделирование показало, что вода выполняет двойственную функцию в селективном превращении толуола в бензальдегид: с одной стороны, она способствует активации sp^3 C–H связей, а с другой – облегчает удаление воды из промежуточного гидрата альдегида, ускоряя его превращение в конечный продукт.

ВЫВОДЫ

Несмотря на свою более чем столетнюю историю, фотокатализ по-прежнему продолжает демонстрировать высокий потенциал в органическом синтезе, предоставляя экологически чистые и энергоэффективные методы активации химических связей. Современные исследования подтверждают значимость фотокаталитических процессов для разработки новых селективных реакций, позволяющих получать сложные органические соединения с высокой эффективностью. Влияние реакционной среды играет ключевую роль в механизме фотокатализа, определяя селективность и направление химических превращений. Развитие вычислительных методов, включая DFT-моделирование, способствует более глубокому пониманию механизмов фотокаталитических реакций и оптимизации условий их проведения. Перспективные направления исследований включают применение квантовых точек и гетерогенных катализаторов, которые позволяют расширить границы фотокатализа и повысить его практическую значимость. Дальнейшее совершенствование фотокаталитических методик открывает новые возможности для «зеленой» химии и устойчивого развития органического синтеза.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Belousov A.S. Theoretical Foundations of Photocatalysis BT – Pyrochlore Oxides: Structure, Properties, and Potential in Photocatalytic Applications / под ред. Fukina D.G., Belousov A.S., Suleimanov E. V. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. С. 61–95.

2. Yang M.-Q. и др. Visible-to-NIR Photon Harvesting: Progressive Engineering of Catalysts for Solar-Powered Environmental Purification and Fuel Production // Adv. Mater. John Wiley & Sons, Ltd, 2018. Т. 30, № 47. С. 1802894.

3. König B. Photocatalysis in Organic Synthesis – Past, Present, and Future // European J. Org. Chem. John Wiley & Sons, Ltd, 2017. Т. 2017, № 15. С. 1979–1981.

4. Pandey G. и др. Designing Photosystems for Harvesting Photons into Electrons by Sequential Electron-Transfer Processes: Reversing the Reactivity Profiles of α,β-Unsaturated Ketones as Carbon Radical Precursor by One Electron Reductive β-Activation // J. Am. Chem. Soc. American Chemical Society, 1997. Т. 119, № 38. С. 8777–8787.

5. Marzo L. и др. Visible-light photocatalysis: does it make a difference in organic synthesis? // Angew. Chemie Int. Ed. Wiley Online Library, 2018. Т. 57, № 32. С. 10034–10072.

6. Festa A.A. и др. Visible light-mediated halogenation of organic compounds // Chem. Soc. Rev. Royal Society of Chemistry, 2023. Т. 52, № 24. С. 8678–8698.

7. Bafaluy D., Georgieva Z., Muñiz K. Iodine Catalysis for C(sp3)–H Fluorination with a Nucleophilic Fluorine Source // Angew. Chemie Int. Ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. Т. 59, № 34. С. 14241–14245.

8. Morcillo S.P. и др. Photoinduced Remote Functionalization of Amides and Amines Using Electrophilic Nitrogen Radicals // Angew. Chemie Int. Ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2018. Т. 57, № 39. С. 12945–12949.

9. Herron A.N. и др. δ-C–H Mono- and Dihalogenation of Alcohols // J. Am. Chem. Soc. American Chemical Society, 2020. Т. 142, № 6. С. 2766–2770.

10. Azzi E. и др. Photoinduced Chloroamination Cyclization Cascade with N-Chlorosuccinimide: From N-(Allenyl)sulfonylamides to 2-(1-Chlorovinyl)pyrrolidines // J. Org. Chem. 2023. Т. 88, № 10. С. 6420–6433.

11. Gisbertz S., Pieber B. Heterogeneous Photocatalysis in Organic Synthesis // ChemPhotoChem. 2021. Т. 4, № 7. С. 456–475.

12. Pitre S.P., Yoon T.P., Scaiano J.C. Titanium dioxide visible light photocatalysis: surface association enables photocatalysis with visible light irradiation // Chem. Commun. The Royal Society of Chemistry, 2017. Т. 53, № 31. С. 4335–4338.

13. The Royal Swedish Academy of Sciences. Press release. «They planted an important seed for nanotechnology». Stokholm, 2023.

14. Yuan Y. и др. Quantum Dot Photocatalysts for Organic Transformations // J. Phys. Chem. Lett. American Chemical Society, 2021. Т. 12, № 30. С. 7180–7193.

15. Chakraborty I.N., Roy P., Pillai P.P. Visible Light-Mediated Quantum Dot Photocatalysis Enables Olefination Reactions at Room Temperature // ACS Catal. American Chemical Society, 2023. Т. 13, № 11. С. 7331–7338.

16. Ding Y.-F. и др. Recognition of Water-Induced Double-Edged Sword Effects in Photocatalytic Selective Oxidation of Toluene on Titanium Dioxide Clusters with Density Functional Theory Calculations // J. Org. Chem. American Chemical Society, 2023. Т. 88, № 10. С. 6304–6312.

PHOTOCATALYSIS IN MODERN ORGANIC SYNTHESIS

Ivanov I.I.

Photocatalysis plays a pivotal role in modern organic synthesis, offering efficient and environmentally benign pathways for the activation of chemical bonds. This work reviews the historical development of photocatalytic processes in organic synthesis, their fundamental principles, including photoinitiation mechanisms and the formation of reactive intermediates. Special emphasis is placed on recent advancements in the field, particularly studies published in the last decade. The influence of the reaction environment on the course and selectivity of photocatalytic transformations is analyzed using computational approaches. The potential of emerging materials, such as cadmium selenide-based quantum dots, in heterogeneous catalytic systems for organic synthesis is explored, with a focus on their impact on reaction efficiency. It is demonstrated that photocatalysis continues to evolve, driving groundbreaking solutions for green chemistry, including room-temperature catalysis and the synthesis of complex functional molecules with high atom economy. These advancements open new horizons for the development of sustainable technologies in the pharmaceutical industry.

Keywords: photocatalysis, photochemistry, catalysis, oxidation-reduction processes, green chemistry, functionalization of molecules

Сведения об авторах:

Логинова Анастасия Вячеславовна
Студент бакалавриата Российского химико-технологического университета имени Д.И.Менделеева

Научный руководитель: Завьялова Анна Александровна,
к.х.н., доц. каф. ЭДНК РХТУ имени Д.И.Менделеева

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 614.8/614.8.084; 621.642; 661.419.4

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В МЕСТАХ ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ, ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ

Кузнецов Максим Валерьевич,
Флора Руслан Леонидович

В работе рассмотрены возможные сценарии возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в местах производства и хранения соляной кислоты в результате стихийных бедствий, техногенных аварий, а также террористических актов. Были описаны необходимые мероприятия, касающиеся ликвидации и минимизации последствий ЧС с аварийно химически опасным веществом (АХОВ) – соляной кислотой, которые могут возникнуть при ее разливе, испарении или распространении продуктов ее разложения в результате взрыва. Были рассчитаны степени разрушения, а также радиусы поражения в результате возможного террористического акта на объекте хранения или производства соляной кислоты. Были также оценены зоны возможного токсического поражения, а также масштабы индивидуального риска для городской инфраструктуры и объектов водоснабжения. Предложены дополнительные меры по снижению риска поражения населения и инфраструктуры продуктами разложения соляной кислоты за счет технических и конструкционных усовершенствований на объектах ее производства и хранения, а также оснащения аварийно-спасательных формирований, участвующих в ликвидации последствий ЧС.

Ключевые слова: ЧС природного и техногенного характера, АХОВ, соляная кислота, оценка риска, террористический акт, токсодозы, ликвидация последствий.

При проливах и испарении аварийных химически опасных веществ (АХОВ) на химически опасных объектах (ХОО), связанных с хранением и транспортировкой токсичных жидкостей, могут возникать чрезвычайные ситуации (ЧС) второго типа. При разгерметизации емкостей или технологического оборудования с содержанием АХОВ, небольшая часть вещества (как правило, в пределах нескольких процентов) мгновенно испаряется, образуя первичное облако паров с поражающими концентрациями, а часть выливается в пределах обвалования, на подстилающую поверхность или на поддон и постепенно испаряется за счет теплоты окружающей среды, создавая вторичное облако паров с поражающими концентрациями. В зависимости от времени года, метеоусловий и характера пролива время испарения может составить от десятков минут до нескольких суток. ЧС второго типа характеризуется кратковременным ингаляционным поражающим воздействием первичного облака АХОВ со смертельными концентрациями паров и более продолжительным временем воздействия вторичного облака с опасными поражающими концентрациями паров. Кроме того, пролитый продукт может заражать грунт и воду. Данный тип ЧС очень опасен для населения, однако в связи с ограниченными временными характеристиками его развития, он позволяет привлечь достаточное количество сил и средств для эффективного проведения аварийно-спасательных работ. Целью данной работы являлась оценка зон негативного воздействия поражающих факторов, возникающих в результате ЧС природного, техногенного и/или антропогенного характера на население, промышленные и жилые объекты, а также системы водоснабжения и качество питьевой воды при возможной разгерметизации емкостей с соляной кислотой (с усредненной ёмкостью 100 т) на складе соляной кислоты и/или в местах ее производства, которые могут находиться в пределах населенного пункта.

В качестве события, инициирующего аварию, может быть принята разгерметизация трубопровода, оборудования или ёмкостей, предназначенных для хранения, перекачки или транспортировки соляной кислоты. Санитарно-защитная зона объектов, специализирующихся на хранении соляной кислоты в специальных резервуарах, составляет 300 м (класс объекта III, производство химических реактивов) от водоемов [1, 2].

В таблице 1 приведены различные физико-химические характеристики и свойства аварийного химически опасного вещества (АХОВ) – соляной кислоты. Соляная кислота – это чрезвычайно опасное и высокотоксичное вещество, сильная одноосновная кислота. Бесцветная прозрачная агрессивная негорючая жидкость с острым запахом хлористого водорода. Тяжелее воды, при температуре 108.6 ºС кипит, при температуре –114.2 ºС затвердевает. Хорошо растворяется в воде во всех пропорциях, на воздухе с парами воды образует капли тумана. Взаимодействует со многими металлами, оксидами и гидроксидами металлов, фосфатами и силикатами. При взаимодействии со многими металлами (Al, Zn, Fe, Co, Ni, Pb и др.) выделяется водород, образующий с воздухом взрывоопасную смесь (объемные взрывоопасные пределы смеси водорода с воздухом 4.0-75%). В смеси с другими кислотами вызывает самовозгорание некоторых материалов. Разрушает бумагу, дерево, ткани. Высоко опасное вещество с остронаправленным механизмом действия. Воздействие тумана соляной кислоты, образующегося в результате взаимодействия хлористого водорода с водяными парами воздуха, вызывает отравления, а собственно туман обладает выраженным раздражающим действием на верхние дыхательные пути, кожу, глаза и вызывает тяжелые химические ожоги.

Соляная кислота и её соли (хлориды) могут также негативно влиять на качество питьевой воды [3]. Для магистрального водоснабжения допустимая концентрация хлоридов не должна превышать 350 мг/л, оптимальное значение – 200 мг/л. Для организма человека неоднократное употребление воды с высоким содержанием хлоридов может привести к следующим последствиям: негативное воздействие на органы ЖКТ (в частности, слизистые оболочки желудка, пищевода и кишечника); повышенная вероятность развития желчнокаменной болезни; ухудшение качества пищеварения; повышенный риск развития заболеваний органов мочеполовой системы (включая новообразования, а также мочекаменную болезнь); изменения в работе кровеносной системы; риск развития гипертонии; высокая нагрузка на почки.

Таблица 1

Физико-химические характеристики
и свойства аварийного химически опасного вещества (АХОВ) – соляной кислоты

№ п/п	**Наименование параметра**	**Параметр**	**Источник информации**
1. 1.1 1.2	Название вещества химическое торговое	 Хлористоводородная кислота Соляная кислота	[4, 5]
2. 2.1 2.2	Формула эмпирическая структурная	 HCl H-Cl	[6]
3. 3.1 3.2	 Состав, (массовая доля, %) основной продукт (хлористый водород) примеси (с идентификацией) - массовая доля остатка после прокаливания, %, не более - массовая доля железа, %, не более - массовая доля свободного хлора, %, не более - массовая доля мышьяка, %, не	 не менее 35 0.010 0.001 0.002	[4, 5]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
	более	0.0001	
4. 4.1 4.2 4.3	Общие данные молекулярный вес температура кипения, 0С (при давлении 101 кПа) плотность при 20°С, кг/м^3	 36.46 азеотропная смесь, содержащая 20.24 масс.% HCl, кипит при 110 °С 1179 кг/м^3	[6]
5 5.1 5.2 5.3	Данные о взрывопожароопасности температура вспышки температура самовоспламенения пределы взрываемости: объемные весовые	Пожаровзрывобезопасна, относится к группе негорючих веществ. Сильный окислитель.	[7]
6 6.1 6.2 6.3	Данные о токсической опасности ПДК в воздухе рабочей зоны ПДК в атмосферном воздухе - максимальноразовая - среднесуточная Токсодоза: - летальная токсодоза Lct50 - пороговая токсодоза Pct50	2 класс опасности (по гидрохлориду) 5 мг/м^3 0.2 мг/м^3 0.2 мг/м^3 20 мг·мин/л 2 мг·мин/л	[8-10]
7	Реакционная способность	Негорючая едкая жидкость. При взаимодействии с металлами выделяется легковоспламеняющийся газ – водород. Под воздействием сильных окислителей выделяется хлор.	[6]
8	Запах	Резкий, раздражающий	[11]
9	Цвет	Прозрачная желтая жидкость	[11]
10	Коррозийное воздействие	Коррозионна для большинства металлов.	[6]
11	Меры предосторожности	Средства индивидуальной защиты.	[11]
12	Информация о воздействии на людей	Опасна при вдыхании, проглатывании и попадании на кожу и слизистые оболочки. Першение в горле, затрудненное дыхание, сухой кашель, одышка, клокочущее дыхание. Ожоги губ с характерной сероватой каймой, кожи, подбородка слизистой ротовой полости, пищевода, желудка, резкие боли за грудиной, в области желудка, мучительная рвота с кровью,	[11]

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Источник информации
		охриплость голоса. Возможен спазм и отек гортани. Раздражение слизистой глаз, носа	
13	Средства защиты	Изолирующие и фильтрующие противогазы марок В, М, БКФ. Защитный костюм типа Кк. Защитные очки, резиновые сапоги, перчатки. Респиратор типа РПГ-67В.	[11]
14	Методы перевода вещества в безвредное состояние	Разбавление водой в пропорции 5:1 или раствором щелочи. Осаждение паров распыленной водой.	[11]
15	Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества	Свежий воздух. Смыть с кожи большим количеством воды, 2% раствором питьевой соды. Срочная госпитализация.	[11]

Для инженерных сетей и бытовой техники повышенное содержание хлоридов в воде также опасно: оно провоцирует развитие коррозии и появление пятен на стенках труб, отопительных и сантехнических приборов, теплообменников, индивидуальных отопительных котлов.

При ликвидации аварий, связанных с проливом соляной кислоты необходимо изолировать опасную зону, удалить из нее людей, держаться с наветренной стороны, избегать низких мест. Необходимо осуществить локализацию и обеззараживание кислотного облака с целью ограничения его распространения в направлении мест массового проживания людей и размещения важных хозяйственных объектов, а также максимального снижения концентрации паров кислоты в облаке. При выбросе соляной кислоты постановка завесы осуществляется с использованием водного раствора аммиака (аммиачной воды) летом – 10-12%, зимой – 20-25% концентрации аммиака. Первый рубеж постановки завесы назначается на границе территории аварийного объекта. Второй – на внешней границе санитарно-защитной зоны. Машины для постановки завесы размещаются на удалении 20-30 м от границы облака. Один расчет действует на фронте до 50 м. Машины для обеззараживания размещаются с наветренной стороны на расстоянии 10-15 м от пролива с интервалом 10-15 м. Пожарные (специальные) насадки устанавливаются на следе облака на удалении не более 30 м один от другого, по всей ширине облака. Ширина завесы на каждом рубеже должна быть больше ширины облака в приземном слое на 5-10%. Высота завесы должна быть не менее 10 м.

Непосредственно на месте аварии и в зонах заражения с высокими концентрациями на расстоянии до 50 м от места разлива работы проводят в изолирующих противогазах. На расстоянии более 50 м от очага, где концентрация резко понижается, средства защиты кожи можно не использовать, а для защиты органов дыхания используют промышленные противогазы, а также гражданские противогазы.

Нейтрализуют соляную кислоту и пары хлористого водорода также с помощью следующих щелочных растворов: 5%-ным водным раствором каустической соды (например, 50 кг каустической соды на 950 л воды); 5%-ным водным раствором содового порошка (например, 50 кг содового порошка на 950 л воды); 5%-ным водным раствором гашеной извести (например, 50 кг гашеной извести на 950 л воды); 5%-ным водным раствором едкого натра (например, 50 кг едкого натра на 950 л воды).

При разливе соляной кислоты и отсутствии обваловки или поддона место разлива ограждают земляным валом, осаждают пары хлористого водорода постановкой водяной

завесы без нормирования расхода воды и обезвреживают разлившуюся кислоту до безопасных концентраций (8 т воды на 1 т кислоты). Также может быть использован 5%-ный водный раствором щелочи (3.5 т раствора на 1 т кислоты) и нейтрализуют 5%-ным водным раствором щелочи (7.4 т раствора на 1 т кислоты). Для распыления воды или растворов применяют поливомоечные и пожарные машины, авторазливочные станции, а также имеющиеся на химически опасных объектах гидранты и спецсистемы. При этом оборудование и/или места хранения кислот в ёмкостях объёмом 1000 л и более должно быть оснащено поддонами, вместимость которых достаточна для содержания одного аппарата максимальной ёмкости в случае его аварийного разрушения.

Нейтрализация пролива соляной кислоты также может быть осуществлена при помощи покрытия области пролива слоем пены. Кислые сточные воды перед поступлением в производственную систему канализации должны нейтрализоваться на локальных очистных установках с контролем водородного показателя на уровне pH = 6.5 – 8.5.

Для утилизации загрязненного грунта в местах разлива соляной кислоты должен быть срезан поверхностный слой грунта на глубину загрязнения с его последующим сбором и вывозом на утилизацию с помощью землеройно-транспортных машин (бульдозеров, скреперов, автогрейдеров, самосвалов). Места срезов засыпаются свежим слоем грунта и промываются водой в контрольных целях.

К основным причинам и факторам, связанным с внешними воздействиями природного характера, которые могут приводить к возникновению ЧС на химически опасном объекте, на котором находятся емкости или оборудование, содержащие соляную кислоту, относятся: 1. Высокие уровни воды (наводнения, половодье, дождевые паводки, заторы, ветровые нагоны). Среднегодовое количество атмосферных осадков в различных районах расположения объектов производства и хранения соляной кислоты может составлять до нескольких метров. Сильный дождь может послужить причиной короткого замыкания на объекте; 2. Опасные метеорологические явления; 3. Абразия, эрозия. При ЧС природного характера в результате подмыва грунта сточными водами могут иметь место провалы покрытий на площади несколько сотен м^2; 4. Шквалистый ветер и связанные с ним неблагоприятные последствия в виде падения деревьев, столбов, сноса крыш зданий и т.д.; 5. Карстовая просадка (провал) земной поверхности; 6. Обвалы, осыпи, камнепады; 7. Землетрясения. Предпочтительно нахождение объектов в несейсмоопасном районе [12]; 8. Разряд атмосферного электричества. Разряд атмосферного электричества возможен при поражении объекта молнией, при вторичном ее воздействии или при заносе в него высокого потенциала. Поражение объекта молнией возможно при совместной реализации двух событий: прямого удара молнии и отказа молниеотвода [13].

Анализ возможных причин возникновения аварий на опасных объектах и свойств того типа АХОВ, к которым относится соляная кислота, позволил выявить наиболее опасный сценарий развития аварийных ситуаций на потенциально опасном химическом объекте (С-АХОВ-СК): Полная разгерметизация емкости (резервуара) с соляной кислотой в результате внешнего воздействия (теракт) → истечение опасного вещества (соляной кислоты) → образование токсического облака (хлористый водород) с образованием зон токсического поражения → токсическое поражение людей.

К основным причинам и факторам, связанным с возможными внешними воздействиями техногенного характера, относятся: 1. Падение самолета; 2. Строительные работы, особенно при использовании тяжелой техники; 3. Аварии на соседних объектах; 4. Внешние злоумышленные действия (теракт).

В качестве одного из факторов воздействия на ХОО может быть также рассмотрен террористический акт, вероятность совершения которого с использованием взрывного устройства, размещенного, например, в автомобиле на находящейся около места производства или складирования соляной кислоты автомобильной дороге должна также быть принята во внимание. Ориентировочно максимальную массу взрывного устройства в тротиловом эквиваленте, размещенного в легковом автотранспорте, можно оценить, как 100 кг ТНТ [14]. Параметры взрыва конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) определяются в зависимости от вида ВВ, эффективной массы, характера подстилающей поверхности и расстояния до центра взрыва.

Расчет проводится в два этапа. Сначала определяем приведенный радиус $\overline{R}$, для рассматриваемых расстояний, а затем избыточное давление $\Delta P_{\text{ф}}$. Приведенный радиус $\overline{R}$ может быть определен по формуле:

$$\overline{R} = \frac{r}{\sqrt[3]{2 \cdot \eta \cdot Q \cdot K_{\text{эфф}}}}, \text{ м/кг}^{1/3}, \quad (1)$$

где r – расстояние до центра взрыва ВВ, м; η – коэффициент, учитывающий характер подстилающей поверхности, принимаемый равным: для металла – 1.0, для бетона – 0.95, для грунта и дерева – 0.6 ÷ 0.8; Q – масса ВВ, кг; $K_{\text{эфф}}$ – коэффициент приведения рассматриваемого вида ВВ к тротилу, принимаемый по приведенной ниже таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициента $K_{\text{эфф}}$ для различных взрывчатых веществ (ВВ)

Вид ВВ	Тротил	Тритонал	Гексоген	ТЭН	Аммонал	Порох	ТНРС	Тетрил
$K_{\text{эфф}}$	1	1.53	1.30	1.39	0.99	0.66	0.39	1.15

В зависимости от величины приведенного радиуса избыточное давление может быть определено по одной из следующих формул:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \frac{700}{3 \cdot \left(\sqrt{1+\overline{R}^3} - 1\right)}, \text{ кПа, при } \overline{R} \leq 6{,}2; \quad (2)$$

$$\Delta P_{\text{ф}} = \frac{70}{\overline{R} \cdot \left(\sqrt{\log \overline{R} - 0{,}332}\right)}, \text{ кПа, при } \overline{R} > 6{,}2. \quad (3)$$

Произведем необходимые расчеты, принимая в качестве допущения расстояние до центра взрыва 20 м. Этим расстоянием может быть, например, расстояние от края дороги, расположенной рядом с местом складирования или производства соляной кислоты, до ближайшей емкости с соляной кислотой. Автомобиль, начиненный взрывчатым веществом, может быть размещен на краю дороги в непосредственной близости от ограды объекта производства или склада:

$$\overline{R} = \frac{r}{\sqrt[3]{2 \cdot \eta \cdot Q \cdot K_{\text{эфф}}}} = \frac{20}{\sqrt[3]{2 \cdot 0{,}95 \cdot 100 \cdot 1}} = \frac{20}{\sqrt[3]{190}} = 3{,}5 \text{м/кг}^{1/3}, \quad (4)$$

$\overline{R} \leq 6{,}2$, таким образом:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \frac{700}{3 \cdot \left(\sqrt{1+\overline{R}^3} - 1\right)} = \frac{700}{3 \cdot \left(\sqrt{1+3{,}5^3} - 1\right)} = \frac{700}{16{,}87} = 41{,}5 \text{ кПа}. \quad (5)$$

Характеристика возможных степеней разрушения производственного или складского помещения, в котором находятся емкости с соляной кислотой, представлена в таблице 3.

Таблица 3

Характеристика степеней разрушения производственного или складского помещения, в котором находятся емкости с соляной кислотой, в зависимости от радиуса поражения (м) и избыточного давления (кПа)

Степень разрушения здания	Избыточное давление, кПа	Радиус зоны, м
Полное разрушение зданий	100	12.76
50%-ое разрушение зданий	53	17.74
Средние повреждения зданий	28	25.76
Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам и т.п.)	12	45.84
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3	144.50

С учетом произведенных расчетов можно сделать вывод о том, что при реализации террористического акта с подрывом ВВ в автомобиле, находящемся на дороге рядом с производственным или складским объектом, на территории которого находятся ёмкости с

соляной кислотой, на ближайшую емкость с соляной кислотой будет воздействовать ударная волна с давлением порядка 40 кПа. Критерий порогового воздействия ударной волны на резервуары в рассматриваемом случае составляет 22 кПа [15]. Таким образом, при реализации вышеописанного террористического акта, единичная емкость с соляной кислотой будет полностью разрушена. Расчет вероятных зон воздействия чрезвычайной ситуации в результате полной разгерметизации ёмкости (резервуара) с соляной кислотой представлен далее. В случае разрушения нескольких ёмкостей произойдет кратное увеличение зоны воздействия. Кроме того, возможны и другие варианты террористического акта, как с увеличением заряда в автомобиле на трассе, так и с уменьшением его, так как расположенная рядом с оградой дорога может также находиться и на эстакаде, то есть располагаться значительно выше ограждения предприятия (склада). Относительно ограждений следует отметить, что высота защитного ограждения каждого отдельного резервуара или группы резервуаров должна быть, как минимум, на 0.2 м выше уровня расчётного объёма разлившейся жидкости. Следует также учитывать, что нарушение целостности резервуаров может быть достигнуто также и с применением метательного взрывного устройства (гранаты). Террористический акт на территории самого объекта не рассматривается, т.к. объекты подобного рода, как правило, находятся под серьёзной охраной.

Инициирующее событие аварии состоит в разгерметизации трубопроводов или оборудования. Аварийный процесс – это процесс, при котором сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия и отходы производства, а также установленное на промышленной площадке оборудование вовлекаются в результате возникновения инициирующего события аварии в не предусматриваемые технологическим регламентом процессы (прежде всего физико-химические) на промышленной площадке предприятия – взрывы, пожары и т.д.; и создают поражающие факторы – ударные, осколочные, тепловые и токсические нагрузки для персонала объекта, населения и окружающей среды, а также самого промышленного предприятия. Каждая аварийная ситуация может иметь несколько стадий развития, при сочетании определенных условий может быть приостановлена, перейти в следующую стадию развития или на более высокий уровень.

Для проведения расчета вероятных зон действия чрезвычайной ситуации, во-первых, определим количество соляной кислоты, принимающей участие в формировании зон токсического поражения с учетом принятых допущений. Напомним принятые допущения: выброс соляной кислоты равен ее количеству в максимальной по объему единичной емкости (100 т); метеорологические условия (наихудшие) – инверсия, скорость ветра 1 м/с; толщина слоя разлитой соляной кислоты на подстилающей поверхности принимается равной 0.05 м по всей площади разлива. Первичное облако – это облако, образующееся в результате быстрого (1-3 мин) перехода в атмосферу части соляной кислоты из емкости при ее разрушении.

Эквивалентное количество (т) вещества в первичном облаке определяется по формуле:

$$Q_{э1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 \quad (6)$$

где: K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения (K_1 = 0);

K_3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого вещества (K_3 = 0.3);

K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости атмосферы (для инверсии K_5 = 1);

K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (K_7 = 1 при 20°С);

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т (Q_0 = 100).

В данном случае первичное облако не образуется ($Q_{э1}$=0). Вторичное облако – это облако, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности. Эквивалентное количество вещества во вторичном облаке может быть рассчитано по формуле:

$$Q_{э2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot Q_0 / h \cdot d \quad (7)$$

где: K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств вещества (K_2=0.021);

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра (для скорости ветра 1 м/с K_4=1);

K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии (при Т < 1 ч K_6 принимается для 1 ч, K_6 = 1); h – толщина слоя, м (h = 0.05 м); d – плотность вещества, т/м^3 (d = 1.18 т/м^3); $Q_{э2}$ = 10.678 т.

Далее в соответствии с Методикой моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ с применением программного комплекса «Токси+RISK» был проведён расчет зон токсического поражения (таблица 4).

Таблица 4

Результаты расчета зон токсического поражения

Исходные данные	
Наименование вещества	Кислота соляная (36%-ная)
Агрегатное состояние	Жидкость
Масса вещества, т	100
Давление в емкости, атм	1
Метеоусловия: скорость ветра, м/с температура воздуха, °С время суток Инсоляция	 1 20 День Интенсивная
Местность: тип местности тип подстилающей поверхности температура подстилающей поверхности, °С	 Городская застройка Бетон 20
Тип аварии	Полное разрушение емкости
Время экспозиции, с	1800
Результаты расчета	
Количество вещества, кг: в первичном облаке во вторичном облаке	 0 10 678
Плотность вещества в выбросе, кг/м^3 в первичном облаке во вторичном облаке	 0 1.15
Начальный размер облака, м: первичного вторичного	 0 6.73
Площадь пролива, м^2	181.14
Протяженность зоны, м: **смертельного поражения** **пороговых поражений**	 **12** **151**

Исходя из результатов проведенных расчетов могут быть сделаны следующие выводы, а также предложены рекомендации с целью минимизации возможного ущерба от ЧС, связанной с аварийной разгерметизацией ёмкостей с соляной кислотой.

Выводы и рекомендации

1. В результате разгерметизации одной емкости (100 т) с соляной кислотой зона смертельного токсического поражения составит 12 м, зона порогового токсического поражения – 151 м.

2. Согласно методическим рекомендациям по ликвидации последствий радиационных и химических аварий, непосредственно на месте аварии и в зонах заражения с

высокими концентрациями на расстоянии до 50 м от места разлива работы должны проводиться в изолирующих противогазах.

3. Значение индивидуального риска техногенных ЧС на границе объекта ($7.20 \cdot 10^{-6}$) превосходит значение допустимого риска ЧС, например, для г. Москвы ($6.42 \cdot 10^{-6}$) [16].

4. Требуется проведение комплекса мероприятий, направленных на уменьшение значения индивидуального риска техногенных ЧС на границе объекта в пределах значений допустимого риска ЧС. В связи с этим могут быть предложены следующие рекомендации, рассчитанные на минимизацию вероятности нанесения ущерба местам производства, а также хранения ёмкостей с соляной кислотой на огражденных территориях. Необходимо расположить открытую площадку хранения ёмкостей с соляной кислотой на расстояние не менее 50 м между границей территории предприятия (склада) и дорожным полотном. На указанном расстоянии давление ударной волны составит менее 12 кПа, что не приведет к разгерметизации емкостей с соляной кислотой. Таким образом, в соответствии с Методическими основами по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах, вероятность полного разрушения уменьшится на величину $5.0 \cdot 10^{-6}$, а индивидуальный риск техногенных ЧС на границе объекта составит $3.6 \cdot 10^{-6}$, что будет меньше значения допустимого риска ЧС.

5. В качестве дополнительной меры, с целью снижения риска попадания в зону возможного порогового токсического поражения населения, можно предусмотреть возведение защитного купола (ангара) над всей площадкой хранения ёмкостей с соляной кислотой. При этом с внутренней стороны должна быть предусмотрена облицовка материалами, максимально стойкими к воздействию соляной кислоты и ее паров, а также системы вентиляции, пожаротушения, освещения и другие системы жизнеобеспечения и обеспечения работы персонала, включая систему световой и звуковой сигнализации при превышении уровня загазованности в помещении. Конструкции каркаса купола, в идеале, должны быть рассчитаны на возможное воздействие воздушной ударной волны, которая может возникнуть в случае совершения теракта, в том числе, возможно, и с использованием БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. N 74) – [электронный ресурс] – адрес доступа: https://base.garant.ru/12158477/b89690251be5277812a78962f6302560/?ysclid=m9hekvbe6p458170700

2. СП 302.1325800.2017. «Склады для аварийно химически опасных веществ. Правила проектирования» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 27 июля 2017 г. N 1034/пр) [электронный ресурс] – адрес доступа: https://base.garant.ru/71801916/1.

3. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы». – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.

4. ГОСТ 857-95. Кислота соляная синтетическая техническая. – Минск: Стандартинформ, 2008. – 21 с.

5. ТУ 2122-067-52470175-2006. Технические условия. Кислота соляная синтетическая. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 23 с.

6. Справочник химика. Под ред. Никольского Б.П. т. 2. –М.: Химия, 1964. -1162 с

7. ГОСТ 12.1.044-89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов». – М.: Стандартинформ, 2006. – 100 с.

8. ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». – [электронный ресурс] – адрес доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/42/42033/.

9. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы. – М. : Минздрав России, 2003. – 86 с.

10. Швайкова М.Д. «Токсикологическая химия». – М. : Медицина, 1975. – 376 с.

11. Справочник «Вредные вещества в промышленности». Под ред. Лазарева Н. В. и Левиной Э.Н. – Л.: Химия, 1977. т. 3. – 608 с.

12. СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах» (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 18 февраля 2014 г. N 60/пр) – [электронный ресурс] – адрес доступа: https://base.garant.ru/77664888/?ysclid=m9h2sj9cb1547831764.

13. ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» (утв. постановлением Госстандарта СССР от 14 июня 1991 г. N 875). – [электронный ресурс] – адрес доступа: https://base.garant.ru/3922226/?ysclid=m9h3xhnubj301556486.

14. Гаценко В.П., Королёв В.А. «Прогнозирование последствий взрывных явлений и гражданская защита в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени». Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 80 с.

15. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (приказ Ростехнадзора от 03 ноября 2022 года № 327). – [электронный ресурс] – адрес доступа: https://kubancentr.ru/images/docs/Prikaz-Rostekhnadzora-ot-03.11.2022-N-387.pdf.

16. ГОСТ Р 22.2.02-2015 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайной ситуации при разработке проектной документации объектов капитального строительства». – М.: Стандартинформ, 2018. – 15 с.

ASSESSMENT OF THE RISK OF EMERGENCIES IN PLACES OF PRODUCTION AND STORAGE OF HYDROCHLORIC ACID, THE POSSIBILITY OF THEIR PREVENTION AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES

Kuznetsov M. V., Flora R. L.

The paper considers possible scenarios of emergency situations (ES) in places of production and storage of hydrochloric acid as a result of natural disasters, man-made accidents, as well as terrorist acts. The necessary measures related to the elimination and minimization of the consequences of an emergency with an emergency chemically hazardous substance (ECHS) – hydrochloric acid, which may occur if it is spilled, evaporated or its decomposition products spread as a result of an explosion, were described. The degrees of destruction, as well as the damage radii as a result of a possible terrorist act at a hydrochloric acid storage or production facility, were also calculated. Possible toxic damage zones were also assessed, as well as the scale of individual risk to urban infrastructure and water supply facilities. Additional measures have been proposed to reduce the risk of damage to the population and infrastructure by hydrochloric acid decomposition products through technical and structural improvements at its production and storage facilities, as well as equipping emergency response units involved in emergency response operations.

Keywords: natural and man-made emergencies, emergency chemically hazardous substances (ECHS), hydrochloric acid, risk assessment, terrorist act, toxodoses, elimination of consequences.

Сведения об авторах:

Кузнецов Максим Валерьевич,
Доктор химических наук, главный научный сотрудник 4 Научно-исследовательского центра (НИЦ) Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ),
г. Москва, Российская Федерация
SPIN-код – 6127-9141

Флора Руслан Леонидович,
Младший научный сотрудник 4 Научно-исследовательского центра (НИЦ) Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий),
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ),
г. Москва, Российская Федерация
SPIN-код – 5333-5906

ЭКОЛОГИЯ

УДК 57.014

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД КАСПИЯ МАХАЧКАЛИНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Фролов Дмитрий Андреевич

Непостоянство уровня Каспийского моря, огромная изменчивость её гидрологических и гидрохимических условий, требуют постоянного и тщательного слежения за ним. Основной целью нашего исследования является изучение источников загрязнения водоема, их качественную и количественную характеристику, сравнение текущего состояния загрязнителей с предыдущими периодами, тем самым выявив тенденции и динамику изменения вод Каспия. В данной научной статье рассматриваются данные экологического мониторинга прибрежных морских вод города Махачкала в период с 2022 по 2024 года. Особое внимание уделяется анализу загрязнения воды, вызванного наличием таких загрязнителей как нефтяные углеводороды, фенолы, и аммонийный азот. Исследования проводились с целью оценки уровня этих загрязнений и их влияния на экосистему прибрежных вод Каспия. Результаты проведенных исследований показывают значительное превышение допустимых норм отдельных загрязнителей, что указывает на необходимость принятия мер по улучшению экологической ситуации прибрежных вод Каспия Махачкалинского побережья.

Ключевые слова: экологический мониторинг, Каспий, индекс загрязнения вод, ПДК, растворенный кислород, нефтяные углеводороды, фенолы, азот аммонийный.

Каспийское море – это один из самых уникальных водоемов не только нашей станы, но и всей планеты. Каспийское море уникально по природным особенностям. Расположен он на стыке двух частей Евразии, в различных ландшафтных зонах и не имеет естественной связи с мировым океаном. Обладает редкими запасами рыб осетровых видов и ценным эндемичным биоразнообразием. В настоящее время его уровень подвержен резким колебаниям и составляет -29,01 м по балтийской системе.

Каспийское море является крупнейшим замкнутым водоемом и его площадь равна 378,4 тыс. км^2, что составляет 19% общей площади всех озера на планете [1].

Каспий активно используется как для эксплуатации биоресурсов, так и для разработки месторождений. Высокая напряженность экологической ситуации в этом регионе определяется совместным действием ряда негативных природных и антропогенных факторов и нарастающими угрозами деградации природных комплексов береговой зоны и экосистемы всего моря. Хотя в морскую среду поступает более 1000 химических соединений, включая токсичные, однако сырая нефть и нефтепродукты остаются приоритетными загрязнителями моря. Основными источниками поступления углеводородных соединений в воды Каспия является транспортировка нефти и водный транспорт, просачивание углеводородов со дна моря, промышленные сбросы и нефтеперерабатывающая индустрия.

Опыт освоения нефтегазоносных месторождений на морской акватории показывает, что даже при нормативном режиме добычи нефти каждая буровая установка является источником множества загрязнений, в которые входят твердые, жидкие и газообразные компоненты. В среднем при освоении морских месторождений в водную среду поступает от одной скважины от 30 до 120 тонн нефти в год [5,4].

В настоящее время мониторинг прибрежных вод нашей Республики осуществляет Дагестанский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ДЦГМС). Он проводит гидрологические наблюдения за уровнем моря и температурой воды на ГМС Махачкала с начала XX века [39]. Позже эти наблюдения начали проводится на таких ГМС как о. Тюлений, Лопатин, Сулак, Избербаш, Каспийск, Дербент и Самур, при этом спектр наблюдений был расширен, в частности наблюдения за солёностью начали проводится с 1947 года [3]. В

ходе экспедиционных работ проводятся гидрологические (температура, призрачность, цветность, солёность морских вод), гидрохимические (pH, концентрация растворенного кислорода, кремния, нитратного, нитритного аммонийного и общего азота) и химические (концентрации нефтяных углеводородов, фенолов и СПАВ, [8].

Таблица 1) [8].

Таблица 1.

Список существующих пунктов наблюдения
за прибрежными водами РД по состоянию на 2024 год

№	Район наблюдений	Способ наблюдений	Вид наблюдений	Организация, ведущая наблюдения
1	О. Тюлений	стационарные	ГЛ	ДЦГМС
2	Лопатин	экспедиционные	ГЛ, ГХ	ДЦГМС
3	Взм. Терека	экспедиционные	ГЛ, ГХ	ДЦГМС
4	Взм. Сулака	экспедиционные	ГЛ, ГХ	ДЦГМС
5	Махачкала	стационарные экспедиционные	ГЛ, ГХ	ДЦГМС
6	Каспийск	экспедиционные	ГЛ, ГХ	ДЦГМС

Материал и методы исследования. Для исследовательски-экспедиционных работ использовалось судно типа РС-300(НИС «ТАНТАЛ») Судно оснащено практически всем необходимым оборудованием – спутниковой навигационной системой, портативной судовой экспресс-лабораторией, батометрами, гидрологическими и траловыми лебедками, дночерпателями.

Отбор проб для анализа производится со стандартных горизонтов и в придонном слое, а также в слоях пикноклина и ярко выраженного загрязнения, если таковые имеются. Материал отбирали батометром в ходе плановых мониторинговых работ в прибрежных водах Махачкалы. Обобщение материалов выполнено в ФГБОУ «Дагестанский» ЦГМС.

В данной работе уровень загрязнённости морских прибрежных вод характеризуется концентрацией отдельного химического соединения или ингредиента в принятых для него единицах измерения, а также значением кратным предельно допустимой концентрации (

Таблица 2).

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации отдельных загрязняющих веществ

Название ингредиента	Лимитирующий фактор вредности	ПДК
Растворенный кислород	Общие требования	не ниже зимой 4,0 мг/л летом 6,0 мг/л
Нефтяные углеводороды	Токсикологический	0,05 мг/л
Фенолы	Токсикологический	0,001 мг/л
Азот аммонийный	Токсикологический	0,4 мкг/л

Химический анализ проб воды и донных отложений производится в соответствии с методами, изложенными в разработанных в ГОИН руководящих документах: Руководство по химическому анализу морских вод (РД 52.10.243-92, 1993) и Определение загрязняющих веществ в морских донных отложениях и взвеси [2,7,10].

Для оценки состояния экосистемы Каспийского моря использовались методы, рекомендуемые Росгидрометом, в том числе определение качества воды по комплексному

показателю индекса загрязненности вод (ИЗВ) [6,9]. При его расчете учитывалось содержание в морской воде растворенного кислорода, аммонийного азота, нефтяных углеводородов и фенолов (.

Таблица 3).

Таблица 3

Оценка качества морских вод с использованием ИЗВ

Качество морских вод		Диапазон значений ИЗВ
Очень чистые	I	ИЗВ ≤ 0,25
Чистые	II	0,25 <ИЗВ ≤ 0,75
Умеренно загрязнённые	III	0,75 <ИЗВ ≤ 1,25
Загрязненные	IV	1,25 <ИЗВ ≤ 1,75
Грязные	V	1,75 <ИЗВ ≤ 3,00
Очень грязные	VI	3,00 <ИЗВ ≤ 5,00
Чрезвычайно грязные	VII	ИЗВ> 5,00

Результаты исследования. С 2022 по 2024 год был проведен анализ химических веществ в прибрежных водах Махачкалинского побережья Каспия (Рисунок 1).

В 2022 году содержание растворенного кислорода в морских водах Махачкалы было в пределах нормы допустимых концентраций. Его значения колебались от 7,97 мг/л до 9,76 мг/л, при среднем 9,05 мг/л. Концентрация нефтяных углеводородов изменялась в пределах 0,04 (менее 1 ПДК)-0,07 мг/л (1,4 ПДК). Среднее значение составляло 0,05 мг/л (1 ПДК).

Содержание фенолов в воде превышало предельно допустимые значения: минимальная концентрация равнялась 0,002 мг/л (2 ПДК), максимальная – 0,005 мг/л(5ПДК), средняя – 0,004 мг/л (4 ПДК).

Содержание аммонийного азота во всех пробах было в пределах допустимых значений – от 236 до 399 мкг/л, (менее 1 ПДК), составив в среднем 325 мкг/л. Значение индекса ИЗВ составило 1,64, что можно отнести к IV классу «загрязненные» (.

Таблица 3).

В 2023 году наблюдалось повышенное максимальное содержание растворенного кислорода в прибрежных водах столицы Дагестана. Концентрация изменялась в пределах 8,58 – 11,36 мг/л, при среднем значении в 9,00 мг/л.

Содержание нефтяных углеводородов, колебалось в пределах 1,4 ПДК (от 0,03 до 0,07 мг/л, при среднем значении 0,05 мг/л.). Была выявлена наиболее сильная концентрация фенолов в воде – 0,007 мг/л (7 ПДК), самая наименьшая концентрация 0,002 мг/л (2 ПДК). Средний показатель равнялся 0,003 мг/л, (3 ПДК).

Что касается аммонийного азота, то его среднее значение несущественно выросло по сравнению с предыдущем годом – 351 мкг/л (менее 1 ПДК). Минимум и максимум равнялся 247 и 395 мкг/л (менее 1 ПДК). ИЗВ составил 1,41, что так же соответствует IV классу «загрязненные». По сравнению с предыдущем годом, качество вод не изменилось.

За 2024 год концентрация растворенного кислорода в пределах прибрежных вод Махачкалы оставалась примерно такой же. Минимальное значение составляло 8,37 мг/л, максимальное – 11,36 мг/л. Средний показатель равнялся 9,43 мг/л. Особо существенных изменений в сравнение с предыдущем годом не обнаружено.

Пространственная изменчивость нефтяных углеводородов в 2024 году оставалась практический такой же. Ее содержание варьировалась от 0,03 до 0,06 мг/л, при среднем показатели 0,05 мг/л (1ПДК). Наибольшая концентрация фенолов приблизилось к отметке 0,006 мг/л (6 ПДК), минимальная – 0,001 мг/л (1 ПДК). Содержание фенолов в среднем равняется 0,004 мг/л (4ПДК).

Содержание аммонийного азота в воде изменялось в пределах 300 – 398 мкг/л, при среднем значении 357 мкг/л. Существенных изменений по сравнению с предыдущими годами, не выявлено.

В 2024 году значение ИЗВ равнялось 1,63, что соответствует IV классу «загрязненные».

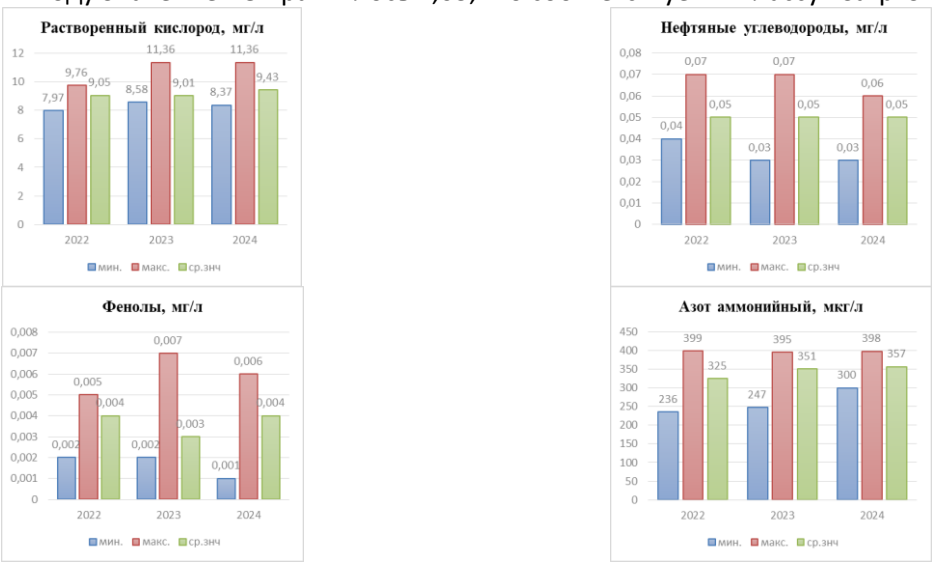


Рисунок 8 – Содержание растворенного кислорода и загрязнителей в прибрежных водах Каспия побережья г. Махачкалы

Проведенный анализ состояния прибрежных вод Махачкалы за период 2022-2024 годов демонстрирует стабильное наличие загрязняющих веществ, что подтверждает класс «загрязненные» (IV класс) в соответствии с установленными критериями.

В течение трех лет наблюдений уровень растворенного кислорода варьировался в пределах допустимых норм, однако не продемонстрировал значительных изменений, что свидетельствует о стабильности кислородного режима водоема. Концентрация нефтяных углеводородов также оставалась на уровне, не превышающем 1,4 ПДК.

Особое внимание следует обратить на содержание фенолов, которое превышало предельно допустимые значения, особенно в 2023 году, когда была зафиксирована максимальная концентрация в 0,007 мг/л (7 ПДК). Это указывает на наличие источников загрязнения, требующих дальнейшего изучения и контроля.

Содержание аммонийного азота находилось в пределах допустимых значений, но наблюдаемое незначительное повышение в 2024 году может свидетельствовать о тенденции к ухудшению качества воды.

В целом, результаты анализа показывают, что состояние прибрежных вод Махачкалы требует принятия мер по улучшению качества водных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бутаев А.М., Гаджиев А.З. 1999. Современное состояние и возможные направления развития экосистемы Каспийского моря. Вестник ДНЦ РАН. № 4:85-95.

2. Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волга и морской среды российского сектора Каспийского моря за 2022 год. – URL: http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2023/.pdf

3. Гусейнова С.А. 2013 Оценка современного экологического состояния Каспийского моря и возможные последствия при эксплуатации нефтегазовых месторождений (Отв. ред. В. Ф. Зайцев). Москва, Товарищество научных изданий КМК:45-60

4. Гусейнова С.А., Абдурахманов Г.М. 2007. Экологическая оценка загрязнения дагестанского шельфа Каспийского моря нефтяными углеводородами. Общественно-научный журнал «Проблемы региональной экологии» №6: 75-85.

5. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Отв. ред. В.Ф. Бреховских, Е.В. Островская. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – 406 с.

6. Методические Рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. – Москва, Госкомитет СССР по гидрометеорологии, 1988.- 9 с.

7. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в морских донных отложениях и взвеси. РД 52.10.556-95. ред. С.Г. Орадовский. М. Гидрометеоиздат, 1996.- 50 с.

8. Некоторые особенности формирования гидрохимического режима прибрежных вод Дагестана / Ахмедова Г.А., Гусейнова А.Д., Монахов С.К., Бутаев А.М. // Вестн. ДНЦ РАН, 2000. № 6. С. 101-105.

9. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июля 2020 г. N 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением» – URL: https://base.garant.ru/75048136/ .

10. РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». – URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293831/4293831806.pdf .

ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE COASTAL WATERS OF THE CASPIAN SEA OF THE MAKHACHKALA COAST

Frolov D.A.

The fluctuating level of the Caspian Sea and the significant variability of its hydrological and hydrochemical conditions necessitate continuous and thorough monitoring. The main objective is to identify pollution sources, provide both qualitative and quantitative assessments, and compare current pollution levels with those of previous periods, thereby revealing trends and dynamics of change. This article presents environmental monitoring data of the coastal marine waters of Makhachkala from 2022 to 2024. Particular attention is given to the analysis of water pollution caused by contaminants such as petroleum hydrocarbons, phenols, and ammonium nitrogen. The study aims to assess the concentration of these pollutants and their impact on the coastal aquatic ecosystem. The findings indicate significant exceedances of permissible limits for certain pollutants, highlighting the urgent need for measures to improve the environmental situation.

Keywords: environmental monitoring, water pollution index, maximum permissible concentration (MPC), Caspian Sea, dissolved oxygen, petroleum hydrocarbons, phenols, ammonium nitrogen.

Сведения об авторах:

Фролов Дмитрий Андреевич
Магистрант кафедры экологии,
Институт экологии и устойчивого развития,
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

Научный руководитель: Давудова Элла Заметдиновна,
к.б.н, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Россия

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 678.8:658.567

АНАЛИЗ ПРОМЫВНЫХ ВОД ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЛОИСТЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Иванов Захар Александрович,
Есякова Ольга Александровна,
Васюк Александра Евгеньевна

В статье рассматривается технология расслоения упаковочного композитного материала вида Tetra-Pak химическим способом. Представлены этапы утилизации упаковочного материала с указанием аппаратурного оформления и научно-практических решений. Результатом проделанной работы является технология обращения с данным видом отхода, с указанием требований к исходному сырью и сопутствующих ключевых элементов, необходимых для ее реализации.

В ходе кислотной обработки упаковочного материала образуются промывные воды с высоким содержанием используемой кислоты. Данная работа описывает результаты анализа промывных вод и возможность их оборотного применения. Исследование, описанное в данной работе, направлено на качественное и количественное содержание ионов алюминия и других веществ в исследуемом растворе, а также наличие побочный продуктов основной реакции химического процесса.

Ключевые слова: переработка, композитные упаковочные материалы, расслоение, термическая обработка, промывные воды.

Потребительское отношение людей к природе, истощение её природных ресурсов, уничтожение множества популяций различных живых организмов, всё большее развитие индустриализации хозяйства, появление постоянно возрастающего количества предприятий, увеличение не только численности, но и потребностей людей обуславливает тот фактор, что экологическая ситуация, связанная с состоянием окружающей среды, является неутешительной [1].

Несмотря на низкий класс опасности, твердые коммунальные отходы (ТКО) требуют особого внимания. Они представлены в основном товарами, утратившими свои потребительские свойства, и их неправильная утилизация может привести к серьезным экологическим проблемам. ТКО содержат разнообразные материалы, такие как пластик, стекло, металл и органические вещества, которые при разложении могут выделять токсичные вещества в почву и воду.

Кроме того, накопление ТКО на свалках способствует образованию метана – парникового газа, который значительно усугубляет проблему изменения климата. Поэтому необходимо разработать эффективные системы сбора, сортировки и переработки отходов. Важным аспектом является также просвещение населения о правильной утилизации отходов, что поможет снизить объемы ТКО и повысить уровень переработки [2].

Актуальность данной работы обусловлена тем, что на данный момент незначительная часть фракций ТКО сортируется и перерабатывается. В 2025 году тема переработки отходов особо актуальна в связи со строительством отраслевых объектов – экотехнопарков. По информации Министерства экологии Красноярского края, мощности планируемых сортировочных комплексов достигают 87 тыс. тонн в год, что даёт возможность выделения новых фракций ТКО для дальнейшего обращения.

Объектом исследования стали слоистые упаковочные материалы, в частности, слоистые алюминиевые материалы, являющиеся многочисленной составляющей ТКО.

Алюминиевые материалы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как авиационная, космическая, энергетическая и другие. Наибольшую популярность композитные материалы приобрели в пищевой промышленности в качестве упаковки для продуктов питания [3]. Однако использование алюминиевых материалов в упаковке также вызывает определенные вопросы, как экологические, так и охраны здоровья населения. Несмотря на свои преимущества, такие как легкость, прочность и коррозионная стойкость, алюминий требует значительных энергетических затрат для производства, что может негативно сказаться на окружающей среде.

Кроме того, при неправильной утилизации алюминиевой упаковки возникают проблемы с загрязнением. Хотя алюминий можно перерабатывать бесконечно без потери качества, лишь небольшая часть упаковки попадает в систему переработки. Это приводит к накоплению отходов и увеличению нагрузки на полигоны ТКО.

Также существует обеспокоенность по поводу возможной миграции алюминия из упаковки в продукты питания, особенно при длительном хранении или воздействии высоких температур. В связи с этим важно развивать устойчивые технологии и альтернативные материалы для упаковки, которые бы минимизировали негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Выбор и обоснование применения того или иного метода утилизации обусловлен составом композитных упаковочных материалов. Tetra-Pak представляет собой сложную структуру, состоящую из нескольких слоев: 75 % картона, 20 % полиэтилена, 5 % алюминия [4].

Предлагается проведение процесса переработки слоистого упаковочного материала в реакторе разделения слоёв, куда подаётся азотная кислота, как основной реагент. В ходе экспериментальных исследований азотная кислота использовалась различной концентрации: от 20 до 60 % с шагом 10 %. При протекании реакции поддерживалась строго контролируемая температура: от 30 до 60 °С, интервалом 10 °С. Ниже 30 °С условия не применялись в связи с увеличением продолжительности времени протекания реакции. Кроме того, при использовании сильноразбавленной кислоты реакция не протекала. Выше 60 °С температуру не поднимали по причине больших потерь кислоты в виде испарений. Для получения репрезентативных данных проводили серию экспериментов в соответствии с разработанной матрицей.

Процесс расслоения происходил при интенсивном перемешивании, что способствовало ускорению разделения слоёв [5].

После окончания процесса разделения слоёв упаковки, реагентная масса сливалась с реактора и, проходя процесс фильтрации, отделялись компоненты упаковки от кислоты, которая в свою очередь направлялась на повторное применение.

Разделенные компоненты упаковочного материала направлялись в емкость для промывки водой от остатков кислоты. Процесс проводился при интенсивном перемешивании.

После чего, промытые от остатков кислоты слои упаковочного материала подвергались сушке. Полиэтилен, алюминий и картон помещали в сухие резервуары с отводом стекающей воды с последующей грануляцией [6].

Для оборотного применения использованной кислоты первостепенным является определение характеристик промывных вод.

Для поддержания ресурсосбережения процесса, необходим контроль за состоянием промывных вод, который был осуществлен в виде двух направлений исследований – качественные и количественные реакции на содержание ионов алюминия. Данный показатель необходим для понимания степени загрязненности промывных вод.

Качественные реакции

Для определения присутствия ионов алюминия с пробами промывных вод, применяемых в экспериментах по расслоению композитной упаковки, были проведены следующие реакции.

1. Качественная реакция с NaOH

К пробе промывных вод медленно приливался 3-5 % гидроксид натрия.

$$Al(NO_3)_3 + 3NaOH \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3NaNO_3.$$

При исследовании однократно использованной кислоты в процессе расслоения, наблюдалось осветление раствора, что говорит о незначительном содержании ионов алюминия.

При анализе кислоты, многократно участвовавшей в процессе разделения упаковки, наблюдается выпадение осадка.

2. Качественная реакция с ортофосфорной кислотой.

К пробе промывных вод, многократно использованной в технологии расслоения, добавлялась сильно концентрированная ортофосфорная кислота. В результате реакции наблюдалось образование кристаллов, что свидетельствует о высокой концентрации ионов алюминия.

$$Al(NO_3)_3 + H_3PO_4 \rightarrow AlPO_4\downarrow + 3HNO_3.$$

3. При взаимодействии с концентрированным водным раствором аммиака наблюдалось выпадение осадка.

$$Al(NO_3)_3 + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + NH_4NO_3.$$

Количественное определение ионов алюминия

Применялся фотометрический метод с использованием алюминона. Сущность метода заключается в образовании окрашенного комплексного соединения в результате реакции ионов алюминия с алюминоном с последующим фотометрическим определением в диапазоне длин волн от 525 до 540 нм и расчетом массовой концентрации алюминия в пробе анализируемой воды [7].

Подготовка к измерениям осуществлялась в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 18165-2014.

Калибровочный график представлен в виде зависимости оптической плотности растворов от концентрации алюминия на рисунке 1.

Рисунок 1 – Калибровочный график

Объектом исследования являлись промывные воды азотнокислые (60 %).

Кислота использовалась однократно и многократно в качестве реакционной среды для разделения композитной упаковки. В первом случае контакт упаковки с кислотой длился 5 минут до полного расслоения Tetra-Pack, во втором случае процесс продолжался 30 минут. Для обоих процессов условия проведения были одинаковы – поддержание температуры 40 °С и постоянном перемешивании.

Для каждого процесса проводилось два параллельных измерения.

Холостой пробой для измерения является раствор, не содержащий алюминия. В его составе отсутствует азотная кислота. Приготовлен раствор в соответствии с применяемой методикой.

Полученные результаты содержания ионов алюминия представлены в таблице 1.

Таблица 1

Количественное содержание алюминия в исследуемых промывных водах

Проба промывных вод	Содержание алюминия, мг/дм^3
Холостая проба для азотной кислоты	0
Проба «кратковременного контакта» азотной кислоты	0,398
Проба «длительного контакта» азотной кислоты	0,388

Пользуясь полученным графиком зависимости установлено, что среднеарифметическое значение содержания алюминия в пробе «кратковременного контакта» азотной кислоты составляет 0,398 мг/дм^3, а для пробы промывных вод с «длительным контактом» – 0,388 мг/дм^3.

Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что в ходе длительного контакта образца с реагентом, в нашем случае с азотной кислотой, происходит связывание части свободных ионов алюминия с кислотой, в результате чего образуется побочный продукт нитрата алюминия.

$Al + 6HNO_{3(конц.)} = Al(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$.

Количественный состав промывных вод применяемой технологии также определяли методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭ) [8].

Для данного исследования был приготовлен образец, полученный в процессе разложения упаковочного материала азотной кислотой в соотношении 10 г отхода к 100 мл кислоты.

Метод ИСП-АЭ основан на измерении интенсивности излучения (эмиссии) возбужденных в аргоновой плазме атомов и ионов определяемого элемента. Интенсивность излучения зависит от значения массовой концентрации элемента в растворе анализируемой пробы.

В атомно-эмиссионный спектрометр при помощи перистальтического насоса и распылителя вводят раствор анализируемой пробы, который попадает в распылительную камеру в виде мельчайших капель аэрозоля и в потоке аргона через центральную трубку горелки инжектируется в аргоновую индуктивно связанную плазму (ИСП). За время нахождения в плазме (2-3 мс) проба проходит циклы испарения, атомизации, ионизации и возбуждения. Излучение, испускаемое возбужденными атомами и ионами, фокусируется оптической системой спектрометра на входной щели и далее разлагается по длинам волн диспергирующим элементом – дифракционной решеткой.

Минерализация проб. К пробе анализируемой воды, не содержащей заметных глазом взвешенных частиц, добавляют концентрированную азотную кисло ту из расчета 2,0 см^3 азотной кислоты на 100 см^3 воды, раствор тщательно перемешивают и выдерживают не менее 2 ч. К 100 см^3 законсервированной пробы, не содержащей заметных глазом взвешенных частиц, добавляют еще 1,0 см^3 концентрированной азотной кислоты, раствор тщательно перемешивают и выдерживают не менее 2 ч. В качестве холостой пробы используют бидистиллированную или деионизированную воду с тем же количеством концентрированной азотной кислоты, что и в пробе.

Микроволновое разложение проб. Пробы сточных или природных вод, содержащие взвешенные частицы или осадок, тщательно перемешивают. Отбирают мерным цилиндром 50 см^3 анализируемой пробы, помещают во фторопластовый цилиндр автоклава микроволновой печи. Затем к пробе добавляют 2 см^3 концентрированной азотной кислоты и выдерживают в вытяжном шкафу 15-30 мин.

Далее вставляют фторопластовый цилиндр в автоклав в соответствии с Руководством по эксплуатации (Operation manual) микроволновой печи, соблюдая все меры предосторожности. Автоклавы помещают в микроволновую печь, устанавливают программу разложения пробы,

рекомендованную фирмой – изготовителем микроволновой печи и приведенную в Руководстве по эксплуатации.

Охлажденный автоклав осторожно встряхивают для перемешивания содержимого и приоткрывают крышку для уравновешивания давления. Качественно разложенная проба после удаления окислов азота должна представлять собой бесцветный или желтоватый прозрачный раствор, без не растворившихся частиц на стенках фторопластового вкладыша. Затем охлажденный до комнатной температуры раствор количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 $см^3$, обмывают стенки вкладыша небольшими порциями бидистиллированной или деионизированной воды, доводят до метки и тщательно перемешивают.

Холостую пробу готовят параллельно с партией анализируемых проб, используя для этого бидистиллированную или деионизированную воду, выполняя все указанные выше операции, и она содержит те же реактивы и в тех же количествах, что и анализируемые пробы [9].

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание некоторых элементов в промывных водах

Наименование элемента	Среднее содержание в образце, $мг/дм^3$	$ПДК_{м.р.}$, $мг/дм^3$
Кальций	772	180
Хром (ⅡⅠ)	0,145	0,5
Железо	1,845	5
Натрий	53	200
Цинк	0,995	1
Алюминий	**22,435**	**5**

Для сравнения использовались значение ПДК максимально разовые [10].

Подведём итоги, анализируя полученные данные:

- в исследуемой пробе повышенная жесткость, что необходимо учитывать при ведении технологического процесса;
- содержание хрома в образце не превышает значение $ПДК_{м.р.}$;
- содержание железа не превышает предельно-допустимого значения;
- содержание натрия в исследуемом образце в пределах нормы;
- содержание цинка в пробе находится на верхней границе предельно допустимого значения. Длительное воздействие цинка, превышающего предельно допустимую концентрацию (ПДК), вредно для здоровья: зацинкованная питьевая вода ослабляет организм, снижает иммунитет и повышает риск развития различных заболеваний;
- содержание алюминия в пробе превышает $ПДК_{м.р.}$ в 4,5 раза. Повышенное содержание алюминия в сточных водах опасно для здоровья человека и животных при постепенном накоплении растворов солей алюминия.

В заключении отметим, что проведённое исследование промывных вод технологии переработки слоистых упаковочных материалов позволило, с помощью качественных и количественных методов, определить содержание алюминия и ряда других химических веществ. Анализ показал, что длительный контакт образцов упаковочного материала с химическим реагентом ведёт к образованию побочных продуктов основной химической реакции, что было доказано с помощью качественных реакций и динамики изменения содержания ионов алюминия в растворе.

Повышенное содержание остальных рассматриваемых химических элементов говорит нам о необходимости обработки получаемых промывных вод при выведении из технологического процесса.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ярмиева, А. Б. Твердые коммунальные отходы: существующие проблемы и пути их решения // Вопросы российской юстиции. 2020. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tverdye-kommunalnye-othody-suschestvuyuschie-problemy-i-puti-ih-resheniya (дата обращения: 17.03.2025). Текст: электронный.

2. Бенин, Д. М. Негативное воздействие ТКО на окружающую среду при их складировании на объектах захоронения отходов / Д. М. Бенин, Е. С. Маркова // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 18. – С. 267-277. – Текст: непосредственный.

3. Тихойкина, И. М. Современные требования и тенденции развития упаковки соковой продукции / И. М. Тихойкина // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. – 2016. – № 4. – С. 211-215. – Текст: непосредственный.

4. Гонопольский А.А. Комплексная утилизация отходов многослойных упаковочных материалов: Автореф. дисс. канд. тех. наук. – Москва, 2011. – 122 с. – Текст: непосредственный.

5. Иванов, З. А. Расслоение Tetra-Pak химическим методом / З. А. Иванов, Б. А. Байдуров, А. Е. Васюк, О.А. Есякова // Вода: химия и экология. – 2023. – № 11. – С. 71-80. – Текст: непосредственный.

6. Иванов, З. А. Технология переработки композитных упаковочных материалов / З. А. Иванов, О. А. Есякова, А. Е. Васюк // Вода: химия и экология. – 2024. – № 9. – С. 55-63. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ 18165-2014 Вода. Методы определения содержания алюминия / Москва. – 2015 г. – 27 с. – Текст: непосредственный.

8. ПНДФ 14.1:2:4.135-98 Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой / Москва. – 1998 г. – 27 с. – Текст: непосредственный.

9. Галева Э. И., Холин К. В., Нефедьев Е. С. Возможности атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 9. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-atomno-emissionnoy-spektrometrii-s-induktivno-svyazannoy-plazmoy (дата обращения: 17.03.2025). – Текст: непосредственный.

10. Российская Федерация. Законы. Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ № 644. – Москва: Совет Министров, 2023. – 106 с. – Текст: непосредственный

ANALYSIS OF WASHING WATERS OF THE TECHNOLOGY OF PROCESSING LAYERED PACKAGING MATERIALS

Ivanov Z.A., Esyakova O.A., Vasyuk A.E.

The article provides a chemical method for layering a Tetra-Pak packaging composite The article discusses the technology of chemical layering of Tetra-Pak packaging composite material. The stages of packaging material disposal are presented, indicating the hardware design and scientific and practical solutions. The result of the work done is a technology for handling this type of waste, indicating the requirements for the raw materials and related key elements necessary for its implementation.

During the acid treatment of the packaging material, washing waters with a high acid content are formed. This paper describes the results of the analysis of washing waters and the possibility of their recycling. The study described in this paper is aimed at the qualitative and quantitative content of aluminum ions and other substances in the test solution, as well as the presence of byproducts of the main reaction of the chemical process.

Keywords: recycling, composite packaging materials, layering, heat treatment, washing water.

Сведения об авторах:

Иванов Захар Александрович
Студент,
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, г. Красноярск

Есякова Ольга Александровна
К.б.н., доцент,
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, г. Красноярск

Васюк Александра Евгеньевна
Ассистент,
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, г. Красноярск

УДК 544.723

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЧИСТКИ ВЫСОКОЦВЕТНЫХ ВОД КОАГУЛЯЦИЕЙ И УГЛЕВАНИЕМ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОИСТОЧНИКОВ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Чиши Татьяна Сергеевна,
Свиридов Алексей Владиславович

Рассмотрен двухстадийный коагуляционно-адсорбционный метод очистки высокоцветных вод с использование алюмосодержащего коагулянта и активного древесного порошкообразного угля (АУ). Исследованы основные физико-химические параметры, р. Чусовая Свердловская область. Проведен сравнительный анализ изменения параметров воды р. Чусовая в зависимости от сезона года (цветность, мутность, окисляемость). Определены наиболее неблагоприятные периоды года для рассматриваемого объекта. Приведены результаты очистки воды в разные сезоны года. Получены экспериментально данные по подбору дозировок коагулянта и АУ. Произведен сравнительный анализ оптимальных дозировок реагентов для очистки воды в разные периоды года. Полученные результаты позволяют получать очищенную воду в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 в изученные периоды.

Ключевые слова: очистка природных водоисточников, коагуляция, коагулянты, адсорбция, активный уголь.

На долю заболоченных земель в Свердловской области приходится боле 5,5 млн га. [1]. 16,9% почв занимают торфяные болотные и лугово-болотные территории; 42,4% подзолистые и болотно- подзолистые почвы. [2].

Одним из основных источников водоснабжения Свердловской области является река Чусовая. Показатели цветности и окисляемости вод реки Чусовая зависят от ее географического положения. В зависимости от сезона года качество воды различно. Повышение концентрации органических веществ наблюдаются, как правило, в летний период (высокое содержание органических веществ, железа в этот период года связано с определенными погодно-климатическими условиями: обильное выпадение осадков, высокая среднесуточная температура), а также в период паводка, за счет снеготаяния и высокого уровня грунтовых вод.

Необходимость исследований, направленных на снижение цветности и окисляемости питьевой воды, обусловлена высоким содержанием органических веществ в источнике водоснабжения р. Чусовой и, как следствие, превышением этих показателей в питьевой воде, поступающей потребителю [3].

В работе показаны изменения показателей: цветности, мутности, окисляемости воды р. Чусовая в зависимости от сезона года. Представлены сравнительные концентрации потребления реагентов для очистки воды до нормативных показателей, регламентированных СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [4]. Данные приведены в таблице 1

Таблица 1

Показатели, нормируемые по СанПиН 1.2.3685-21

Показатели	Единицы измерения	Нормативы/предельно допустимые концентрации (ПДК), не более
Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0
Цветность	градусы	20
Мутность	ЕМФ мг/л (по каолину)	1,5
Железо (общее)	мг/л	0,3

Экспериментальная часть

В данной работе для очистки применен комбинированный адсорбционного-коагуляционный метод очистки [5,6].

Моделирование процессов реагентной обработки (смешение, хлопьеобразование) и отстаивание выполнялось в статических условиях на лабораторном флокуляторе (Рисунок 1), оборудованном шестью лопастными мешалкам, и позволяющим варьировать гидродинамику процессов смешивания, флокулирования и отстаивания в проводимых экспериментах.

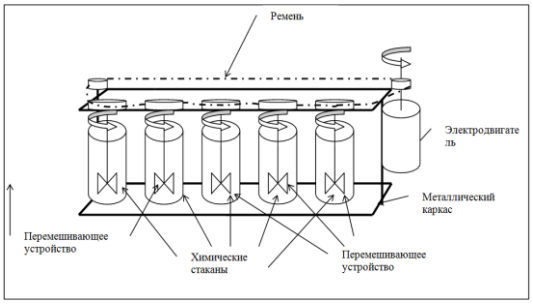


Рисунок 1 – Лабораторный флокулятор

Моделирование процессов фильтрования выполнялось на лабораторной фильтрационной установке (Рисунок 2). Фильтрационные колонки были загружены кварцевым песком фракции 0,38÷2,0 мм. Скорость процесса фильтрования 4 м/ч.

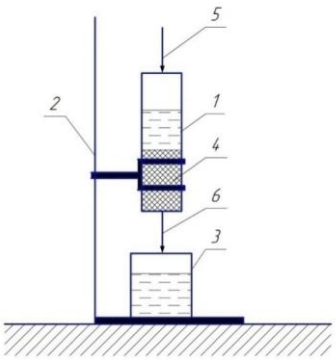


Рисунок 2 – Лабораторная фильтрационная установка
1 – фильтрационная колонка; 2 – штатив с лапкой; 3 – стакан с фильтратом;
4 – кварцевый песок; 5 – подвод осветленной воды; 6 – отвод фильтрат

На первом этапе проводили обработку воды реагентами: коагулянт [7] окси хлорид алюминия (ОХА) и флокулянт полиакриламидного типа. Второй этап –адсорбция [8] на активном березовом угле. Активный березовый уголь [9] дозировался в обрабатываемую воду в виде пульпы. АУ соответствует стандартам ГОСТ 17219-71 [10]. Характеристики АУ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики порошкообразного АУ

Наименование показателя	Значение показателей
Фракционный состав, %	< 100 мкм
Содержание влаги, %, не более	8
Общее содержание золы, %, не более	5
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г, не менее	не менее 240
Адсорбционная активность по йоду, мг/г, не менее	1000
Содержание водорастворимых соединений железа	отсутствие

В качестве объекта использовалась вода реки Чусовой Свердловская область, усредненные данные по изучаемым показателям приведены в таблице 3

Таблица 3

Основные усредненные показатели воды р. Чусовая в зависимости от сезона года

Показатель	Лето	Осень	Зима
pH	7,2	7,7	7,3
Цветность, град.	212,8	72	33,2
Мутность, ЕМФ	13,4	9,7	10,5
Fe, мг/дм³	2,7	1,94	1,6
Окисляемость, мг О/дм³	37,7	10,5	5,7

Так как вода в водоисточнике в зависимости от сезона имеет разные значения показателей. Доза коагулянта в разные периоды год подбиралась экспериментально. Оптимальная доза коагулянта определялась по результатам пробного коагулирования и зависела от показателей исходной воды. Для летнего периода оптимальная доза составила 38,4 мг/дм^3, осенью – 10,5 мг/дм^3, зимой – 3,5 мг/дм^3 Результаты экспериментов по дозировке коагулянта по сезонам представлены в таблицах 4,5,6.

Таблица 4

Результаты эксперимента
по очистке воды коагулянтом окси хлоридом алюминия (ОХА) (летний период)

Показатель	ОХА, мг/дм^3			
	27	**29,8**	**32,7**	**38,4**
pH	7,7	7,7	7,6	7,6
Цветность, град.	9,1	8,6	7,6	6,8
Мутность, ЕМФ	< 1	< 1	< 1	< 1
Fe, мг/дм^3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Окисляемость, мгО/дм^3	4,9	4,1	4,3	3,4

Таблица 5

Результаты эксперимента
по очистке воды коагулянтом окси хлоридом алюминия (ОХА) (осенний период)

Показатель	ОХА, мг/дм^3		
	9,0	**10,5**	**12**
pH	7,63	7,60	7,00
Цветность, град.	8,67	10,57	10,00

Мутность, ЕМФ	0,06	0,15	0,75
Fe, мг/дм^3	<0,1	0,16	0,13
Окисляемость, мгО/дм^3	5,70	4,07	4,50

Таблица 6

Результаты эксперимента
по очистке воды коагулянтом окси хлоридом алюминия (ОХА) (зимний период)

Показатель	**ОХА, мг/дм^3**		
	3,5	**5,50**	**7,50**
pH	7,43	7,50	7,53
Цветность, град.	9,43	6,70	4,40
Мутность, ЕМФ	0,00	0,01	0,01
Fe, мг/дм^3	<0,1	<0,1	<0,1
Окисляемость, мгО/дм^3	3,00	2,13	1,93

Данные по обработке воды по сезонам года представлены в таблице 7.

Таблица 7

Показатель	**Лето**		**Осень**		**Зима**	
	Исходная вода	**ОХА, 38,5 мг/дм3**	**Исходная вода**	**ОХА, 10,5 мг/дм3**	**Исходная вода**	**ОХА, 3,5 мг/дм3**
pH	7,2	7,6	7,7	7,6	7,3	7,43
Цветность, град.	212,8	6,8	72	10,57	33,2	9,43
Мутность, ЕМФ	13,4	< 1	9,7	0,15	10,5	0,01
Fe, мг/дм^3	2,7	< 0,1	1,94	0,16	1,6	<0,1
Окисляемость, мгО/дм^3	37,7	3,4	10,5	4,07	5,7	3,00

На втором этапе обработка воды производилась введением угольной пульпы. Оптимальные дозы активного угля были подобраны экспериментально. Для летнего периода дозировка АУ составила 30 мг/дм^3, для осеннего периода 10 мг/дм^3, для зимнего периода 5 мг/дм^3.

Сводные данные по периодам после двух этапов обработки воды представлены в таблице 8.

Таблица 8

Показатель	**Лето**		**Осень**		**Зима**	
	Исходная вода	**ОХА, 38,5 мг/дм3; АУ 30 мг/дм3**	**Исходная вода**	**ОХА, 10,5 мг/дм3; АУ 10 мг/дм3**	**Исходная вода**	**ОХА, 3,5 мг/дм3; АУ 5 мг/дм3**
pH	7,2	6,2	7,7	7,3	7,3	7,4
Цветность, град.	212,8	5,4	72	9,4	33,2	8,6
Мутность, ЕМФ	13,4	< 1	9,7	0,12	10,5	0,1

Fe, мг/дм^3	2,7	< 0,1	1,94	0,11	1,6	<0,1
Окисляемость, мгО/дм^3	37,7	3,2	10,5	3,2	5,7	2,7

Снижение цветности при реагентной обработке воды в разные периоды года представлены на рисунках 3,4,5.

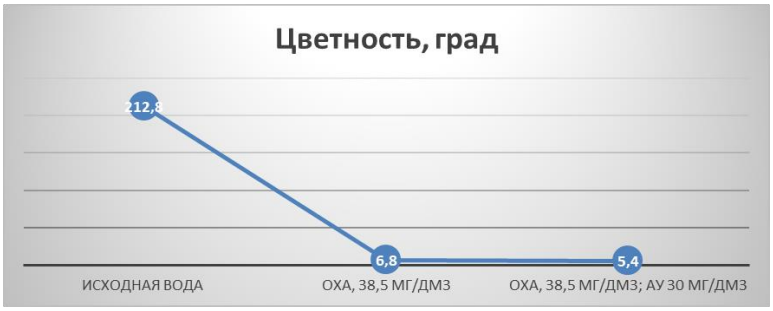


Рисунок 3 – Снижение цветности в летний период на разных стадиях реагентной обработки

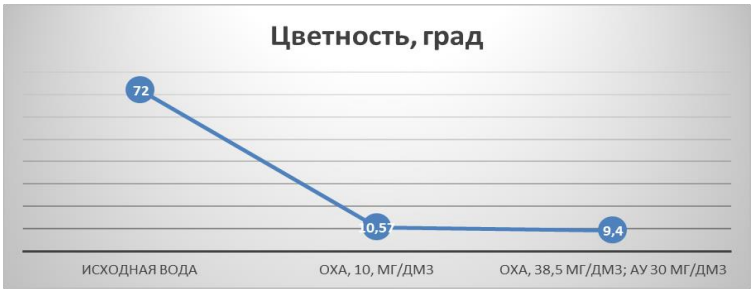


Рисунок 4 – Снижение цветности в осенний период на разных стадиях реагентной обработки

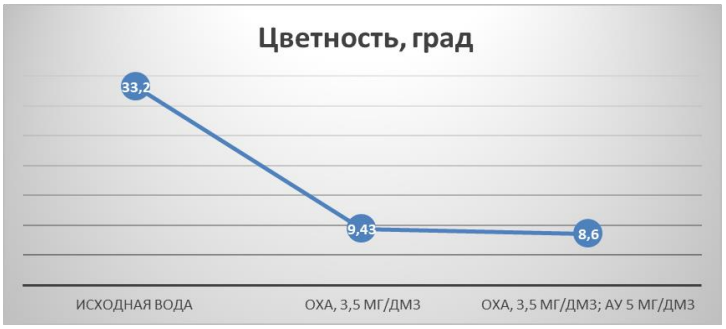


Рисунок 5 – Снижение цветности в зимний период на разных стадиях реагентной обработки

Снижения окисляемости при реагентной обработке воды в разные периоды года представлены на рисунках 6,7,8.

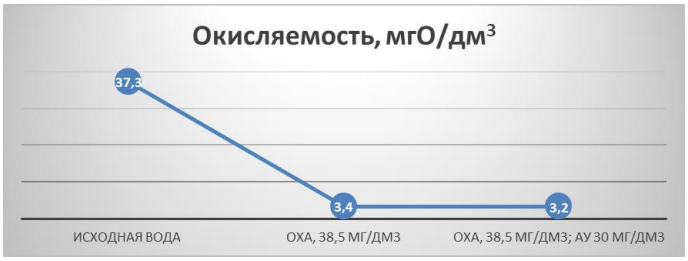


Рисунок 6 – Снижение окисляемости в летний период на разных стадиях реагентной обработки

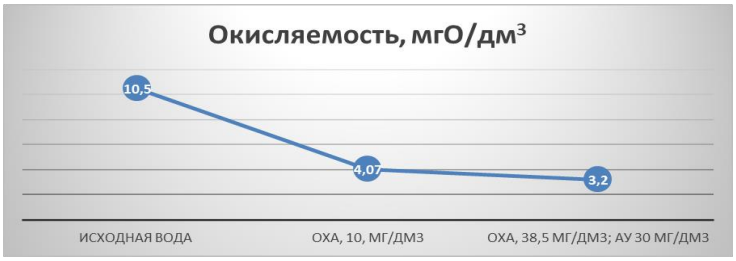


Рисунок 7 – Снижение окисляемости в осенний период на разных стадиях реагентной обработки

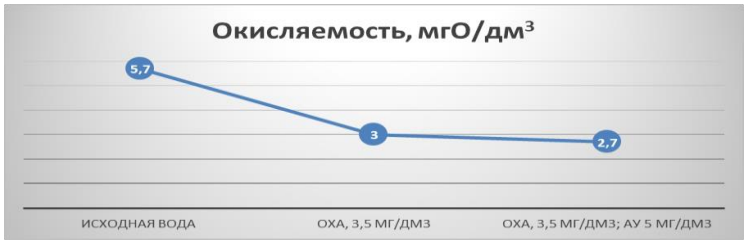


Рисунок 8 – Снижение окисляемости в зимний период на разных стадиях реагентной обработки

Выводы:

- проведены исследования очистки воды источника р. Чусовая Свердловской области методом коагуляции и углевания в различные периоды года;
- определены оптимальные дозировки коагулянта ОХА и АУ необходимые для достижения показателей СанПиН 1.2.3685-21. С увеличением дозы активного угля степень извлечения органических соединений возрастает;
- выяснено, что двухстадийная обработка (коагулирование совместно с адсорбцией на активном угле) позволяет круглогодично достигать нормативного качества по всем исследованным показателям;
- в летний период использование активного угля является необходимой мерой. В остальные периоды года использование угля позволяет улучшить качество очищенной воды и производить глубокое извлечение органических соединений.
- совместное использование коагулянта и порошкообразного активного угля, дозируемого в виде 10%-ной пульпы позволяет получить очищенную воду нормативного качества с существенным запасом по окисляемости и цветности.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Неклюдов И. А. Характеристика водосборных территорий среднего у рала (Свердловской области) / Неклюдов И.А.//Леса России и хозяйство в них. 2011.№1 (38). С.84-86.
2. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2023 году»/ Екатеринбург 2024.: ООО «Издательство УМЦ УПИ» – 360с.
3. Федеральный закон РФ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
4. СанПиН 1.2.3685-21 постановление от 28 января 2021 г. N 2 "ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И (ИЛИ) БЕЗВРЕДНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ"
5. Чиши Т.С. Применение адсорбционно-коагуляционного метода для очистки поверхностных природных водоисточников на примере свердловской области. / Чиши Т.С., Свиридов А.В.// Вода: химия и экология. 2024 г., №9. С73-80
6. Гиндулин И.К. Основы исследования процессов адсорбции и адсорбционных материалов. / Гиндулин И.К. Свиридов А.В.– Екатеринбург // УГЛТУ, 2022. – 71с
7. Корнева Д.А. Адсорбционная очистка-эффективный метод очистки сточных вод и подготовки воды для хозяйственно- питьевого водопользования. / Корнева Д.А., Куров Л.Н.//мат. конф. Успехи современного естествознания 2021 г, №7 С.129

8. Филоненко, Ю. Я. Адсорбция: теоретические основы, адсорбенты, адсорбционные технологии / Ю. Я. Филоненко, И. В. Глазунова, А. В. Бондаренко; под общ. ред. Ю. Я. Филоненко. – Липецк: ЛЭГИ, 2004. – 103 с.

9. Гост 17219-71. Угли активные. Метод определения суммарного объема пор по воде. – Переизд. С изм. – Введен 1973-01-01. – М.// ИПК Изд-во стандартов, 1973. – 11с.

10. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение. / Х. Кинле, Э. Бадер. // Л.: Химия, 1984. – 216с.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PURIFYING HIGH-COLOR WATERS BY COAGULATION AND HEATING FOR SURFACE WATER SOURCES IN THE SVERDLOVSK REGION

Chishi T.S., Sviridov A.V.

A two-stage coagulation-adsorption method for purifying high-color waters using an aluminum-containing coagulant and active powdered charcoal is considered. The main physico-chemical parameters of the Chusovaya river, Sverdlovsk region, have been studied. A comparative analysis of changes in the water parameters of the Chusovaya River depending on the season (chromaticity, turbidity, oxidizability) was carried out . The most unfavorable periods of the year for the object under consideration have been identified. The results of water purification in different seasons of the year are presented. Experimental data on the selection of coagulant and AU dosages were obtained. A comparative analysis of optimal dosages of reagents for water purification in different periods of the year has been performed. The results obtained make it possible to obtain purified water in accordance with SanPiN 1.2.3685-21 during the studied periods.

Keywords: purification of natural water sources, coagulation, coagulants, adsorption, activated carbon

Сведения об авторах:

Чиши Татьяна Сергеевна
Аспирант,
Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация

Свиридов Алексей Владиславович
Доцент, кандидат технических наук,
Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Российская Федерация

Учредитель журнала: Мельников Игорь Олегович, кандидат химических наук
Издательство: 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
Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Манускрипт», ОГРН 1226100004679),
Адрес типографии: 344114, РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, Г.О. ГОРОД РОСТОВ-НА-ДОНУ,
Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ, УЛ БОРЯНА, Д. 20, 24
Подписано в печать 25.04.2025. Выход в свет 30.04.2025г.
Тираж 500 экз. Заказ № 32/ РС–25. Цена свободная