

• ISSN 2072-8158 •



ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№7, 2023



г. Москва



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

- ✓ органической химии;
- ✓ биорганической химии;
- ✓ 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, биологических наук и экологии, а также распространение оригинальных исследований в этих областях наук.

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

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

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

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

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

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

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

Регистрация СМИ: серия ПИ № ФС 77 – 31640 10.04.2008

Ссылка РИНЦ – https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=28251

Журнал печатается в г. Москве

Учредитель журнала: Мельников Игорь Олегович, кандидат химических наук

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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)*

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

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

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

EDITOR-IN-CHIEF:

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

Mukhin Viktor Mikhailovich: Doctor of Technical Sciences, Professor in the specialty "Ecology", laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology, Honored Inventor of the Russian Federation, Honorary Ecologist

(INTERNATIONAL ACADEMY of Sciences of Ecology, Human Safety AND NATURE), Honorary Professor of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), Head of the Laboratory of Active coals, elastic sorbents and catalysts of Neorganika Rostec Moscow)

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

- Альтемиров Магомед Алхазурович**
ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТРОЙНЫХ И БОКОВЫХ ДВОЙНЫХ
РАСТВОРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ 10

БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

- Наронова Наталия Анатольевна, Белоконова Надежда Анатольевна**
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ
ПРИМЕСЕЙ 19

- Уранова Валерия Валерьевна, Близняк Ольга Владимировна, Ломтева Наталья
Аркадьевна**
ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
SCUTELLARIA BAICALENSIS И SCUTELLARIA GALERICULATA В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ И ВОЗРАСТА РАСТЕНИЙ 26

ЭКОЛОГИЯ

- Крупенникова Ирина Андреевна**
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ НА ПАО
«СЛАВНЕФТЬ – ЯНОС» 33

АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

- Анатолий Григорьевич Лаптев, Башаров Марат Миннахматович, Исхакова
Регина Яновна**
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД В
ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ 39

CONTENTS

PHYSICAL CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Altemirov Magomed Alkhazurovich

STUDY OF SURFACE PROPERTIES OF TRIPLE AND LATERAL DOUBLE SOLUTIONS OF ORGANIC SUBSTANCES 10

BIOORGANIC CHEMISTRY (CHEMICAL SCIENCES)

Naronova Natalia Anatolyevna, Belokonova Nadezhda Anatolyevna

CRITERIA FOR EVALUATING THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ORGANIC IMPURITIES 19

Urganova Valeria Valeryevna, Bliznyak Olga Vladimirovna, Lomteva Natalia Arkadyevna

STUDY OF THE CONTENT OF EXTRACTIVE SUBSTANCES OF PLANT RAW MATERIALS SCUTELLARIA BAICALENSIS AND SCUTELLARIA GALERICULATA DEPENDING ON THE MORPHOLOGICAL PART AND AGE OF PLANTS 26

ECOLOGY

Krupennikova Irina Andreevna

WASTEWATER TREATMENT FROM OIL REFINING PRODUCTS AT PJSC SLAVNEFT – YANOS 33

CHEMICAL TECHNOLOGY APPARATUSES

Anatoly Grigoryevich Laptev, Basharov Marat Minnakhmatovich, Iskhakova Regina Yanovna

MATHEMATICAL MODELS OF SEPARATION OF HETEROGENEOUS MEDIA IN THIN-LAYER SETTLING TANKS UNDER VARIOUS MODES 39

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 544.723

DOI 10.58551/20728158_2023_7_10

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТРОЙНЫХ И БОКОВЫХ ДВОЙНЫХ РАСТВОРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Альтемиров М. А.

Постановка проблемы. В литературе отсутствуют данные по концентрационной зависимости поверхностного натяжения, адсорбции и состава поверхностного слоя исследованных растворов органических веществ.

Цель. Экспериментальные и теоретические исследования концентрационной зависимости поверхностного натяжения адсорбции и состава поверхностного слоя исследованных растворов органических веществ.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования концентрационной зависимости поверхностного натяжения боковых двойных и трехкомпонентных растворов органических веществ. На основе полученных экспериментальных результатов исследований проведены расчеты адсорбции (N-вариант по Гугенгейму и Адаму) и содержания компонентов в поверхностном слое.

Практическая значимость. Ввиду отсутствия литературных данных по изученным системам в условиях, сравнимых с условиями исследования, представленные данные могут послужить в качестве справочной информации.

Ключевые слова: *поверхностное натяжение, адсорбция, состав поверхностного слоя, органические растворы, толщина поверхностного слоя.*

Поверхностное натяжение (σ) является важным параметром поверхности жидкости, поскольку оно дает информацию о структуре и межмолекулярных взаимодействиях чистых соединений и их смесей. С точки зрения применения, значения σ играют важную роль при переносе массы и энергии через границу раздела фаз [1]. Поэтому этот параметр влияет на различные промышленные процессы, такие как разделение жидкости и жидкости, экстракция, адсорбция, дистилляция и производительность биологических мембран [1,2].

В данной статье проведены исследования концентрационной зависимости σ двойных (изопропиловый спирт–вода; пропиленгликоль–вода) и тройных (изопропиловый спирт–пропиленгликоль–вода) растворов во всем диапазоне концентраций и атмосферном давлении при температурах 293,15 и 303,15К. Насколько нам известно, литературные данные по изученным системам в условиях, сравнимых с условиями исследования в открытой печати отсутствуют. Поэтому представленные данные могут служить в качестве справочной информации.

На основе полученных экспериментальных данных проведен расчет адсорбции компонентов раствора. Показано, что суммарные адсорбции компонентов по разрезу тройной системы и боковых двойных близки по форме, а, следовательно, это позволяет сделать предположение о том, что адсорбционные явления в тройной системе можно предсказать по значениям σ боковых двойных.

Исследования концентрационной зависимости поверхностного натяжения органических растворов имеют научную значимость в области поверхностной химии и физико-химии. Вот несколько аспектов, в которых эти исследования могут быть значимыми:

– изучение концентрационной зависимости поверхностного натяжения позволяет понять взаимодействие между компонентами в растворе. Это может быть важно для определения структуры и свойств поверхностных слоев жидкостей и взаимодействия с другими материалами или поверхностями.

– величина поверхностного натяжения является важным параметром для определения поверхностной активности веществ. Исследования концентрационной зависимости помогают определить изменения поверхностной активности растворов в зависимости от их состава. Это может быть полезным для разработки и оптимизации формулировок, включающих смеси различных компонентов.

– исследования концентрационной зависимости растворов могут быть полезными для понимания поведения и управления поверхностными свойствами в таких системах. Это может быть применено, например, при разработке наночастиц, нанопокровов или эмульсий.

– исследования концентрационной зависимости поверхностного натяжения могут служить основой для разработки моделей и прогнозирования поведения растворов при различных концентрациях. Это может быть полезным для предсказания и оптимизации свойств и поведения жидкостей в различных приложениях и процессах.

Кроме того, одноатомные и двухатомные спирты вызывают интерес благодаря гидроксильным группам и их взаимодействия с другими компонентами. Так, гидроксильная функциональная группа молекулы спирта участвует в образовании водородных связей, действуя, в одном случае, как донор протонов, а другой, как акцептор протонов. Поэтому спирты, сами по себе или в растворах (вода), обычно используются как компоненты для производства продукции фармацевтической, хроматографической и косметической промышленности [3].

Фундаментальной основой для описания капиллярных явлений является уравнение Лапласа. Оно связывает градиент давления с поверхностным натяжением на границе раздела двух фаз. Уравнение Лапласа имеет следующий вид:

$$\Delta P = 2T/R \quad (1)$$

где: ΔP - разность давлений внутри и вне жидкости (в Па или Н/м²)

T - поверхностное натяжение жидкости (в Н/м или Дж/м²)

R - радиус кривизны поверхности жидкости (в метрах)

Это уравнение показывает, что разность давлений внутри и вне жидкости прямо пропорциональна поверхностному натяжению и обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности.

Однако в реальных условиях эксперимента, в зависимости от метода, необходимо учитывать и другие факторы, такие как гравитационные эффекты, деформацию капли или взаимодействие с подложкой. Поэтому в некоторых случаях могут использоваться модифицированные уравнения или дополнительные коррекции для более точного определения поверхностного натяжения (например, как в методе висящей капли).

Поскольку в работе использованы несколько методов измерения σ (метод висящей капли и отрыва кольца Дю Нуи), подробнее ознакомимся с теоретическими особенностями этих методов.

Метод висящей капли, относится к статистическим методам измерения жидкости. Сущность метода висящей капли заключается в том, что под действием сил σ маленькие капли стремятся принять сферическую форму. Если каплю жидкости поместить в среду той же плотности, то эта капля принимает сферическую форму. Если плотность капли отличается от плотности среды, то величина σ будет соизмерима со значением гравитационных сил и капля, будет иметь форму не сферы, а некоторой фигуры вращения. По форме таких капель, согласно уравнению Лапласа, рассчитывается σ жидкости. Для этого необходимо определить параметры капли, характеризующие степень отклонения формы капель от правильной сферы [4].

Для этого определяют такие параметры капель, которые характеризуют отклонение формы капель от сферической. Для определения поверхностного натяжения по форме таких

капель измеряют $S = \frac{d_s}{d_m}$, где d_m – максимальный диаметр капли (пузырька); d_s – диаметр,

измеренный на расстоянии d_m от нижней точки капли. Расчет поверхностного натяжения проводят по формуле:

$$\sigma = \frac{d_m^2 \Delta \rho g}{H}, \quad (2)$$

где $\Delta \rho$ – разность плотности жидкости и атмосферы; g – гравитационная константа; H – безразмерный параметр, который приводится в таблицах Бешфорта, Адамса и Штауфера в зависимости от параметра S [5].

Метод висящей капли является одним из распространенных методов измерения σ жидкости. Он нашел обширное применение в научных и промышленных исследованиях, где прецизионное измерение σ жидкостей является важным параметром. Аппаратное обеспечение и алгоритм проведения измерений подробно освещены в работах [6,7].

Метод отрыва кольца Дю Нуи – это методика измерения поверхностного натяжения жидкостей. Суть методики заключается в измерении силы, необходимой для отрыва тонкого кольца с поверхности жидкости. Принцип работы основан на явлении поверхностного натяжения, которое проявляется в том, что поверхность жидкости стремится сократить свою площадь и образует своего рода "пленку". Чем больше поверхностное натяжение, тем больше сила, необходимая для отрыва кольца от поверхности. При подъеме кольца с поверхности возникает сила сцепления между жидкостью и кольцом. Эта сила измеряется и с помощью уравнения (3) определяется величина σ раствора [8].

$$\sigma = \frac{F_{max} - F_v}{L \cos \theta} \quad (3)$$

где: F_{max} – максимальное усилие, необходимое для отрыва кольца от поверхности; F_v – сила, обусловленная гидростатическим столбом жидкости, находящейся под кольцом; L – длина смачивания

Метод отрыва кольца Дю Нуи позволяет определить поверхностное натяжение жидкости с высокой точностью. Он находит применение в различных областях, таких как химия, физика, биология, медицина и другие, где изучение поверхностных свойств жидкостей имеет важное значение.

Экспериментальная часть

1. Используемые материалы

Изопропиловый спирт (массовая доля = 0,999), пропиленгликоль (массовая доля = 0,999) и использовались без дополнительной очистки. Вода – бидистиллят.

Поверхностное натяжение чистых компонентов при 293,15 К сравнивали с данными, приведенными в литературе [9]. Полученные значения находятся в хорошем согласии с литературными данными.

2. Методика и аппаратура

Поверхностное натяжение каждого образца жидкости (чистой или смеси) измерялось с помощью методов висящей капли (DSA-100 «KRUSS») и методом отрыва кольца Дю Нуи (K-100 «KRUSS»).

DSA-100 измерительная система с модульной конструкцией, состоящей из легко встраиваемых компонентов, таких как температурной камеры, контролируемая компьютерной программой оптика и систем дозирования. Программное обеспечение системы позволяет проводить видеозапись, делать снимки профилей капли и сохранять для последующего использования. Заявленная производителем погрешность измерения для растворов достигает $\pm 0.1\%$.

Автоматические тензиометры K-100 спроектированы для многостороннего применения в практике прецизионного измерения σ жидких сред. Измерение σ жидкости на тензиометре K-100 основано на использовании стандартного измерительного элемента – платинового кольца. Перед каждым измерением платиновое кольцо полностью очищалось и прокаливало. Величина погрешности измерения поверхностного натяжения этим методом составляет $\pm 0,2\%$.

Каждое измерение σ (точка на графике), независимо от метода повторялось десятикратно для проверки воспроизводимости результатов.

Полученные экспериментальные данные представлены на рис. 1.

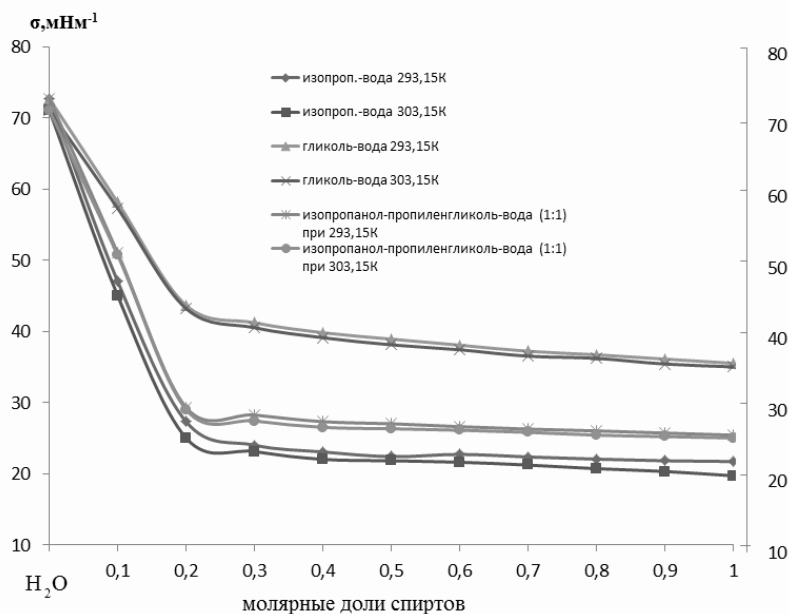


Рисунок 1. Концентрационная зависимость поверхностного натяжения тройной и боковых двойных систем, при 273,15 К и 303,15К

Как видно из представленных данных (рис.1), изотермы σ всех изученных растворов претерпевают сильное снижение до от 0 до 0,2 молярных долей спиртов. Начиная с области составов 0,2-0,25 мол. доли спиртов изотермы σ выходят на плато. Нужно отметить, что изотермы σ тройной системы занимает промежуточное положение относительно изотерм σ боковых двойных концентрационного треугольника. Это дает основание предполагать, что органические компоненты раствора не усиливают действие друг друга.

Кроме того, анализ полученных кривых изотерм σ системы изопропанол-пропиленгликоль-вода (изопропанол:пропиленгликоль = 1:1) подтверждает вывод о том, что изотермы σ по лучевым разрезам концентрационного треугольника не содержат особенностей по сравнению с изотермами σ боковых двойных растворов.

Результаты и обсуждение

На основе полученных экспериментальных результатов исследований зависимости σ от составов компонентов в двойных и тройных растворах веществ проведены расчеты адсорбции (N-вариант по Гугенгейму и Адаму) и содержания компонентов в поверхностном слое.

Из-за отсутствия данных по термодинамическим активностям для этих систем, расчеты адсорбции и содержания компонентов в поверхностном слое проводились по формулам, полученным для идеальных растворов.

Для идеальных многокомпонентных растворов автором [10] получено выражение для N-варианта адсорбции:

$$\Gamma_m^n = -\frac{x_m(1-x_m)}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x_m} \right)_{K_{ij}} \quad (4)$$

где x_m – молярные доли i-компонента; $K_{ij} = \frac{x_i}{x_j} = \text{const}$; $i, j \neq m$ – постоянная, которая определяет направление секущего разреза. Полученные результаты представлены на рис. 2.

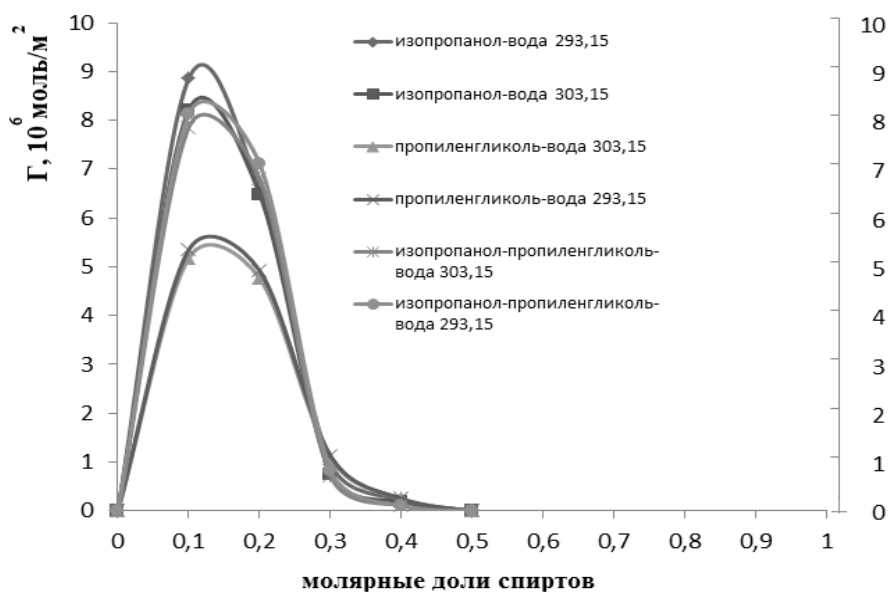


Рисунок 2. Концентрационная зависимость адсорбции в системе изопропанол-пропиленгликоль-вода (изопропанол:пропиленгликоль = 1:1) и боковых двойных системах: изопропанол-вода; пропиленгликоль-вода при 273,15K и 303,15K

Из рис. 2 видно, изотермы адсорбции достигают максимума при 0,1 молярных долях добавляемого компонента, т.е. 0,9 молярных долей воды независимо от температуры. Дальнейшее увеличение содержания спиртов приводит к снижению изотерм адсорбции до нуля при достижении концентрации 0,5 молярных долей воды.

Таким образом, в изученной тройной и боковых двойных системах органические вещества (изопропанол, пропиленгликоль) проявляют поверхностную активность и, как следствие, адсорбируются положительно. При этом следует отметить, что общим для всех изученных систем является то, что суммарные адсорбции компонентов по разрезу тройной системы и боковых двойных близки по форме, а, следовательно, это позволяет сделать предположение о том, что адсорбционные явления в тройной системе можно предсказать по значениям σ боковых двойных.

С целью изучения характера распределения молекул адсорбента между поверхностными слоями, были проведены расчеты по определению состава поверхностного слоя изученных систем. Эти данные полезны для понимания механизмов адсорбции и взаимодействий между компонентами и определения эффективности процесса адсорбции.

Для описания состава поверхностного слоя двух-трехкомпонентного раствора можно использовать различные модели, которые учитывают взаимодействия компонентов на поверхности. Ниже приведены некоторые из них:

Модель идеального раствора: в этой модели предполагается, что компоненты в растворе взаимодействуют между собой и с поверхностью адсорбента так же, как в идеальном растворе. Это означает, что каждый компонент имеет равные шансы быть адсорбированным и его концентрация на поверхности пропорциональна его концентрации в растворе.

Модель Ленгмюра: предполагает, что адсорбция компонентов на поверхности происходит путем образования монослоя поверхностно-активных веществ (ПАВ). Каждая адсорбированная молекула занимает фиксированное место на поверхности, и взаимодействия между адсорбированными молекулами отсутствуют. Уравнение Ленгмюра описывает зависимость покрытия поверхности от концентрации компонентов в растворе.

Модель BET (Brunauer, Emmett, Teller): предполагает, что на поверхности образуется несколько слоев ПАВ. В этой модели предполагается, что второй и последующие слои адсорбированных молекул взаимодействуют слабее, чем первый слой. Уравнение BET описывает многослойную адсорбцию газа на поверхности твердого тела [11].

В данной работе, в связи с отсутствием данных о коэффициентах активности бинарных и тройных растворов, использована модель идеального раствора. Согласно этой модели, концентрация компонента на поверхности пропорциональна его концентрации в растворе и может быть выражена следующим уравнением:

$$\Gamma = KC \quad (5)$$

где: Γ - концентрация компонента на поверхности адсорбента; K - коэффициент адсорбции, который связывает концентрации на поверхности и в растворе; C - концентрация компонента в растворе.

Значение коэффициента адсорбции K может зависеть от различных факторов, включая природу компонентов, свойства поверхности адсорбента и условия эксперимента. Он может быть определен экспериментально путем измерения концентрации компонента на поверхности при различных концентрациях в растворе.

Из-за отсутствия данных по термодинамической активности, расчеты проводились в предположении о том, что растворы идеальны т.е. $a_i = f_i x_i = x_i$.

В этом предположении для вычисления состава поверхностного слоя имеем;

$$x_n^\omega = x_n - \frac{x_n(1-x_n)\omega}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x_n} \right)_{k_{ij}} \quad (6)$$

где x_n^ω - молярная доля n -го компонента в поверхностном слое; x_n - молярная доля n -го компонента в объеме; ω - молярная площадь; σ - поверхностное натяжение; R - универсальная газовая постоянная; T - температура. При расчете состава поверхностного слоя толщина поверхностного слоя задана априорно. На рис. 3-5 представлены полученные результаты.

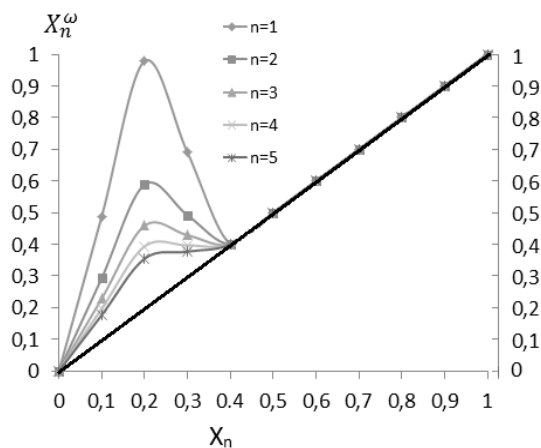


Рисунок 3. Состав поверхностного слоя системы изопропанол-вода при 293,15 К

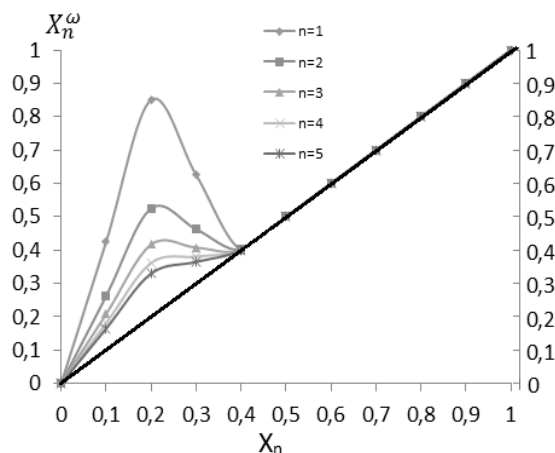


Рисунок Состав поверхностного слоя пропиленгликоль-вода 293,15 К.

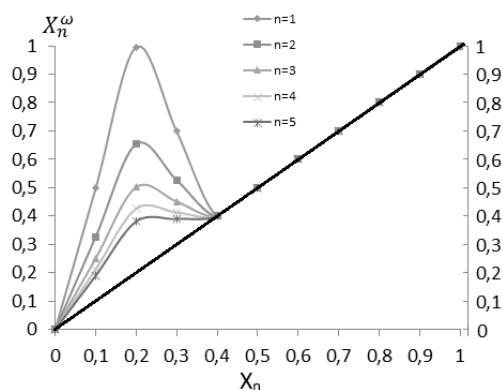


Рисунок 5. Состав поверхностного слоя изопропанол-пропиленгликоль-вода 293,15 К.

Заключение

Как видно из этих полученных результатов, при толщине слоя (n) $n=1-3$, на участке 0,2-0,3 молярных долей поверхностно-активных компонентов, наблюдается антибатное изменение состава поверхностного слоя от состава объемной фазы. Подобные результаты противоречат термодинамике, поскольку согласно критерию симбатности А.И. Русанова [12] состав поверхностного слоя может изменяться минимально при изменении составов. Таким образом, возможная толщина поверхностного слоя исследованных систем (изопропанол-вода; пропиленгликоль-вода; изопропанол-пропиленгликоль-вода при 293,15 К) $n = 4$. Интересно отметить, что в области средних составов (0,4), адсорбция исследованных систем равна нулю.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Bagheri A. Prediction of surface tension and surface concentration of binary refrigerant system (R290/R600a) at various temperatures and pressures // *Physics and Chemistry of Liquids* 2016. N.54(6).P 1-13
2. Bagheri A, Fazli M, Bakhshaei M. Effect of temperature and composition on the surface tension and surface properties of binary mixtures containing DMSO and short chain alcohols // *J. Chem Thermodyn.* 2016.N.101 P 236–244.
3. Rafati AA, Bagheri A, Khanchi AR, et al. Application of the UNIFAC model for prediction of surface tension and thickness of the surface layer in the binary mixtures // *J. Colloid Interface Sci.* 2011. N.355. P 252–258.
4. Адамсон А.В. Физическая химия поверхностей / А.В. Адамсон. Л.: Мир, 1979. 568 с.
5. Andreas J.M. Boundary tension by pendant drops // *The Journal of Physical Chemistry.* 1938. V.42. № 8. P.1001-1019.
6. Дадашев, Р. Х. Установка по исследованию поверхностных свойств границы раздела фаз (DSA-100) / Р. Х. Дадашев, Р. С. Джамбулатов, Д. З Элимханов // *Вестник Академии наук ЧР. Грозный*, 2011. №1 С. 13-17.
7. Дадашев, Р.Х. Измерение поверхностного натяжения методом висящей капли на тензиометре DSA-100 / Р. Х. Дадашев, Р. С. Джамбулатов, Д. З Элимханов // *Сборник Тр. КНИИ РАН. Грозный*, 2012. № 5 С. 3-7.
8. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцев, Е. А. Амелина – М.: Высшая школа, 2004. – 444 с.
9. Wohlfarth CH. Surface tension of pure liquids and binary liquid mixtures. In: Lechner MD, editor. *Landolt-Börnstein, New Series Group IV Physical Chemistry.* Berlin: Springer. 2008. 740p.
10. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений / Р. Х. Дадашев М.: Физматиздат, 2008. 278 с.
11. Морачевский А.Г. Физическая химия: поверхностные явления и дисперсные системы: уч. пособие. – 2-е изд., стер. / А. Г. Морачевский СПб.: Лань, 2015. 160 с.
12. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л.:Химия, 1967.–388 с.

STUDY OF SURFACE PROPERTIES OF TERNARY AND LATERAL DOUBLE SOLUTIONS OF ORGANIC SUBSTANCES

Altemirov M.A.

Statement of the problem. In the literature there are no data on the concentration dependence of surface tension, adsorption and surface layer composition of the studied solutions of organic substances.

Aim. Experimental and theoretical investigations of the concentration dependence of adsorption surface tension and surface layer composition of the studied solutions of organic substances.

Results. Experimental studies of concentration dependence of surface tension of lateral binary and three-component solutions of organic substances were conducted. Calculations of adsorption (N-variant by Guggenheim and Adam) and contents of components in the surface layer have been performed on the basis of the obtained experimental results.

Practical Significance. In view of the lack of literature data on the systems studied under conditions comparable to those of the study, the data presented can serve as background information.

Keywords: surface tension, adsorption, surface layer composition, organic solutions, surface layer thickness.

Сведения об авторах:

Альтемиров Магомед Алхазурович

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова

Российской академии наук, младший научный сотрудник

e-mail: m_altemirov@bk.ru

БИООРГАНИЧЕСКАЯ
ХИМИЯ
(ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Наронова Н. А., Белоконова Н. А.

Содержание в воде органических примесей в России оценивается по показателю ООУ: вода высшей категории ООУ 5 мг/л, вода первой категории ООУ 10 мг/л. Однако органические примеси, содержащиеся в воде, разнообразны по своему строению и составу. В статье проанализированы физико–химические свойства модельных растворов различных органических соединений (аскорбиновая кислота, ацетилсалициловая кислота, глицин, лимонная кислота, цистеин) и доказано, что при одинаковой концентрации ООУ (в интервале 5 – 100 мг/л) свойства данных веществ значительно отличаются и зависят от строения (наличия определенных функциональных групп). Также в статье представлены результаты трилометрического титрования, анализ которых показывает, что если в водном растворе присутствуют органические соединения (глутаминовая кислота, лимонная кислота, молочная кислота, салициловая кислота, сульфосалициловая кислота) с концентрацией ООУ 10 мг/л, то количество свободных несвязанных ионов меди (II), которые можно определить трилоном Б, уменьшается. Наиболее эффективно ионы меди (II) связываются с салициловой кислотой, а наименее эффективно – с молочной кислотой. Процесс комплексообразования между ионами меди (II) и различными органическими соединениями оказывает влияние и на процесс адсорбции ионов меди (II) из водных растворов различными адсорбентами. Величина адсорбции ионов меди (II) различными энтеросорбентами достигает 1,000 ммоль/г, а присутствие органических соединений в исследуемых растворах увеличивает величину адсорбции в среднем в 4,4 раза.

Ключевые слова: *содержание общего органического углерода, карбоновые кислоты, адсорбция ионов меди, комплексные соединения, аминокислоты, органические примеси*

Содержание органических примесей в России оценивается по показателю ООУ – общий органический углерод. Этот показатель является количественным, но никак не отражает химические свойства органических соединений. В Российской Федерации уровень содержания ООУ в водостоках не регламентируется. Единственным нормативно–техническим документом, связанным с контролем содержания ООУ, является СанПиН 2.1.4.1116–02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества»: вода высшей категории ООУ 5 мг/л, вода первой категории ООУ 10 мг/л, для воды централизованного водоснабжения уровень ООУ менее 5 мг/л [8].

Важнейшие органические примеси природных вод – гуминовые вещества. Гуминовые вещества (ГВ) – системы органических молекул высокой молекулярной массы, образующихся, трансформирующихся и разлагающихся на промежуточных стадиях процесса минерализации органического вещества отмирающих организмов. ГВ состоят из гуминовых кислот (ГК) и фульвовых (ФК) кислот. Основными функциональными группами ГК являются карбоксильные, фенольные, карбонильные. Азот входит в состав гетероциклов и периферических аминокислот. Высокое содержание аминного азота, сравнимое с содержанием карбоксильных групп, позволяет отнести ГК и ФК к аминокарбоновым кислотам. Гуматы и фульваты связывают от 63% до 90 % общего количества металлов в природных водах. Связывание ГВ – Me^+ происходит преимущественно за счет атомов кислорода карбоксильных групп и значительно меньше фрагментами, содержащими атомы азота и серы. Таким образом, органические вещества

связывая ионы металлов в воде способствуют проникновению последних в организм человека, увеличивая канцерогенное воздействие токсичных металлов на организм в целом. Изучение растворимых комплексов ГВ часто проводят на модельных растворах, используя в качестве органического лиганда салициловую кислоту [4, 6].

Вода в своем составе содержит не только органические примеси, но и неорганические примеси, в том числе ионы d-металлов, например ионы меди. ПДК меди в воде составляет 1,0 мг/л [7]. В организме взрослого человека содержится около 100 мг меди. Медь входит в состав медьсодержащих белков и ферментов (около 25), играющих важную роль в ускорении процессов обмена, усилении тканевого дыхания, ускорении процесса окисления глюкозы и др. [1, 6]. Медь необходима для процессов гемоглинообразования и не может быть заменена никаким другим элементом. Медь способствует переносу железа в костный мозг и превращению его в органически связанную форму, участвует в процессах роста и размножения, в процессах пигментации, так как входит в состав меланина [5]. Потребность в меди у взрослого человека составляет 2 мг в день (около 0,035 мг/1 кг веса). Влияние меди на живые организмы неоднозначно, так как, с одной стороны она важный элемент, участвующий в обменных процессах, а с другой стороны – все растворимые соединения меди ядовиты (в высоких концентрациях) [9, 10, 11].

Эффективным методом лечения избытка меди в организме является адсорбция с использованием энтеросорбентов [2, 3, 12, 13, 14]. В связи с этим необходимо изучать физико-химические свойства органических примесей на модельных растворах, в том числе и эффективность процесса адсорбции ионов меди с помощью энтеросорбентов из водных растворов в присутствии органических соединений, например, карбоновых кислот или аминокислот.

Цель – поиск критерия оценки физико-химических свойств органических примесей на модельных растворах.

Материалы и методы исследования:

Для исследования использовались водные растворы сульфата меди (II) ($C^3 = 0,1$ моль экв/л), растворы органических кислот (K1 – аскорбиновая кислота, K2 – ацетилсалициловая кислота, K5 – лимонная кислота, K6 – молочная кислота, K7 – салициловая кислота, K8 – сульфосалициловая кислота) и растворы аминокислот (K3 – глицин, K4 – глутаминовая кислота, K9 – цистеин) с концентрацией ООУ (5, 10, 20, 25, 50, 100 мг/л).

Физико-химические показатели определяли с использованием рН-метра 150-МИ (Измерительная техника, Россия), кондуктометра Анион 7000 (Инфраспак-аналит, Россия), методом сталагмометрии.

Адсорбция проводилась контрольного раствора, содержащего только ионы меди, и исследуемых растворов на различных энтеросорбентах: А1 – белый уголь, А2 – «Enterogel», А3 – активированный черный уголь.

Методика адсорбции: к исходным растворам соли d-металла добавить 0,1 г адсорбента, перемешать, через 10 минут отфильтровать через смоченный дистиллированной водой фильтр, методом трилонометрии исследовать концентрацию ионов меди (Cu^{2+}) после адсорбции.

Определение ионов меди до и после адсорбции проводилось методом объемного титрования, в основе которого лежит реакция комплексообразования (титрант – трилон Б ($C^3 = 0,1$ моль экв/л): в колбу для титрования поместить 10 мл исследуемой реакционной смеси, добавить 5 мл аммиачного буфера (рН = 10), 10 мл воды, несколько кристаллов индикатора мурексида – раствор желто-оранжевого цвета, далее титровать из бюретки раствором «Трилон Б» до перехода изменения окраски раствора (розово-фиолетовый раствор ионов меди (Cu^{2+})).

Проведена статистическая обработка с использованием пакета прикладных программ Excel (версия 2020). Данные представлены в виде средних арифметических величин и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Для установления достоверности различий использовалось t-распределение Стьюдента. Различия считали достоверными при $p \leq 0,005$.

Результаты и их обсуждения.

Для оценки свойств модельных растворов приготовили серию растворов с концентрацией ООУ в интервале 5–100 мг/л, определили основные физико-химические показатели. Данные представлены в Таблице 1.

При увеличении концентрации ООУ в растворе величина рН водного раствора смещается в более кислую область: максимальное значение величины рН = 6,52 для для образца К3 – глицин (ООУ равно 5 мг/л), а минимальное значение величины рН = 2,95 для образца К9 – цистеин (ООУ равно 100 мг/л); при этом максимальное изменение величины рН для образца К9 – цистеин ($\Delta\text{pH} = 1,32$), что согласуется по уравнению Гендерсона – Хассельбаха с минимальным значением рКа (цистеин) = 1,96, а минимальное изменение величины рН для образца К3 – глицин ($\Delta\text{pH} = 0,52$). Анализ данных величины электропроводимости и величины поверхностного натяжения показывает, что при увеличении концентрации ООУ в растворе для каждого образца электропроводимость увеличивается, а поверхностное натяжение уменьшается. Максимальное изменение величины электропроводимости для образца К2 – ацетилсалициловая кислота ($\Delta\kappa = 81,60$ мкСм/см), а минимальное изменение величины электропроводимости для образца К3 – глицин ($\Delta\kappa = 12,54$ мкСм/см). Максимальное изменение величины поверхностного натяжения для образца К5 – лимонная кислота ($\Delta\sigma = 11,09$ эрг/см²), а минимальное изменение величины поверхностного натяжения для образца К3 – глицин ($\Delta\sigma = 3,02$ эрг/см²), стоит отметить, что в данном интервале концентраций ООУ (10 – 100 мг/л) образец К2 – ацетилсалициловая кислота, образец К3 – глицин, образец К5 – лимонная кислота проявляют свойства ПАВ, тогда как образец К1 – аскорбиновая кислота, образец К9 – цистеин проявляют свойства ПИАВ.

Таблица 1.

Изменения физико-химических свойств карбоновых кислот в зависимости от концентрации ООУ

Свойство	ООУ, мг/л	К1	К2	К3	К5	К9
рН	5	4,56±0,01	4,65±0,01	6,52±0,01	4,19±0,01	4,27±0,01
	10	4,24±0,01	4,37±0,01	6,43±0,01	4,17±0,01	3,86±0,01
	20	4,16±0,01	4,15±0,01	6,35±0,01	3,97±0,01	3,56±0,01
	25	4,11±0,01	4,01±0,01	6,21±0,01	3,84±0,01	3,44±0,01
	50	3,97±0,01	3,71±0,01	6,15±0,01	3,60±0,01	3,19±0,01
	100	3,43±0,01	3,49±0,01	6,00±0,01	3,38±0,01	2,95±0,01
κ , мкСм/см	5	18,5±0,01	16,1±0,01	6,71±0,01	26,2±0,01	30,4±0,01
	10	35,6±0,01	28,1±0,01	7,51±0,01	46,6±0,01	67,7±0,01
	20	40,3±0,01	33,2±0,01	12,61±0,01	54,9±0,01	72,8±0,01
	25	55,5±0,01	39,6±0,01	14,41±0,01	66,7±0,01	78,9±0,01
	50	66,8±0,01	51,1±0,01	16,81±0,01	65,9±0,01	82,3±0,01
	100	93,3±0,01	97,7±0,01	19,25±0,01	85,7±0,01	114,2±0,01
σ , эрг/см ²	10	89,35±0,01	65,78±0,01	69,74±0,01	71,34±0,01	87,75±0,01
	20	84,14±0,01	57,85±0,01	68,78±0,01	69,15±0,01	86,22±0,01
	100	79,91±0,01	55,41±0,01	66,72±0,01	60,25±0,01	77,24±0,01

Для всех экспериментально определяемых показателей были рассчитаны коэффициенты корреляции r –Пирсона и проанализированы корреляционные зависимости согласно шкале Чеддока: коэффициент корреляции r –Пирсона между рН и электропроводимостью растворов в интервале от $-0,908$ (образец К2 – ацетилсалициловая кислота) до $-0,977$ (образец К3 – глицин), теснота корреляционной связи весьма высокая, отрицательная; коэффициент корреляции r –Пирсона между рН и поверхностным натяжением растворов в интервале от $0,838$ (образец К2 – ацетилсалициловая кислота) до $0,998$ (образец К5 – лимонная кислота), теснота корреляционной связи весьма высокая, положительная; коэффициент корреляции r –Пирсона между электропроводимостью и поверхностным натяжением растворов для всех образцов отрицательная, однако для образца К2 – ацетилсалициловая кислота ($-0,729$) теснота

корреляционной связи высокая, а для образца К5 – лимонная кислота в интервале достигает –1,000, теснота корреляционной связи весьма высокая.

Одним из наиболее важных свойств d-металлов является склонность к реакциям комплексообразования с различными лигандами, а, следовательно, и органическими примесями, присутствующими в воде. Согласно литературным данным, одно из самых прочных комплексных соединений ионы меди (II) образуют с трилоном Б ($K_{\text{нест}} = 1,6 \cdot 10^{-19}$). Анализ результатов титрования показывает, что если в системе есть органическое вещество, то оно связывается ионами меди (II) в комплексное соединение (Рисунок 1) и количество свободных несвязанных ионов меди (II), которые можно определить трилоном Б, уменьшается. Наиболее эффективно медь связывается с образцом К7 – салициловая кислота (89,0 % связанных ионов), а наименее эффективно с образцом К6 – молочная кислота (76,5 % связанных ионов).

Устойчивость образующихся комплексных соединений разная, однако сопоставима с устойчивостью комплексного соединения между ионами меди и трилоном Б. При титровании удается определить только часть ионов меди: минимальное количество в присутствии образца К7 – салициловая кислота только 11,0 % несвязанных ионов ($K_{\text{нест}} = 2,0 \cdot 10^{-21}$), максимальное в присутствии образца К6 – молочная кислота – 23,5 % несвязанных ионов.

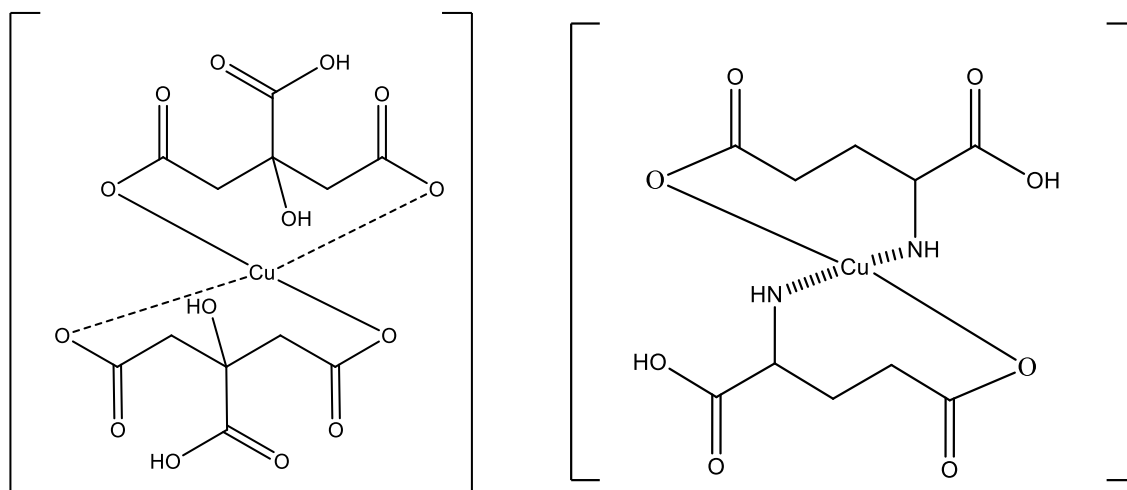


Рисунок 1. Строение комплексных соединений ионов меди (II) с образцами К5 (лимонная кислота) и К4 (глутаминовая кислота)

Наиболее эффективным адсорбентом в дистиллированной воде по отношению к ионам меди (II) является Адсорбент А2 (20,0% связанных ионов от начальной концентрации), наименее эффективным – Адсорбент А1 (7,0% связанных ионов от начальной концентрации). Наличие в системе органических веществ с концентрацией ООУ равное 10 мг/л увеличивает адсорбционную способность энтеросорбентов: в исследуемых растворах концентрация связанных ионов меди находится в интервале 33,0% – 79,0% от начальной концентрации. Стоит отметить, что органические примеси в виде глутаминовой, лимонной, молочной, салициловой, сульфосалициловой кислот, безусловно, хорошо адсорбируются как на полярных, так и неполярных адсорбентах (Адсорбентах А1–А3), поскольку данные органические кислоты содержат в своей структуре неполярные углеводородные радикалы, обладающие положительным индуктивным эффектом, а также полярные функциональные группы ($-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$).

Таблица 2.

Концентрация связанных ионов меди в исследуемых растворах

Состав раствора	C ³ (Cu ²⁺ , н) без Адсорбента	C ³ (Cu ²⁺ , н) Адсорбент А1	C ³ (Cu ²⁺ , н) Адсорбент А2	C ³ (Cu ²⁺ , н) Адсорбент А3
Cu ²⁺	0,1000±0,005	0,0070±0,001	0,0200±0,005	0,0160±0,005
Cu ²⁺ + К4	0,0850±0,005	0,0405±0,005	0,0715±0,005	0,0350±0,005
Cu ²⁺ + К5	0,0845±0,005	0,0420±0,005	0,0705±0,005	0,0375±0,005
Cu ²⁺ + К6	0,0765±0,005	0,0595±0,005	0,0540±0,005	0,0555±0,005
Cu ²⁺ + К7	0,0890±0,005	0,0450±0,001	0,0790±0,005	0,0330±0,005
Cu ²⁺ + К8	0,0775±0,005	0,0610±0,005	0,0575±0,005	0,0575±0,005

Наиболее эффективным адсорбентом для растворов, содержащих образцы К4 – глутаминовая кислота, К5 – лимонная кислота, К7 – салициловая кислота, является Адсорбент А2, а для растворов, содержащих образцы К6 – молочная кислота, К8 – сульфосалициловая кислота, является Адсорбент А1. Стоит отметить, что оба адсорбента активным компонентом имеют соединения кремния, а полярные группировки, что входят в состав органических веществ модельных растворов, способствуют адсорбции ионов металла.

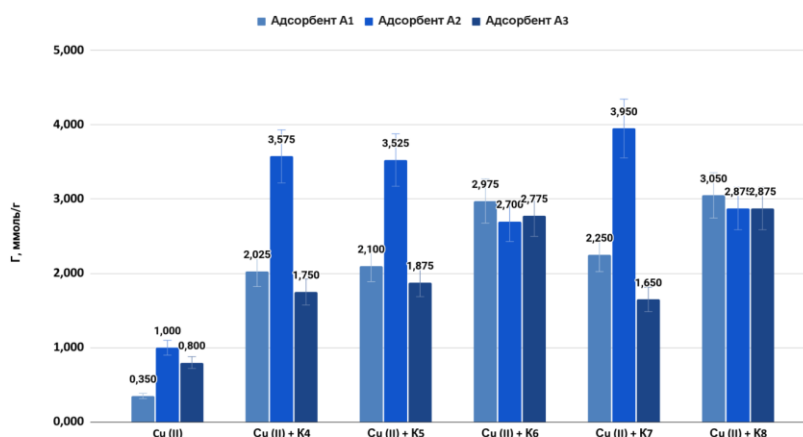


Рисунок 2. Величина адсорбции ионов меди различными энтеросорбентами

Величина адсорбции ионов меди (II) максимальна на Адсорбенте А2 и достигает 1,000 ммоль/г. В присутствии органических соединений величина адсорбции увеличивается в несколько раз (скачок величины адсорбции в интервале 2,1 – 8,7 раз). Наибольшее влияние на процесс адсорбции на Адсорбенте А1 и Адсорбенте А3 оказывает образец К8 – сульфосалициловая кислота ($\Delta\Gamma_1 = 2,70$ ммоль/г, $\Delta\Gamma_3 = 2,08$ ммоль/г), на Адсорбенте А2 – образец К7 – салициловая кислота ($\Delta\Gamma_2 = 2,95$ ммоль/г), что, безусловно, необходимо учитывать при адсорбции ионов меди из растворов, содержащих органические примеси.

Выводы

1. Наличие органических примесей в воде необходимо оценивать не только по содержанию ООУ (мг/л), но и по их физико–химическим свойствам (рН, электропроводимость, поверхностное натяжение, комплексообразование).
2. Устойчивость комплексных соединений, образующихся между ионами меди (II) и органическими соединениями (ООУ равен 10 мг/л), сопоставима с устойчивостью комплексного

соединения ионов меди (II) с трилоном Б. Данные комплексные соединения обладают адсорбционной способностью по отношению к полярным и неполярным энтеросорбентам.

3. Присутствие в исследуемых растворах органических веществ в виде глутаминовой, лимонной, молочной, салициловой, сульфосалициловой кислот (ООУ равен 10 мг/л) оказывает влияние на процесс адсорбции ионов меди (II) различными энтеросорбентами, увеличивая величину адсорбции в среднем в 4,4 раза.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Бабаян Г.Г., Сакоян А.Г. Тяжёлые металлы и мышьяк в питьевой воде и оценка риска здоровью населения региона с развитой горнодобывающей промышленностью. Гигиена и санитария. 2020; 99 (7): 725-732. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-7-725-732>.

2. Богданова В.Д., Кику П.Ф., Кислицына Л.В. Гигиеническая оценка питьевой воды из подземных источников централизованных систем водоснабжения острова Русский // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 2. – С. 28–37. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.03.

3. Борзов А.А., Локшин А.А., Локшина Е.А. Очистка маломутных высокоцветных вод сибирских рек для технологического водоснабжения // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2021. № 1. С. 46–50. DOI:10.24412/0131-4270-2021-1-46-50

4. Гераськина Т. В., Лебедев А. С. Разработка инновационных технологий физико-химических способов очистки воды от нефтепродуктов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2020. Т. 14. № 3. С. 11-15. DOI: 10.31161/1995-0675-2020-14-3-11-15

5. Каспарова М.А., Сараева И.В., Исубутаева А.А., Хыдывова Ю.С., Рамазанов А.Ш. Определение органических загрязнений в воде каспийского моря в пределах города Махачкала // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2022. Т. 37. № 3. С. 77-84.

6. Кику П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края. Гигиена и санитария. 2019; 98(1): 94-101. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101>.

7. Костина О. В., Преснякова М. В., Альбицкая Ж. В. Биологическая роль меди в патогенезе расстройств аутистического спектра у детей: обзор литературы // Экология человека. 2020. № 4. С. 42–47.

8. Коджакова С.З. Биологическая роль меди в живых организмах. // Новая наука: от идеи к результату. 2016. № 5–3 (84). С. 8–12.

9. Павлова Л.М., Радомская В.И., Шумилова Л.П., Сорокин А.П., Радомский С.М. Сорбция элементов-примесей компонентами ниже-среднемиоценовых бурых углей сергеевского месторождения (Верхнее Приамурье) // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2020., Т 492. № 2. с. 57–60

10. Пимнева Л.А. Очистка природных и промышленных вод от катионов меди диатомитом // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 12. – С. 181-185.

11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 N 78 (ред. от 13.07.2017) "О введении в действие ГН 2.1.5.1315–03" (вместе с "ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003) (Зарегистрировано в Минюсте России 19.05.2003 N 4550).

12. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения.

13. Синдирева А.В, Котченко С.Г., Елизаров О.И. Экологическая оценка содержания меди в почвенном покрове на юге Тюменской области // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2022. № 1(57). С. 82–90.

14. Трофимчук А.А., Кабирова М.Ф., Гуляева О.А., Каримова Л.К., Сяляхова Г.А. Методы профилактики и лечения заболеваний полости рта у работников горно-обогатительного

комбината, занятых добычей и переработкой медно-цинковых руд // Уральский медицинский журнал. 2018. Т3. с.17-19.

15. Тугбаева А.С., Ермошин А.А., Плотников Д.С., Киселева И.С. Восстановление растений табака после обработки ионами меди // Вестник Пермского университета, серия Биология. 2020. Т4. с. 344–351.

16. Эльтеков А.Ю., Эльтеков Ю.А. Адсорбция пара-ксилола из водных растворов углеродными сорбентами // Сорбционные и хроматографические процессы, издательство ВГУ (Воронеж), том 22, № 2.

CRITERIA FOR EVALUATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ORGANIC IMPURITIES

Naronova N.A., Belokonova N.A.

The content of organic impurities in water in Russia is estimated by the total organic carbon indicator: water of the highest category total organic carbon 5 mg/l, water of the first category total organic carbon 10 mg/l. However, organic impurities contained in water are diverse in their structure and composition. The article analyzed the physicochemical properties of model solutions of various organic compounds (ascorbic acid, acetylsalicylic acid, glycine, citric acid, cysteine) and proved that at the same concentration of total organic carbon (in the range of 5-100 mg/l) the properties of these substances are significantly different and depend on the structure (presence of certain functional groups). The article also presents the results of trilonometric titration, the analysis of which shows that if organic compounds (glutamic acid, citric acid, lactic acid, salicylic acid, sulfosalicylic acid) with a concentration of total organic carbon of 10 mg/l are present in the aqueous solution, the amount of free unbound copper (II) ions that can be determined by trilon B decreases. Most efficiently, copper (II) ions bind to salicylic acid and least effectively to lactic acid. The complexation process between copper (II) ions and various organic compounds also affects the adsorption of copper (II) ions from aqueous solutions by various adsorbents. The value of adsorption of copper (II) ions by various enterosorbents reaches 1,000 mmol/g, and the presence of organic compounds in the test solutions increases the adsorption value by an average of 4.4 times.

Keywords: total organic carbon indicator, carboxylic acids, adsorption of copper ions, complex compounds, amino acids, organic impurities

Сведения об авторах:

Наронова Наталия Анатольевна:

кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей химии,
ФГБОУ ВО Уральский государственный медицинский университет Минздрава России
e-mail: edinstvennaya@inbox.ru

Белоконова Надежда Анатольевна:

доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент,
заведующая кафедрой общей химии ФГБОУ ВО Уральский государственный
медицинский университет Минздрава России

УДК 543.635.9

DOI 10.58551/20728158_2023_7_26

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ *SCUTELLARIA BAICALENSIS* И *SCUTELLARIA GALERICULATA* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ И ВОЗРАСТА РАСТЕНИЙ

Уранова В. В., Близняк О. В.,
Ломтева Н. А.

Экспериментальное исследование нацелено на определение содержания экстрактивных веществ для растительного сырья *Scutellaria galericulata* и *Scutellaria baicalensis* в зависимости от морфологической части и возраста растений. Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования был выбран растительный материал (надземные и подземные части) представителей семейства Яснотковых (*Lamiaceae*), а именно *Scutellaria galericulata* и *Scutellaria baicalensis*, культивируемые на территории Астраханской области. Определение содержания экстрактивных веществ (%) было проведено методом гравиметрии согласно общей фармакопейной статье 1.5.3.0006.15. Результаты исследования. Исследования показали, что на третий и четвертый год жизни растений было отмечено максимальное содержание экстрактивных веществ. Установили, что накопление изучаемых биологически активных веществ и балластных соединений статистически значимо отличались первые три года сбора. Полученные данные позволили определить, что в период с 2021 по 2022 гг. аккумуляция экстрактивных веществ была максимальной для растительного материала *Scutellaria baicalensis*.

Ключевые слова: биологически активные вещества, растительное сырьё, экстрактивные вещества, экстракция, *Scutellaria baicalensis* и *Scutellaria galericulata*, надземная и подземная части.

Одним из наиболее прогрессивных веяний науки является изучение особенностей культивирования и экстрагирования биологически активных веществ из лекарственного растительного сырья [1]. Уже существующие примеры фитотерапевтического лечения прочно вошли в современный план помощи пациентам с различными видами патологий. Богатый состав действующих веществ, чистота исходного материала и хорошая переносимость компонентов лекарственного растительного сырья позволяет сделать вывод о широких возможностях его применения [2, 3]. Фармацевтический рынок может предложить пациентам не только само лекарственное сырьё, использование которого сводится к самостоятельному предварительному приготовлению, но и готовые лекарственные препараты, полученные путём экстракции биологически активных веществ [4]. Постоянное изучение механизмов действия экстрактов растительного сырья за последние десятилетия значительно увеличило его применение, поскольку были доказаны разнообразные положительные фармакологические эффекты и безопасность использования. Современная наука заинтересована в расширении базы фармакопейных растений, обладающих уникальными эффектами, чем и обусловлено данное исследование [5].

Стоит отметить, что на безопасность и эффективность лекарственного сырья влияет множество факторов, которые могут как ингибировать выработку полезных веществ, так и потенцировать фармакологические эффекты [6]. К представленным факторам относятся: климатические условия произрастания лекарственного растения, заготавливаемая

морфологическая часть, тип сбора и заготовки, технологические особенности приготовления экстрактов, а также возраст заготавливаемого сырья. Все представленные факторы влияют на накопление действующих веществ и их количество в полученном лекарственном препарате. Наиболее существенными являются календарный возраст растения и выбор морфологической части, поскольку именно они обуславливают главные параметры готового лекарственного препарата: эффективность и безопасность [7].

Морфология растения является ключевым фактором при заготовке растительных компонентов. Структурные особенности развития позволяют растительному сырью накапливать в различных частях широкий спектр активных веществ, находящихся в комбинации. Выбор морфологической части для заготовки сырья неразрывно связан с этапом вегетации растения, поскольку максимальное содержание действующих веществ будет наблюдаться в случае удовлетворения обоих параметров [8]. Накопленные в растении продукты вторичного метаболизма могут изменять свой биохимический состав в зависимости от срока заготовки. Алгоритм сбора и заготовки связан с определением особенностей влияния на конечный лекарственный продукт, накопленных растением действующих веществ, параметр которых в зависимости от стадии вегетации может изменяться [9].

Возраст растения является немаловажным фактором при определении наиболее качественного сырья для заготовки. В некоторых случаях возраст растения играет положительную роль и способствует накоплению большого количества биологически активных веществ, но иногда снижение биохимической активности процессов, способствует угнетению выработки активных компонентов [10]. При заготовке многолетних растений важно учитывать тип действующих веществ определенного растения. Так, например, дубильные вещества с возрастом адсорбируются на клеточных стенках, а флавоноиды снижают свою активность накопления. Поэтому необходимо учитывать особенности химического состава растения перед длительным культивированием [11].

Немаловажное влияние на содержание экстрактивных веществ оказывают природные факторы (свет, температура, влажность, агротехнические особенности произрастания), но их параметры при культивировании могут регулироваться, что способствует заготовке наиболее качественного сырья. При этом факторы биологического возраста растения и морфологической части являются базовыми и редко подвергаются изменениям, полученные из них лекарственные формы, обладают максимальным терапевтическим эффектом. Поэтому научные исследования нацелены на определение варибельности диапазона оптимального возраста и морфологической части для заготовки культивированного растительного сырья [12].

Для исследования данных параметров были выбраны представители семейства Яснотковых (*Lamiaceae*) рода Шлемник (*Scutellaria*) – шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*) и шлемник обыкновенный (*Scutellaria galericulata*). Определено, что данные растения имеют широкий спектр биологически активных веществ, к которым относятся: флавоноиды (рис. 1), дубильные вещества (рис. 2), сапонины (рис. 3), смолы (рис. 4), полисахариды (рис. 5), стероиды (рис. 6), биогенные элементы, свободные органические и аминокислоты [10-14].

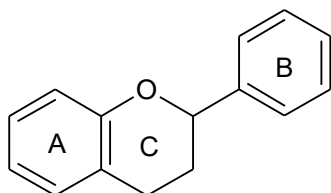


Рисунок 1. Флавоноиды

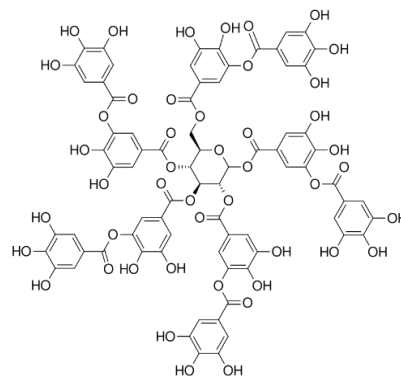


Рисунок 2. Дубильные вещества

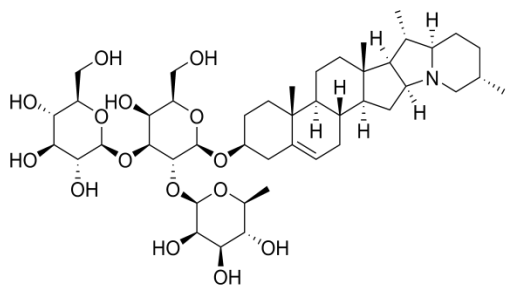


Рисунок 3 - Сапонины

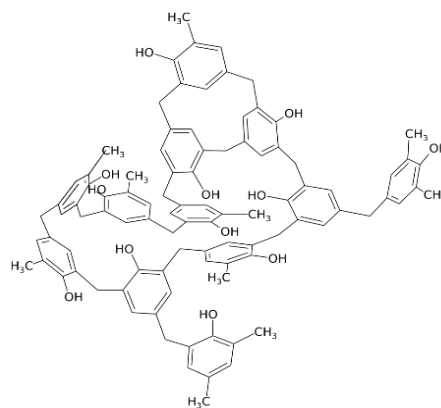


Рисунок 4 - Смолы

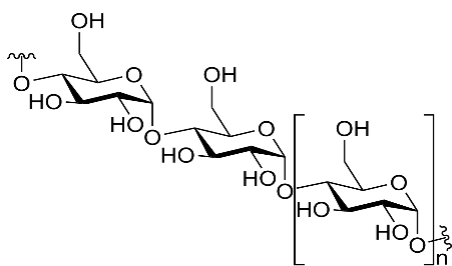


Рисунок 5. Полисахариды

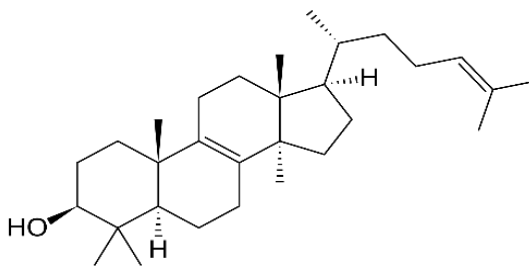


Рисунок 6. Стероиды

Цель исследования. Провести изучение содержания экстрактивных веществ растительного сырья *Scutellaria baicalensis* и *Scutellaria galericulata* в зависимости от морфологической части и возраста растений.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования выступили надземные и подземные части *Scutellaria baicalensis* и *Scutellaria galericulata*, которые были выращены методом культивирования, собраны и заготовлены в Астраханской области. Изучаемые растения являются многолетними, следовательно, имело место провести сравнительный анализ содержания экстрактивных веществ в различных морфологических частях в зависимости от года сбора с целью выявления времени их максимального накопления. Анализу подвергали растительный материал, который был собран в сентябре с 2019 по 2022 гг. Согласно требованиям Государственной фармакопеи последней редакции, была проведена заготовка, сбор и хранение изучаемых образцов. Определение содержания экстрактивных веществ (%) проводили методом гравиметрии согласно общей фармакопейной статье ОФС.1.5.3.0006.15 [15]. Испытания выполняли в пяти повторениях, результаты которых представили в виде $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$, где последнее представляет собой доверительный интервал среднего. Различия между содержанием экстрактивных веществ в группах оценивали с помощью непараметрического метода - U-критерия Манна-Уитни, учитывая определяющие статистические параметры при $p < 0,05$. Обработку полученных данных проводили с использованием пакета «Statistica 10».

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ данных, проведенного эксперимента, показал рост концентрации экстрактивных веществ с увеличением времени жизни изучаемых растений (табл. 2). Сравнивая данные периода с 2020 по 2022 гг., полученные по исследованию растительного материала *Scutellaria baicalensis*, относительно 2019 года сбора наблюдали достоверное повышение содержания экстрактивных веществ в 1,7 раза ($p < 0,05$), 4,0 раза ($p < 0,05$), 4,3 раза для надземной части; а в подземной накопление произошло в 1,7 раза ($p < 0,05$), 3,2 раза, 3,4 раза ($p < 0,05$). Анализируя полученные результаты (2020-2022 гг.) для растительного сырья *Scutellaria galericulata*, установили возрастание количества экстрактивных веществ относительно первого года сбора надземной части в 2,2 раза ($p < 0,05$), 3,0 раза ($p < 0,05$), 3,6 раза ($p < 0,05$) и в 1,6 раза ($p < 0,05$), 2,1 раза ($p < 0,05$), 2,3 раза ($p < 0,05$) для подземной части.

Таблица 1.
Процентное содержание экстрактивных веществ в растительном материале *Scutellaria baicalensis* и *Scutellaria galericulata*

Растение	Часть	Содержание экстрактивных веществ ($\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$), %			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
<i>Scutellaria baicalensis</i>	Надземная часть	16,7±0,73	28,4±1,37 *	67,5±3,19 *●☉	70,9±3,48 *●☉
	Подземная часть	23,1±1,25 Δ	39,5±1,83 *Δ	74,8±4,07 *●☉	79,3±4,24 *●☉
<i>Scutellaria galericulata</i>	Надземная часть	14,3±0,60	30,9±2,01 *	42,5±2,46 *●	50,9±2,97 *●**
	Подземная часть	25,1±1,11 Δ	41,0±2,37 *Δ	53,7±2,82 *●Δ	58,3±3,03 *●

Примечание: * – достоверность различий содержания экстрактивных веществ относительно 2019 года сбора* – при $p < 0,05$. ● – достоверность различий содержания экстрактивных веществ относительно 2020 года сбора ● – при $p < 0,05$. ** – достоверность различий содержания экстрактивных веществ относительно 2021 года сбора ** – при $p < 0,05$. Δ – достоверность различий между содержанием экстрактивных веществ в подземной относительно надземной части Δ – при $p < 0,05$. ☉ – достоверность различий между содержанием экстрактивных веществ в растительном сырье *Scutellaria baicalensis* относительно *Scutellaria galericulata* ☉ – при $p < 0,05$.

Определили статистически значимые различия в аккумуляции изучаемых биологически активных веществ и балластных соединений в изучаемом материале *Scutellaria baicalensis* в 2,4 раза ($p < 0,05$), 2,5 раза ($p < 0,05$) (2021-2022 гг., трава) и 1,8 раза ($p < 0,05$), 2,0 раза ($p < 0,05$) относительно 2020 года сбора (2021-2022 гг., корни), в то время как в растительном сырье *Scutellaria galericulata* увеличение концентрации экстрактивных веществ произошло в 1,4 раза ($p < 0,05$) и 1,6 раза ($p < 0,05$) для надземной части в период с 2021 по 2022 гг., а подземной в 1,3 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,05$) за время 2021 и 2022 гг.. Выявили увеличение содержания экстрактивных веществ в 1,2 раза ($p < 0,05$) сравнительно с третьим годом сбора только для надземной части *Scutellaria galericulata*.

Следует отметить, что в результате проведенного исследования, была выявлена статистически значимая разница в накоплении экстрактивных веществ при сравнении различных морфологических частей. В первые два года сбора корни *Scutellaria baicalensis* относительно надземной части имели достоверной рост суммы биологически активных веществ и балластных соединений 1,4 раза ($p < 0,05$), тогда как для *Scutellaria galericulata* увеличение произошло в 1,8 раза ($p < 0,05$) (2019 г.), 1,3 раза ($p < 0,05$).

Сравнение содержания экстрактивных веществ идентичных морфологических частей шлемника байкальского и шлемника обыкновенного показали достоверные различия на третий и четвертый год заготовки сырья. Количество экстрактивных веществ надземных частей *Scutellaria baicalensis* в период с 2021 по 2022 гг. было выше в 1,6 раза ($p < 0,05$) и 1,4 раза ($p < 0,05$), тогда как корней оно увеличилось в 1,4 раза ($p < 0,05$) относительно растительного сырья *Scutellaria galericulata*.

Заключение. Фитотерапевтическое лечение с каждым годом становится всё более актуальным, что обусловлено рядом положительных сторон использования растительного сырья. Его применение является наиболее безопасным и доступным в сравнении с синтетическими препаратами, поскольку исключает быстрое действие на функциональные мишени в организме.

Использование растительных экстрактов позволяет восполнить дефициты минеральных веществ в организме и сформировать условия для увеличения защитных сил организма.

Исследования показали, что на третий и четвертый год жизни растения в растительном материале шлемника байкальского и шлемника обыкновенного было максимальное содержание экстрактивных веществ. Установили, что накопление изучаемых биологически активных веществ и балластных соединений статистически значимо различались в первые три года сбора. Полученные данные позволили определить, что в период с 2021 по 2022 гг. аккумулятивное содержание экстрактивных веществ было максимальным для растительного материала *Scutellaria baicalensis*.

Результаты настоящего исследования позволяют сделать вывод о том, что сырье *Scutellaria baicalensis* и *Scutellaria galericulata*, культивируемое и заготовленное на территории Астраханской области, является богатым источником экстрактивных веществ. Количественный анализ позволил определить оптимальное время для заготовки растительного сырья в период максимального накопления экстрактивных веществ.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Aimakov, O. A. Biological value of extractives of brown algae / O. A. Aimakov // Journal of Agriculture and Environment. 2022. No. 6(26). – DOI 10.23649/jae.2022.6.26.01.
2. Криворотова, А. И. К вопросу о влиянии экстрактивных веществ древесины на образование цементнодревесных композитов / А. И. Криворотова, О. А. Усольцев // Научные труды SWorld. 2015. Т. 13, № 1(38). – С. 97-101.
3. Frolkova, A. V. Separation of diethyl ether + hexane + ethyl acetate + ethanol quaternary system via extractive distillation / A. V. Frolkova, D. S. Logachev, T. E. Ososkova // ChemChemTech. 2020. Vol. 63, No. 10. P. 59-63. – DOI 10.6060/ivkkt.20206310.6228.
4. Шнянина, Д. С. Определение содержания экстрактивных веществ и кофеина в составе чая / Д. С. Шнянина // Ratio et Natura. 2021. № 1(3).
5. Тырков, А. Г. Исследование химического состава и антимикробной активности экстрактивных веществ из семян *Robinia pseudoacacia* L. / А. Г. Тырков, Л. Т. Сухенко, Э. Р. Акмаев // Химия растительного сырья. 2012. № 2. С. 119-123.
6. Максис, О. А. Особенности состава экстрактивных веществ древесины лиственницы различных эколого-географических условий / О. А. Максис, Е. В. Харук // Химия растительного сырья. 2002. № 4. С. 39-41.
7. Веретнова, О. Ю. Природа экстрактивных веществ багульника болотного, произрастающего в Красноярском крае / О. Ю. Веретнова, Н. А. Поляков, А. А. Ефремов // Химия растительного сырья. 2007. № 2. С. 67-72.
8. Определение содержания экстрактивных веществ в растительном сырье амаранта темного (*A. hypochondriacus*) / О. В. Близняк, И. Е. Лепехина, В. В. Уранова, Р. Р. Исякаева // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 84-2. С. 106-109. – DOI 10.18411/trnio-04-2022-76.
9. Шахова, Н. В. Влияние физических способов воздействия на выход экстрактивных веществ / Н. В. Шахова, Е. В. Мищенко // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. 2014. № 1(2). С. 63-64.
10. Ооржак, У. С. Исследование влияния технологических факторов на процесс извлечения экстрактивных веществ из лиственничной губки / У. С. Ооржак, В. М. Ушанова, С. М. Репях // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 69-72.
11. Малков, Ю. А. Применение метода математического моделирования для разработки технологии извлечения экстрактивных веществ из древесины лиственницы / Ю. А. Малков, Л. А. Остроухова, В. А. Бабкин // Химия растительного сырья. 2002. № 2. С. 133-138.
12. Маняхин, А. Ю. Биологическая активность сухого экстракта шлемника байкальского / А. Ю. Маняхин, С. П. Зорикова, О. Г. Зорикова // Тихоокеанский медицинский журнал. 2010. № 2(40). С. 66-69.
13. Шлемник байкальский : Фитохимия и фармакологические свойства / Е. Д. Гольдберг, А. М. Дыгай, В. И. Литвиненко [и др.]. – Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 1994. – 222 с. – ISBN 5-7511-0738-1.

14. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. Callus extract: phytochemical analysis and isolation / I. S. Milentyeva, A. M. Fedorova, T. A. Larichev, O. G. Altshuler // Foods and Raw Materials. 2023. Vol. 11, No. 1. P. 172-186. – DOI 10.21603/2308-4057-2023-1-564.

15. Государственная фармакопея XIV издание. – 2018. – Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>, свободный (дата обращения 10.06.2023).

STUDYING THE CONTENT OF EXTRACTIVE SUBSTANCES OF PLANT RAW MATERIALS *SCUTELLARIA BAICALENSIS* AND *SCUTELLARIA GALERICULATA* DEPENDING ON THE MORPHOLOGICAL PART AND AGE OF PLANTS

Uranova V.V., Bliznyak O.V., Lomteva N.A.

The experimental study is aimed at determining the content of extractive substances for plant raw materials *Scutellaria galericulata* and *Scutellaria baicalensis* depending on the morphological part and age of plants. Materials and research methods. Plant material (aboveground and underground parts) of representatives of the *Lamiaceae* family, namely *Scutellaria galericulata* and *Scutellaria baicalensis*, cultivated in the Astrakhan region, was chosen as the object of study. Determination of the content of extractive substances (%) was carried out by gravimetry according to the General Pharmacopoeia article 1.5.3.0006.15. Research results. Studies have shown that the maximum content of extractive substances was noted in the third and fourth years of plant life. It was found that the accumulation of the studied biologically active substances and ballast compounds was statistically significantly different for the first three years of collection. The data obtained made it possible to determine that in the period from 2021 to 2022. the accumulation of extractive substances was maximum for the plant material of *Scutellaria baicalensis*.

Keywords: biologically active substances, plant raw materials, extractive substances, extraction, *Scutellaria baicalensis* and *Scutellaria galericulata*, aboveground and underground parts.

Сведения об авторах:

Уранова Валерия Валерьевна:

Ассистент, ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России

e-mail: fibi_cool@list.ru

Близняк Ольга Владимировна:

Студентка, ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России

e-mail: olhabliznyak@yandex.ru

Ломтева Наталья Аркадьевна:

д.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет
им. В. Н. Татищева»

e-mail: molecula01@yandex.ru

ЭКОЛОГИЯ

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ – ЯНОС»

Крупенникова И. А.

Статья посвящается проблеме загрязнения водоемов сточными водами, которые загрязнены продуктами переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах. Нефть и нефтепродукты на современном этапе являются основными загрязнителями внутренних водоемов. Попадая в них, они создают разные формы загрязнения: плавающую на воде нефтяную пленку, растворенные или эмульгированные в воде нефтепродукты, осевшие на дно тяжелые фракции. При этом изменяется запах, вкус, окраска, поверхностное натяжение, вязкость воды, уменьшается количество кислорода, появляются вредные органические вещества, вода приобретает токсические свойства и представляет угрозу не только для человека, но и для обитателей водоемов. Загрязнение водных ресурсов нефтью и нефтепродуктами ставит задачу очистки сточных вод теми способами, при которых качество воды в водоемах будет соответствовать допустимым ПДК. Процесс очистки сточных вод рассматривается на примере предприятия ПАО «Славнефть-ЯНОС». Изучаются методы очистки сточных вод НПЗ, характеристика систем очистки сточных вод, рассматривается контроль технологического процесса очистки сточных вод цеха № 12 ПАО «Славнефть-ЯНОС». Проводится сопоставление аналитических данных предприятия об итогах очистки вод и нормативными показателями, согласно постановлению Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021). Установлено, что на предприятии постоянно производится контроль качеством стоков, очищенные воды соответствуют показателям.

Ключевые слова: механическая очистка, физико-химическая очистка, биохимическая очистка, методы очистки, водоотведение, аэротенк, активный ил, сточные воды, шламонакопитель.

Ярославская область входит в число развитых промышленных регионов страны. Самым крупным предприятием нефтеперерабатывающей промышленности является ПАО «Славнефть-ЯНОС». Предприятие нефтехимической промышленности производит: автобензин, дизельное топливо и топочный мазут, пластмассы и синтетические смолы.

Предприятие активно занимается природоохранной деятельностью, направленной на снижение воздействия производственных факторов на окружающую среду. Повышение экологической безопасности производства относится к числу приоритетов реализуемой на заводе промышленной стратегии. Для Ярославской области охрана окружающей среды одно из приоритетных направлений развития. Стратегии Правительства области, предприятий города объединены в работе по защите окружающей среды.

ПАО «Славнефть-ЯНОС» занимает лидирующие позиции рейтинга эколого-энергетической прозрачности предприятий Ярославской области. Подтверждается эффективность природоохранной деятельности предприятия стабильным улучшением качества очистки промышленных стоков.

Сточные воды предприятия нефтепереработки высокотоксичны и представляют собой серьезную экологическую опасность. Очистка этих стоков до параметров, предусмотренных действующим, в настоящее время постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 N 644, традиционными способами очистки канализационных стоков невозможна. Кроме того, высокая

загрязненность вод, использующихся в технологических процессах, может приводить к значительным экологическим последствиям, часто необратимым.

Это создает предпосылки для применения высоко эффективных очистных сооружений на предприятиях, модернизации изношенного инженерного оборудования.

Нейтральные нефтесодержащие сточные воды обычно подвергаются механической и физико-химической очистке для использования их в системе оборотного водоснабжения на предприятии. Опыт эксплуатации сооружений показывает необходимое применение биологической очистки для предотвращения коррозионных разрушений оборудования оборотных систем.

Нефтесодержащие сточные воды подвергаются механической, физико-химической и биохимической очистке для возвращения их в природную среду.

Все сточные воды ПАО «Славнефть-ЯНОС» отправляются по общей системе канализации и отводятся на очистку в цех №12.

Первым участком, куда приходят сточные воды, является участок механической очистки. Назначение механической очистки заключается в подготовке производственных сточных вод к физико-химическому и биохимическому методам очистки, путём сбора нефтепродуктов и механических примесей, поступающих на сооружения участка со сточными водами и последующей откачкой уловленной нефтяной эмульсии на участок обработки нефтешлама и ловушечной нефти. Механическая очистка обеспечивает выделение на сооружениях участка до 90-95% взвешенных веществ и снижение загрязнений нефтепродуктами до 80 мг/дм³ по стокам I системы и 90 мг/дм³ по стокам II системы [1, с. 18].

Сточные воды, поступающие на участок, проходят механическую очистку по двум системам канализации. I система включает в себя: промливневая канализация, в которую поступают стоки от охлаждения дополнительного оборудования насосов, компрессоров, слабозагрязненные технологические стоки, стоки лабораторий, ливневые воды с обрамленных территорий технологических объектов, а также стоки ТСБ с внеплощадочных сооружений цеха №12.

II система включает в себя: канализация стоков ЭЛОУ, в которую поступают загрязненные нефтепродуктами, солями, химическими реагентами стоки от установок ЭЛОУ, парков сырой нефти, очищенные стоки с установки НСЩС, стоки с установки ХВП, дренажные стоки с БОВ-2; сернисто-щелочную канализацию, в которую поступают химически-загрязненные технологические конденсаты, растворы отработанной щелочи, кислые стоки с установок АВТ, УПСК и РОСК, Гидрокрекинг, УОСГ, а также стоков с блока «Висбрекинг», с реагентного хозяйства.

Стоки с механическими примесями, образующиеся при чистке, промывке, откачке илососом и вакуум-бочкой, колодцев, камер, отстойников сточных вод, оборудования, технологических лотков на предприятии, подаются на песковую площадку. Механические примеси оседают на песковой площадке, а сточные воды направляются на нефтеловушки II системы.

Первоначально стоки проходят очистку в песколовках. После песколовки стоки поступают на горизонтальные нефтеловушки. Там происходит выделение нефтепродуктов, всплывающих на поверхность и осаждение механических примесей. На выходе из нефтеловушки стоки проходят под нефтеудерживающей перегородкой и через переливную стенку поступают по коллектору в пруд-усреднитель. После пруда-усреднителя стоки поступают в приемную камеру насосной станции откуда насосами откачиваются на радиальные отстойники. Нефть ловушечная собирается в нефтесборные резервуары и откачивается на участок обработки нефтешлама [2, с.5].

Сточные воды, прошедшие механическую очистку, поступают на участок доочистных сооружений, где подвергаются очистке на установках флотации I и II систем. Процесс очистки производственных сточных вод, содержащих нефть, нефтепродукты, масла, взвешенные вещества, производится методом флотации заключается в образовании комплексов «частицы примесей – пузырьки воздуха», всплывании этих комплексов и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности обрабатываемой жидкости. Прилипание частиц примесей, находящихся в жидкости, к поверхности воздушных пузырьков возможно только тогда, когда наблюдается не смачивание или плохое смачивание частицы жидкостью. Большое значение при

флотации имеют размер, количество и равномерность распределения воздушных пузырьков в сточной воде. Оптимальные размеры воздушных пузырьков 15-30 мкм.

Количество подаваемого воздуха должно составлять 3-5 % объёма очищаемой воды, образующая на поверхности флотатора пена собирается в пеносборный лоток, отводится в резервуар и откачивается на участок механической очистки [3, с. 20]. Для придания текучести уловленной пене в пеносборный лоток из напорного трубопровода подается вода.

Стоки после радиальных отстойников участка механической очистки поступают самотёком в измерительный лоток установки флотации. Очищенные стоки после флотаторов по трубопроводу поступают на биохимическую очистку.

Пена с поверхности флотаторов с помощью скребковых механизмов собирается в пеносборный лоток и по трубопроводу поступает в резервуар откачки пены флотации, откуда насосами откачивается на участок нефтешлама.

Для повышения качества очищенной воды при флотационной очистке используются высокомолекулярные вещества – флокулянты, которые связывают частицы загрязняющих веществ в более крупные комплексы, на поверхности которых происходит интенсивное выделение пузырьков воздуха. Приготовление и дозирование раствора флокулянта в сточные воды осуществляется с помощью установок «Полирекс 1, 2» («Полирекс 1Р, 2Р»). Количество флокулянта подаётся в соответствии с утверждёнными «Нормами расхода реагентов, катализаторов и присадок» по предприятию.

Процесс биохимической очистки основан на возможности анаэробных микроорганизмов использовать в качестве питания растворённые в стоках неорганические и органические соединения, окисляя их до воды, углекислого газа, нитратов.

Стоки после флотационной очистки через распределительную камеру поступают канал аэротенка.

Окисление загрязняющих веществ происходит в аэротенках (резервуары, в которых в циркулирующую жидкость проступает постоянно воздух из воздуходувной станции), куда поступают сточные воды, подаётся активный ил и воздух. Микроорганизмы в аэротенках присутствуют в виде хлопьевидных скоплений (активного ила) взвешенных в сточной жидкости.

Из аэротенков стоки в смеси с активным илом поступают в радиальные отстойники, происходит отделение от стоков активного ила для дальнейшей циркуляции.

Активный ил оседает на дно, удаляется оттуда и вновь возвращается в аэротенки, а очищенная вода через переливные стенки переходит в сборный лоток и отводится по трубопроводу на буферные пруды цеха. В результате естественного размножения микроорганизмов и сорбирующей способности активного ила его количество в аэротенках все время возрастает. Большой избыток активного ила может тормозить процесс очистки, поэтому его излишек удаляется либо на установку обезвоживания избыточного активного ила, либо на илонакопитель, откуда опять же ил поступает на установку обезвоживания [4, с. 44].

Ил стабилизированный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод является исходным компонентом для приготовления Грунта планировочного.

Грунт планировочный получается путем извлечения отхода «ил стабилизированный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод» из секции № 6 илонакопителя № IV и последующего размещения на площадке цеха № 12 на срок 9-12 месяцев с обязательным перемешиванием и добавлением песка и/или чистого грунта в соотношении 1:500.

Полученный продукт Грунт планировочный используется в ПАО «Славнефть-ЯНОС» для: благоустройства и озеленения территории предприятия; восстановления нарушенных земель, планируемых участков; проведения рекультивации нарушенных земель; отсыпке и планировке обвалований, откосов производственных площадок и обочин дорог; обратной засыпке при строительных работах; засыпке выемок, образованных при механическом снятии загрязненной почвы [5, с. 37].

Аналитический контроль процесса очистки сточных вод в цехе № 12 приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Аналитический контроль процесса очистки

Загрязнители	Показатели до очистки	Показатели после очистки	ПДК для канализации
Нефтепродукты	1000 – 8000 мг/л	до 2 мг/л	10 мг/л
Водородный показатель (рН)	7,2 - 7,5	6,5-8,5	6-9
Взвешенные вещества	100 – 300 мг/л	20 мг/л	300 мг/л
Температура	+ 45 °С	+ 30 °С	+ 40 °С

Показатели после очистки в цехе № 12 приводятся к нормативным ПДК для канализации [6] согласно постановлению Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021). Далее сточные воды по канализационным трубам поступают на сооружения станции доочистки на сбросном канале ПАО «Славнефть-ЯНОС» в пос. Прибрежный. Там показатели приводятся к нормам для дальнейшего сброса в рыбохозяйственный водоем р. Волгу.

Нефть и нефтепродукты на современном этапе являются основными загрязнителями внутренних водоемов. Попадая в них, они создают разные формы загрязнения: плавающую на воде нефтяную пленку, растворенные или эмульгированные в воде нефтепродукты, осевшие на дно тяжелые фракции и т.д. При этом изменяется запах, вкус, окраска, поверхностное натяжение, вязкость воды, уменьшается количество кислорода, появляются вредные органические вещества, вода приобретает токсические свойства и представляет угрозу не только для человека, но и для природы в целом.

В процессе очистки сточных вод образуются такие жидкие и твердые отходы как: смазки на основе нефтяных масел, ил стабилизированный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод, мусор с защитных решёток хозяйственно-бытовой и смешанной канализации малоопасный. В последствии отходы сдаются в цех № 13 на узел слива отработанного масла, для передачи по договору в специализированную организацию либо утилизации на С-300 КМ-2, используется как компонент приготовления рекультиванта, вывозится автотранспортом на полигон ТБО ОАО «Скоково».

Газообразные отходы представляют собой: углеводороды (С1-С5), углеводороды (С6-С10), бензол, толуол, ксилол, сероводород, которые в последствии рассеиваются в атмосфере.

Предприятие ПАО «Славнефть-ЯНОС» предотвращает риски загрязнения окружающей среды, производя механическую, физико-химическую и биохимическую очистку сточных вод, приводя стоки к нормативным показателям, так же предприятие использует разработки с заботой об окружающей среде.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Инструкция № 521 по эксплуатации участка механической очистки стоков цеха №12 ПАО «Славнефть-ЯНОС». – Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2021. – 91 с.
2. Инструкция № Ц12-525 «По эксплуатации внеплощадочных очистных сооружений участка обработки нефтешлама и ловушечной нефти цеха № 12 ПАО «Славнефть-ЯНОС». – Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2021. – 55 с.
3. Инструкция № 522 по эксплуатации участка доочистных сооружений цеха № 12 ОАО «Славнефть-ЯНОС». – Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2019. – 91 с.
4. Инструкция № 526 по эксплуатации участка биохимической очистки
5. сточных вод цеха №12 ПАО «Славнефть-ЯНОС». – Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2019. – 90 с.
6. Инструкция № 529 по эксплуатации установки по обезвоживанию избыточного активного ила цеха №12 ПАО «Славнефть-ЯНОС». – Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2019. – 43 с.
7. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации"

8. Шицкова А. П., Новиков Ю. В., Гурвич Л. С., Климкина Н. В. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей промышленности. - М.: Химия, 1980.
9. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод.- М.: Стройиздат, 2002.- 830с.
10. Славнефть ЯНОС URL: <https://www.yanos.slavneft.ru> (дата обращения: 04.06.2023).
11. Сточные воды нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности – Загрязнение природных водоёмов нефтехимическими предприятиями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vuzlit.com/2258146/stochnye_vody_neftepererabatyvayushey_neftehimicheskoy_promyshlennosti (дата обращения 03.06.2023).

WASTEWATER TREATMENT FROM OIL REFINING PRODUCTS AT PJSC SLAVNEFT – YANOS

Krupennikova I.A.

The article is devoted to the problem of pollution of reservoirs with sewage, which are contaminated with oil refining products at oil refineries. Oil and petroleum products at the present stage are the main pollutants of inland water bodies. Getting into them, they create different forms of pollution: an oil film floating on water, oil products dissolved or emulsified in water, heavy fractions that have settled to the bottom. At the same time, the smell, taste, color, surface tension, viscosity of water changes, the amount of oxygen decreases, harmful organic substances appear, water acquires toxic properties and poses a threat not only to humans, but also to the inhabitants of reservoirs. Pollution of water resources with oil and petroleum products poses the task of wastewater treatment in ways in which the quality of water in reservoirs will meet the permissible MPC. The process of wastewater treatment is considered on the example of the enterprise of PJSC Slavneft-YANOS. The methods of refinery wastewater treatment, characteristics of wastewater treatment systems are studied, the control of the technological process of wastewater treatment of shop No. 12 of PJSC Slavneft-YANOS is considered. The comparison of the analytical data of the enterprise on the results of water purification and regulatory indicators is carried out, according to the decree of the Government of the Russian Federation dated 29.07.2013 N 644 (ed. from 30.11.2021). It is established that the quality of wastewater is constantly monitored at the enterprise, the purified water corresponds to the indicators.

Keywords: mechanical cleaning, physico-chemical cleaning, biochemical cleaning, cleaning methods, drainage, arotank, activated sludge, waste water, sludge accumulator.

Сведения об авторах:

Крупенникова Ирина Андреевна:

студент, института инженеров строительства и транспорта,
Ярославский государственный технический университет
e-mail: irinakru21@mail.ru

АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД В ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Анатолий Г. Л., Башаров М. М.,
Исхакова Р. Я.

Актуальность данного исследования заключается в минимизации антропогенного воздействия загрязненных водных сред на окружающую природную среду путем разработки и применения новых математических моделей с целью оптимизации процессов проектирования аппаратов очистки сточных вод и технологических жидкостей. Авторами получены выражения для определения эффективности сепарации эмульсий и суспензий с учетом различных механизмов осаждения, где основой информацией является гидравлическое сопротивление рабочей зоны аппарата, которые могут применяться при модернизации аппаратов. На основе анализа гидродинамических особенностей движения капель и твердых частиц в тонкослойных отстойниках и режимов их работы представлены математические модели и расчетные выражения для эффективности сепарации смесей с учетом различных механизмов переноса. Рассмотрены различные механизмы переноса дисперсной фазы в жидкостях в проточных тонкослойных отстойниках, которые применяются в водоподготовке, в очистке сточных вод и других жидкостей в химической технологии и теплоэнергетике.

Ключевые слова: эмульсии; суспензии; тонкослойные отстойники; математические модели; эффективность разделения.

На тепловых станциях, а также предприятиях нефтехимии, нефтегазопереработки и нефтедобычи актуальны задачи разделения гетерогенных сред (эмульсий и суспензий) для обеспечения охраны окружающей среды, например при очистке сточных вод, а также в водоподготовке и очистке технологических жидкостей на промышленных установках. При очистке применяются различные аппаратное оформление, например – отстойники, фильтры, центрифуги, гидроциклоны и т.д. Выбор аппаратов зависит от вида и состава смесей, расхода потока на очистку, требованиям к эффективности разделения и энергозатратам.

Применяются различные методы разделения гетерогенных сред, и в частности водонефтяных эмульсии [1-3], некоторые из которых характеризуются не достаточной эффективностью и повышенными энергозатратами. Разрабатываются аппараты, которые устраняют эти недостатки [4], например, флотация с микропузырьками [5], коалесторы с вставками из пористого материала или с плоскими перегородками [6], аппараты с параллельными пластиковыми пластинами с узкими каналами [7], применяется мембранное разделение [8], используются адсорбционные материалы из аналога гидрофобных губок [9,10], применяются нановолоконные [11-13], есть аппараты с ультразвуком [14].

Разработаны гидрофильные и олеофобные мембраны для очистки нефтесодержащих сточных вод [15]. Однако широкого применения они не получили из-за негативного воздействия на окружающую среду и высокой стоимости. Пористая пеномедь (CF) с супергидрофобными или супергидрофильными свойствами применяется для разделения эмульсий масло-вода и вода в масле. Такая система имеет высокую эффективность разделения и производительность (до $185 \cdot 10^3$ л/(м²час)) [16]. В работе [17] получен способ разделения нефти и воды с применением

гидрофобного древесного среза с эффективностью 98 %. Так как древесина является доступным и недорогим материалом этот метод имеет перспективы к применению. Сравнение двух типов коалесторов из высокопористого материала, а также из плоских перегородок в отстойнике выполнено в работе [18]. Показано, что их применение позволяет повысить эффективность и скорость разделения водонефтяных эмульсий. Исследование разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе выполнено в работе [19]. Установлены режимные и конструктивные характеристики, обеспечивающие высокую эффективность разделения. Применение обратного осмоса рассмотрено в работе [20].

Перспективным направлением остается применение проточных тонкослойных отстойников, эффективность разделения гетерогенных сред в которых в несколько раз выше, чем у обычных отстойников [21-23]. Одними из первых конструкций многополочных отстойников были предложены в 30-х годах прошлого столетия И.Ф. Добряковым, В.А. Радцигом, Т. Сомрот, М. Szataу и др. Установлено, что для эффективного разделения число Рейнольдса должно быть $Re < 500$, а число Фруда $Fr > 10^{-5}$. Это обеспечивается делением потока в отстойнике перегородками с расположением под различными углами. Перегородки делят весь поток на ряд элементарных потоков. Такие аппараты применяются для очистки углеводородных смесей, очистки природных и сточных вод, технологических жидкостей на установках химической технологии и в теплоэнергетике. Наиболее эффективными являются пластинчатые модули, однако применяются и трубчатые модули на установках с небольшой производительностью. Трубы в модулях (пакетах) выполняются диаметром от 12,5 до 100 мм и могут иметь различный профиль, в том числе и с закруткой потока.

Выбор математического описания разделения гетерогенной смеси зависит от определяющих механизмов явлений переноса дисперсной фазы, которые зависят от гидродинамического режима и конструкции аппарата.

Целью данной работы является: на основе анализа гидродинамических особенностей движения капель и твердых частиц в тонкослойных отстойниках и режимов их работы представление математических моделей и расчетных выражений для эффективности сепарации смесей с учетом различных механизмов переноса.

Материалы и методы (Materials and methods)

Эффективность разделения смесей. Эффективность сепарации гетерогенной смеси может записываться в общем виде по концентрациям дисперсной фазы или по фракциям по размеру частиц (капель). В общем виде эффективность разделения

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H}, \quad (1)$$

где C_H , C_K – концентрация на входе (начальная) и на выходе аппарата (массовая и объемная).

Очевидно, что разделительная эффективность аппарата зависит от многих факторов и в первую очередь от расхода смеси и полидисперсности капель, их плотности и формы. При ламинарном режиме течения гетерогенной смеси основным механизмом осаждения капель является гравитационный и расчет аппарата в основном связан со скоростью осаждения (или всплытия) капель. Большинство отстойников работают при ламинарном режиме.

При турбулентном режиме начинает проявляться поток массы частиц к стенке за счет турбулентной диффузии, а в закрученном потоке смеси – за счет центробежного механизма. Механизмы гравитационного, турбулентного и центробежного осаждения невязимосвязаны и общую эффективность сепарации можно записать по известному правилу

$$\eta = 1 - (1 - \eta_L)(1 - \eta_T)(1 - \eta_C), \quad (2)$$

где нижний индексы означают – ламинарный, турбулентной и центробежный.

В аппаратах разделения смесей как правило преобладает один из механизмов осаждения частиц, однако необходимо делать оценку скорости явлений переноса.

Гидродинамика капель. Фундаментальные исследования движения дисперсных сред представлены в монографиях [24, 25] и многих других работах.

На частицу (каплю) при спутанном движении в канале действует ряд сил, связанных с гидродинамическими особенностями несущего потока, а также с размером, формой и плотностью капли. Форма капли зависит от числа Вебера $We = \rho_c u_k^2 d_k / \sigma$, где ρ_c – плотность сплошной среды, кг/м³; u_k – скорость движения капли, м/с; d_k – диаметр капли, м; σ – поверхностное натяжение, Па/м.

Известно, что при $We < 0,1$ форма капли близка к сферической и далее при постоянном числе Рейнольдса с увеличением числа Вебера (до 0,5–0,8) форма капли принимает вид сфероида, который сплюснен в направлении движения. С дальнейшим повышением We форма капли деформируется в лобовой зоне и форма становится близкой к эллипсоидальной, а затем с появлением лунки в лобовой части капля приобретает вид чечевицепоподобной. При числе $We > 0,8$ общий коэффициент гидродинамического сопротивления ξ начинает увеличиваться из-за деформации капли, а также ее колебания. Примерно при $Re \approx 200$ и $We \approx 4$ движение капель становится неустойчивое и капли осциллируют.

При $Re > (150 - 200)$ коэффициент гидравлического сопротивления капли значительно отличается от ξ для твердой сферы. Некоторое снижение ξ капли можно объяснить подвижной межфазной поверхностью для сферической капли, а дальнейшее повышение – деформацией формы. В отличие от твердых частиц расчетные зависимости для ξ связаны с критериями Re , We и $\mu^* = \mu_d / \mu_c$, где μ_d , μ_c – коэффициенты динамической вязкости дисперсной и сплошной фаз. Кроме при $We > (10 - 15)$ происходит дробление капель на более мелкие. Отсюда следует вывод о том, что даже при ламинарном режиме течения сплошной среды определение скорости осаждения (или всплытия) капель в расчетах отстойников является не такой простой задачей, тем более при стесненном движении ансамбля полидисперсных капель или твердых частиц.

Известно, что при движении однофазного потока в канале турбулентность начинается развиваться при $Re = u_{cp} d_э / \nu_{ж} > 2300$, где u_{cp} – средняя скорость среды, м/с; $d_э$ – эквивалентный диаметр канала, м²; $\nu_{ж}$ – кинематический коэффициент вязкости, м²/с, то в двухфазных средах смена режима не такая однозначная.

В канале с двухфазными потоками смена режима может происходить $Re < 2300$ из-за изменения формы и поверхности канала за счет осевшей дисперсной фазы, а также вихреобразования за счет движения капель и частиц. При достижении некоторого критического значения числа $Re_{к.кр}$ для капли, где $Re_{к} = u_{к} d_{к} / \nu_{ж}$, происходит отрыв внешнего потока с образованием в кормовой части вихрей (вихревого следа). Значение $Re_{к.кр}$ находится в интервале от 100 до 300 и зависит как от размера и формы капли, так и от отношения $\mu^* = \mu_d / \mu_c$. Так, например, уже при $\mu^* \approx 3$ отрыв потока и вихревой след за каплей появляется при $Re_{к} \approx 100$. Длина вихревого следа (дорожка Кармана) может достигать нескольких диаметров капли и при стесненном движении (концентрации дисперсной фазы примерно больше 3-5%) капая попадает в вихревой след впереди идущей капли. Кроме этого переход от ламинарного режима в отстойнике может произойти при повышении его производительности. Следовательно, в ряде случаев надо учитывать турбулентность в расчетах динамических отстойников.

Уравнения переноса частиц. Математическому моделированию и экспериментальным исследованиям гидродинамики взвешенных частиц в турбулентных двухфазных средах

посвящены многочисленные труды Р.И. Нигматулина, А.Н. Колмогорова, Г.М. Островского, В.Г. Левича, Л.Н. Зайчика, С.И. Кучанова, Б.И. Броунштейна, А.М. Розена и многих других видных ученых. Так, например, В.Г. Левичем и С.И. Кучановым установлено, что определяющим механизмом является турбулентной перенос частиц. Это объясняется дополнительной величиной скорости диссипации энергии из-за присутствия взвешенных частиц в турбулентном потоке. В теории и практике расчета гетерогенных сред применяется подход, когда явления переноса тонкодисперсной фазы (размер частиц < 200мкм) моделируются по аналогии с молекулярной диффузией, что дает возможность применять теорию массопередачи из массообменных процессов.

Допущения к математической модели: диаметр частиц небольшой относительно несущих вихрей, полидисперсность учитывается пофракционно; стесненность частиц слабо влияет на осаждение; достигнув стенки частицы прилегают к поверхности без срыва и уноса, далее сползают и удаляются из аппарата.

Уравнения турбулентного массопереноса частиц в сплошной фазе для плоскопараллельного канала имеют известную форму

$$u(y) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_d \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_d \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (3)$$

а для цилиндрического канала:

$$u(r) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_d \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_d \frac{\partial C}{\partial z} \right), \quad (4)$$

где D_d – коэффициент турбулентной диффузии частиц, м²/с; $u(y)$, $u(r)$ – скорость течения среды, как функция поперечной координаты, м/с; C – концентрация частиц, кг/м³; r – радиальная координата до оси трубы, м; z – продольная координата по направлению движения жидкости, м; y – поперечная координата к стенке канала, м.

Граничные условия задаются на входе в канал, на стенке, оси симметрии и на выходе для дифференциальных уравнений (3), (4).

На входе при $z = 0$; $C = C_n$; $u(y), u(r) = u_n$.

На стенке при $y = 0$ или $r = R$; $C = C_{гр} = 0$; $u(y) = u(r) = 0$; $j = \beta_d (C - C_{гр})$ – поток массы частиц к стенке, кг/м²с; R – радиус канала, м; β_d – коэффициент скорости турбулентного переноса частиц к стенке, м/с.

Значение $C_{гр}$ принимается равное нулю, т.к. частица, достигнув и осев на стенку канала, покидает поток сплошной фазы.

На оси симметрии при $y = R$ или $r = 0$, $\partial C / \partial y = \partial C / \partial r = 0$.

На выходе при $z = H$; $\partial C / \partial z = 0$; H – длина канала, м;

Коэффициент скорости турбулентного осаждения частиц характеризует интенсивность переноса и осаждения частиц из турбулентного потока жидкости на стенках канала. Необходимое условие $\beta_d \gg u_{ос}$; где $u_{ос}$ – скорость гравитационного осаждения частиц, м/с.

Уравнение (3) для прямоугольного канала и уравнение (4) для трубы можно решить численно при известных значениях коэффициентов турбулентной диффузии частиц $D_d(y)$ и $D_d(r)$, а так же источника массы оседающих частиц, связанного с плотностью потока частиц j и удельной поверхностью осаждения dF . Однако, при решении конкретных производственных задач представляется более целесообразным для расчета эффективности турбулентного осаждения тонкодисперсных частиц использовать апробированные модели структуры потоков, которые широко применяются в процессах и аппаратах химической технологии. Тогда выражения (3), (4), после ряда известных допущений, могут быть записаны в форме диффузионных одно- или

двухпараметрических моделей структуры потоков с параметрами идентификации в виде коэффициентов обратного (продольного) и поперечного перемешивания.

Формула (5) представляет собой однопараметрическую диффузионную модель с объемным источником массы осаждающихся частиц

$$u_{\text{ж}} \frac{dC}{dz} = D_{\text{п}} \frac{d^2C}{dz^2} + \beta_d a_v C, \quad (5)$$

где $D_{\text{п}}$ – коэффициент обратного (продольного) перемешивания сплошной фазы, $\text{м}^2/\text{с}$; $u_{\text{ж}}$ – средняя скорость сплошной фазы в канале, $\text{м}/\text{с}$; a_v – удельная поверхность канала, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Так, для труб $a_v = \pi dH / (\pi d^2 H / 4) = 4 / d$, где d – внутренний диаметр труб, м .

Если модифицированное число Пекле $Pe_{\text{п}} = u_{\text{ж}} H / D_{\text{п}} > 20$, то обратное перемешивание потока незначительно и тогда уравнение (5) будет иметь вид модели идеального вытеснения:

$$u_{\text{ж}} \frac{dC}{dz} = \beta_d a_v C, \quad (6)$$

решение которого для эффективности разделения (1) имеет вид

$$\eta = 1 - \left(\exp - \frac{\beta_d F}{V_{\text{ж}}} \right), \quad (7)$$

где F – площадь поверхности стенок канала, м^2 ; $V_{\text{ж}}$ – объемный расход сплошной среды, $\text{м}^3/\text{с}$.

Модель переноса и осаждения частиц. По мере приближения частиц (капель) к поверхности стенки канала турбулентная диффузия затухает и в очень тонком подслое практически равна нулю. Как показывают оценки толщина такого подслоя очень мала ($\delta_1 \sim (10^{-6} - 10^{-7})$, м), а размер капель (частиц) на порядок больше. Тогда можно предположить, что в тонком подслое происходит инерционное движение капель к стенке, аналогично как принимается в миграционной турбулентно-инерционной модели в газах [26].

В форме закона Фика-Буссинеска плотность потока капель к стенке

$$j = D_{\text{тд}}(y) \frac{dC}{dy}, \quad (8)$$

где коэффициент турбулентной диффузии частиц принят в виде [26]

$$D_{\text{тд}}(y) = \frac{D_{\text{т}}(y)}{1 + \omega_E \tau_p}, \quad (9)$$

где $D_{\text{т}}(y)$ – коэффициент турбулентной диффузии в потоке, который зачастую равен $D_{\text{т}}(y) \approx \nu_{\text{т}}(y)$, где $\nu_{\text{т}}(y)$ – коэффициент турбулентной вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; $\omega_E = u_* / (0,1R_g)$ – частота энергоемких пульсаций, с^{-1} ; u_* – динамическая скорость (скорость касательного

напряжения на стенке), м/с; R_3 – эквивалентный радиус канала, м; τ_p – время релаксации частиц, с

$$\tau_p = \frac{d_k^2 |\Delta\rho|}{18\mu_c}, \quad (10)$$

где $\Delta\rho = \rho_c - \rho_k$ – разность плотностей сплошной среды и капли, кг/м³.

Выражение для сопротивления турбулентного переноса частиц в пристенном слое от δ до δ_1 , т.е. в области затухания турбулентных пульсаций (несущих вихрей с каплями)

$$\frac{1}{\beta_d} = \int_{\delta_1}^{\delta} \frac{dy}{D_{Td}(y)}, \quad (11)$$

где β_d – средний коэффициент скорости переноса капель (частиц), м/с (аналог коэффициента массоотдачи); δ – толщина пристенного слоя, м; δ_1 – толщина вязкого подслоя. Выражение (11) можно проинтегрировать при известной функции $D_{Td}(y)$.

Примем известную трехслойную модель турбулентного пограничного слоя

$$\frac{v_T(y)}{v_{ж}} = 0,01\chi^4(y^+)^4, \quad y^+ < 5; \quad (12)$$

$$\frac{v_T(y)}{v_{ж}} = 0,02y^+ - 0,959, \quad 5 \leq y^+ \leq 30; \quad (13)$$

$$\frac{v_T(y)}{v_{ж}} = 0,4y^+ - 1, \quad \text{при } y^+ > 30, \quad (14)$$

где $y^+ = yu_* / v_{ж}$ – безразмерная координата; $\chi = 0,4$ – контакта турбулентности. После интегрирования (11) с функциями (12)-(14) с учетом (9) получено

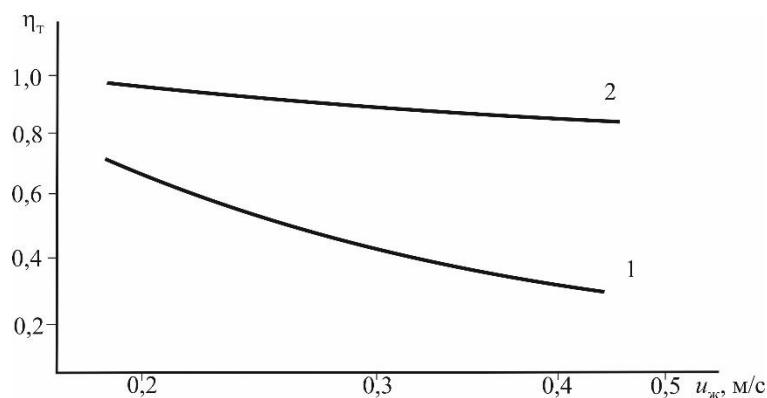
$$\beta_d = \frac{u_*}{(1 + \omega_E \tau_p) \left[R_1 \ln(R_2 / R_1) + \frac{1}{\chi} \ln(R_\delta / R_2) \right]}, \quad (15)$$

где $R_1 = u_* \delta_1 / v_{ж}$; $R_\delta = u_* \delta / v_{ж}$; $R_2 = u_* \delta / v_{ж}$ – безразмерные толщины пограничного слоя; $R_1 = 5$; $R_2 = 30$, а значение R_δ зависит от гидродинамики потока и приближенно $R_\delta = 0,25u_* R_3 / v_{ж}$. Следует отметить, что при наличии на поверхности канала осевших капель, которые создают шероховатость, значения R_1 и R_2 принимают несколько другие значения, меньше чем на гладкой поверхности [23,27,28].

Значение динамической скорости в канале с шероховатой стенкой вычисляется на основе выражения баланса сил $u_* = u_{ж} \sqrt{\xi_{ш} / 8}$, где $\xi_{ш}$ – коэффициент гидравлического сопротивления канала [23, 27, 28].

Результаты и обсуждение.

На рис. 1 представлены зависимости турбулентной сепарации частиц ($\Delta\rho = 10^3$, кг/м^3) от средней скорости потока в цилиндрическом канале. Из расчетов следует, что эффективность сепарации частиц при $d_c = 10^{-3}$, м (1 мкм) ниже в 1,5-2,5 раза, чем для частиц с размером на порядок меньше ($d_c = 10^{-4}$, м) при одинаковой плотности. Это объясняется индексом инерционности частиц $\omega_E \tau_p$, который входит в выражение для β_d (15). Чем больше размер частиц и соответственно $\omega_E \tau_p$, тем частица меньше увлекается турбулентными пульсациями среды (выражение для $D_{ТЧ}$ (9)) и скорость турбулентного переноса снижается. Однако на крупные частицы начинает действовать сила тяжести, поэтому общую эффективность сепарации однозначно оценить затруднительно. Следует учитывать, что в турбулентном режиме скорость гравитационного осаждения снижается из-за турбулентного перешивания потока. Частицы, которые не увлекаются турбулентными пульсациями ориентировочно должны иметь диаметр $d_c > 13,4 \cdot (R \mu_{ж} / (\Delta\rho |u_*))^{0,5}$ [27], что для рассмотренного примера $d_c > 5 \cdot 10^{-3}$, (5мм). Математические модели для расчета эффективности сепарации при ламинарном режиме даны в работах [29,30].

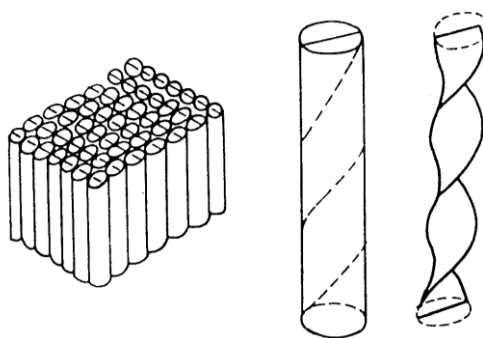


Источник: составлено автором

Рисунок 1. Зависимость эффективности турбулентной сепарации при осесимметричном движении суспензии в канале от средней скорости:

1 – диаметр частиц $d_c = 10^{-3}$, м; 2 – $d_c = 10^{-4}$, м; $d = 0,025$, м; $H = 1,0$ м; $\Delta\rho = 10^3$, кг/м^3 .

Центробежная сепарация. В канале для разделения эмульсии может устанавливаться закручивающее устройство или сами стенки канала выполняются профилированные по винтовой линии (рис. 2) [31, 32], что повышает эффективность процесса при $\rho_k > \rho_c$.



Источник: составлено авторами источников [31,32]

Рисунок 2. Трубчатый блок с элементами закрутки потока

В закрученном потоке на капли и частицы имеет действие центробежная сила $F_{ц} = m_k V_{\omega}^2 / r$, где m_k – масса капли, кг; V_{ω} – скорость вращения эмульсии относительно оси, м/с; r – радиус вращения, м. Скорость центробежного осаждения капель

$$u_{ц} = \tau_p \frac{V_{\omega}^2}{r}. \quad (16)$$

По формуле (17) определяется эффективность центробежного разделения эмульсии при идеальном вытеснении потока

$$\eta_{ц} = 1 - \exp\left(-\frac{u_{ц} F}{V_{ж}}\right). \quad (17)$$

Среднюю скорость вращения эмульсии (суспензии) относительно неподвижной оси определяется по $V_{\omega} = u_{ж} / \cos\theta - u_{ж}$, где θ – угол закрутки потока. Очевидно, что при $\cos\theta = 1$ имеем $V_{\omega} = 0$, т.е. осесимметричное движение без закрутки.

На рис. 3 даны зависимости центробежной эффективности сепарации частиц от их диаметра при различной средней скорости суспензии с углом закрутки $\theta = 45^\circ$.

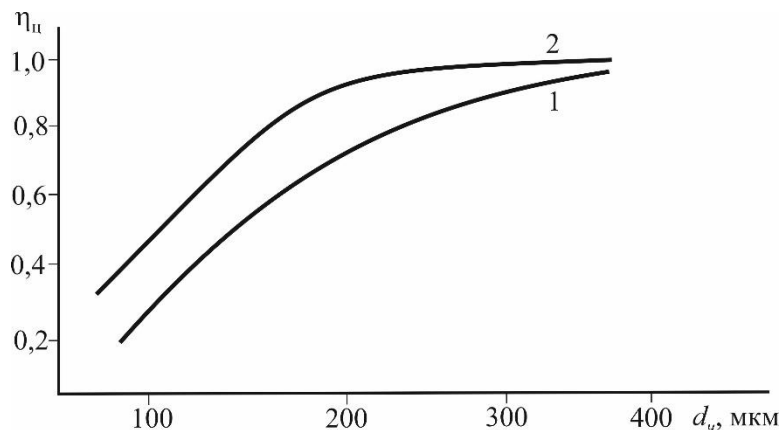


Рисунок 3. Зависимость эффективности центробежной сепарации твердых частиц ($\Delta\rho = 10^3$, кг/м³) от их размера. 1– средняя скорость смеси $u_{ж} = 0,2$ м/с; 2 – $u_{ж} = 0,4$ м/с; $d = 0,025$ м; $H = 1,0$ м; угол закрутки $\theta = 45^\circ$.

Очевидно, что при как при увеличении диаметра частиц, так и скорости потока повышается центробежная сила и эффективность увеличивается. При скорости $u_{ж} = 0,4$ м/с и более для частиц $d_{ч} > 300$ мкм эффективность сепарации составляет $\eta \approx 0,99$.

Выводы (Conclusions)

В статье рассмотрены различные механизмы переноса дисперсной фазы в жидкостях в проточных тонкослойных отстойниках, которые применяются в водоподготовке, в очистке сточных вод и других жидкостей в химической технологии и теплоэнергетике. Получены выражения для определения эффективности очистки, которые могут применяться при проектировании аппаратов или их модернизации. Так, например, авторами статьи на основе применения математической модели выполнены расчеты и разработаны научно-технические решения по модернизации действующих проточных отстойников на установках газоразделения в производстве этилена. Отстойники оснащены тонкослойными модулями и эффективность очистки циркуляционной воды от дисперсной фазы значительно повысилась.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Grossmann I.E., Harjunkoski I. Process Systems Engineering: Academic and Industrial Perspectives // *Comput. Chem. Eng.* 2019. Vol. 126, Iss. 12. Pp. 474–484.
2. Лаптев А.Б., Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р. Осложнения в нефтедобыче. Уфа: ООО Изд-во науч.-техн. лит-ры «Монография», 2003. 302 с.
3. Тимербаев А.С., Таранова Л.В. Численное моделирование процесса разделения водонефтяных эмульсий в центробежном сепараторе // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 9. С. 547–551.
4. Захаров М.К., Писаренко Ю.А., Сычева О.И. Сравнение способов энергосбережения при ректификации жидких смесей // *Известия вузов. Химия и химическая технология.* 2021. Т. 64, № 1. С. 86–92.
5. Xiaobing Li, Hongxiang Xu, Jiongtian Liu, Jian Zhangc, Jig Li, Zhaolong Gui. Cyclonic state micro-bubble flotation column in oil-in-water emulsion separation // *Sep. and Purif. Tech.* 2016. Vol. 165. Pp. 101-106.
6. Dmitriev A.V., Zinnurov V.E. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators. *E3S Web of Conferences.* 2019. Vol. 110(2). Pp. 1-7.
7. Wang Shuo, Qin Wei, Dai Youyuan. Separation of Oil Phase from Dilute Oil/Water Emulsion in Confined Space Apparatus // *Chin. Jour. of Chem. Engineering.* 2012. Vol. 20(2). Pp. 239-245.
8. Gibum Kwon, Arun. K. Kota, Yongxin Li, Ameya Sohani, Joseph M. Mabry, Anish Tuteja. On-Demand Separation of Oil-Water Mixtures // *Adv. maters.* 2012. Vol. 24, Iss. 27. Pp. 3666-3671.
2. 9. Yang Si, Qiuxia Fu, Xueqin Wang, Jie Zhu, Jianyong Yu, Gang Sun, Bin Ding. Superelastic and superhydrophobic nanofiber-assembled cellular aerogels for effective separation of oil/water emulsions // *ACS Nano.* 2015. Vol. 9, Iss. 4. Pp. 3791–3799.
1. Dong Ding, Hengyang Mao, Xianfu Chen, Minghui Qiu, Yiqun Fan. Underwater superoleophobic-underoil superhydrophobic Janus ceramic membrane with its switchable separation in oil/water emulsions // *Jour. of membrane scien.* 2018. Vol. 565. Pp. 303-310.
3. 11. Weitao Zhou, Yimin Zhang, Shan Du, Xiangxiang Chen, Kun Qi, Ting Wu, Jingliang Li, Shizhong Cui, Jianxin He. Superwetable Amidoximed Polyacrylonitrile-Based Nanofibrous Nonwovens for Rapid and Highly Efficient Separation of Oil/Water Emulsions // *ACS App. Polymer Mat.* 2021. Vol. 3 (6). Pp. 3093-3102.
4. Xianfeng Wang, Jianyong Yu, Gang Sun, Bin Ding. Electrospun nanofibrous materials: a versatile medium for effective oil/water separation // *Materials today.* 2016. Vol. 19, Iss. 7. Pp. 403-414.
5. Jin Ge, Yin-Dong Ye, Hong-Bin Yao, Xi Zhu, Xu Wang, Liang Wu, Jin-Long Wang, Hang Ding, Ni Yong, Ling-Hui He, Dr. Shu-Hong Yu. Pumping through Porous Hydrophobic/Oleophilic Materials: An Alternative Technology for Oil Spill Remediation // *Angewandte Chem. Internat. Edit.* 2014. Vol. 53, Iss. 14, Pp. 3612-3616.
6. Xianzhen Xu, Dan Cao, Jin Liu, Jun Gao, Xiaoyi Wang. Research on ultrasound-assisted demulsification/dehydration for crude oil // *Ultrasonic Sonochem.* 2019. Vol. 57. P. 185-192.
7. Bin Xiang, Guogui Shi, Peng Mu, Jian Li. Eco-friendly WBF/PAN nanofiber composite membrane for efficient separation various surfactant-stabilized oil-in-water emulsions // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2022. Vol. 645. Pp. 128-179.
8. Lei Qiu, Yihan Sunb and Zhiguang Guo. Designing novel superwetting surfaces for high-efficiency oil–water separation: design principles, opportunities, trends and challenges // *Journal of material chemistry A.* 2020. Vol. 8, Iss. 33. Pp. 16831-16853.
9. Xiangge Bai, Yongqian Shen, Haifeng Tian, Yaoxi Yang, Hua Feng, Jian Li. Facile fabrication of superhydrophobic wood slice for effective water-in-oil emulsion separation // *Separation and Purification Technology.* 2019. Vol. 210. Pp. 402-408.
10. Vadim Zinurov, Ilmar Sharipov, Oksana Dmitrieva and Ilnur Madyshev. The experimental study of increasing the efficiency of emulsion separation // *E3S Web of Conferences.* 2020. Vol. 157. Pp. 1-7.

11. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65-71.
12. Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р. Исследование процесса обессоливания концентрата установок обратного осмоса отходом энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 2. С. 186-195.
13. Демур М.В. Проектирование тонкослойных отстойников. Киев: Будивельник.1981. 78 с.
14. Покровский В.Н., Аракчеев Е.П. Очистка сточных вод тепловых электростанций. М: Энергия, 1980. 256 с.
15. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Эффективность тепломассообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса. Казань: Центр инновационных технологий, 2016. 344 с.
16. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука,1987. 464с.
17. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. 3-е изд.Москва-Ижевск: изд-во "ИКИ", 2016. 686 с.
18. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. Москва: Наука, 1980. 176 с.
19. А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, Е.А. Лаптева, Т.М. Фарахов. Модели и эффективность процессов межфазного переноса: часть 1. Гидромеханические процессы./ под ред Лаптева А.Г. Казань: Центр инновационных технологий, 2017. 392 с.
20. Laptev A.G., Basharov M.M. Mathematical model of transfer and deposition of fine particles in a turbulent flow of emulsions and suspensions // Inzh. Fizich. Zhurn. 2018. V. 91. N 2. P. 377-386.
21. Laptev A.G., Lapteva E.A., Iskhakova R. Ya. The efficiency determination of the combined emulsion separator// ChemChemTech. 2022. V. 65. N 5. Pp. 112-120.
22. Лаптев А.Г., Исхакова Р.Я. Определение поверхности осаждения дисперсной фазы в тонкослойном отстойнике // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. Вып. 2. С.86-92.
23. Адельшин А.Б., Адельшина А.А., Гришин Б.М., Бикунова М.В. Очистка нефтепромысловых сточных вод с использованием центробежных аппаратов// Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 2. С.29-35.
24. Ксенофонтова Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А. и др. Инженерное оформление процессов очистки сточных вод с использованием флококомбайнов серии КБС// Экология и промышленность России. 2022. Т.11, № 26. С.4-7.

MATHEMATICAL MODELS OF THE HETEROGENEOUS MEDIA SEPARATION IN THIN-LAYER SEDIMENTATION TANKS WITH DIFFERENT WORK MODE

Laptev A.G., Basharov M.M., Iskhakova R.Ya.

The relevance of this study lies in minimizing the anthropogenic impact of wastewaters on the environment by developing and applying new mathematical models in order to optimize the design processes of wastewater treatment plants. Expressions for the emulsions and suspensions separation efficiency determination with various sedimentation mechanisms were obtained. The basis of information is the hydraulic resistance of the working area of the apparatus which can be used in the design of apparatuses or their modernization. The mathematical model and calculation expressions that can be used in the calculations of thin-layer sedimentation tanks with laminar, turbulent regime flows of heterogeneous medias, as well as taking into account flow swirling were developed.

Keywords: emulsions; suspensions; thin-layer sedimentation tanks; mathematical models;

separation efficiency.

Сведения об авторах:

Анатолий Григорьевич Лаптев:

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» (ИЭ) ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ)

e-mail: tvt_kgeu@mail.ru

Башаров Марат Миннахматович

Доктор технических наук, директор производства ООО «Балтийская химическая компания»

e-mail: tvt_kgeu@mail.ru

Исхакова Регина Яновна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» (ИЭ), ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ)

e-mail: imreginaiskh@gmail.com

Учредитель журнала: Мельников Игорь Олегович, кандидат химических наук

Издатель: Общество с ограниченной ответственностью
"Издательство "Манускрипт" (ОГРН 1226100004679)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство серия серия ПИ № ФС 77 – 31640 10.04.2008, **Адрес:** 127473, Москва г., 3-й Самотечный пер., д. 23, кв. 48
Тел. +7 951 528 22 82 **E-mail:** VAK-info@yandex.ru

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Манускрипт»

Подписано в печать 25.07.2023. Выход в свет 03.08. 2023г.

Тираж 150 экз. Заказ № 13–23/ РС–23. Цена свободная

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

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

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

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

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

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

Таким образом, файл должен содержать:

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

Основной текст рукописи экспериментальной статьи рекомендуется излагать в следующей последовательности:

– **введение** с четким и кратким изложением состояния рассматриваемого вопроса и анализом литературных данных, постановкой цели и задач данного исследования;

– **экспериментальная часть** (применяемые аппаратура, материалы, химические реактивы и методика проведения эксперимента в кратком изложении);

– **результаты** проведенных исследований и их обсуждение;

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

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

Контактные лица:

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

E-mail: VAK-info@yandex.ru