

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

4 апреля 2025 года



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2025

УДК [502+551.4/.5+556]:[004+51+53](063)

ББК 26.23

И66

Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях : сборник трудов Международной научно-практической конференции, 4 апреля 2025 г. / под. ред. И. В. Зайцевой. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 408 с.

В сборник включены научные статьи и доклады, представленные на IV Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях» в РГГМУ. Направления работы конференции отражают области научных интересов коллективов кафедр, входящих в состав института информационных систем и геотехнологий. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных методов математики, физики и информационных технологий. Сборник предназначен для широкого круга лиц.

Материалы сборника публикуются в авторской редакции.

Редакционная коллегия:

Зайцева Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой высшей математики и физики РГГМУ;

Бобровский Анатолий Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики и физики РГГМУ;

Дробжесва Яна Викторовна – доктор физико-математических наук, доцент, декан метеорологического факультета РГГМУ;

Ермакова Татьяна Сергеевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ;

Завгородний Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности РГГМУ;

Малафеев Олег Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой моделирования социально-экономических систем СПбГУ;

Михеева Елена Юрьевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики и физики РГГМУ;

Сикарев Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности РГГМУ;

Фадеев Сергей Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и физики РГГМУ.

© Российский государственный
гидрометеорологический университет, 2025

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2025

ISBN 978-5-7422-9091-9

Предисловие

Представленный сборник трудов составлен по итогам работы IV Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях», проходившей 4 апреля 2025 года в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет». Научные статьи сборника затрагивают актуальную тему развития основных направлений математики и физики в области разработки, создания и практического использования современных технологий в экологии и гидрометеорологии. Актуальность вопросов, поднятых на конференции, обусловлена необходимостью их рассмотрения, как с точки зрения практического применения, так и с позиций их теоретического осмысления. Собранные в данном сборнике статьи не только взаимодополняют друг друга, но и позволяют сформировать представление об инновационном развитии методов математики и физики, технологий в экологии и гидрометеорологии.

Сборник состоит из четырех разделов, в соответствии с секциями работы конференции:

Секция 1. Фундаментальные и прикладные аспекты высшей математики в современных исследованиях.

Секция 2. Физические исследования природных процессов.

Секция 3. Современные прикладные информационные системы и геоинформационные технологии.

Секция 4. Развитие исследований в гидрометеорологии и экологии.

Представленные на конференции статьи отражают области научных интересов участников конференции. Опубликованные в сборнике материалы могут быть полезны студентам вузов, аспирантам и молодым специалистам, ученым, преподавателям, ищущим решения актуальных научных задач с применением перспективных методов математики, физики и информационных технологий. Организаторы конференции надеются, что материалы, изложенные в статьях участников IV Международной научно-практической конференции «Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях», найдут достойное применение в реальном секторе развития современного общества.

СЕКЦИЯ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК [510.58:004.9]:378.147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ

*Астрафьева Екатерина Игоревна¹, Зайцева Ирина
Владимировна²*

¹*ФГБОУ ВО РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В рамках данной статьи будет рассмотрен вопрос необходимости визуализации различных математических моделей, а также проанализирован ряд компьютерных технологий, инструментов, электронных ресурсов, дающих возможность студентам визуализировать математические идеи, концепции. Целью статьи является выявление важности и необходимости визуализации математических задач и анализ наиболее полезных и удобных электронных ресурсов, их функций и возможностей. Данная статья может быть полезна студентам и преподавателям, которые смогут познакомиться с неизвестными для себя технологиями и после самостоятельно выбирать наиболее подходящие для их задач инструменты.

Ключевые слова: компьютерные технологии в образовании, образовательные платформы, визуализация математики, Geogebra, Desmos, Mathlab.

USING COMPUTER TECHNOLOGY TO VISUALIZE MATHEMATICAL CONCEPTS

Astafyeva Ekaterina Igorevna¹, Zaitseva Irina Vladimirovna²

*¹The Herzen State Pedagogical University of Russia,
St. Petersburg*

*²Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg,
Russia*

Abstract. This article will consider the need to visualize various mathematical models, and analyze a number of computer technologies, tools, and electronic resources that enable students to visualize mathematical ideas and concepts. The purpose of the article is to identify the importance and need for visualizing mathematical problems and analyze the most useful and convenient electronic resources, their functions and capabilities. This article can be useful for students and teachers who will be able to get acquainted with technologies unknown to them and then independently choose the tools most suitable for their tasks.

Keywords: computer technologies in education, educational platforms, visualization of mathematics, Geogebra, Desmos, Mathlab.

«Проблема визуализации, использования визуального мышления давно стоит перед современной методической наукой. Такие авторы, как Р. Арнхейм, П.Я. Гальперин, Р.М. Грановская, Р. Грегори, У. Джеймс, Б.Б. Коссов, В.А. Крутецкий, А.К. Тихомиров, А.Р. Лурия, М.С. Шехтер, Н.А. Резник и др.» [1] выясняли педагогические и психологические особенности психики человека, которые непосредственно связаны со зрительным восприятием информации учащимися и как учитывать эти факты для эффективной работы с группой обучающихся.

Если регулярно и с чётко установленной целью, применять различные инструменты для визуальной интерпретации математических фактов, то способности ученика к решению задач, более глубокому пониманию процессов станут значительно больше. Не менее важными преимуществами станут развитие у обучающегося когнитивного мышления, а также

повышение мотивации и заинтересованности к изучению такого предмета, как математика.

Как показало исследование, наиболее используемыми и высоко оцениваемыми стали ресурсы, ведущей идеей которых стала идея «динамической геометрии», или интерактивных геометрических систем. «Это среда, позволяющая создавать динамичные чертежи, т. е. компьютерные геометрические чертежи-модели, исходные данные которых можно варьировать с сохранением всего алгоритма построения, просматривать их и работать с ними» [3].

Тем самым визуализацию можно рассматривать, как приём, позволяющий студентам наглядно рассмотреть, как базовые математические задачи, так и задачи повышенного уровня сложности. Стоит отметить, что именно в курсе высшей математики наиболее часто встречаются теоретические факты или задачи, для понимания и решения которых может быть недостаточно словесных формулировок или схематичного изображения на доске или листе бумаги. Ввиду чего понимание многих деталей и аспектов изучаемого предмета нарушается.

В решении данной проблемы и ряда других могут помочь компьютерные технологии, позволяющие в динамике изображать многие математические модели [2]. Но после выбора в пользу динамического изображения математических идей и концепций возникают следующие вопросы: «А какой ресурс может помочь в решении конкретной задачи?», «Какой инструмент наиболее удобен в рассмотрении изучаемого вопроса?» и многие другие. Далее будет приведен список популярных электронных ресурсов, которые могут быть полезны в решении многих математических вопросов.

Популярные программные инструменты для визуализации математических концепций:

1. Geogebra.

Geogebra – это популярный инструмент с большим функционалом и понятным, простым интерфейсом. Источник предлагает для учителей и учеников 4-12 классов бесплатные, интерактивные ресурсы по следующим разделам: алгебра, геометрия, чувство числа, операции, измерения, вероятность и статистика.



Рисунок 1 – Ресурсы в Geogebra

Также в рамках данной программы есть математические калькуляторы и приложения, подходящие для любого уровня математики, в том числе 3D. Приложение отлично подходит для выполнения вычислений, построения графиков, создания простых чертежей, работы с графиками, таблицами, визуализации функций, фигур, геометрических тел.

В рамках данной программы возможно обучение некоторым аспектам алгебры «шаг за шагом», т.е. ресурс помогает школьнику или студенту изучить ряд тем, связанных с преобразованием алгебраических выражений, помогая учащемуся на каждом этапе.

На рис. 2 представлены наиболее используемые преподавателями высшей школы и студентами калькуляторы в рамках изучения предметов высшей математики.

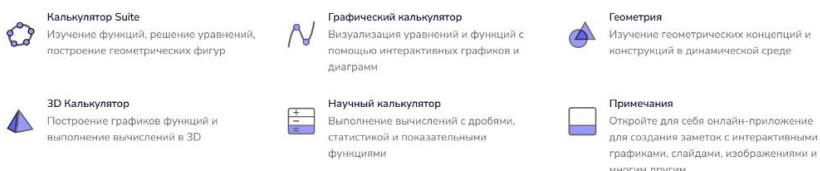


Рисунок 2 – Калькуляторы в Geogebra

Как упомянуто ранее, Geogebra позволяет реализовывать многие математические задумки, проводить различные исследования. Например, исследовать графики функций (рисунок 3, рисунок 4), решать уравнения с параметром, с помощью системы компьютерной алгебры CAS (CAS – Computer Algebra System) проводить символьные вычисления (находить большее из двух заданных чисел, вычислять общий знаменатель, находить частное

двух чисел и пр.), с помощью Geogebra 3D строить объемные фигуры и сечения.

В качестве примера автор предлагает в программе Geogebra выполнить построение эпициклоиды (рисунок 5) по предложенному ниже алгоритму.

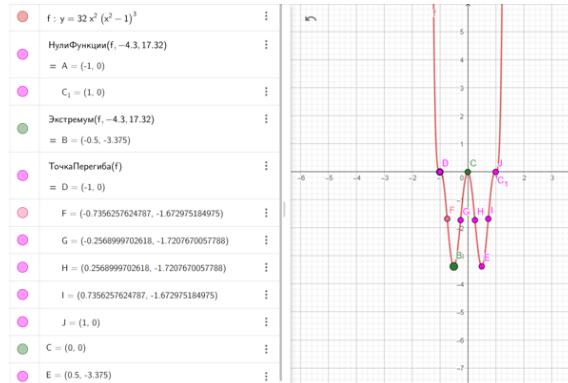


Рисунок 3 – Исследование графика функции

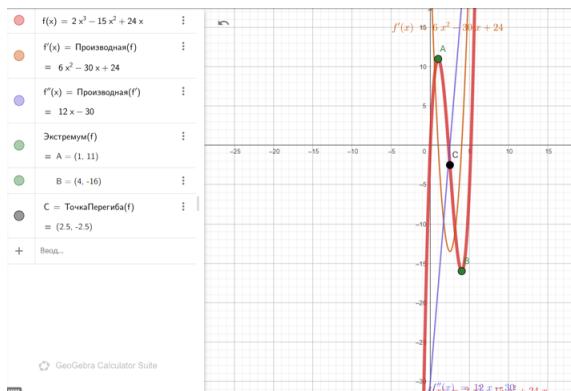


Рисунок 4 – Исследование графика функции

Алгоритм построения эпициклоиды.

1. В строке «Ввод» наберём $n=5$. Нажмем «Enter».
2. В строке «Ввод» наберём $m=3$. Нажмем «Enter».
3. В строке «Ввод» $f(t) = (n + m)/n * \cos((mt)/n) - m/n * \cos((n + m)t/n)$. Нажмем «Enter».

4. В строке «Ввод» наберём $g(t) = (n + m)/n * \sin((mt)/n) - m/n * \sin((n + m)t/n)$. Нажмем «Enter».

5. Скроем графики функций $f(t) = (n + m)/n * \cos((mt)/n) - m/n * \cos((n + m)t/n)$, $g(t) = (n + m)/n * \sin((mt)/n) - m/n * \sin((n + m)t/n)$.

6. В строке «Ввод» наберём Кривая [$f(t)$, $g(t)$, $t, 0, 10\pi$].

7. Нажмем «Enter».

8. Цвет и толщину линии можно изменять. Результат изображен на рисунке. Значения n и m можно менять, получая различные эпициклоиды.

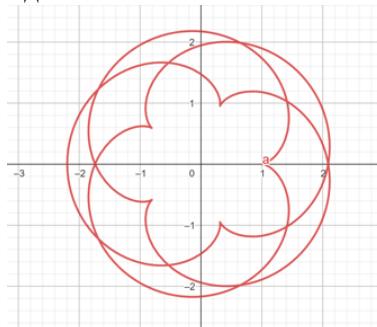


Рисунок 5 – Эпициклоида

Также в калькуляторе Geogebra 3D есть возможность построения объемных фигур и их сечений. На рисунках ниже представлены: пример построения додекаэдра и пример построения тетраэдра и его сечения.

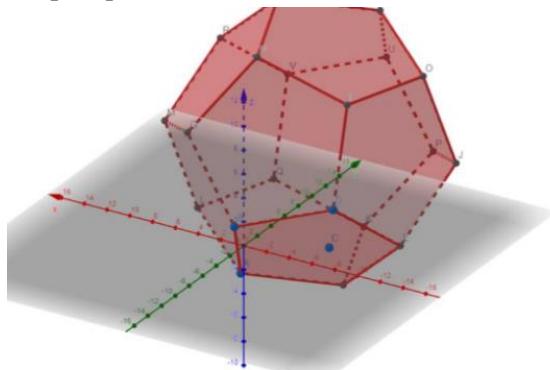


Рисунок 6 –Додекаэдр

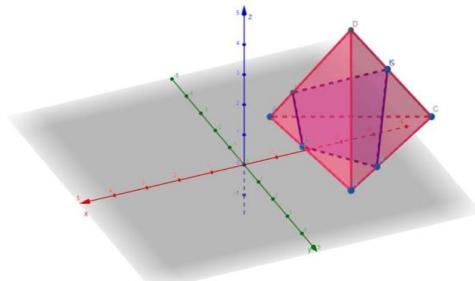


Рисунок 7 – Тетраэдр и его сечение

2. Desmos.

Приложение, функционал которого во многом совпадает с рассмотренным ранее ресурсом Geogebra. В Desmos также присутствуют официальные видеоуроки по работе с программой, сочетания клавиш, полезные в работе, руководство пользователя Desmos, где подробно описан функционал приложения и принципы работы с ним (рисунок 8). Как и в Geogebra в графическом калькуляторе Desmos есть возможность создания интерактивных уроков и занятий.



Рисунок 8 – Руководство пользователя Desmos

3. WolframAlpha.

Как утверждают создатели, «Wolfram|Alpha — это уникальный движок для вычисления ответов и предоставления знаний.» [6].



Рисунок 9 – Пример возможностей WolframAlpha

Наиболее часто используемые в ВУЗах разделы в Wolfram, связанные с математикой – это элементарная математика, алгебра, черчение и графика, исчисление и анализ, геометрия, дифференциальные уравнения, статистика и др.

The screenshot shows the WolframAlpha interface with three main sections:

- Элементарная математика**:
 - Выполните базовые арифметические действия.
 - Выполните простые арифметические действия:

$125 + 375 =$

 - Выполните точные арифметические действия с дробями:

$\frac{1}{4} * (4 - \frac{1}{2}) =$

 - Еще примеры
- Алгебра**:
 - Найдите корни, разлагайте на множители или упрощайте математические выражения – от многочленов до полей и групп.
 - Решите уравнение:

$x^3 - 4x^2 + 6x - 24 = 0$

 - Разложим многочлен на множители:

множитель $2x^5 - 19x^4 + 58x^3 - 67x^2 + 56x - 48$

 - Упростите выражение:

$\frac{1}{(1+\text{кв. корень}(2))} =$

 - Еще примеры
- Исчисление и анализ**:
 - Вычислите интегралы, производные и пределы, а также анализируйте суммы, произведения и ряды.
 - Вычислить интеграл:

интегрировать $\sin x \, dx$ от $x=0$ до π

 - Рассчитаем производную:

производная $x^4 \sin x$

 - Решите обыкновенное дифференциальное уравнение:

$y'' + y = 0$

 - Еще примеры

Рисунок 10 – Некоторые разделы математики в WolframAlpha и пример их функционала.

Программа способна выполнять базовые арифметические действия, вычислять интегралы, производные и пределы, решать дифференциальные уравнения любого порядка и пр. Тем самым данный ресурс даёт возможность решить и изучить наглядно и пошагово математическую задачу любого уровня сложности.

4. MATLAB.

По словам создателей, «MATLAB — это платформа программирования и числовых вычислений, используемая миллионами инженеров и ученых для анализа данных, разработки алгоритмов и создания моделей» [5].

У электронного ресурса MATHLAB большой перечень возможностей: это и программирование, аппаратное обеспечение, графика, интерфейсы внешних языков, анализ данных, создание приложений, параллельные вычисления и пр.

В рамках данной программы есть онлайн-курсы для самостоятельного обучения, курсы под руководством инструктора, студенческие программы, т.е. различные возможности не только для поиска ответа на конкретные вопросы или выполнения задуманных действий, но и ресурсы для саморазвития и обучения.

Возможности

Облачные вычисления	Проектирование на основе моделей
Развертывание контейнеров, веб-приложений и настольных компьютеров	Развертывание модели
Дискретно-событийное моделирование	Параллельные вычисления
Генерация встроенного кода	Параллельное моделирование
Безопасность встроенной системы	Физическое моделирование
Стандарты функциональной безопасности	Моделирование и тестирование в реальном времени
Вычисления на графическом процессоре	Генерация отчетов
Поддержка оборудования	Архитектуры программного обеспечения
	Системная инженерия
	Проверка, валидация и тестирование

Рисунок 11 – Возможности MATHLAB

5. Tinkercad.

Tinkercad – электронный ресурс, позволяющий воплощать множество идей в жизнь. С точки зрения математики, данный ресурс будет полезен в качестве создания трёхмерных математических моделей для дальнейшего изучения их свойств.

Данное приложение – обучающая среда, ведь в нем есть возможность получить базовые знания 3D-проектирования с помощью пошаговых пособий, размещенных на сайте.

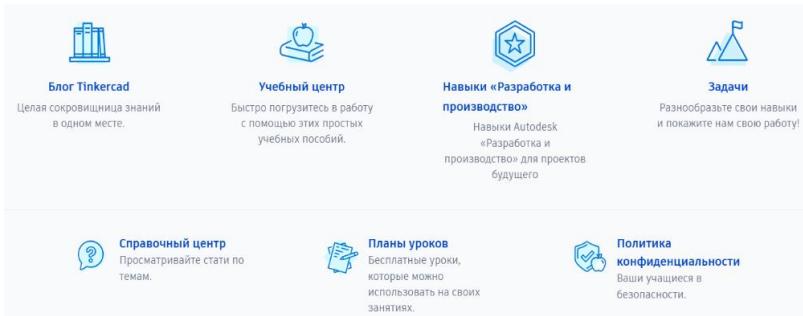


Рисунок 12 – Ресурсы Tinkercad

6. MathDF.

MathDF – это онлайн-программа, предоставляющая несколько калькуляторов для пошагового решения некоторых математических задач, таких как решение обыкновенных дифференциальных уравнений, неопределенных и определенных интегралов, уравнений, вычисление производных функций, пределов функций, комплексных чисел, позволяет производить матричные вычисления, вычисление числовых выражений (рисунок 13).

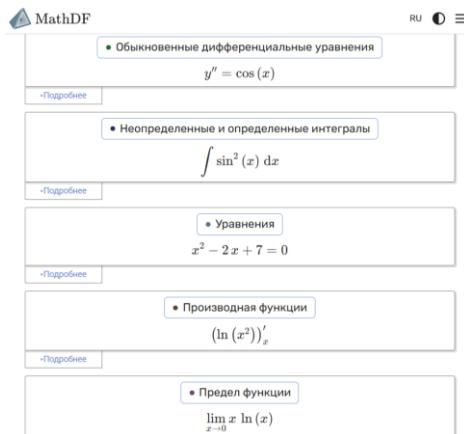


Рисунок 13 – Возможности MathDF

После перехода к конкретному калькулятору пользователя ждет его краткое описание, какие способы для вычисления использует конкретный калькулятор.

Калькулятор Обыкновенных Дифференциальных Уравнений (ОДУ) и Систем (СОДУ)

Калькулятор применяет методы для решения: разделяющихся, однородных, линейных, первого порядка, Бернули, Риккати, с интегрирующим множителем, с группировкой под дифференциал, с понижением порядка, неоднородных, с постоянными коэффициентами, Эйлера и систем – дифференциальных уравнений. Без или с наличием начальных условий (задача Коши)

Рисунок 14 – Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений, которые использует сервис MathDF

Как описано ранее, MathDF обладает большим спектром возможностей. В качестве примера далее будет продемонстрировано осуществление решения дифференциального уравнения $y' + \frac{y}{x+1} + y^2 = 0$ с помощью онлайн-сервиса MathDF. Для этого достаточно в поле для ввода ввести интересующее дифференциальное уравнение и нажать знак равно справа от поля. Сервис предоставляет возможность не только ручного ввода данных для решения, но и решение по фото, которое можно выгрузить в специальное окошко с используемого устройства. Ниже прикреплена ссылка на решение, сканирование которой переведет на сайт MathDF, где будет показано полное решение приведенного выше дифференциального уравнения.

[Ссылка на это решение](#) 



Рисунок 15 – Ссылка на полное решение дифференциального уравнения

С полным решением можно ознакомиться, перейдя по ссылке на сайт MathDF или самостоятельно зайти на сайт и в поле

для ввода ввести описанное дифференциальное уравнение. На рисунках 16 и 17 представлены фрагменты из решения.

Переносим слагаемые на другую сторону

$$y' + \frac{y}{x+1} = -y^2$$

Дифференциальное уравнение Бернулли

$$y' + a(x)y = b(x)y^n, \quad n \neq 0, n \neq 1$$

где

$$a = \frac{1}{x+1}, \quad b = -1 \quad \text{и} \quad n = 2$$

Делим обе части уравнения на

$$y^2$$

Рисунок 16 – Начало решения дифференциального уравнения

Обратная замена

$$v = \frac{u}{t} \quad | \quad t = x + 1 \quad [2]^\uparrow$$

$$u = (x+1) (\ln(x+1) + C)$$

Обратная замена

$$u = \frac{1}{y} \quad [1]^\uparrow$$

$$\frac{1}{y} = (x+1) \ln(x+1) + C(x+1)$$

Решение дифференциального уравнения

$$y = \frac{1}{(x+1) \ln(x+1) + C(x+1)}$$

Рисунок 17 – Конец решения дифференциального уравнения

Данный сервис очень понятен и прост в использовании. В нем большое количество возможностей, которые подойдут для

решения задач как высшей математики, так и школьной. Каждое решение содержит подробное, пошаговое описание, которое позволяет любому пользователю разобраться в решении.

Применение описанных ранее компьютерных технологий наиболее возможным является в высших учебных заведениях. В школах использование многих из них либо невозможно ввиду сложности или неактуальности материала для школьников, либо может принести больше недостатков, чем преимуществ.

Преимуществами применения электронных ресурсов можно считать их:

1. наглядность;
2. динамичность;
3. интерактивность;
4. доступность;
5. информативность и пр.

Помимо преимуществ у компьютерных технологий есть ряд недостатков, примерами некоторых из них являются:

1. не все преподаватели и студенты оснащены технологиями для использования данных ресурсов;
2. недостаток знаний некоторых субъектов процесса обучения для эффективного применения технологий;
3. в рамках ВУЗов не все аудитории оснащены компьютерами, проекторами и прочим для воспроизведения работы программ и т.д.

В системе активно развивающегося мира, где многие из действий невозможны без применения современных технологий, необходимо внедрять в процесс обучения полезные сайты и приложения. При грамотно продуманных целях, качественном выборе ресурса, отборе предоставляемого материала можно сделать процесс обучения более эффективным, знания обучающихся более глубокими.

Современные компьютерные технологии – это огромное поле для реализации многих идей, изучения математических моделей, их свойств, зависимостей. В современном образовательном процессе технологии, позволяющие визуализировать многие объекты, концепции играют огромную роль в понимании обучающимися многих математических фактов, наглядном представлении абстрактных идей.

Подводя итог, можно сказать, что «математические средства визуализация выступают своего рода проводником между содержанием учебного материала и результатом обучения, ...». [4] Таким образом, рассмотренные в статье инструменты и многие другие, делают возможным процесс познания и изучения нового более понятным для учащихся, избавляют от переизбытка второстепенной информации. Ввиду чего организовано более качественное, продуктивное усвоение новых знаний и понимание и закрепление уже имеющихся.

Список использованной литературы

1. Акимова, И. В. Предварительный просмотр как средство эффективного формирования математических знаний у студентов технических вузов / И. В. Акимова, Е. И. Титова // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 164-168.
2. Возжениников, А. П. Технология визуализации математических объектов и понятий / А. П. Возжениников, В. О. Голубев // Прикладная информатика. – 2008. – № 4(16). – С. 22-26. – EDN JVIGMD.
3. Садыкова, Е. Р. Использование средств визуализации в процессе обучения геометрии / Е. Р. Садыкова, О. В. Разумова // Наука. Информатизация. Технологии. Образование: Материалы XIV международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 01–05 марта 2021 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2021. – С. 378-386. – EDN XEPKWD.
4. Сербина, Л. И. Визуализация и ее роль в обучении математике как одно из актуальных направлений в современном образовании / Л. И. Сербина, Л. А. Крюк // Национальная Ассоциация Ученых. – 2020. – № 54-3(54). – С. 41-43. – DOI 10.31618/nas.2413-5291.2020.3.54.207. – EDN CGPBMC.
5. MATLAB платформа для программирования / разработчики The MathWorks, С. В. Moler. – Natick, 1994-2025. – Загл. с экрана.
– Электронная программа: электронная. – URL:

- <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата обращения: 01.03.2025).
6. WolframAlpha: [сайт]. – Champaign: Wolfram Research, 2025. –URL: <https://www.wolframalpha.com/> (дата обращения: 01.03.2025). – Текст: электронный.
 7. Ворохобина Я.В., Зайцева И.В., Попова М.В. Использование интерактивных технологий при изучении математических дисциплин // Информатика и образование. 2012. № 10 (239). С. 28-29.
 8. Зайцева И.В., Попова М.В. Современные возможности интерактивных технологий обучения. В сборнике «Теоретические и прикладные проблемы современной педагогики». - Ставрополь, СтГАУ, 2012. С. 50-55.
 9. Зайцева И.В., Шебукова А.С. Линейная алгебра для экономистов. – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2022. - 212 с.

УДК 378.147:51(09)

**МАТЕМАТИКА И ЕЁ ИСТОРИЯ В ОБРАЗОВАНИИ
СТУДЕНТОВ**

*Беликова Галина Иосифовна,
Бровкина Екатерина Анатольевна,
Зайцева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Статья посвящена фундаментальной связи математики с другими системами знаний, которые используются в процессе воспитания и образования студентов. Представлены яркие примеры успешного применения результатов математического творчества семи выдающихся российских математиков.

Ключевые слова: математика, философия, картография, механика, экономика, теория устойчивости, кораблестроение, ракетостроение, космос, военные науки, линейное программирование, спутник.

THE IMPORTANCE OF MATHEMATICS AND ITS HISTORY IN STUDENT EDUCATION

*Belikova Galina Iosifovna, Brovkina Ekaterina Anatolyevna,
Zaitseva Irina Vladimirovna*
*Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia*

Abstract. The article is devoted to the fundamental connection of mathematics with other knowledge systems, that are used in the process of upbringing and education of students. Bright examples of successful application of the results of mathematical creativity of seven outstanding Russian mathematicians are presented.

Keywords: mathematics, cartography, mechanics, economy, theory of stability, shipbuilding, space rocket, military sciences, linear programming, satellite.

Введение

*Математику уже за то
любить стоит,
что она ум в порядок
приводит.*

М. Ломоносов

Математика, непрерывно развиваясь на протяжении нескольких тысячелетий, стала универсальной фундаментальной наукой. Архимед уверял, что структура мироздания основана на математике, а великий итальянец Галилей говорил, что ключ к расшифровке языка Вселенной – это математические соотношения. Ньютон был убеждён, что мир сотворён в "соответствии с математическими принципами".

Даже далёкие от математики исторические личности нередко понимали значимость математики. Считали, что математика нужна для приобретения привычки логически рассуждать и чётко излагать свои мысли. Великий греческий математик и философ Платон и другие известные философы были уверены, что математика является основой образования.

Немецкий философ И. Кант написал, что математика – блестящий пример того, как можно успешно продвинуться в априорном знании без использования опыта.

Первый президент Америки – Джордж Вашингтон считал, что будущих политиков хорошо бы учить математике и философии. Бенджамин Франклайн – знаменитый американский политический деятель, изобретатель, писатель и журналист (XVIII в.) обращался с риторическим вопросом: "Какая наука более полезна для человечества, чем математика"?

Император Наполеон I Бонапарт – знал и любил математику. Он писал, что процветание математики тесно связано с благосостоянием государства.

В XX в. математика превратилась в мощный инструмент для всех научных исследований. В.И. Арнольд (1937–2010) – известный российский математик, академик справедливо отмечал, что роль математики в современном обществе если и изменилась, то в сторону увеличения её значимости.

Математика и её история играют чрезвычайной важную роль в процессе воспитания и обучения студентов. Справедливость такого утверждения подтверждается жизнью и творчеством многих знаменитых математиков.

В этой статье представлена великолепная семёрка всемирно известных российских математиков, которые не только обогатили эту удивительную науку, но и благодаря самой математике раскрыли новые возможности человечества в разнообразных областях его деятельности.

Великолепная семёрка

*Гордиться
словою своих предков
не только можно,
но и должно.*

А.С. Пушкин

Леонард Эйлер (1707 – 1783)

Леонард Эйлер – швейцарско-российский математик, крупнейший учёный XVIII столетия. Он прославил Петербургскую академию наук и фактически стоял у истоков

Петербургской математической школы. Эйлер-математик обладал удивительным даром обобщения. Биографы Эйлера, говоря о его математических сочинениях, используют слово *красота*. Многие, из введённых им понятий и обозначений, без изменения перешли в современную математику. Эйлер внёс огромный вклад не только в математику. Его труды обогатили механику, астрономию, оптику, физику, географию, кораблестроение, теорию гидротурбин и др. Восемнадцатый век в науке называют веком Эйлера.

В те времена необходимо было создать наиболее точные географические карты всей территории России. Для этого образовали группу из геодезистов, чертёжников и математиков. Эйлер руководил математической и картографической работами, сам занимался черчением карт. В 1745 году появился «Атлас России». Эйлер писал: "Я уверен, что география российская через наши труды приведена в гораздо исправнейшее состояние, чем география немецкой земли".

Эйлер с большим интересом занимался вопросами кораблестроения и навигации.

В Петербурге (1749) издали на латинском языке его двухтомную работу «Морская наука, или трактат о кораблестроении и кораблевождении». Книга заинтересовала все морские государства Европы. Её переиздали в Париже, потом перевели на английский и итальянский языки. На русский язык труды своего учителя перевёл адъюнкт М. Головин – племянник Ломоносова [1].

Пафнутий Чебышев (1821 – 1894)

Пафнутий Львович Чебышев – великий математик, изобретатель, механик, военный инженер и педагог. Его называют русским Архимедом и считают ярким представителем математической науки XIX в. Фундаментальные достижения учёного получены в теории вероятностей, теории наилучшего приближения функций, теории чисел, теории механизмов, в прикладной механике и геометрии.

В 1852 г. Чебышев отправился в командировку по странам Европы, где познакомился с передовым машиностроением Франции; изучил конструкцию парового двигателя, который двигал поршень. Узнал, что конструкторы столкнулись со

следующей проблемой. Какой должен быть двигатель, чтобы движение поршня минимально отличалось от прямолинейного движения?

Изучение поведения шарнирных механизмов привело Чебышева к созданию знаменитых полиномов, имеющих следующий вид $T_n(x) = \cos(n \arccos x)$, $n = 1, 2, 3, \dots$.

В математическом мире их стали обозначать по первой букве французского написания фамилии Чебышев – Tschebycheff

Теория конструирования механизмов стала основой для появления раздела математики – "Теория наилучшего приближения функций". Важной частью этой теории являются полиномы Чебышева. Благодаря им движение поршней стало прямолинейным.

Прикладная механика. Сорок лет Чебышев принимал активное участие в работе артиллерийского ведомства. Занимался разработкой наиболее выгодной формы продолжавших снарядов для гладкоствольных орудий и быстро понял, что в артиллерию надо переходить к нарезным стволам. Он улучшил такие важные характеристики орудий как точность и дальность.

Прикладная математика. Чебышев был уверен, что многие проблемы практики сводятся к задачам о нахождении наибольших и наименьших величин. Например, в работе «О построении географических карт» Чебышев представил метод построения такой проекции, при которой искажение масштаба становится наименьшим. Для европейской части России он довёл решение до численного подсчета и доказал, что при его способе черчения карты искажение на географических картах будет уменьшено вдвое. В работе «О кройке одежды» Чебышев представил свой метод и показал парижским портным, как наиболее разумно и экономно раскроить ткани. Найденный Чебышевым метод применяется в наше время при раскройке парашютов [2].

Александр Ляпунов (1845 – 1918)

Александр Михайлович Ляпунов – великая фигура в математике и механике. Он занимался чрезвычайно важными и очень сложными задачами, для решения которых создавал новые методы исследования. Его научное наследие стало источником

новых направлений в математике. В наше время Ляпунова называют Лапласом XX века.

До Ляпунова не было общей теории устойчивости движения. Создать такую теорию пытались английские и французские учёные. Именно Ляпунов стал создателем теории устойчивости, которая принесла ему мировую славу.

Общую теорию устойчивости движения Ляпунова используют в космонавтике, авиации, кораблестроении и в теории механизмов [3].

Алексей Крылов (1863 – 1945)

Алексей Николаевич Крылов – знаменитый российский учёный – математик, кораблестроитель и механик успешно совмещал эти направления.

В 1896 г. Крылов представил полную, для того времени, теорию сложных видов качки, где учитывалось соизмеримость корпуса корабля с длиной волны, взаимодействие килевой и бортовой качки, а также влияние хода корабля. Этот научный труд вышел под названием «Теория качки корабля», его перевели на все европейские языки. Работа получила мировое признание. Сама теория позже стала называться «Теорией Крылова». Английское общество кораблестроителей наградило автора золотой медалью. Российский учёный был первым из иностранцев, который получил столь высокую награду.

Крылов создал первую теорию килевой качки. До него построение такой теории считалось невозможным из-за больших математических трудностей. В Английском обществе корабельных инженеров доклад Крылова о его теории одобрили крупнейшие авторитеты судостроения и избрали его почётным членом этого Английского общества. При вручении диплома посол Великобритании в России сказал: "Крылов, как и многие его соотечественники во главе с самим Петром и Ломоносовым, является живым примером многосторонности гения".

Работы Крылова по теории колебаний корабля до сих пор служат основой для решения важнейших вопросов о прочности и мореходности судна [4].

Отто Шмидт (1891 – 1956)

Это имя часто встречается на географических картах мира: остров Шмидта, мыс Шмидта, равнина Шмидта в Антарктиде.

Есть кратер Шмидта на Луне. Первый научно-исследовательский ледокол в России (1979) был назван «Отто Шмидт». В мире Шмидт хорошо известен как выдающийся российский полярный исследователь. Он несколько раз руководил экспедициями по освоению северного морского пути на кораблях «Георгий Седов», «Александр Сибиряков» и «Челюскин». Руководил воздушной экспедицией на полюс, открытием и работой дрейфующих станций. Но основной профессией Шмидта была математика, с которой он никогда не расставался. Систематические математические расчёты руководителя спасали полярников даже в чрезвычайно тяжелых ситуациях.

Жизнь Отто Юльевича Шмидта складывалась так, что он четверть века возглавлял различные учреждения страны. Был членом президиума Госплана, начальником Главсевморпути. Постепенно стал крупным государственным и общественным деятелем.

В 1921 г. Шмидт возглавил, организованный им же, Госиздат (книгоиздание). Занимался реформой средней и высшей школы. Был одним из основателей и главным редактором Большой советской энциклопедии и двух журналов: «Известия АН СССР, серия геофизическая» и «Природа». Он руководил несколькими научными институтами. В течении ряда лет был первым вице-президентом АН СССР. В 1938 г. по проекту Шмидта создали Институт теоретической геофизики.

Для Шмидта был характерен принцип научного осмыслиения различных проблем и их решение с помощью математики.

В 1924 г Шмидт работал в составе Особой комиссии по Курской магнитной аномалии и понял, что результаты измерений силы тяжести в районе аномалии были интерпретированы неверно, поэтому предполагаемое место залегания породы не соответствовало фактическому. С помощью математики Шмидт нашёл новый метод, при котором предположение совпадало с реальностью. С тех пор этот метод Шмидта используют для магнитных и гравитационных наблюдений.

В 1933 г. во время плавания на «Челюскине» Шмидт в дневнике записал: "Часто наблюдал в Арктике, что горизонта нет или он скрыт торосами, Солнце слегка видно сквозь туман.

Моряки не могут определиться без его высоты. Однако определиться можно только по азимуту и без высоты". Далее шли несколько страниц с выводом формул для вычисления координат судна.

Один шведский полярник писал, что результаты воздушной экспедиции на полюс и работа дрейфующих станций по своему значению можно сравнить только с открытием Америки Колумбом или с первым кругосветным плаванием Магеллана [5].

Леонид Канторович (1912-1986)

Научный руководитель студента Канторовича математик Г. Фихтенгольц говорил о нём: "Запомните этого юношу, через много лет его имя будет во всех энциклопедиях мира". Что пророчил известный профессор, то и случилось. Леонид Витальевич Канторович входит в число наиболее ярких учёных XX века. Он всесторонне использовал математику для решения многих сложных экономических проблем

В блокадном Ленинграде в тяжёлом 1942 г. Леонид Канторович приступил к работе «Экономический расчёт наилучшего использования ресурсов». Через 30 лет благодаря этой работе учёный стал единственным математиком в мире, который получил Нобелевскую премию. С помощью методов Канторовича решались задачи о выборе оптимальных вариантов разных технологических процессов, промышленных перевозок, размещения посевов, обновления оборудования и т.д. Труд учёного увидел свет в 1960 г., был переведён на европейские языки. Созданное им линейное программирование вошло в программы всех университетов мира. Всё, что создал Канторович в области экономики, стало не только огромным научным достижением, но и его гражданским подвигом [6].

Во время Великой Отечественной войны вплоть до июня 1948 г. Канторович выполнял расчёты по оптимальной расстановке мин и раскрою металла. Под его руководством группа петербургских математиков провела важнейшие исследования, связанные с существованием и безопасностью дороги Жизни на Ладожском озере. Были получены формулы, с помощью которых вычисляли несущую способность ледяного покрова в случаях: стояния грузов, движения машин со средней

или малой скоростью. Вычислено оптимальное расстояние между машинами, при котором они не провалятся под лёд. Группа полностью решила проблему безаварийного движения транспорта по покрытой льдом Ладоге.

Мстислав Келдыш (1911 – 1978)

Эпоху Келдыша называют "золотым веком" Российской науки. Келдыш – великий человек и не менее великий учёный-математик. Вся его жизнь посвящена развитию и процветанию науки в России. Математика была страстью Мстислава Всеволодовича Келдыша. Он стал доктором физико-математических наук в 27 лет и в 35 – академиком. Успех прикладных работ Келдыша достигался благодаря его умению найти для поставленной инженерной задачи адекватную математическую модель и с её помощью решить эту задачу. В совершенстве владея знаниями из разных областей математики, он удивительно быстро строил такие модели.

В 1953 г. Келдыш основал и возглавил институт прикладной математики АН. Коллектив замечательного руководителя в короткий срок достиг выдающихся результатов в области вычислительной математики и удивил многих ведущих иностранных специалистов. В области ракетной техники и космонавтики Келдыш был лидером и вошёл в знаменитую "Тройку К" – Курчатов, Королёв, Келдыш. С этой областью науки и техники связаны наиболее эмоциональные события в его жизни: запуск первых спутников и первый человек в космосе. До конца жизни научная деятельность Келдыша была посвящена ракетной технике, атомной энергетике и освоению космоса [7].

Заключение

Известный российский математик второй половины XX века Борис Владимирович Гнеденко, работавший в области теории вероятностей, уделял большое внимание методике математического образования студентов разных специальностей. Он поделился своим огромным опытом в работе [8]. Отметим здесь несколько важных для этой статьи размышлений этого математика и педагога. Он считал, что знание истории математики важно не только для развития интереса к математике, но и для воспитания научного мировоззрения.

Гнеденко отмечал, что абстрактный характер современной математики является одной из наиболее сильных её сторон, поэтому результаты, достигнутые в математике, успешно используют в большом числе далёких по содержанию и не связанных между собой задач.

Более тридцати лет знаменитый математик, академик Виктор Антонович Садовничий является ректором МГУ – ведущего университета страны. Он уделяет большое внимание роли математических знаний в развитии образования, науки и культуры. В.А. Садовничий, как математик и педагог, прекрасно понимает и отмечает в своих выступлениях, что хорошее математическое образование ценно ещё и тем, что оно воспитывает личность. Развивает у студента интеллектуальную честность и стремление к эстетическому совершенству [9].

В одном из своих докладов, обращаясь к аудитории университетских преподавателей, В.А. Садовничий напомнил им гениальные строки поэта Некрасова из стихотворения "Сеятели" (1877):

Сейте разумное, добро, вечное,
Сейте! Спасибо вам скажет сердечное
Русский народ...

Список использованной литературы

1. Полякова Т.С. Леонард Эйлер и математическое образование в России. –М.: КомКнига, 2007. – 184 с.
2. Данилов Ю.А. Многочлены Чебышева. Изд.2-е, стереотипное.: – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 160 с.
3. Гнеденко Б.В. Очерки по истории математики в России / Предисл. и comment. С.С. Демидова. Изд. 3-е, испр. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 296 с. // 133 – 142 с.
4. Крылов А.Н. Мои воспоминания. Изд. Политехника. 9-е изд. перераб. и доп. СПб, 2003. – 510 с.
5. Дуэль И.И. Каждой гранью! – М.: Знание, 1981. –192 с., ил. – Творцы науки и техники.
6. Залгаллер В.А. Война и мир ленинградского математика. Сборник статей. – Санкт-Петербург: Издательство «Аврора», 2021. – 344 с. //160-172 с.

7. Live lib <https://www.livelib.ru>.> Мстислав Келдыш – биография.
8. Гнеденко Б.В., Гнеденко Д.Б. Об Обучении математике в университетах и педвузах на рубеже двух тысячелетий. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: КомКнига, 2006. – 160 с.
9. Садовничий В.А. Размышления математика и ректора. Избранные выступления /В.А. Садовничий. – Москва: Издательство Московского университета, 2021. – 392 с.
10. Зайцева И.В., Попова М.В. Современные возможности интерактивных технологий обучения. В сборнике «Теоретические и прикладные проблемы современной педагогики». - Ставрополь, СтГАУ, 2012. С. 50-55.

УДК 519.852

О МЕТОДИЧЕСКОМ ЕДИНСТВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ В ГРАФИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*Гроховский Игорь Владимирович¹,
Завгородний Владимир Николаевич²*

¹*Северо-западный институт управления РАНХиГС,
2ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический
университет», Санкт-Петербург, Россия
zavgor@list.ru*

Аннотация. Представляется, методически оправданным при геометрических построениях в графическом методе задачи линейного программирования, использовать наглядные понятия ведущего и нормального векторов из аналитической геометрии вместо понятия градиента из векторного анализа. Такой способ построения графика целевой функции вместе со способами построения области допустимых решений делает их унифицированными на базе понятий аналитической геометрии.

Ключевые слова: линейное программирование, графический метод, нормаль и градиент.

ON THE METHODOLOGICAL UNITY OF GEOMETRIC CONSTRUCTIONS IN THE GRAPHICAL METHOD OF LINEAR PROGRAMMING PROBLEM

*Grokhovsky Igor Vladimirovich,
Zavgorodny Vladimir Nikolaevich*

North-Western Institute of Management of the RANEPA

Russian State Hydrometeorological University

zavgor@list.ru

Abstract. It seems methodically justified to use the visual concepts of leading and normal vectors from analytical geometry instead of the concept of gradient from vector analysis for geometric constructions in the graphical method of linear programming problems. This method of plotting the objective function, together with the methods of constructing restrictions makes them unified based on the concepts of analytical geometry.

Keywords: linear programming, graphical method, normal and gradient.

Графический метод решения задачи линейного программирования играет существенную роль для наглядного представления методов оптимизации и является вспомогательным подходом для многих из них. При изучении линейного программирования принято рассматривать графический метод решения задачи нахождения наибольшего или наименьшего значения целевой функции (линейной формы) $f(x)$ с n неизвестными x_1, x_n и m линейно независимыми ограничениями-неравенствами:

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq b_i, i = 1, \dots, m \quad (1.2)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, \dots, n, \quad (1.3)$$

для случая, когда разность числа переменных и числа ограничений $n-m=2$, т.е. для трехмерного пространства, сводя его к геометрическим построениям на плоскости. Для

определенности будем рассматривать задачу максимизации целевой функции, поскольку $|f(x^*)_{\max} - |f(-x_0)_{\min}||^*_0|$.

Как известно из теории линейного программирования [1, 2], графический метод заключается в построении на плоскость x_1Ox_2 области допустимых решений (ОДР) X и проекции на эту плоскость графика линейной целевой функции (ЦФ) $f(x)$ с последующим нахождением её положения, при котором область допустимых решений находится по одну сторону от неё (рис. 1).

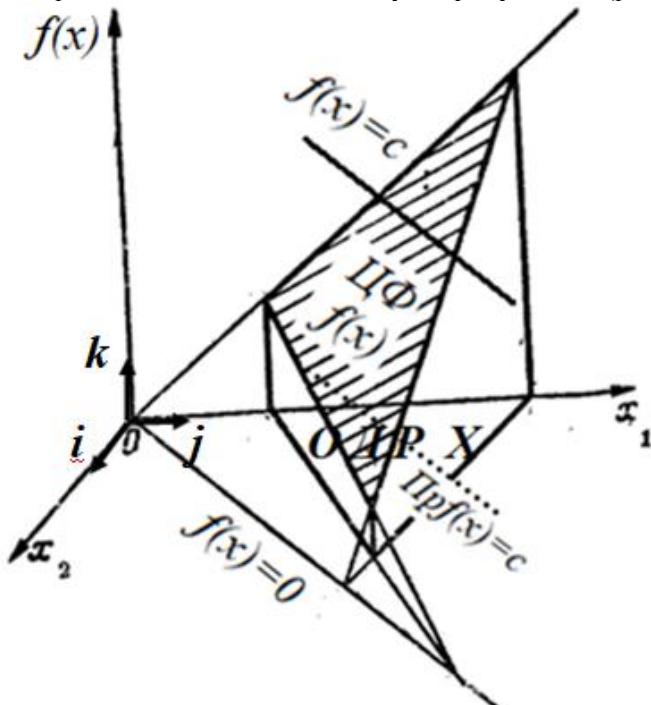


Рисунок 1 –
Геометрическая интерпретация задачи линейного
программирования

В разной учебной литературе для нахождения оптимального плана графическим методом используется понятие градиента из векторного анализа: вычисление градиента, перпендикулярно которому строится основная прямая,

перемещаемая в направлении градиента или антиградиента в зависимости от направления оптимизации. Реже выполняется непосредственное построение графика прямой, соответствующей линейной форме целевой функции.

Представляется, методически оправданным при геометрических построениях в графическом методе задачи линейного программирования, использовать наглядные понятия ведущего и нормального векторов из курса аналитической геометрии [3]. Такой способ построения графика целевой функции вместе со способами построения области допустимых решений делает их унифицированными на базе понятий аналитической геометрии.

Геометрические построения в графическом методе

Введем на плоскости прямоугольную декартову систему координат x_1Ox_2 (рис.1). Известно, что областью решений совместной системы линейных неравенств является выпуклый многогранник, в силу чего геометрические места точек на плоскости, координаты которых удовлетворяют системе линейных неравенств с двумя свободными переменными, образуют выпуклый многоугольник. Этот многоугольник является многоугольником решений системы неравенств (1.2). Стороны этого многоугольника располагаются на прямых, уравнения которых получаются, если в неравенствах системы (1.2) знаки неравенств заменить на равенства. А сам этот многоугольник есть пересечение полуплоскостей, на которые каждая из указанных прямых делит плоскость.

В трёхмерной системе координат $Ox_1x_2f(x)$ из осей Ox_1 и Ox_2 пространства решений и оси $Of(x)$ целевой функции, значениям целевой функции (1.1) геометрически соответствуют точки плоскости $\text{ЦФ}f(x) = c_1x_1 + c_2x_2$. Уравнение $f(x)=C$ для каждого фиксированного значения $C=c$ целевой функции $f(x)$ в трёхмерном пространстве определяет линию уровня $x_1+x_2=c$ на этой плоскости (рис. 1). Она является геометрическим местом точек, в которых $f(x)$ принимает данное значение $f(x)=c$. При переходе от одной прямой к другой значение формы $f(x)$ изменяется. Линия уровня $f(x)=C$ является образующей плоскости ЦФ $f(x)$. Изменяя значение C в направлении оптимизации, получаем различные прямые, однако все они

параллельны между собой, т. е. образуют семейство параллельных прямых. Каждая линия уровня целевой функции $f(x)=c$ имеет своей проекцией $Prf(x)=c$ на плоскость x_1Ox_2 прямую $x_1+x_2=c$, пересекающую область допустимых значений ОДР (рис. 1). Положение опорной прямой, когда область допустимых решений находится по одну сторону от неё, соответствует линии оптимального значения уровня $x_1+x_2+C=0$ целевой функции на плоскости ЦФ $f(x)$.

Таким образом, задача линейного программирования сводится к нахождению вершины многоугольной области допустимых решений ОДР, в которой целевая функция

$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ принимает максимальное значение. Для этого, как известно из свойств задачи линейного программирования, необходимо, чтобы множество допустимых решений не было пустым, а целевая функция была на нем ограничена сверху.

Для определения направления перемещения линии уровня на плоскости Ox_1x_2 нередко используют нахождение градиента. Между тем, по своему смыслу градиент определён для функций [4], а не для прямых или кривых линий. Это векторная функция скалярного поля целевой функции как геометрического места точек плоскости ЦФ $f(x)$ в ортонормированном базисе (i, j, k) трехмерного пространства $Ox_1x_2f(x)$. Поскольку координаты вектора градиента равны частным производным целевой функции по соответствующим аргументам в точке (x_1, x_2) :

$$\text{grad } f(x_1, x_2) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right) = (c_1, c_2), \quad (2.1)$$

то градиент – это дифференциал функции:

$$\text{grad } f(x_1, x_2) = c_1 \vec{i} + c_2 \vec{j}. \quad (2.2)$$

Градиент (c_1, c_2) функции показывает направление наибольшего возрастания целевой функции $f(x)$ в плоскости ЦФ $f(x)$, а его модуль $\sqrt{c_1^2 + c_2^2}$ совпадает с максимальной скоростью роста функции $f(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2$ в трёхмерном пространстве $Ox_1x_2f(x)$ (рис. 1).

С другой стороны, нормаль относится к кривой [3]. Это вектор \mathbf{n} , ортогональный касательному вектору к кривой, а в случае графика линейной целевой функции – к направляющему вектору \mathbf{p} прямой. Таким образом, градиент связан с функциями, а нормаль – с кривыми и, в частном случае, с прямыми линиями.

Поскольку график целевой функции $c_1x_1 + c_2x_2 = C$ принадлежит плоскости $f(x) = C$, то координаты направляющего вектора \mathbf{p} линии уровня $f(x) = C$ не зависят от C :

$$\vec{p} = (-c_2, c_1). \quad (3.1)$$

Этого достаточно для построения проекции $Prf(x)$ графика целевой функции на плоскости решений x_1Ox_2 . Для опорной прямой $C=0$, направляющий вектор задаёт прямую, проходящую через начало координат О.

Из курса аналитической геометрии, например [3], известно, что коэффициенты при переменных в уравнении прямой задают проекции вектора нормали $\vec{n} = (c_1, c_2)$, перпендикулярного к прямой. Проекция вектора нормали линий уровня $c_1x_1 + c_2x_2 = C$ целевой функции, принадлежащего плоскости $f(x) = C$, равна самой нормали и будет нормалью для проекций $Prf(x)$ линий уровня на двумерную плоскость решений Ox_1x_2 .

$$\vec{n} = (c_1, c_2). \quad (3.2)$$

Вектор нормали указывает направление, двигаясь в котором мы переходим от меньших значений целевой функции к большим. Если оптимальное решение задачи существует и единствено, то оно достигается в некоторой вершине многоугольника решений. Если же оптимальное решение не единственное, то таких решений бесчисленное множество, и они достигаются во всех точках некоторой стороны (и, в частности, в ограничивающих эту сторону вершинах) многоугольника. Таким образом, всегда найдется вершина многоугольника решений, в которой достигается оптимальное решение (если оно, конечно, существует).

Геометрические построения в пространстве трех переменных

В рассмотренном случае число переменных, входящих в систему ограничений-неравенств, равнялось двум. Это обстоятельство делает возможным показать область решений в виде многоугольника на плоскости.

Такое же наглядное геометрическое истолкование задачи линейного программирования имеет место для трех переменных, если условия имеют вид неравенств, так и в случае, когда число переменных превышает на 3 число условий ($n - m = 3$), а задача записана в стандартной форме (1.1) – (1.3).

Введем в пространстве прямоугольную систему координат $Ox_1x_2x_3$. Геометрическое место точек, координаты которых удовлетворяют системе линейных неравенств (1.2), образует выпуклый многогранник решений данной системы. Границы этого многогранника расположены на плоскостях, уравнения которых получаются, если в неравенствах системы знак неравенства заменить точным равенством. Сам многогранник решений является пересечением полупространств, на которые делит пространство каждая из указанных плоскостей. Форма $f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3$, является линейной функцией координат (x_1, x_2, x_3) точек пространства. Координаты всех точек, в которых форма (1.1) принимает одно и то же фиксированное значение $C=c$, удовлетворяют уравнению:

$$c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 = c. \quad (4.1)$$

Это уравнение определяет в пространстве поверхность уровня (плоскость равных значений) целевой функции $f(x)$. Придавая C различные значения, получим семейство параллельных между собой плоскостей (4). Перемещение по любой плоскости семейства (4) от одной ее точки к другой не вызывает изменений формы. В то же время переход от одной плоскости (4) к другой сопровождается изменением значений целевой функции $f(x)$.

Вектор нормали:

$$\vec{n} = (c_1, c_2, c_3). \quad (4.2)$$

указывает направление, двигаясь в котором мы переходим от меньших значений формы к большим значениям. Коэффициенты при переменных в уравнении плоскости соответствуют проекциям вектора нормали \mathbf{n} ,

перпендикулярного к плоскости. В пространстве $Ox_1x_2x_3$, как и на плоскости x_1Ox_2 , оптимальное решение достигается в некоторой вершине многогранника решений.

По аналогии с плоским случаем и трехмерным пространством можно представить, что оптимальное значение формы (если оно существует) достигается в некоторой вершине многогранника решений.

Список использованной литературы

1. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г. Линейное программирование. – М., 1969.
2. Графический метод решения задачи линейного программирования [Электронный ресурс] // Wikipedia: свободная энциклопедия. URL: ru.wikipedia.org (дата обращения: 20.03.2025).
3. Погорелов А. В. Аналитическая геометрия. – 3-е изд. – М.: Наука, 1968.
4. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления, том III. – М.: Наука, 1966.

УДК 519.87:331.108

ИННОВАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

*Зайцева Ирина Владимировна¹,
Исманалиев Курманбек Искандарович²,
Токошева Жазгул Аскербековна²*

*¹ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, i.zaitseva@rshu.ru*

*²Институт Экономики, бизнеса и менеджмента ОшГУ, г. Ош,
Кыргызстан, jtokosheva@mail.ru*

Научный руководитель – доктор экономических наук,
профессор, **Кулуева Чинара Раимкуловна**

Аннотация. В статье представлена инновационная математическая модель нелинейного программирования для оптимизации распределения трудовых ресурсов на различных уровнях: муниципальном, региональном, отраслевом, государственном и международном. Модель направлена на минимизацию «функции полезности», что позволяет достичь более эффективного использования ресурсов. Для решения задачи разработано специализированное программное обеспечение с современным графическим интерфейсом, обеспечивающее удобную визуализацию распределения трудовых ресурсов и поддержку принятия обоснованных решений. В качестве исходных данных для более точных расчетов использованы показатели Баткенской области, что повышает адаптивность модели к реальным условиям.

Ключевые слова: инновационная математическая модель, оптимизация, трудовой потенциал, трудовые ресурсы, человеческие ресурсы, инновационная математическая модель, оптимизация.

INNOVATIVE MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL LABOR RESOURCES DISTRIBUTION

*Irina Vladimirovna Zaitseva¹,
Kurmanbek Iskandarovich Ismanaliev²,
Zhazgul Askerbekovna Tokosheva²*

¹*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, i.zaitseva@rshu.ru*

²*Institute of Economics, Business and Management, Osh State
University, Osh, Kyrgyzstan, jtokosheva@mail.ru*

Scientific supervisor – doctor of economics, professor,
Kuluyeva Chinara Raimkulovna

Abstract. The article presents an innovative mathematical model of nonlinear programming for optimizing the distribution of labor resources at various levels: municipal, regional, industry, state and international. The model is aimed at minimizing the "utility function", which allows for more efficient use of resources. To solve the problem, specialized software with a modern graphical interface was developed, providing convenient visualization of labor resource distribution and support for making informed decisions. The indicators of the Batken region were used as initial data for more accurate calculations, which increases the adaptability of the model to real conditions.

Keywords: innovative mathematical model, optimization, labor potential, labor resources, human resources, innovative mathematical model, optimization.

Трудовые ресурсы Кыргызстана, как и трудовые ресурсы всего мирового сообщества, составляет трудоспособная часть населения, которая наделена физическими способностями, знанием и опытом, принимает активное участие в создании материальных благ, занята полезной деятельностью для общества [1].

Математическая модель оптимального распределения трудового потенциала региона (с использованием методов нелинейного программирования) основывается на ключевых критериях: величине трудового вклада каждого работника в свою отрасль и объеме прибыли, который он генерирует для данной отрасли. Эти показатели рассчитываются на основе официальных данных, что обеспечивает высокую точность и достоверность расчетов. Внедрение инновационного подхода позволяет интегрировать современные методы анализа и прогнозирования, а также использовать автоматизированные системы для более эффективного управления трудовыми ресурсами и оптимизации экономических процессов на уровне региона.

Основная особенность метода заключается в его способности эффективно решать задачу оптимального анализа и распределения трудовых ресурсов на различных уровнях. Для этого разрабатывается инновационный веб-сервис, работающий в режиме онлайн и офлайн", который позволяет анализировать трудовые ресурсы Кыргызской Республики и ее регионов. Система использует полные данные о состоянии трудовых ресурсов в региональном и отраслевом разрезах, что позволяет проводить детализированный анализ и разрабатывать модель, направленную на улучшение управления трудовыми ресурсами с учетом инновационных методов.

Таким образом, опираясь на официальные статистические данные о трудовых ресурсах и показателях Баткенской области, можно разработать инновационную математическую модель для анализа состояния размещения трудовых ресурсов по отраслям с учетом их максимизации $u(x_1, x_2, \dots, x_n)$ на R_+^n . Решение задачи требует применения инновационных программ для статистической обработки данных, таких как Excel, Statistica, Matlab.

Таблица 1 – Распределение численности занятого населения Баткенской области по видам экономической деятельности за 2023 год, (тыс. человек)

№	Всего занято в экономике	151,5
п/п	в том числе:	
1	Образование	17,1
2	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство	16,6
3	Обрабатывающие производства	17,5
4	Информация и связь	1,1
5	Строительство	34,9
6	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий	31,8
7	Гостиницы и рестораны	10
8	Транспортная деятельность и хранение грузов	18
9	Здравоохранение и социальное обслуживание населения	4,5
10	Безработные	7,4235

Составлено и рассчитано автором

Опираясь на эффективную модель, проанализируем распределение занятого населения региона Баткен, представленное в табл. 1, и включающее следующие отрасли [4-5]. В таблице 2 представлены результаты затрат предприятий и организаций Ошской области на рабочую силу в 2023 году по выбранным отраслям экономики.

Таблица 2 – Затраты предприятий и организаций отраслей экономики Баткенской области на рабочую силу в 2023 году, сомов

№ п/п	Всего занято в экономике	4192389,34
	в том числе:	
1	Образование	420745,5
2	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство	375093,6
3	Обрабатывающие производства	747390
4	Информация и связь	63142,2
5	Строительство	828735,4
6	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий	748762,8
7	Гостиницы и рестораны	206940
8	Транспортная деятельность и хранение грузов	704988
9	Здравоохранение и социальное обслуживание населения	93325,5
10	Безработные	3266,34

Составлено и рассчитано автором

Из представленных данных следует, что в [1] $Q = 4192389,34$ сомов. В таблице 3 представлены финансовые результаты предприятий и организаций Ошской области в 2023 году по выбранным отраслям экономики.

Таблица 3 – Финансовый результат деятельности организаций по видам экономической деятельности за 2023 год, тыс. сомов

№ п/п	Всего занято в экономике	5295062,1
	в том числе:	
1	Образование	376319,7
2	Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство	355688,2
3	Обрабатывающие производства	2655327,5
4	Информация и связь	28468
5	Строительство	694510
6	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий	578887,2
7	Гостиницы и рестораны	175810
8	Транспортная деятельность и хранение грузов	342000
9	Здравоохранение и социальное обслуживание населения	88051,5
10	Безработные	0

Составлено и рассчитано автором

Из представленных данных следует, что в формула значение $P = 5295062,1$ тысяч сомов. Рассчитаем значения коэффициентов α_i и β_i (см. таблицы 2, 3).

Таблица 4 – Значения α_i на одного человека в сомах

α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}
22007	21427	151733	25880	19900	18204	17581	19000	19567	0

Таблица 5 – Значения β_i в ()

β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_9	β_{10}
24605	22596	42708	57402	23746	23546	20694	39166	20739	440

Экономико-математическая модель (1) оптимального распределения трудового потенциала Ошской области будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 & u(x_1, x_2, \dots, x_{10}) \rightarrow \max, x = (x_1, x_2, \dots, x_{10}), \\
 & \begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_{10} = \sum_{i=1}^{10} x_i = 151500, \\ \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_{10} x_{10} = \sum_{i=1}^{10} \alpha_i x_i \geq 5295062100 \\ \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{10} x_{10} = \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_i \leq 4192389340 \\ x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, 10. \end{cases} \\
 & (1)
 \end{aligned}$$

где, α_i и β_i представлены в таблицах 4 и 5 соответственно. В качестве целевой функции $u(x_1, x_2, \dots, x_{10})$ в (2.) выберем функцию $u(x_1, x_2, \dots, x_{10}) = \gamma_1 x_1^{0.7} + \gamma_2 x_2^{0.5} + \gamma_3 x_3^{0.5} + \gamma_4 x_4^{0.5} + \gamma_5 x_5^{0.5} + \gamma_6 x_6^{0.5} + \gamma_7 x_7^{0.5} + \gamma_8 x_8^{0.5} + \gamma_9 x_9^{0.5} + \gamma_{10} \frac{1}{1+x_{10}}$. (2)

где $\gamma_i = \frac{\alpha_i}{p}, i = 1, \dots, 10$, вычисляются по данным таблицы 3 и приведены в таблице 2.

Таблица 6 – Значения γ_i

γ_1	γ_2	γ_3	γ_4	γ_5	γ_6	γ_7	γ_8	γ_9	γ_{10}
0,0588	0,06024	0,05714	0,909	0,0287	0,0314	0,1	0,0556	0,222	0,0000

Решив задачу нелинейного программирования (1), (2), найдем $x_1 = 1177, x_2 = 1178, x_3 = 5742, x_4 = 640, x_5 = 1109, x_6 = 1049, x_7 = 1059, x_8 = 903, x_9 = 1131, x_{10} = 0$. При этом максимальный суммарный доход составит 23967599 сомов.

Таким образом, для получения максимального суммарного дохода в размере 23967599 сомов при заданных ресурсах необходимо запланировать количество трудовых ресурсов по отраслям в соответствии с указанными значениями x_i . Решение данной задачи позволяет определить минимальное количество работников по отраслям для достижения максимальной прибыли, учитывая инновационный потенциал и технологии, которые повышают эффективность труда и качество продукции. Инновационные методы в расчетах трудового потенциала и

оптимальном распределении трудовых ресурсов Баткенской области способствуют увеличению дохода и устойчивому развитию экономики. Информационный модуль предоставляет возможности для числовых расчетов, оптимизации распределения трудовых ресурсов и наглядного представления результатов, что важно для принятия управленческих решений.

Список использованной литературы

1. Кулуева Ч.Р. Анализ состояния трудовых ресурсов Кыргызской Республики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. -2011. -№1.-С. 239-245
2. Зайцева И.В., Семенчин Е.А., Гимбицкий В.А. Математическая модель оптимального распределения трудового потенциала региона по отраслям экономики // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-2. – С. 413–416.
3. Зайцева И.В. Теоретические основы и методы математического моделирования планирования и распределения трудовых ресурсов в организационно- технологических системах. Монография. – СПб.: РГГМУ, 2022. – 320 с.
4. Zaitseva I., Popova M. Technique to study the employment potential of the region: economic-mathematical aspect //World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 22, № 1. – P. 22–25
5. <https://www.stat.kg/ru/>
6. <https://www.stat.kg/ru/statistics/uroven-zhizni-naseleniya/>
7. Семенчин Е.А., Зайцева И.В. Математическая модель самоорганизации рынка труда для нескольких отраслей // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2003. Т. 10. № 3. С. 740-741.
8. Зайцева И.В., Малафеев О.А., Степкин А.В., Черноусов М.В., Кособлик Е.В. Моделирование цикличности развития в системе экономик // Перспективы науки. 2020. № 10 (133). С. 173-176.
9. Зайцева, И.В., Шебукова А.С. Линейная алгебра для экономистов. – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2022. - 212 с.
- 10.Шебукова А.С., Чупрякова А.Г. Формирование кадрового резерва как необходимое условие повышения эффективности управления муниципальным образованием // Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-3 (86). С. 134-141.

УДК 519.2:[504+556.535.8]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

*Зайцева Ирина Владимировна, Славиогло Карина Вадимовна,
Фадеев Сергей Николаевич*

*ФБГОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются математические методы, способные оценить степень загрязнения поверхностных вод различными элементами, определяются тенденции изменений концентраций веществ, выделены загрязняющие вещества, требующие особого внимания. Применение вероятностных методов позволяет комплексно оценить состояние водных объектов, учитывая вариативность данных и выявляя скрытые закономерности, что способствует более эффективному управлению водными ресурсами и разработке природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: математические методы, загрязняющие вещества, загрязнение, поверхностные воды.

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS IN SURFACE WATER POLLUTION ASSESSMENT

*Zaitseva Irina Vladimirovna, Slavioglo Karina Vadimovna,
Fadeev Sergey Nikolaevich*

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia*

Abstract. The article explores mathematical methods applicable to assess the degree of pollution of surface waters by various elements, identify trends in substance concentrations, and highlight pollutants requiring particular attention. The application of probabilistic methods enables a comprehensive assessment of the state of water bodies,

accounting for data variability and revealing hidden patterns, thereby facilitating more effective water resource management and the development of environmental protection measures.

Keywords: mathematical methods, pollutants, pollution, surface waters.

Введение. Загрязнение поверхностных вод представляет собой глобальную проблему, оказывающую значительное влияние на здоровье человека, состояние экосистем и устойчивое развитие. [3] В условиях растущей антропогенной нагрузки и изменения климата, мониторинг и оценка качества водных ресурсов приобретают особую актуальность. Традиционные методы анализа, основанные на периодических измерениях концентраций загрязняющих веществ, часто оказываются недостаточными для выявления долгосрочных трендов и прогнозирования будущих изменений, а также для оценки вероятности достижения критических уровней загрязнения. [2] В связи с этим, применение математических методов, позволяющих обрабатывать большие объемы данных и оценивать вероятностные характеристики, становится неотъемлемой частью комплексного подхода к оценке и управлению качеством поверхностных вод.

Оценка экологического состояния водных объектов, особенно в контексте загрязнения, все чаще опирается на вероятностные подходы и стохастические модели, позволяющие учесть эффекты случайной изменчивости. Это обусловлено тем, что любое моделирование неизбежно включает допущения и неопределенности. Детерминированные модели, хотя и могут быть полезны в контролируемых условиях, часто неэффективны при оценке сложных процессов с участием множества случайных факторов. Стохастические модели, напротив, позволяют оценить вероятность различных исходов в условиях неопределенности, представляя меру «неслучайности» наблюдаемых процессов. В контексте загрязнения воды, вероятностные характеристики, такие как частота превышения нормативных концентраций, позволяют оценить как продолжительность загрязнения, так и его

потенциальное воздействие на окружающую среду. Таким образом, вероятность становится важным инструментом для структурирования информации о состоянии водных ресурсов.

Методика. В настоящей работе предлагается метод вероятностной оценки качества природных сред (вода, почвы) [1], основанный на анализе превышений пороговых значений загрязняющих веществ. Имеется n объектов мониторинга, для каждого из которых определен набор из m показателей загрязнения. Для каждого показателя определяется, произошло ли превышение нормативного значения (событие A).

Рассчитывается вероятность превышения норматива хотя бы по одному показателю для каждого объекта, а также общая вероятность превышения для всей совокупности объектов. С использованием теоремы Байеса оценивается вероятность того, что в случае фиксации превышения, оно произошло именно в данном объекте. Эти вероятности используются для построения обобщающих показателей риска загрязнения и сравнения различных объектов мониторинга.

Предлагаемый метод позволяет произвольно группировать объекты и рассчитывать общую вероятность превышения для каждой группы, а также учитывать относительную долю объектов в разных группах, что повышает точность оценки. Данный подход позволяет получить более комплексную и информативную оценку загрязнения, чем традиционные методы, основанные на простом сравнении измеренных значений с нормативами.

Алгоритм вероятностной оценки загрязнения состоит из нескольких шагов:

1. Расчёт веса каждой группы объектов, пропорционального её представленности в выборке проб.
2. Определение суммарной вероятности превышения допустимых уровней загрязнения внутри каждой группы, что отражает общую вероятность обнаружения превышений в этой группе.
3. Нормализацию весов для корректного сравнения вкладов различных групп.

4. Формирование итоговой оценки вероятности загрязнения в каждой группе, которая учитывает как частоту обнаружения превышений, так и относительную значимость данной группы в общей выборке.

Данная методика более подробно расписана и объяснена в статье «Вероятностные подходы к оценке загрязненности поверхностных вод» за авторством В.С. Валиева, Д.Е. Шамаева, Д.В. Иванова. [1]

Материалы. Сохранение и поддержание природного качества пресных поверхностных вод является приоритетной задачей в современном мире, особенно в условиях интенсивно развивающейся урбанизации и возрастающего антропогенного воздействия на водные бассейны. Многочисленные факторы, связанные с хозяйственной деятельностью человека, приводят к критическому уровню загрязнения водотоков, что делает актуальным анализ качества поверхностных вод на территории Российской Федерации.

Качество поверхностных вод напрямую зависит от техногенной нагрузки на водосборы и эффективности очистки сточных вод. Современное состояние водных объектов формируется под воздействием комплекса факторов, включающих изменение климата, пространственно-временные вариации речного стока, регулирование гидрологического режима, а также индустриально-аграрное развитие отдельных территорий.

Ярким примером служит река Нева – короткая, но стратегически важная протока между Ладожским озером и Финским заливом. Ее гидрологический режим характеризуется обильным и равномерным водным питанием, а также высокой степенью зарегулированности, что, однако, не исключает подверженность влиянию как природных, так и антропогенных факторов. Антропогенная нагрузка на бассейн Невы распределена неравномерно, с наиболее выраженным воздействием вблизи промышленных узлов, в верхнем течении реки, а также в районе водосбора реки Охта и окрестностях Санкт-Петербурга.

Несмотря на это, качество воды в основном бассейне Невы, испытывающего значительное влияние хозяйственно освоенной

Ленинградской области, остается относительно стабильным, однако, вода большинства створов классифицируется как "загрязненная" или "очень загрязненная" (3-й класс качества). Данный факт свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга и оценки состояния поверхностных вод в бассейне Невы, а также о разработке и внедрении эффективных мер по снижению антропогенной нагрузки и улучшению качества воды. [7]

Показатели загрязнённости воды по реке Нева [6-16], а также вероятность превышения предельно допустимой концентрации (далее ПДК) [4-5] отображены в таблице 1. В таблице представлены основные показатели качества воды: растворённый в воде кислород, биохимическое потребление кислорода за 5 суток (далее БПК₅), химическое потребление кислорода (далее ХПК), нефтепродукты (далее НФПР), анионные синтетические поверхностно-активные вещества (далее АСПАВ), аммонийный азот, нитратный азот, нитритный азот, соединения железа, меди, цинка, марганца, свинца и кадмия, сульфаты, хлориды, минерализация.

Таблица 1 – Динамика гидрохимических показателей качества воды р. Нева

Показатели	2013			2014			2015			2016			2017		
	М	Min	Max	М	Min	Max	М	Min	Max	М	Min	Max	М	Min	Max
Кислород	11	8,2	15,1	-	-	-	-	-	-	11	8,1	15,3	11,1	8,6	13,9
БПК ₅	1,46	0,6	5	1,37	0,5	4,8	1,11	0,5	4,1	1,44	0,5	8,2	1,15	0,5	4,7
ХПК	23,7	14	86	22,6	13	65	20,03	11	66	22,8	15	57	23,8	11	59
НФПР	0,01	0	0,13	0	0	0,08	0	0	0,05	0	0	0,04	0	0	0,04
АСПАВ	0,03	0	0,13	-	-	-	-	-	-	0,01	0	0,04	0	0	0,04
Аммонийный азот	0,06	0	0,64	0,06	0	1,99	0,04	0	0,7	0,09	0	1,23	0,04	0	0,58
Нитратный азот	0,21	0,02	0,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нитритный азот	0,005	0	0,102	0,005	0	0,072	0,017	0	0,47	0,004	0	0,065	0	0	0
Соединения железа	0,19	0,05	0,78	0,17	0,04	1	0,11	0	0,96	0,16	0,01	1,3	0,17	0,02	1,1
Соединения меди	0,003	0	0,009	0,003	0	0,018	0,005	0,001	0,02	0,004	0	0,013	0,005	0,002	0,018
Соединения цинка	0,012	0,004	0,049	0,011	0,001	0,052	0,014	0,002	0,58	0,013	0,003	0,045	0,026	0,003	0,086
Соединения марганца	0,008	0	0,023	0,12	0	0,193	0,033	0	0,36	0,024	0	0,36	0,016	0	0,289
Соединения свинца	0,003	0	0,007	0,002	0	0,01	0,001	0	0,008	0,001	0	0,009	0	0	0,002
Сульфаты	15,2	8	23	-	-	-	-	-	-	8,59	6,5	32,2	8,62	5,3	12,5
Хлориды	6,27	3,5	22,7	-	-	-	-	-	-	7,54	4,1	36,7	7,44	4,3	54
Минерализация	86,6	71	130	-	-	-	-	-	-	87,2	61	270	83,5	63	220
Соединения кадмия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1.

Показатели	2018			2019			2020			2021			2022			2023		
	M	Min	Max	M	Min	Max	M	Min	Max	M	Min	Max	M	Min	Max	M	Min	Max
Кислород	11,2	8,3	13,9	10,9	8,3	13,8	10,9	8	13,8	10,7	7,7	14,30	11	5,1	14	11	7,8	13,5
БПК ₅	1	0,5	3	1,18	0,5	4,53	0,75	0	3,28	1,2	0,5	4,21	1,17	0,5	3,68	0,91	0,5	3,32
ХПК	24,8	12	46	23,6	1	72	23,4	10	62	22,5	4	58	27,6	13	69	19,6	11	85
НФПР	0,01	0	0,18	0,02	0,01	0,03	0	0	0,02	0	0	0,01	0	0	0,03	0	0	0,15
АСПАВ	0	0	0,02	0	0	0,03	0,02	0	0,08	0	0	0,03	0,01	0	0,04	0,02	0	0,04
Аммонийный азот	0,04	0	1,05	0,04	0	0,51	0,05	0	0,36	0,11	0	1,02	0,04	0	0,64	0,04	0	0,33
Нитратный азот	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,13	0,83	0,23	0,06	2,94	
Нитритный азот	0	0	0	0,003	0	0,228	0,002	0	0,031	0,012	0	0,213	0,005	0	0,105	0,018	0	0,449
Соединения железа	0,14	0,001	0,018	0,12	0	1,50	0,12	0	1,2	0,11	0	0,58	0,15	0	0,62	0,14	0	0,95
Соединения меди	0,005	0	0,11	0,005	0,001	0,025	0,005	0	0,022	0,005	0	0,014	0,007	0,001	0,022	0,008	0	0,027
Соединения цинка	0,032	0	0	0,021	0	0,23	0,017	0	0,095	0,016	0,001	0,081	0,013	0	0,088	0,012	0	0,055
Соединения марганца	-	-	-	-	-	-	0,016	0	0,17	0,025	0	0,33	0,025	0	0,322	0,022	0	0,289
Соединения свинца	0	0	0	0	0	0,016	0	0	0,004	0	0	0,006	0,001	0	0,004	0,001	0	0,005
Сульфаты	8,69	6,4	21,2	8,39	6,5	15,7	8,59	6,9	20,4	7,21	1,5	18,30	-	-	-	-	-	-
Хлориды	6,37	0,6	25,1	15,8	4,9	364	6,81	4,9	26,3	6,71	3,5	25,8	-	-	-	-	-	-
Минерализация	78,1	52	320	106	55	470	76,9	58	180	82,9	54	160	81,3	36	130	79,1	60	220
Соединения кадмия	0	0	0,002	0	0	0,002	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,002

Результаты. Результаты вычислений представлены на рисунке 1, на основании данных за 2013–2023 гг. На рисунке 2013 год принят за нулевой. Кроме того, на рисунке представлены средние значения показателей БПК₅ и ХПК (для наглядности масштаб отображения для этих показателей уменьшен в 10 и 100 раз соответственно). Данные показатели были выбраны, так как превышения ПДК по ним имеет место для всех рассматриваемых лет. Для вычисленных вероятностей $P(Y_i | A)$ мы построили полиномиальную линию тренда.

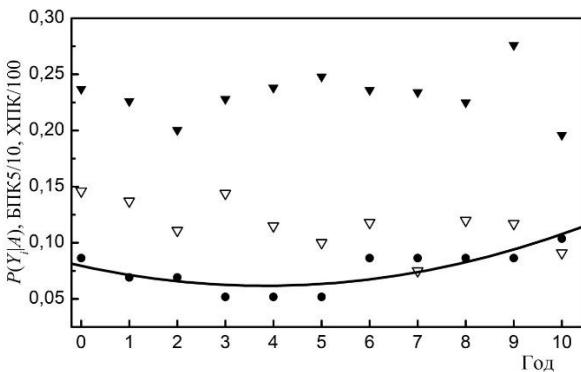


Рисунок 1 – полиномиальную линию тренда вероятностей.

Вероятности, вычисленные по формуле (3) (точки) и полиномиальный тренд, построенный по методу наименьших квадратов (сплошная кривая); незакрашенные треугольники – показатели БПК5, закрашенные – показатели ХПК.

Анализ БПК₅ и ХПК не выявил четких трендов, предполагая случайный характер колебаний этих показателей. Однако использование вероятностных оценок позволило обнаружить тренды, невидимые при анализе по отдельности, что подчеркивает потенциал вероятностных методов для выявления скрытых закономерностей в данных о загрязнении.

Подгонка по методу наименьших квадратов дала следующее уравнение тренда с индексом детерминации $R^2 = 0,68$.

$$P = 0,0012t^2 - 0,0093t + 0,0794$$

Значение индекса детерминации является достаточно высоким, что позволяет сделать вывод о наличии выраженного минимума в вероятностных показателях в 2017 г. В тоже время

показатели БПК₅, ХПК не имеют выраженного тренда. Таким образом, использование вероятностных оценок можно рекомендовать как один из подходов к выявлению трендов в показателях загрязненности, которые могут быть не очевидны при анализе отдельных параметров. Представляется целесообразным дальнейшее изучение и применение вероятностных методов для мониторинга и оценки состояния окружающей среды.

Заключение. Использование вероятностных оценок позволило выявить скрытые закономерности и тренды в данных о загрязнении, которые не проявляются при анализе традиционных показателей, таких как БПК₅ и ХПК. Данные результаты подчеркивают значительный потенциал вероятностных методов для мониторинга и оценки состояния водных объектов, подверженных антропогенному воздействию.

Предложенный подход позволяет более комплексно учитывать вариативность данных и оценивать риски загрязнения. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку более сложных вероятностных моделей, учитывающих большее количество факторов, влияющих на качество воды, а также на применение этих моделей для прогнозирования будущих изменений и оценки эффективности природоохранных мероприятий. Полученные результаты могут быть полезны для принятия обоснованных решений в области управления водными ресурсами и защиты окружающей среды.

Список использованной литературы

1. Валиев В.С. Вероятностные подходы к оценке загрязненности поверхностных вод / Валиев В.С., Шамаев Д.Е., Иванов Д.В.// Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – №3 – С. 36-42.
2. Карманова А.А. Загрязнение поверхностных водоемов, основные источники и загрязнители // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» – 2019. – №1 – С. 48-59.
3. Рахимзянов И.И. Загрязнение и засорение водных // Вестник магистратуры – 2021. – №5-2 – С. 116.
4. ГН 2.1.5.689-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. Москва: Минздрав России, 1998. – С. 75.

5. РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2003 – С. 55.
6. Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2013 / под ред. А.М. Никаноров Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2014 – С.568 (с.501).
7. Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2014 / Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2015 – С.530 (с.463).
8. Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2015 / Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2016 – С.552 (с.483).
9. Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2016 / Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2017 – С.556 (с.485).
- 10.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2017 / Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2018 – С.555 (с.485).
- 11.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2018 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2019 – С.561 (с.491).
- 12.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2019 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2020 – С.578 (с.507).
- 13.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2020 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2021 – С.612 (с.533).
- 14.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2021 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2022 – С.620 (с.540).
- 15.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2022 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2023 – С.613 (с.529).
- 16.Качество поверхностных вод российской федерации: ежегодник 2023 / под ред. М.М. Трофимчук Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт» – 2024 – С.596 (513).

МОДЕЛИРОВАНИЕ АУКЦИОНОВ С ОБЩЕЙ КОМПОНЕНТОЙ ЦЕННОСТИ

Малафеев Олег Алексеевич¹,

*Хоменко Ирина Евгеньевна¹, Шлаев Дмитрий Валерьевич²,
Филимонов Александр Алексеевич³, Скворцова Ольга Ивановна⁴*

¹*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный
университет», Ставропольский филиал ФГКОУ ВО,
г. Ставрополь, Россия*

³*Ставропольский филиал ФГКОУ ВО «Краснодарский
университет Министерства внутренних дел Российской
Федерации», г. Ставрополь, Россия*

⁴*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г.
Ставрополь, Россия*

Аннотация. В экономике существует множество способов для описания взаимодействия «продавца» и «покупателя». Самый распространенный, продажа за фиксированную цену, данный вариант прекрасно подходит для продажи массового товара, когда имеем ряд продавцов и множество покупателей, а цена за товар варьируется из условий взаимосвязи спроса и предложений. Другая ситуация встречает нас уже на рынках, где товар может быть, как массовым, так и более уникальным, поэтому данный вариант уже ближе к объекту нашего рассуждения. Однако сделка, совершающаяся один на один, является куда более нестабильным вариантом из-за чего и более сложным для моделирования, так как определяется не столько алгоритмами, сколько психологией и разницей в умении торговаться двух сторон. Еще более близким примером аукциона служит ценовая дискриминация, когда цена для покупателя определяется не только спросом и предложением, но и тем к какой группе относится сам покупатель. Но в этом случае товар не является уникальным, а конечный продавец единственным. В статье выявили основные критерии аукциона и их особенности проведения «игры».

Ключевые слова: теория игр, моделирование, аукцион, оптимизация.

SIMULATE SHARED VALUE AUCTIONS

*Malafeev Oleg Alekseevich¹, Khomenko Irina Evgenyevna¹,
Shlaev Dmitry Valeryevich², Filimonov Alexander Alekseevich³,
Skvortsova Olga Ivanovna⁴*

¹Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

³Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol, Russia

⁴North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Abstract. In economics, there are many ways to describe the interaction between "seller" and "buyer". The most common is selling for a fixed price, this option is perfect for selling a mass product, when we have a number of sellers and many buyers, and the price for the product varies according to the conditions of the relationship between supply and demand. A different situation meets us already in markets, where the product can be both mass and more unique, so this option is closer to the object of our reasoning. However, a one-on-one transaction is a much more unstable option, which is why it is more difficult to model, since it is determined not so much by algorithms as by psychology and the difference in the ability of the two parties to bargain. An even closer example of an auction is price discrimination, when the price for the buyer is determined not only by supply and demand, but also by the group to which the buyer belongs. But in this case, the product is not unique, and the end seller is not the only one. The article reveals the main criteria of the auction and their features of the "game".

Keywords: game theory, modeling, auction, optimization.

В классическом аукционе для покупателей не существует общей компоненты ценности, не существует и примерного диапазона цены адекватного для торгов. Стоимость любого шедевра искусства можно оценить по ряду факторов таких как автор, история создания полотна, размеры, количество фигур, есть ли авторские копии, но что интересно цена зависит и от того какой у картины провенанс, в каких коллекциях она была, где

реставрировалась, в каком она состоянии сейчас, стоимость повышается и от имени коллекционера, который владеет картиной. Таким образом, покупая картину определяете и ее цену, но что самое главное основным фактором для оценки стоимости картины на аукционе чаще всего становится личная заинтересованность и желание обладать определенным шедевром искусства, таким образом цена для каждого покупателя своя и не определяется желанием в дальнейшем выручить большую сумму. Данный принцип сильно меняется, когда речь заходит о продаже, например, земли богатой драгоценными камнями, в таком случае среди покупателей существует общая компонента ценности, то сколько данная земля может принести в дальнейшем средств. Данное явление сильно влияет на принципы аукциона и даже порождает такое явление как «проклятие победителя». Данный феномен происходит из-за того, что конечная выручка зависит от количества запасов камней, но данная величина является неизвестной. А если компаниям предложить самостоятельно оценить запасы для выявления более честной оценки, то компании получат разные результаты, и выигрывает та, что получила максимально оптимистичный результат, однако на практике истинной оценкой с точки зрения статистики является именно среднее значение, а значит победитель аукциона скорее всего окажется проигравшим [1-5].

Аукционы с общей компонентой ценности является ярким случаем нарушения теоремы об эквивалентности доходов независимо от формата аукциона. Доход аукциониста зависит от «информационной ренты» - выигрышем, который участник получает от владения эксклюзивной информацией. Чем больше у покупателя подобной информации, тем больше его выигрыш, а значит тем меньше выигрыш аукциониста. Поэтому продавцу выгодно чтобы информационная рента участников была как можно меньше, поэтому аукционисту выгодно, чтобы как можно больше информации было раскрыто в ходе аукциона. Из стандартных аукционов больше всего информации дает покупателю английский аукцион, поэтому именно он и выгоден для ведения аукциона с общей компонентой ценности [6-10].

Рассмотрим пример. Пусть у нас есть территория, случайным образом облагороженная месторождениями драгоценных камней. Представим саму территорию в виде квадрата размера 10 на 10 единиц, а непосредственно ценные

месторождения обозначим точками. Участники аукциона случайным образом выбирают квадрат площадью в 1 единицу для оценки прибыльности территории, после чего они и выставляют свою оценку за участок. Будем также считать, что возможно сотрудничество между покупателями, когда они с целью экономии затрат выбирают и анализируют одну территорию, но в основном участники предпочитают выбирать свободные зоны и не пересекаться в выборе земли с другими участниками.

Рассмотрим случай, когда на территории располагается 100 месторождений, каждое с возможной прибылью в 100.000 рублей, т.е. реальная прибыль с территории составляет 10.000.000 рублей. Рассмотрим для примера английский аукцион (подробнее обсудим его позже), в английском аукционе плата победителя составляет сумму второй цены и минимального шага аукциона, который в нашем случае будет составлять 10.000 рублей. Смоделируем данную ситуацию программно с использованием языка Python.

```
import numpy as np
import random
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches
from numpy.ma.extras import median
N = 100 # Реально количество месторождений
P = 40 # Число покупателей
price = 100000 # Прибыль с одного месторождения
step = 10000 # Шаг аукциона
```

Для начала генерируем случайным образом расположение наших месторождений:

```
x = []
y = []
for i in range(0, N):
    x.append(random.uniform(0, 10))
    y.append(random.uniform(0, 10))plt.scatter(x, y)
```

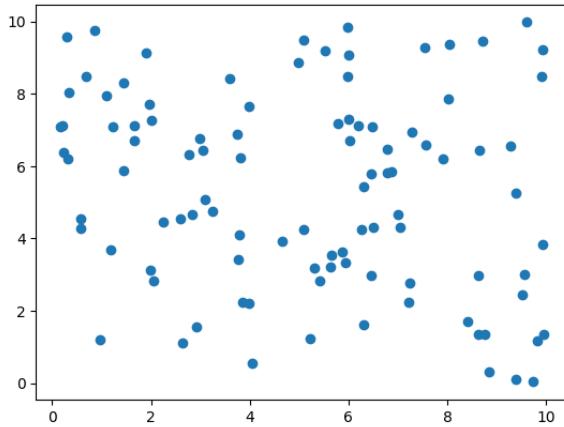


Рисунок 1 – Моделирование распространения месторождений

После чего моделируем выбор участков земли участниками аукциона:

```

xp = [] # Выбор участка покупателем
yp = []
pk = [] # Массив с количеством месторождений,
обнаруженных разными покупателями
for i in range(0, P):
    xp0 = random.randint(0, 9)
    yp0 = random.randint(0, 9)
    xp.append(xp0)
    yp.append(yp0)
    k = 0
    for j in range(0,N):
        if ((xp0 < x[j] < xp0 + 1) and (yp0 < y[j] < yp0 + 1)): k+=1
        pk.append(k)
plt.scatter(x, y)
for i in range(0, P):
    rectangle = plt.Rectangle((xp[i], yp[i]), 1, 1, fill = False,
ec="red")
    plt.gca().add_patch(rectangle)
    plt.axis('scaled')
plt.show()

```

Проверим медиану массива, описывающего число месторождений, которые обнаружили покупатели на своих участках [11-15]. При подсчетах считаем, что камни распределены равномерно, а значит если на участке площади 1 единица было найдено одно месторождение, то на участке в 100 единиц будет найдено сто месторождений.

```
rating_median = median(pk) * 100
print(rating_median)
>> 100.0
```

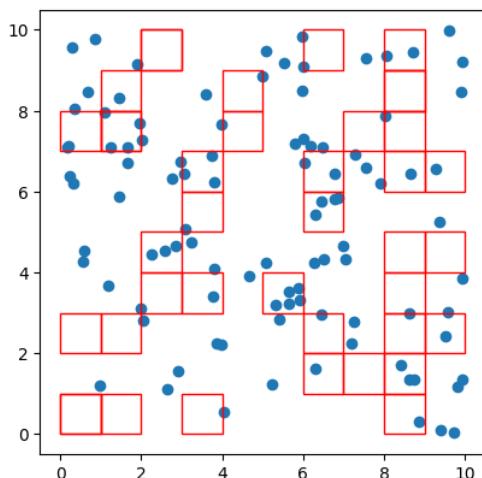


Рисунок 2 – Моделирование выбора покупателями участка для анализа земли

Как мы можем видеть, в нашем случае медиана очень точно описывает ценность территории. У нас 100 месторождений и медиана массива дает нам точно такой же результат, но надо учитывать, что шаг оценки медианой может быть достаточно велик и в случае с малым числом покупателей выдавать не информативный результат. Однако при значительном числе покупателей именно по медиане проще всего достаточно точно оценить реальную ценность лота с общей компонентой ценности, достаточно лишь контролировать число выбирающих участников.

Реальная ценность лота также хорошо оценивается средним алгебраическим оценок участников.

```
c = 0
for i in range(0, P):
```

```
c+=pk[i]*100
C = c/P # Средняя оценка стоимости земли
print(C)
>>110.00
```

Причем данная оценка будет достаточно точной и для небольшого числа участников, однако данное значение сложнее анализировать без знания оценок остальных участников. Случаем, когда данная средняя оценка не будет работать, является пример разрежённости при условии еще и малого числа покупателей, т.е. если бы на всей территории находилось всего 5 месторождений, и покупателей было бы 5.

Продемонстрируем «проклятие победителя».

```
rating_2 = sorted(pk)[-2]*100 # Вторая оценка стоимости земли
```

```
y = rating_2*price + step - N * price
print(y)
>>30.010.000
```

Таким образом, если ставить как в классическом аукционе, опираясь только на собственную оценку, то цена покупки может в разы превысить реальную будущую прибыль. Практическим последствием «проклятия победителя» становится то, что участники торгуются очень осторожно, если учитывают то, что, победив скорее всего окажутся слишком оптимистичны, в связи с этим продажа объектов с общей компонентой ценности приносит продавцу меньший доход, чем товары с исключительно частной ценностью.

Список использованной литературы

1. Филатов А. Ю. Математические модели несовершенной конкуренции / А. Ю. Филатов, Н. И. Айзенберг. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2012.
2. Varian H. Price discrimination / H. Varian // Handbook of Industrial Organization. – 1989. – V. 1. – P. 597–654.
3. Krishna V. Auction theory / V. Krishna. – Academic press, 2009.
4. Klempner P. Auction theory: a guide to the literature / P. Klempner // Journal of Economic Surveys. – 1999. – V. 13. – № 3. – P. 227–286.
5. Vickrey W. Counter-speculation, auctions, and competitive sealed tenders / W. Vickrey // The Journal of finance. – 1961. – V. 16. – № 1. – P. 8–37.

6. Lucking-Reiley D. Vickrey auctions in practice: from nineteenth-century philately to twenty-first-century e-commerce / D. Lucking-Reiley // The Journal of Economic Perspectives. – 2000. – V. 14. – № 3. – P. 183–192.
7. Myerson R. Optimal auction design / R. Myerson // Mathematics of operations research. – 1981. – V. 6. – № 1. – P. 58–73.
8. Binmore K. The biggest auction ever: the sale of the British 3G telecom licences / K. Binmore, P. Klemperer // The Economic Journal. – 2002. – V. 112. – P. 74–96.
9. Cramton P. Collusive bidding: lessons from the FCC spectrum auctions / P. Cramton, J. Schwartz // Journal of Regulatory Economics. – 2000. – V. 17. – № 3. – P. 229–252.
10. Roth A. Last-minute bidding and the rules for ending second-price auctions: evidence from eBay and Amazon auctions on the Internet / A. Roth, A. Ockenfels // The American Economic Review. – 2002. – V. 92. – № 4. – P. 1093–1103.
11. Айзенберг Н. И. Моделирование и анализ механизмов функционирования электроэнергетических рынков / Н. И. Айзенберг, А. Ю. Филатов. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013.
12. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Zaitseva I.V., Novozhilova L. M., Smirnova T. E., Strekopytov S. A., Kolesov D.N. and Lipatnikov V.S. Social trade networks and compromise solution in multi-agent interaction, AIP Conference Proceedings 2425, 160007 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0082042>.
13. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Stochastic analysis of the dynamics of corrupt hybrid networks, Proceedings of 2016 International Conference "Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems" (Pyatnitskiy's Conference), STAB 2016, <http://dx.doi.org/10.1109/STAB.2016.7541208>.
14. Malafeyev, O., Lakhina, J., Zaitseva, I., Redinskikh, N., Smirnova, T., Smirnov, N. (2019). A mathematical model of production facilities location. Journal of Physics: Conference Series, 1172(1), [012090].
15. Malafeyev O.A., Rylow D., Zaitseva I., Ermakova A., Shlaev D., Multistage voting model with alternative elimination, 2018, AIP Conference Proceedings, <http://doi.org/10.1063/1.5043756>.
16. Ivanyukovich G.A., Malafeyev O.A., Zaitseva I.V., Kovshov A.M., Zakharov V.V., Zakharova N.I. To the evaluation of the parameters of the regression equation between the radiometric and geological testing. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative

- Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 32079.
17. Zaitseva I.V., Malafeyev O.A., Zakharov V.V., Smirnova T.E., Novozhilova L.M. Mathematical model of network flow control. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1. 1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies. 2020. P. 012036.
18. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Nemnyugin S.A., Kolesin I.D., Zaitseva I.V. The optimization problem of preventive equipment repair planning. AIP Conference Proceedings. Cep. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" 2018. P. 100013.
19. Шебукова А.С. Некоторые аспекты развития экономики сибири. Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы X Международная научно-практическая конференция. 2013. С. 271-277.

УДК 519.83:629.7

**ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ
ПОИСКА И ПРЕСЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Малафеев Олег Алексеевич¹, Чжсан Кунь¹,
Шлаев Дмитрий Валерьевич²,
Филимонов Александр Алексеевич³, Скворцова Ольга Ивановна⁴*

¹*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный
университет», Ставропольский филиал ФГКОУ ВО,
г. Ставрополь, Россия*

³*Ставропольский филиал ФГКОУ ВО «Краснодарский
университет Министерства внутренних дел Российской
Федерации», г. Ставрополь, Россия*

⁴*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г.
Ставрополь, Россия*

Аннотация. В данной статье мы используем теоретико-игровой подход для исследования проблемы поиска и преследования подводных лодок и переводим эту проблему в задачу поиска и преследования БПЛА. Теория игр обеспечивает математическую основу для моделирования и анализа стратегических взаимодействий между несколькими лицами, принимающими решения. Применяя принципы теории игр к проблеме поиска и преследования, мы стремимся повысить эффективность стратегий обнаружения и захвата БПЛА.

Ключевые слова: теория игр, квадрокоптер, кооперативная теория игр, моделирование.

GAME-THEORETIC APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF SEARCH AND PURSUIT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

*Malafeev Oleg Alekseevich¹, Zhang Kun¹,
Shlaev Dmitry Valeryevich², Filimonov Alexander Alekseevich³,
Skvortsova Olga Ivanovna⁴*

¹*Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²*Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia*

³*Stavropol Branch of Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Stavropol, Russia*

⁴*North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*

Abstract. In this paper, we use a game theoretic approach to explore the problem of searching for and pursuing submarines and translate the problem into a UAV search and pursuit problem. Game theory provides a mathematical framework for modeling and analyzing strategic interactions among multiple decision makers. By applying game theoretic principles to the search and pursuit problem, we aim to improve the effectiveness of UAV detection and capture strategies.

Keywords: game theory, quadcopter, cooperative game theory, modeling.

Introduction

Research on the problem of search began intensively during World War II. Later, search theory methods found application in solving

various other problems [1], [2]. Two monographs on the theory of search for moving objects can be distinguished, devoted to various aspects of search theory [3], [4]. All developments in the theory of object search can be conditionally divided into three groups: discrete search, continuous search, and search game problems. The first group includes works devoted to the search for an object with a finite or countable set of states. The second group includes works on the search for an object whose set of positions forms a certain (finite or infinite) area in the plane or in the search space. The tasks of search in the first and second groups are discussed, in which the object being sought does not counteract the search system. Studies that consider search problems in conditions of counteraction form the third group, namely search game problems.

Problem statement

Suppose a intercepting ship, having n boats with depth bombs on board, each of which requires τ_{ij} hours to capture. at time t detects periscopes of n submarines at various distances from it on the surface of the sea, which at the same moment dived underwater and began to move in different directions at fixed speeds. It is required to send the boats to intercept the submarines in an optimal way, that is, so that the sum of the guaranteed times of interception of the submarines would be minimal. To solve the problem, we will create a matrix of efficiency $A = (\tau_{ij})$, where each element is the guaranteed time of interception of submarine j by boat i , which consists of the time of reaching the periscope detection point by the boat and its total time of passing along the logarithmic interception spiral. Let x_{ij} be variables that can take only 2 values 0 or 1 as follows [5-9].

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{assigned } i \text{ boat for } j \text{ submarine,} \\ 0, & \text{not assigned } i \text{ boat for } j \text{ submarine.} \end{cases}$$

It is necessary to find an assignment plan - a matrix $X = \{x_{ij}\}$, $i=1\dots m$, $j=1\dots n$, which minimizes the search time, while ensuring that each boat is assigned to search for no more than one submarine, and each submarine can be searched by no more than one boat.

Mathematical formulation of the optimal assignment problem.

$$\begin{aligned} \min z = \min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} * x_{ij}, \quad & \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, j = 1..n, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1, i \\ & = 1..m, x_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

In order for the optimal assignment problem to have an optimal solution, it is necessary and sufficient that the number of boats is equal to the number of submarines, i.e., $n=m$. Under this condition, the inequality constraints become equality constraints.

$$\begin{aligned} \min z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tau_{ij} * x_{ij}, \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1..n, \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i \\ = 1..n, \quad x_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

If $n \neq m$, then the assignment problem is unbalanced. Any assignment problem can be balanced by introducing the necessary number of dummy boats or submarines. The dual problem of the optimal assignment problem.

$$\max \omega = \max (\sum_{i=1}^n i + \sum_{i=1}^n i), i + i \geq \tau_{ij}, i = 1..n, j = 1..n.$$

The Hungarian method can be used to solve the assignment problem. The essence of the method is as follows. In the original matrix A of performances, determine the minimum element in each row and subtract it from all other elements [10-15].

In the matrix obtained in the first step, determine the minimum element in each column and subtract it from all other elements in the column. If a feasible solution is not obtained after steps 1 and 2, perform:

In the last matrix, draw the minimum number of horizontal and vertical lines through rows and columns to cross out all zero elements.

Find the minimum non-crossed-out element and subtract it from all other non-crossed-out elements and add it to all elements at the intersection of the lines drawn in the previous step. If the new distribution of zero elements does not allow a feasible solution to be constructed, repeat step 2a. Otherwise, proceed to step 3. The optimal assignments will correspond to the zero elements obtained in step 2. Let's consider some numerical examples of solving the problem of distributing boats for catching several submarines.

Examples

Example 1. Let a interceptor ship detect 4 submarines. The initial distance to each of them is 100 km, 200 km, 50 km, and 163 km, respectively. The pursuer has 4 boats for catching the submarines. The maximum speed of each boat is 74 km/h, 90 km/h, 178 km/h, and 124 km/h, respectively. The first submarine moves along the straight line $\alpha_1=23$, with the speed $v_1=23$ km/h, the second one $\alpha_2=137$, $v_2=50$ km/h, the third one $\alpha_3=187$, $v_3=67$ km/h, and the fourth one $\alpha_4=50$,

$v_4=70$ km/h. Then the matrix for the assignment problem looks as follows:

$$\begin{array}{ccc}
 1,18 & 0,980,52 & 0,73 \\
 14,43 & 7,061,77 & 3,3 \\
 373,78 & 12,120,77 & 2,13 \\
 14,43 & 3 & 0,96 & 1,53
 \end{array}$$

We solve the game using the Hungarian method. The value of the objective function is 8.08, the final table looks like this.

$$\begin{array}{cccc}
 \boxed{0} & 0 & 2,37 & 1,22 \\
 9,63 & 2,46 & \boxed{0} & 0,17 \\
 369,98 & 8,52 & 0 & \boxed{0} \\
 11,22 & \boxed{0} & 0,79 & 0
 \end{array}$$

We transform the topic into the search and pursuit between quadrotor UAVs. Modify the topic slightly.

Suppose an intercepting quadcopter detects 4 intruding quadcopters. Chaser has 4 ships to chase the submarine. The maximum speed of each ship in XYZ axis is 74 km/h, 90 km/h, 178 km/h and 124 km/h respectively. The first invasion quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis $v_1=23$ m/min, the maximum speed of the Y-axis $\alpha_1=23$ m/min, the height is 100 meters. The second invading quadrotor UAV has a maximum speed of X-axis $v_2=50$ m/min, a maximum speed of Y-axis $\alpha_2=137$ m/min, and a height of 200 meters. The third invading quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis $v_3=67$ m/min, the maximum speed of the Y-axis $\alpha_3=7$ m/min, and a height of 50 meters. The fourth intrusion quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis $v_4=70$ m/min. Y-axis maximum speed $\alpha_4=50$ m/min, height 163 meters.

matching matrix:

$$\begin{array}{cccc}
 0 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array}$$

The value of the objective function is 3.0888

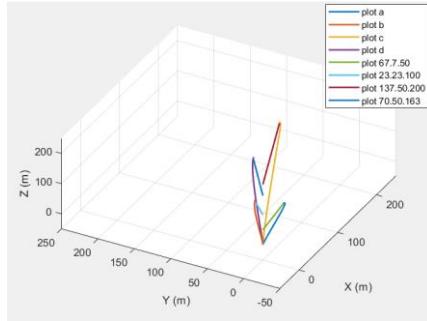


Figure 1 - Quadrotor drone matching path

Example 2. Let an interceptor ship detect 4 submarines. The initial distance to each of them is 30 km, 11 km, 62 km, and 8 km, respectively. The pursuer has 4 boats for catching the submarines. The maximum speed of each boat is 60 km/h, 65 km/h, 95 km/h, and 105 km/h, respectively. The first submarine moves along the straight line $\alpha_1=7$, with the speed $v_1=7$ km/h, the second one $\alpha_2=11$, $v_2=11$ km/h, the third one $\alpha_3=30$, $v_3=30$ km/h, and the fourth one $\alpha_4=44$, $v_4=44$ km/h. Then the matrix for the assignment problem looks as follows:

$$\begin{matrix} 0,46 & 0,42 & 0,297 & 0,27 \\ 0,16 & 0,15 & 0,11 & 0,097 \\ 0,93 & 0,86 & 0,59 & 0,54 \\ 0,18 & 0,15 & 0,09 & 0,08 \end{matrix}$$

We solve the game using the Hungarian method. The value of the objective function is 1.147, the final table looks like this.

$$\begin{matrix} 0,093 & 0,063 & \boxed{0} & 0 \\ \boxed{0} & 0 & 0,02 & 0,034 \\ 0,29 & 0,23 & 0,023 & \boxed{0} \\ 0,02 & \boxed{0} & 0 & 0,017 \end{matrix}$$

We transform the topic into the search and pursuit between quadrotor UAVs. Modify the topic slightly.

Suppose an intercepting quadcopter detects 4 intruding quadcopters. Chaser has 4 ships to chase the submarine. The maximum speed of each ship in XYZ axis is 60 m/min, 65 m/min, 95 m/min and 105 m/min respectively. The first invasion quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis $v_1=7$ m/min, the maximum speed of the Y-axis $\alpha_1=7$ m/min, the height is 30 meters. The second invading quadrotor UAV has a maximum speed of X-axis $v_2=11$ m/min, a maximum speed of Y-axis $\alpha_2=11$ m/min, and a height of 11 meters. The third invading quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis

$v_3=30$ m/min, the maximum speed of the Y-axis $\alpha_3=30$ m/min, and a height of 62 meters. The fourth intrusion quadrotor UAV, the maximum speed of the X-axis $v_4=44$ m/min. Y-axis maximum speed $\alpha_4=44$ m/min, height 44 meters.

matching matrix:

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

The value of the objective function is: 0.8390

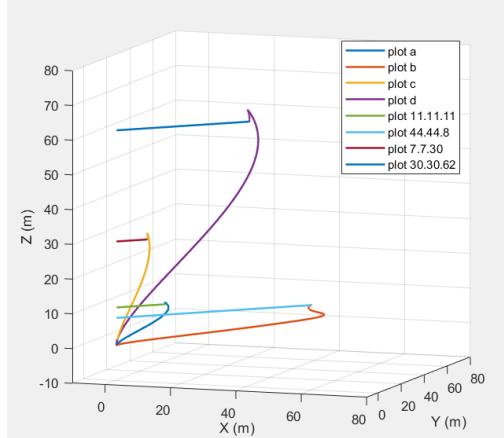


Figure 2 - Quadrotor drone matching path

Conclusion

With reasonable parameters of chasing UAVs, considering the success rate and interception efficiency, after calculating all UAV motion parameters using the Hungarian algorithm, all escaped quadrotor UAVs can be chased and successfully intercepted considering the performance parameters such as the speed of each interceptor and the compatibility between the quadrotor UAVs in the interceptor UAV camp and the UAVs in the escaped UAV camp.

References

1. Koopman, B.O. Search and screening. In Operation Evolution Group Office of the Chief of Naval Operations; Report No. 56; Washington, DC, USA, 1946. Available Online: <https://www.loc.gov/item/2009655247/> (accessed on 07 May 2023).

2. Hellman, O. Introduction to the Theory of Optimal Search; Nauka: Moscow, Russia, 1985.
3. Abchuk, V.A.; Suzdal, V.G. Search for Objects; Sovetskoe Radio: Moscow, Russia, 1977.
4. Staroverov, O.V. On one search problem. *Probab. Theory Its Appl.* 1963, 8, 184–187.
5. Kelin, M. Note a sequential search. *Nav. Res. Logist. Q.* 1968, 15, 3. Pages .469-475
6. Koopman, B.O. Theory of search: I. Kinematic bases. *Oper. Res.* 1956, 4, 324–346.
7. Koopman, B.O. Theory of search: III. The optimum distribution of searching efforts. *Oper. Res.* 1957, 5, 613–626.
8. Andersson, A.; Näsholm, E. Fast Real-Time MPC for Fighter Aircraft. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2018. Master of Science Thesis in Electrical Engineering. Linköping, Sweden Available Online: <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1217945/FULLTEXT01.pdf> (accessed on 07 May 2023).
9. MacQueen, J.; Miller, R.G. Optimal persistence polices. *Oper. Res.* 1960, 8, 362–380.
10. Posner, E.C. Optimal search procedures. *IEEE Trans. Inf. Theory* 1963, 9, 157–160.
11. Danskin, J.M. A theory of reconnaissance. I. *Oper. Res.* 1963, 10, 285–299.
12. Malafeyev O.A., N.D. Redinskikh, I.V. Zaitseva, L. M. Novozhilova, T. E. Smirnova, S. A. Strekopytov, D.N. Kolesov, and v.S. Lipatnikov, Social trade networks and compromise solution in multi-agent interaction, *AIP Conference Proceedings* 2425, 160007 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0082042>.
13. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Stochastic analysis of the dynamics of corrupt hybrid networks, *Proceedings of 2016 International Conference "Stability and Oscillations of Nonlinear Control Systems"* (Pyatnitskiy's Conference), STAB 2016, <http://dx.doi.org/10.1109/STAB.2016.7541208>.
14. Malafeyev, O., Lakhina, J., Zaitseva, I., Redinskikh, N., Smirnova, T., Smirnov, N. (2019). A mathematical model of production facilities location. *Journal of Physics: Conference Series*, 1172(1), [012090].<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012090>.

15. Malafeyev O.A., Rylow D., Zaitseva I., Ermakova A., Shlaev D., Multistage voting model with alternative elimination, 2018, AIP Conference Proceedings, <http://doi.org/10.1063/1.5043756>.
16. Ivanyukovich G.A., Malafeyev O.A., Zaitseva I.V., Kovshov A.M., Zakharov V.V., Zakharova N.I. To the evaluation of the parameters of the regression equation between the radiometric and geological testing. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 32079.
17. Zaitseva I.V., Malafeyev O.A., Zakharov V.V., Smirnova T.E., Novozhilova L.M. Mathematical model of network flow control. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1. 1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies. 2020. P. 012036.
18. Malafeyev O.A., Redinskikh N.D., Nemnyugin S.A., Kolesin I.D., Zaitseva I.V. The optimization problem of preventive equipment repair planning. AIP Conference Proceedings. Cep. "International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017" 2018. P. 100013.

УДК [512.6+517]:378.147

**ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМИ
УРАВНЕНИЯМИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ К
ПРЕДМЕТНЫМ ОЛИМПИАДАМ ПО ВЫСШЕЙ
МАТЕМАТИКЕ**

*Мамиев Аннаназар Хумметназарович¹,
Галандарова Шемишат Оразбаевна²,
Реджепов Бегназар Атабаевич², Аразов Аллаберди²,
Мандарова Огулсурай²*

¹*Туркменский государственный институт экономики и
управления. г. Ашхабад, Туркменистан*

²*Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашиогуз,
Туркменистан*

Аннотация. В статье рассматриваются примеры соревнований с использованием иррациональных уравнений. Для активизации проведения предметных олимпиад среди обучающихся. Для достижения поставленной цели, преподаватель должен работать последовательно: предоставлять новую информацию в ходе занятия, готовить творческие задания и готовить к участию в предметных олимпиадах. Рассмотрим решения примеров олимпиады, связанных с некоторыми методами решения иррациональных уравнений, чтобы помочь обучающимся освоить удобные методы решения сложных иррациональных уравнений.

Ключевые слова: иррациональный, уравнение, студент, соревнование, пример, занятие.

EXAMPLES OF COMPETITIONS INVOLVING IRRATIONAL EQUATIONS

*Mamiyev Annanazar Hummetnazarovich¹,
Galandarova Shemshat Orazbayevna²,
Rejepov Begnazar Atabayevich², Arazov Allaberdi²,
Mandarova Ogulsuray²*

*¹Turkmen State Institute of Economics and Management, Ashgabat,
Turkmenistan*

²Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan

Abstract. The article discusses examples of competitions using irrational equations. To intensify the conduct of subject Olympiads among students. To achieve this goal, the teacher must work consistently: provide new information during the lesson, prepare creative tasks and prepare for participation in subject Olympiads. Let's consider the solutions of the Olympiad examples related to some methods of solving irrational equations in order to help students master convenient methods for solving complex irrational equations.

Keywords: irrational, equation, student, competition, example, lesson.

Рассмотрим решения примеров олимпиады, связанных с некоторыми методами решения иррациональных уравнений.

Пример 1. Решить уравнение $\sqrt[n]{x^n + \sqrt[n+1]{a^n x^n}} + \sqrt[n]{a^n + \sqrt[n+1]{a^n x^n}} = b$, где $a > 0, a \neq 1, b > 0, b \neq 1, n \in N$.

Решение. Используя равенство $x^n = x^{\frac{n}{n+1}} \cdot x^{\frac{n}{n+1}}$ получим равенство

$$\sqrt[n]{x^{\frac{n^2}{n+1}} \cdot x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \cdot x^{\frac{n^2}{n+1}}} + \sqrt[n]{a^{\frac{n^2}{n+1}} \cdot a^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n^2}{n+1}} \cdot x^{\frac{n}{n+1}}} = b.$$

Отсюда получаем равенство

$$\sqrt[n]{x^{\frac{n^2}{n+1}} \left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right)} + \sqrt[n]{a^{\frac{n^2}{n+1}} \left(a^{\frac{n}{n+1}} + x^{\frac{n}{n+1}} \right)} = b.$$

Преобразуя уравнение получаем равенство

$$x^{\frac{n}{n+1}} \left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{1}{n}} + a^{\frac{n}{n+1}} \left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{1}{n}} = b$$

или

$$\left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{1}{n}} \left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right) = b \quad \text{и a-d a} \quad \left(x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{1}{n+1}} =$$

b или

$$x^{\frac{n}{n+1}} + a^{\frac{n}{n+1}} = b^{\frac{n}{n+1}}$$

или

$$x^{\frac{n}{n+1}} = b^{\frac{n}{n+1}} - a^{\frac{n}{n+1}}.$$

Из этого равенства получим решение

$$x = \left(b^{\frac{n}{n+1}} - a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{n+1}{n}}.$$

$$\text{Ответ: } x = \left(b^{\frac{n}{n+1}} - a^{\frac{n}{n+1}} \right)^{\frac{n+1}{n}}.$$

Пример 2. Решить уравнение $\sqrt[3]{x^2 \cdot \sqrt[3]{x^2 \cdot \sqrt[3]{x^2 \cdot \dots \cdot \sqrt[3]{x^2}}}} =$

2025.

Решение. Перепишем это уравнение следующим образом:

$$\sqrt[3]{x^2 \cdot \sqrt[3]{x^2 \cdot \sqrt[3]{x^2 \cdot \dots \cdot \sqrt[3]{x^2}}}} = x^{\frac{2}{3}} \cdot x^{\frac{2}{9}} \cdot x^{\frac{2}{27}} \cdot x^{\frac{2}{81}} \cdot \dots =$$

$$x^{2\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \frac{1}{81} + \dots\right)}$$

$$\text{и } \frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \frac{1}{81} + \dots$$

Вычислим сумму, используя формулу нахождения суммы бесконечно убывающей геометрической прогрессии.

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \frac{1}{81} + \dots = \frac{\frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}} = \frac{\frac{1}{3}}{\frac{2}{3}} = \frac{1}{2}. \text{ Затем } x^{2\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \frac{1}{81} + \dots\right)} =$$

$$x^{2 \cdot \frac{1}{2}} = x. \text{ Так, } x = 2025.$$

Ответ: $x = 2025$.

Пример 3. Решить уравнение $\sqrt{5\sqrt{3\sqrt{5\sqrt{3\dots}}}} = x$.

Решение.

$\sqrt{3\sqrt{5\sqrt{3\dots}}} = t$. Преобразуем и получим $\sqrt{3x} = t$, $\sqrt{5t} = x$, $t = \frac{x^2}{5}$, $\sqrt{3x} = t$ из равенства $\sqrt{3x} = \frac{x^2}{5}$ или $3x = \left(\frac{x^2}{5}\right)^2$ получим равенство. Из равенства получим $75x = x^4$ или $x_1 = 0$, $x_2 = x_3 = x_4 = \sqrt[3]{75}$, x_1 – не является корнем уравнения и $x = \sqrt[3]{75}$.

Ответ: $x = \sqrt[3]{75}$.

Пример 4. Решить уравнение $4\sqrt[n]{(ax-b)^2} + \sqrt[n]{(ax+b)^2} = 4\sqrt[n]{a^2x^2 - b^2}$, где $a \neq 0$, $n \in N$.

Решение: $x = \frac{b}{a}$ не удовлетворяет данному уравнению. Так, $x \neq \frac{b}{a}$, обе стороны данного уравнения можем разделить на выражение $\sqrt[n]{(ax-b)^2}$:

$$4 + \sqrt[n]{\left(\frac{ax+b}{ax-b}\right)^2} = 4\sqrt[n]{\frac{ax+b}{ax-b}}.$$

Здесь $\sqrt[n]{\frac{ax+b}{ax-b}} = t$, $t^2 - 4t + 4 = 0$; $t = 2$,

$$\sqrt[n]{\frac{ax+b}{ax-b}} = 2; \frac{ax+b}{ax-b} = 2^n; ax + b = 2^n(ax - b),$$

$$ax(1 - 2^n) = -b(1 + 2^n), x = \frac{b(2^n + 1)}{a(2^n - 1)}.$$

Ответ: $x = \frac{b(2^n + 1)}{a(2^n - 1)}$.

Пример 5. Решить уравнение $\left(\sqrt{2 + \sqrt{3}}\right)^x + \left(\sqrt{2 - \sqrt{3}}\right)^x =$

4.

Решение.

Умножим и разделим второй член на его знаменатель:

$$\left(\sqrt{2-\sqrt{3}}\right)^x = \left(\frac{\sqrt{2-\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2+\sqrt{3}}}{\sqrt{2+\sqrt{3}}}\right)^x = \frac{1}{\left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^x}.$$

$\left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^x = t, t \geq 0$, из данного уравнения $t + \frac{1}{t} - 4 = 0$, получим квадратное уравнение $t^2 - 4t + 1 = 0$.

Решением будут $t_1 = 2 - \sqrt{3}$; $t_2 = 2 + \sqrt{3}$, далее

$$\begin{aligned} \left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^x &= (2-\sqrt{3})^1 = \frac{1}{2+\sqrt{3}} = (2+\sqrt{3})^{-1} \\ &= \left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^{-2}, x_1 = -2; \end{aligned}$$

$$\left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^x = (2+\sqrt{3})^1 = \left(\sqrt{2+\sqrt{3}}\right)^2, x_2 = 2;$$

Ответ: -2 и 2 .

Пример 6. Решить уравнение $\sqrt[n]{(1+x)^2} - \sqrt[n]{(1-x)^2} = \sqrt[n]{1-x^2}$, $n \in N$.

Решение.

$x = 1$ противном случае уравнение не имеет решения. Так, $x \neq 1$.

Затем обе части делим $\sqrt[n]{(1-x)^2}$ и $\sqrt[n]{\frac{1+x}{1-x}} = t$:

$\sqrt[n]{\left(\frac{1+x}{1-x}\right)^2} - 1 = \sqrt[n]{\frac{1+x}{1-x}}; t^2 - t - 1 = 0$ получаем квадратное уравнение. Отсюда

$t_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2}; t_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$. Так как $t_2 < 0$, n – когда в парах t_2 – следует измениь. Поэтому рассмотрим две ситуации.:

$n = 2k$:

$$\sqrt[n]{\frac{1+x}{1-x}} = \frac{1+\sqrt{5}}{2}; \frac{1+x}{1-x} = \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n \text{ отсюда } x = \frac{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - 1}{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n + 1},$$

$n = 2k - 1$:

$$x_{1,2} = \frac{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - 1}{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n + 1}.$$

Ответ: $x = \frac{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - 1}{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n + 1}$, если $n = 2k$; $x_{1,2} = \frac{\left(\frac{1\pm\sqrt{5}}{2}\right)^n - 1}{\left(\frac{1\pm\sqrt{5}}{2}\right)^n + 1}$, если $n = 2k - 1$.

Пример 7. Решить уравнение $2a^{2pq}\sqrt[p+q]{x^{p+q}} = \sqrt[p]{x} + \sqrt[q]{x}$, $a > 1$, $p \neq q$.

Решение.

Перепишем данное уравнение следующим образом:

$$2ax^{2pq} - x^{\frac{1}{p}} - x^{\frac{1}{q}} = 0; x^{\frac{1}{q}} \left(2ax^{\frac{q-p}{2pq}} - x^{\frac{q-p}{pq}} - 1 \right) = 0.$$

Здесь $x^{\frac{1}{q}} = 0$ или $x_1 = 0$ или $2ax^{\frac{q-p}{2pq}} - x^{\frac{q-p}{pq}} - 1 = 0$, $x^{\frac{q-p}{2pq}} = t$ отмечено, $2at - t^2 - 1 = 0$ или $t^2 - 2at + 1 = 0$, получаем квадратное уравнение.

Решением будет

$$t = a \pm \sqrt{a^2 - 1} \quad , \quad x^{\frac{q-p}{2pq}} = a \pm \sqrt{a^2 - 1} \quad ; \quad x_{2,3} = (a \pm \sqrt{a^2 - 1})^{\frac{2pq}{q-p}}.$$

Ответ: $x_1 = 0, x_{2,3} = (a \pm \sqrt{a^2 - 1})^{\frac{2pq}{q-p}}$.

Пример 8. Решить уравнение $\sqrt{x-2 + \sqrt{2x-5}} + \sqrt{x+2 + 3\sqrt{2x-5}} = 7\sqrt{2}$.

Решение.

Так как $\sqrt{2x-5} = t > 0$, получим равенство $x = \frac{t^2+5}{2}$.

Подставляя это значение в данное уравнение,

$$\sqrt{\frac{t^2+5}{2} - 2 + t} + \sqrt{\frac{t^2+5}{2} + 2 + 3t} = 7\sqrt{2} \quad ; \quad \sqrt{\frac{t^2+2t+1}{2}} + \sqrt{\frac{t^2+6t+9}{2}} = 7\sqrt{2} ; \sqrt{t^2 + 2t + 1} + \sqrt{t^2 + 6t + 9} = 14 ; \sqrt{(t+1)^2} + \sqrt{(t+3)^2} = 14 \text{ или}$$

$$|t+1| + |t+3| = 14; t_1 = 9, t_2 = 5. t_1 < 0.$$

Отсюда, отбрасываем этот корень, получаем $\sqrt{2x-5} = 5$; $x = 15$.

Ответ: $x = 15$.

Приведенные примеры можно эффективно использовать для подготовки обучающихся к предметным олимпиадам по высшей математике, проведения внеклассных мероприятий, повышения самостоятельной активности обучающихся.

Список использованной литературы

1. Минорский В.П., Сборник задач по высшей математике. Москва: Наука, 1971. – с.151.
2. Ашыров О., Гурбанмамедов М., Солтанов Х., Алмазов М., *Ýokary matematika. II kitap.* Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012. –108 с.

УДК 519.23+519.246

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Пичугина Ника Юрьевна, Пичугин Юрий Александрович
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург,
Россия

Аннотация. В статье предлагается алгоритм оптимизации спектрального анализа стационарных временных рядов SSA-НС. Он основан на анализе главных компонент со смещенными оценками автоковариаций. Рассмотрены вычислительные аспекты нового алгоритма SSA-НС. Представлен численный пример, иллюстрирующий преимущества алгоритма SSA-НС перед другим алгоритмом SSA, который также использует смещенные оценки автоковариации (Р-SSA).

Ключевые слова: спектральный анализ, оптимизация, главные компоненты, повторяющиеся частоты, частотные наложения.

OPTIMIZATION OF SPECTRAL ANALYSIS OF STATIONARY TIME SERIE

Pichugina Nika Yuryevna, Pichugin Yury Alexandrovich
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, Russia

Abstract. The paper proposes an optimization algorithm for spectral analysis of stationary time series (SSA-HC). It is based on principal component analysis with biased autocovariance estimates. The computational aspects of the new SSA-HC algorithm are discussed. A

numerical example illustrating the advantages of the SSA-HC algorithm over another SSA algorithm that also applies biased autocovariance estimates (P-SSA) is presented.

Keywords: spectral analysis, optimization, principal components, repeating frequencies, frequency overlaps.

Как хорошо известно, стандартный спектральный анализ характеризуется избыточностью в том смысле, что оценивает дисперсии всех возможных частот (периодов), начиная с максимальной частоты, определяемой шагом дискретизации, т. е. начиная с минимального периода, и далее до минимальной частоты, т. е. до максимального периода, ограниченного длиной исследуемого ряда. Задача оптимизации здесь, в принципе, не ставится.

Начнем с того, что сформулируем задачу оптимизации спектрального анализа. Пусть рассматривается стационарный центрированный временной ряд $\{y_i\}_{i=1}^N$. Будем представлять этот ряд в виде вектора $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$, T – знак транспонирования. Рассмотрим следующее представление вектора \mathbf{Y}

$$\mathbf{Y} = \sum_{j=1}^k A_j \Phi_j + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

где векторы $\Phi_j (j = 1, 2, \dots, k)$ суть дискретные аналоги гармоник, также как и исходный ряд, представленные в виде векторов, $\boldsymbol{\varepsilon}$ – вектор погрешности уравнения (1), которое, в принципе, можно считать уравнением регрессии. Тогда задача оптимизации спектрального анализа вектора \mathbf{Y} может быть сформулирована как задача минимизации значения k при фиксированном значении остаточной дисперсии $(\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon})$, или как минимизация остаточной дисперсии при фиксированном значении k . Здесь следует сразу отметить, что в анализе временных рядов, как и при вычислении количества информации по Шенону [1], предпочтение отдается смещенным оценкам (см. ниже).

Первой существенной попыткой оптимизировать спектральный анализ стало применение метода главных

компонент, где в качестве векторов $\Phi_j (j=1,2,\dots,k)$ в формуле (1) используются собственные векторы автоковариационной матрицы исходного ряда \mathbf{C} . Эти собственные векторы являются дискретными аналогами гармоник в случае, когда элементы матрицы \mathbf{C} с достаточной точностью могут быть аппроксимированы формулой

$$c_{ij} = \sigma^2 e^{-p|i-j|}, \quad (2)$$

где $p > 0$, а σ^2 дисперсия члена исходного ряда, что в основном и имеет место в реальных временных рядах. Оптимальность здесь базируется на том, что метод главных компонент непосредственно связан с методом наименьших квадратов, т. е. с минимизацией $\mathbf{\epsilon}^T \mathbf{\epsilon}$ (см. [2]). В зарубежной научной литературе, а как следствие, и в отечественной, такой подход именуется анализом сингулярного спектра (singular spectrum analysis - SSA). Однако до 2001 г. (до появления работы [3]) под SSA обычно понимали метод «гусеницы» [4], используемый для нестационарных рядов, или для стационарных рядов метод VG-SSA, основанный на несмещенному оценивании (см. ниже).

В работе [3] в SSA впервые были применены смещенные оценки автоковариаций и выявлены следующие проблемы, поставившие под сомнение применимость SSA. Во-первых, два различных собственных вектора автоковариационной матрицы могут соответствовать одной и той же частоте (одному периоду), как функции $\sin x$ и $\cos x$, что далеко не соответствует задаче оптимизации спектрального анализа. Во-вторых, начиная с некоторого номера в порядке убывания спектра формы собственных векторов перестают быть дискретными аналогами чистых гармоник из-за частотных наложений (см. ниже). Наличие этих проблем, в принципе, не может зависеть от типа оценок автоковариаций.

Здесь мы рассмотрим другой подход к решению задачи оптимизации спектрального анализа, который представляет собой следующий алгоритм, состоящий из четырех шагов:

1. Центрирование исходного ряда и вычисление автоковариаций, т. е. элементов автоковариационной матрицы (C_{ij} , см. выше).

2. Вычисление собственного вектора автоковариационной матрицы, отвечающего наибольшему собственному значению, т. е. наибольшей дисперсии.

3. Оценка периода вычисленного собственного вектора.

4. Извлечение периодичности, полученной на третьем шаге, из исходного центрированного ряда и оценка объясняемой ею дисперсии.

Этот алгоритм следует повторять до тех пор, пока дисперсия исходного ряда не снизится до требуемой величины.

Результатом k последовательных применений этого алгоритма к центрированному ряду $\mathbf{Y}_0 = \mathbf{Y}$ будет последовательность значений периодов и соответствующих этим периодам дисперсий $\{T_j, \Delta \text{var}_j\}_{j=1}^k$, а также ряд \mathbf{Y}_k , который не содержит перечисленных (извлеченных) периодичностей (см. ниже).

Рассмотрим техническую сторону каждого из перечисленных шагов предложенного алгоритма, который назовём SSA-HC (head of cabbage – кочан капусты), т. к. мы извлекаем из ряда периодичности одну за другой, как «раздеваем» кочан капусты, снимая один лист за другим.

На **первом шаге** операция центрирования не вызывает вопросов, кроме разве того, что неплохо к ней добавить извлечение линейного тренда. Однако оценка ковариаций требует особого внимания. У многих исследователей популярны несмещенные оценки вида

$$c_{ij} = c(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{l=1}^{N-k} y_l y_{l+k}, \quad (3)$$

где N – длина исходного ряда, $c(k)$ – ковариация членов ряда, сдвинутых относительно друг друга на k шагов, $k = |i - j|$

– величина относительного сдвига, y_l – l -й элемент центрированного исходного ряда. Следует уточнить, что SSA, основанный на несмещеннем оценивании, как мы уже отметили

выше, называют VG-SSA в честь авторов работы, где такие оценки были применены в SSA впервые (см. [5]).

Однако в SSA-НС, как и в SSA, следует применять смещённые оценки вида

$$c_{ij} = c(k) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^{N-k} y_l y_{l+k}.$$

Использование смещённых оценок было предложено Г. Дженкинсом и Д. Ваттсом [6], которые, рассматривая непрерывный процесс с непрерывным аналогом формулы (2), показали, что дисперсия смещённых оценок стремится к нулю при увеличении длины ряда, а дисперсия несмещённых оценок неограниченно возрастает. Кроме этого, в работе [7] было обнаружено, что при вычислении спектров автоковариационных матриц температурных временных рядов сравнительно небольшой длины ($N = 41$) при использовании несмещённых оценок (3) могут появиться до девяти отрицательных собственных значений.

Второй шаг на первый взгляд кажется наиболее трудоемким. Однако использование итераций фон Мизеса и учет того, что все строки автоковариационной матрицы \mathbf{C} могут быть получены из первой строки, позволяют решать эту задачу для любого размера матрицы \mathbf{C} (для любой длины ряда N).

Действительно, пусть \mathbf{X}^n есть нормированное n -е приближение собственного вектора матрицы \mathbf{C} . Тогда следующее приближение равно $\mathbf{X}^{n+1} = \mathbf{C}\mathbf{X}^n$ с последующим нормированием \mathbf{X}^{n+1} .

Компоненты вектора \mathbf{X}^{n+1} можно получить по формуле

$$x_i^{n+1} := \sum_{j=1}^N c(|i-j|) x_j^n \quad (i = 1, 2, \dots, N),$$

где нижний индекс есть номер компоненты вычисляемого вектора. Останавливаем процесс, когда скалярное произведение двух нормированных последующих приближений удовлетворяет неравенству

$$(\mathbf{X}^{n+1})^T \mathbf{X}^n < \varepsilon,$$

где ε задает точность вычислений.

Здесь следует отметить, что алгоритм, используемый на этом шаге, дает собственный вектор, который отвечает максимальному

собственному значению автоковариационной матрицы \mathbf{C} (подробнее, см. [8]).

На **третьем шаге** алгоритма для оценки периода полученного собственного вектора \mathbf{X} применяем следующую формулу (см. [3])

$$T_j = 2 \frac{z_m - z_1}{m - 1},$$

где j – номер повторения SSA-НС, m – количество нулей вектора \mathbf{X} (количество ситуаций $x_i x_{i+1} \leq 0$ или, что мало вероятно, $x_i = 0$, $i = 1, 2, \dots, N$), z_1 и z_m первый и последний нули вектора \mathbf{X} . При этом значения z_1 и z_m , которые вначале получаются как целые числа из соответствующих значений i (см. выше) можно (и нужно) уточнить, сделав вещественными, т. к. наш исходный ряд суть дискретное представление непрерывного процесса. Это уточнение не вызывает затруднений в силу того, что в окрестности нуля синусоида близка к прямой.

Для завершающего **четвертого шага** определим следующие векторы (столбцы) $\Phi_s(T_j)$ и $\Phi_c(T_j)$ компоненты которых вычислим по соответствующим формулам (нижний индекс j , как мы уже отмечали выше, соответствует количеству повторов применения данного алгоритма, т. е. при первом применении $j = 0$)

$$\begin{aligned} \varphi_{si} &= \sin((i-1)2\pi/T_j) \text{ и } \varphi_{ci} = \cos((i-1)2\pi/T_j) \\ (i &= 1, 2, \dots, N). \end{aligned}$$

Из этих векторов-столбцов сконструируем матрицу размерности $N \times 2$

$$\Phi(T_j) = (\Phi_s(T_j), \Phi_c(T_j))$$

и оценим вектор коэффициентов

$$\beta_j = (\beta_{sj}, \beta_{cj})^T = (\Phi^T(T_j) \Phi(T_j))^{-1} \Phi^T(T_j) \mathbf{Y}_j \quad (4)$$

(нижний индекс j соответствует количеству повторов применения данного алгоритма, т. е. при первом применении $j = 0$). Тогда получим новый ряд по формуле

$$\mathbf{Y}_{j+1} = \mathbf{Y}_j - \beta_{sj} \Phi_s(T_j) + \beta_{cj} \Phi_c(T_j).$$

Как видно из формулы (4) мы применяем в оценке коэффициентов β_{sj} и β_{cj} метод наименьших квадратов, не рассчитывая на абсолютную ортогональность векторов $\Phi_s(T_j)$ и $\Phi_c(T_j)$, которая имеет место лишь в случае, когда N делится нацело на половину периода T_j . Для представления (1), когда нужно минимизировать число слагаемых k , вместо пары векторов $\Phi_s(T_j)$ и $\Phi_c(T_j)$ возьмем вектор Φ_j с компонентами

$$\varphi_{ji} = \sin((i-1)2\pi/T_j + \psi_{0j}), \text{ где } \psi_{0j} = \arcsin(\beta_{cj}/\sqrt{\beta_{sj}^2 + \beta_{cj}^2}),$$

а коэффициент $A_j = \sqrt{\beta_{sj}^2 + \beta_{cj}^2}$.

Дисперсию, которая объясняется извлеченной j -й периодичностью, оценим как

$$\Delta var_j = \mathbf{Y}_j^T \mathbf{Y}_j - \mathbf{Y}_{j+1}^T \mathbf{Y}_{j+1}.$$

Общую дисперсию центрированного ряда \mathbf{Y}_j не следует путать с дисперсией члена этого ряда, смещённая оценка которой равна

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{N} \mathbf{Y}_j^T \mathbf{Y}_j.$$

На рис. 1 в качестве примера приведен рост накопленной дисперсии (НД) на первых 15-и шагах SSA-HC и P-SSA, т. е. SSA, который также основан на смещенном оценивании (название P-SSA аналогично VG-SSA, см. выше) применительно к ряду приземной температуры воздуха СПб за период 1881 – 2000 гг. ($N = 120$, источник данных [9]). Значения НД приведены в процентах от общей дисперсии исходного ряда. При этом в случае применения SSA-HC и в случае применения P-SSA (см. выше) эти значения, соответственно, равны

$$\text{НД}_j = \frac{100\% \sum_{l=1}^j \Delta var_l}{\mathbf{Y}_0^T \mathbf{Y}_0}, \quad \text{НД}_j = \frac{100\% \sum_{l=1}^j \lambda_l}{\mathbf{Y}_0^T \mathbf{Y}_0}.$$

В последнем случае λ_l есть l -е собственное значение автоковариационной матрицы исходного ряда.

Наблюдаемое на рис. 1 явное превосходство SSA-НС над Р-SSA объясняется тем, что на первом шаге SSA-НС определен (и извлечен из ряда, см. выше) период 13 лет, который объясняет 7,912 % общей дисперсии. В методе Р-SSA этот же период 13 лет появляется на первом и четвертом шагах с долями дисперсии 3,915 % и 3,873 %, соответственно. При этом $7,912\% > 3,915\% + 3,873\% = 7,787\%$. Последнее объясняется тем, что в собственных векторах автоковариационной матрицы, полученных в методе Р-SSA, есть частотные наложения. Аналогичная ситуация имеет место и с периодом 7,752 года, который в SSA-НС появляется на втором шаге и объясняет 8,163 % общей дисперсии. В Р-SSA же такой же период появляется на втором и пятом шагах, объясняя 3,741 % и 3,744 % общей дисперсии, соответственно, что также в сумме дает меньшую величину, чем этот же период в методе SSA-НС, и т. д.

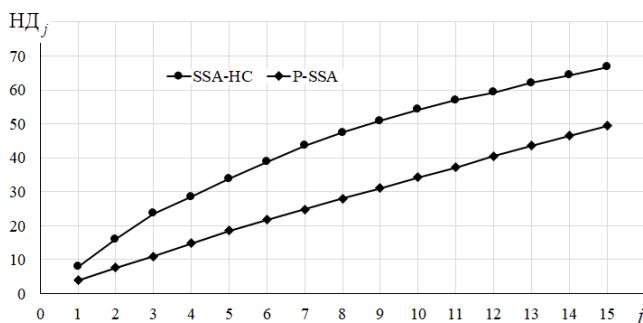


Рисунок 1 – Рост накопленной дисперсии (НД_j) при использовании методов SSA-НС и Р-SSA в анализе ряда среднегодовой приземной температуры СПб (120 лет)

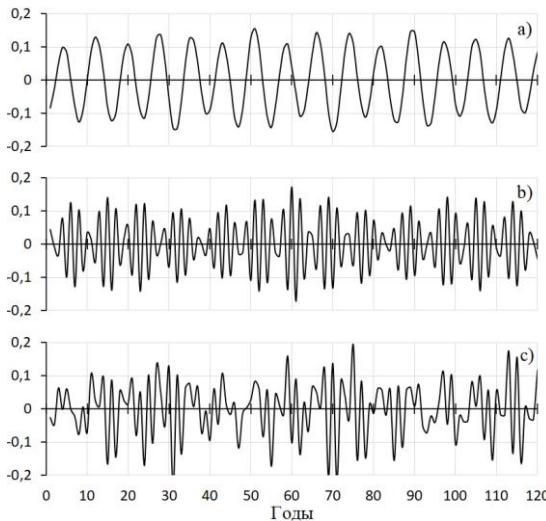


Рисунок 2 – Собственные векторы (а – 5-й, б – 6-й, в – 7-й) автоковариационной матрицы (P-SSA) ряда среднегодовой приземной температуры СПб (120 лет)

Как было отмечено выше, корректность P-SSA, а, следовательно, и корректность данного сравнения теряется из-за того, что начиная с некоторого шага (в нашем примере с 6-го) собственные векторы автоковариационной матрицы, полученные в P-SSA, все заметнее отклоняются по своей форме от гармоник из-за частотных наложений (см. рис. 2).

В тоже время при повторении алгоритма SSA-НС мы каждый раз заново вычисляем автоковариационную матрицу и вычисляем только первый собственный вектор. При этом, как показывает опыт, в этом первом векторе, если и наблюдаются некоторые отклонения от идеальной гармонической формы, то весьма незначительные, не препятствующие адекватной оценке периода. Но главное, что следует подчеркнуть, в методе SSA-НС исходный ряд раскладывается в сумму гармоник, а не их приблизительного подобия.

Список использованной литературы

1. Пичугин Ю. А. Особенности использования информации по Шенону в задачах, связанных с линейной регрессией // Научно-

- технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. Т. 12, № 3, 2019. С. 164–176.
2. Пичугин Ю. А. Замечания к использованию главных компонент в математическом моделировании // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2018. Т. 11. № 3. С. 74-89.
3. Пичугин Ю. А. Итерационный анализ сингулярного спектра в оценке естественных цикличностей данных метеорологических наблюдений // Метеорология и гидрология. 2001. № 10. С. 34–39.
4. Данилов Д. Л. и Жиглявский А. А. (Ред.). Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница», Изд. СПбГУ, 1997. 308 с.
5. Vautard, R., and M. Ghil (1989): "Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series", *Physica D*, 35, 395-424.
6. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Пер. с англ. В 2-х вып. Выпуск 1. М.: Мир, 1971. 320с.
7. Пичугин Ю. А. Оценка статистической значимости и пространственной неоднородности линейных трендов приземной температуры воздуха // Известия Русского географического общества. 2003. Т. 135. № 6. С. 78–84.
8. Пичугин Ю. А. Вычислительные особенности анализа сингулярного спектра // Сборник тезисов докладов II Международного форума «Математические методы и модели в высокотехнологическом производстве». 9 ноября 2022 г. Санкт-Петербург: ГУАП, 2022. С. 259–260
9. Погода и климат. Летопись погоды в Санкт-Петербурге (по online данным и литературным источникам). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/26063.htm>. Дата обращения 15. 07. 2024.

УДК 001.891.573:624.138

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГИДРОВЗРЫВНОГО УПЛОТНЕНИЯ ЛЁССОВ
УДЛИНЁННЫМИ ЗАРЯДАМИ**

Тарасенко Елена Олеговна¹, Тарасенко Галина Васильевна²

¹ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г.
Ставрополь, Россия
²МБОУ СОШ №22, г. Ставрополь, Россия

Аннотация. Просадочные лёссовые грунты широко распространены на территории России, преимущественно в регионах Северного Кавказа, Юга России. Характерной особенностью лёсса является макропористая структура, способствующая проникновению воды в грунт. Что приводит к стремительному размоканию и существенным просадкам от собственного веса. Для исключения просадочности лёсса применяется метод уплотнения грунтов глубинными гидровзрывами. Преимуществами метода отмечены простота его реализация и экономическая эффективность при реализации инженерно-технологического процесса уплотнения. В статье проведено исследование уплотнения лёсса глубинными гидровзрывами удлинённых зарядов взрывчатого вещества средствами математического моделирования. Разработана математическая модель уплотнения просадочного грунта, основанная на дифференциальном уравнении в частных производных параболического типа. Построены аналитические решения начально-границных задач для случаев уплотнения лёсса без выброса и с выбросом грунта на поверхность. Предложенные математические соотношения позволяют численно оценить плотность уплотнённого гидровзрывом лёсса на различной глубине просадочной толщи. Проведён вычислительный эксперимент по оценке плотности грунта в результате уплотнения без выброса и с выбросом грунта на поверхность в зависимости от физико-механических свойств грунта. В обоих случаях значения плотности грунта в зоне расположения заряда взрывчатого вещества и ниже мало отличимые. После проведения уплотнения гидровзрывом удлинённых зарядов взрывчатого вещества верхний буферный слой котлована дополнительно доуплотняют поверхностными методами.

Ключевые слова: математическое моделирование, лёсс, уплотнение грунтов, гидровзрыв, вычислительный эксперимент.

MATHEMATICAL MODELING OF HYDROBLOSiVE COMPACTION OF LOESSES WITH LONG CHARGES

Tarasenko Elena Olegovna¹, Tarasenko Galina Vasilievna²

¹*North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*

²*Secondary School No. 22, Stavropol, Russia*

Abstract. Subsidence loess soils are widespread in Russia, mainly in the regions of the North Caucasus and the South of Russia. A characteristic feature of loess is its macroporous structure, which facilitates water penetration into the soil. This leads to rapid soaking and significant subsidence from its own weight. To eliminate subsidence of loess, the method of soil compaction by deep hydraulic blasts is used. The advantages of the method are its simplicity of implementation and cost-effectiveness in the implementation of the engineering and technological process of compaction. The article studies the compaction of loess by deep hydraulic blasts of elongated explosive charges using mathematical modeling. A mathematical model of compaction of subsidence soil has been developed, based on a differential equation in partial derivatives of parabolic type. Analytical solutions of initial-boundary value problems have been constructed for cases of loess compaction without and with soil ejection to the surface. The proposed mathematical relationships allow one to numerically estimate the density of loess compacted by hydraulic blasts at different depths of the subsidence layer. A computational experiment was conducted to estimate the soil density as a result of compaction without and with soil ejection onto the surface depending on the physical and mechanical properties of the soil. In both cases, the soil density values in the explosive charge location zone and below are hardly distinguishable. After compaction by hydraulic blasting of extended explosive charges, the upper buffer layer of the pit is additionally compacted using surface methods.

Keywords: mathematical modeling, loess, soil compaction, hydraulic blast, computational experiment.

Введение

Лёссовые просадочные грунты встречаются во всём мире. В нашей стране преимущественно сконцентрированы в Северо-Кавказском и Южном регионах страны [1, 2]. Проектирование и возведение прочных и долговечных зданий, сооружений на таких грунтах является актуальной задачей инженеров-строителей [3, 4]. Просадочные грунты имеют мощность до 50 метров и являются основным типом грунтовых оснований в указанных регионах.

Лёссам свойственны низкая плотность, макропористость, размокаемость, просадки [1, 2].

Существуют различные методы устранения просадочности лёссов. В статье рассмотрим уплотнение грунтов глубинными гидровзрывами с предварительным замачиванием котлованов [5].

Исследование уплотняемых геологических систем глубинными взрывами средствами математического моделирования является многогранной задачей, учитывающей различные свойства грунтов и особенности реализации инженерно-технологического процесса уплотнения грунтов [6, 7].

Математическое моделирование

Уплотнение просадочных лёссовых грунтов глубинными гидровзрывами реализуется двумя способами: сосредоточенными и удлинёнными зарядами взрывчатого вещества. Применение удлинённых зарядов предложил Ю.М. Абелев [4].

Математическую модель уплотнения просадочных грунтов глубинными гидровзрывами опишем дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа [7]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=x,y,z} \frac{\partial(u_i q)}{\partial i} + \alpha q = \sum_{i=x,y,z} \left(\frac{\partial}{\partial i} \sum_{j=x,y,z} K_{ij} \frac{\partial q}{\partial j} \right) + f \quad (1)$$

зададим начальное условие

$$q(t_0, x, y, z) = Q \cdot \delta(x - x^0) \delta(y - y^0) \delta(z - z^0), \quad (2)$$

определим граничные условия

$$K_{zz} \frac{\partial q}{\partial z} \Big|_{z=z^0} = 0, \quad t > t_0, \quad (3)$$

$$q(t, x, y, z) \Big|_{z=z^0} = 0, \quad t > t_0, \quad (4)$$

здесь $q(t, x, y, z)$ – плотность уплотнённого грунта в момент времени t ; u – вектор горизонтального сноса газа; K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} – диффузионные параметры; α – коэффициент взаимодействия газа и грунта; Q – мощность заряда взрывчатого вещества; δ – дельта-функция.

Начально-граничные задача (1) – (3) соответствует описанию уплотнения лёсса глубинными гидровзрывами с выбросом грунта на поверхность. Задача (1), (2), (4) – уплотнение лёсса без выброса на поверхность.

Мощность источника взрывчатого вещества определяется его интенсивностью и количеством газа, выбрасываемого за единицу времени. В методе уплотнения грунта источник взрывчатого вещества является линейным, так как заряд

взрывчатого вещества удлинённый, и сосредоточенным на интервале $[a, b]$. Располагается на прямой, параллельной вертикальной оси Oz . Аналитическое представление мощности источника газа зададим в виде

$$Q = \begin{cases} Q, z \in [a, b], \\ 0, z \notin [a, b] \end{cases} \quad (5)$$

и

$$R(t, x, y, z) = \delta(t - t_0) \cdot \delta(x - x^0) \cdot \delta(y - y^0). \quad (6)$$

Тогда функцию источника (1) определим в виде

$$f(t, x, y, z) = Q \cdot \delta(t - t_0) \cdot \delta(x - x^0) \cdot \delta(y - y^0). \quad (7)$$

Вектор горизонтального сноса и постоянен и направлен вдоль горизонтальной оси Ox (т.е. компоненты $u_y = u_z \equiv 0$). Газ, выделяемый при взрыве, не вступает в реакцию с окружающим его грунтом и не разлагается, $\alpha = 0$.

Линейный заряд взрывчатого вещества можно представить, как совокупность нескольких точечных источников. Каждый из которых расположен на глубине $z_k = H_k$, характеризуется своей мощностью Q_k и определяется положением в пространстве (x, y, H_k) , ($k = 1, 2, \dots, n$). Суммарная мощность источника задаётся как сумма мощностей отдельных источников.

Решение начально-граничной задачи (1) – (3) при удлинённых зарядах взрывчатого вещества определяется соотношением:

$$\begin{aligned} q(t, x, y, z) &= \sum_{k=1}^n q(t, x, y, z_k) = \\ &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{Q_k}{(4\pi t)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \right. \\ &\quad \times \exp \left\{ -\frac{(x - u_x \cdot t)^2}{4\sigma_x^2 \cdot t} - \frac{y^2}{4\sigma_y^2 \cdot t} \right\} \times \\ &\quad \times \left. \left[\exp \left\{ -\frac{(z - H_k)^2}{4\sigma_z^2 \cdot t} \right\} + \exp \left\{ -\frac{(z + H_k)^2}{4\sigma_z^2 \cdot t} \right\} \right] \right); \end{aligned} \quad (8)$$

решение задачи (1), (2), (4) имеет вид

$$\begin{aligned} q(t, x, y, z) &= \sum_{k=1}^n q(t, x, y, z_k) = \\ &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{Q_k}{(4\pi t)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \exp \left\{ -\frac{(x - u_x \cdot t)^2}{4\sigma_x^2 \cdot t} - \frac{y^2}{4\sigma_y^2 \cdot t} \right\} \times \\
& \times \left[\exp \left\{ -\frac{(z - H_k)^2}{4\sigma_z^2 \cdot t} \right\} - \exp \left\{ -\frac{(z + H_k)^2}{4\sigma_z^2 \cdot t} \right\} \right], \quad (9)
\end{aligned}$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – дисперсионные координатные изменения атомов газа в грунте.

Вычислительный эксперимент

Проведём вычислительный эксперимент по предложенной математической модели гидровзрывного уплотнения лёссов удлинёнными зарядами взрывчатого вещества. Рассмотрим примеры решения задач (1) – (3) и (1), (2), (4) без выброса и с выбросом грунта на поверхность, соответственно.

Предположим, что средняя плотность сухого грунта до его уплотнения равнялась $q(t_0, x, y, z) = 1,42 \text{ г/см}^3$. Уплотнение лёсса проводится взрывами зарядов взрывчатого вещества с суммарной массой $Q_k = 5 \text{ кг}$ ($5 \times 1 \text{ кг}$). Заряды помещаются в скважины на глубину 6 м. Лёсс ортотропен в вертикальном направлении. Дисперсионные координатные изменения атомов газа равны $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0,664$.

Расчёты проведём с использованием программы, разработанной на языке программирования высокого уровня Python.

Таблица 1 – Значения плотности уплотнённого грунта на различной глубине

Глубина, м	Плотность грунта при уплотнении без выброса на поверхность, г/см^3	Плотность грунта при уплотнении с выбросом на поверхность, г/см^3
3	1,7219	1,6214
4	1,6714	1,6235
5	1,6481	1,6251
6	1,6387	1,6274
7	1,6337	1,6301
8	1,6343	1,6367
9	1,6384	1,6428
10	1,6475	1,6527
11	1,6634	1,6663
12	1,6936	1,6871

В таблице 1 представлены расчётные значения плотности уплотнённого грунта гидровзрывами удлинённых зарядов по предложенным решениям (8) и (9) без выброса и с выбросом грунта на поверхность, соответственно.

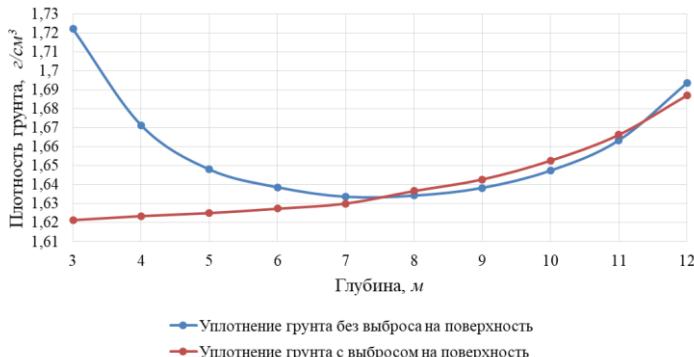


Рисунок 1 – Графическое представление численного решения начально-граничных задач (1) – (3) и (1), (2), (4)

Геометрическая интерпретация полученных численных результатов вычислительного эксперимента приведена на рисунке 1. Построены зависимости плотности уплотнённого грунта на различной глубине для случаев реализации уплотнения грунтов гидровзрывом без выброса и с выбросом грунта на поверхность.

Расчётные значения плотности уплотнённого грунта на различной глубине при уплотнении без выброса на поверхность принимают значения в интервале $q \approx 1,6337 - 1,7219 \text{г}/\text{см}^3$, при уплотнении грунта с выбросом на поверхность – $q \approx 1,6214 - 1,6871 \text{г}/\text{см}^3$. На глубине заложения заряда взрывчатого вещества расхождение значений плотности составило 0,0113. Далее при заглублении эта величина не превосходит значения 0,0065. Однако, при уменьшении глубины расчёта плотности фиксируется более значительное расхождение от 0,023 до 0,1005. Это объясняется случаем выброса грунта на поверхность.

В обоих случаях плотность грунта превосходит значение $1,6 \text{г}/\text{см}^3$, что позволяет отнести грунт к непросадочным.

После проведения глубинных взрывов верхний буферный слой котлована доуплотняется поверхностными методами уплотнения грунтов.

Заключение

В результате проведённого исследования построена математическая модель уплотнения просадочных лёссов гидровзрывом удлинённых зарядов взрывчатого вещества. Основой модели служит пространственное дифференциальное уравнение в частных производных параболического типа. Описаны начальное и граничные условия для случаев уплотнения лёсса без выброса и с выбросом грунта на поверхность. Аналитически решены начально-граничные задачи.

Предложенные решения позволяют численно оценить плотность уплотнённого грунта на различной глубине. Проведён вычислительный эксперимент, учитывающий физико-механические характеристики грунта и особенности взрывчатого вещества, глубины его заложения в просадочную толщу. Расчёты проводились с точностью достаточной для инженерных расчётов

Список использованной литературы

1. Трофимов В.Т., Балыкова С.Д., Болиховская Н.С. Лёссовый покров Земли и его свойства. – М.: МГУ, 2001. – 464 с.
2. Ананьев В.П. Лессовый покров России. – М.: Юриспруденция, 2004. – 112 с.
3. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. – М.: АСВ, 2013. – 544 с.
4. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах / Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1979. – 271 с.
5. Галай Б.Ф. Уплотнение просадочных грунтов глубинными взрывами. – Ставрополь: Сервисшкола; СКФУ, 2015. – 240 с.
6. Tarasenko, E.O. Mathematical modeling of the strength properties of lesses by the method of correlation-regression analysis // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2024, Vol. 20. Is. 1. – P. 171-181. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-1-171-181>
7. Tarasenko, E.O. Estimation of the vertical diffusion coefficient of gas in compacted soils by means of mathematical modeling // Trudy ISP RAN /Proc. ISP RAS. – 2024, Vol. 36. Is. 5. – P. 181-190. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2024-36\(5\)-13](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2024-36(5)-13)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ППП MS EXCEL ПРИ АНАЛИЗЕ УСЛОВИЙ КРЕДИТА

*Токошева Жазгул Аскарбековна,
Баатырбекова Аяна Чынгызовна*

*ОшГУ институт экономики, бизнеса и менеджмента, г. Ош,
Кыргызстан, jtokosheva@mail.ru*

Аннотация. В настоящее время кредиты приобрели большую популярность среди населения. В данной статье рассматривается, как самостоятельно вычислить процентную ставку по кредиту, оформленному на конкретный срок.

Ключевые слова: кредит, кредитный калькулятор, ППП Microsoft Excel.

USING THE MS EXCEL PPP FUNCTION WHEN ANALYZING LOAN TERMS

*Tokosheva Zhazgul Askarbekovna,
Baatyrbekova Ayana Chyngyzovna*

Osh State University Institute of Economics, Business and Management, Osh, Kyrgyzstan, jtokosheva@mail.ru

Abstract. Currently, loans have become very popular among the population. This article discusses how to calculate the interest rate on a loan for a specific period of time.

Keywords: loan, credit calculator, Microsoft Excel.

В настоящее время спрос на кредиты среди населения значительно возрос. Это связано с низким уровнем покупательской способности граждан: результаты остаются на прежнем уровне, в то время, как это показано. В результате многие люди во всем мире обращаются к кредитам. Однако такой подход не всегда рационален: зачастую погашение одного кредита происходит за счет другого, что ведет к накоплению

задолженности. Это отрицательно сказывается как на личной репутации граждан, так и на экономике в целом.

Важно также учитывать положительные стороны кредитования. Для физических и юридических лиц кредиты могут стать стартовым капиталом для реализации различных идей и проектов. Если проект окажется успешным, кредит может оправдать себя и принести пользу заемщику.

Если всё же возникла необходимость взять кредит, необходимо подойти к этому вопросу ответственно и тщательно оценить все возможные последствия. Кроме того, важно заранее рассчитать суммы выплат на протяжении всего срока кредита, что можно сделать с помощью кредитного калькулятора в Microsoft Excel.

Прежде чем начать работать с кредитным калькулятором, важно внимательно изучить кредитные операции и разобраться в различных типах платежей по кредиту. Этот анализ и планирование активно используются в банковской практике.

В связи с этим в Microsoft Excel стали популярными несколько направлений для решения задач, связанных с кредитами: создание плана погашения займа, расчет полной стоимости долга с учетом всех выплат и поступлений, а также анализ эффективности кредитных операций как для заемщика, так и для кредитора. [1, с.17].

Решение задач, связанных с различными кредитными операциями, можно осуществить как с помощью простых арифметических преобразований, так и через создание более сложных математических моделей. Для упрощения расчетов по кредитам и повышения эффективности работы в этой области стали использовать специальные программы. Они предназначены для решения финансовых задач и обеспечивают широкий спектр расчетов. На данный момент самой известной программой для расчета кредитных операций является Microsoft Excel.

Прежде чем приступить к расчетам, стоит рассмотреть виды платежей по кредиту. Существуют два основных типа: аннуитетный и дифференцированный. Аннуитетный платеж предполагает, что заемщик вносит одинаковую сумму

ежемесячно на протяжении всего срока кредита. В отличие от него, дифференцированный платеж предполагает, что сумма платежей уменьшается по мере погашения долга; он состоит из фиксированной доли основного долга и процентов на оставшуюся сумму. Каждый банк самостоятельно определяет тип платежа, в соответствии с которым заемщик погашает кредит.

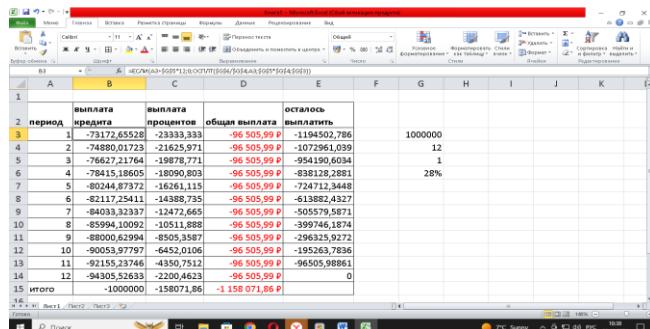
Теперь давайте перейдем к созданию кредитного калькулятора. Большинство российских банков предлагают кредиты по аннуитетной системе, что означает, что сумма выплаты остается одинаковой каждый месяц, но соотношение между процентами и основным долгом изменяется.

Для построения простого кредитного калькулятора по аннуитетным платежам в Microsoft Excel необходимо знать некоторые данные. Допустим, что кредит был взят на сумму 100 ты. сом. с годовой ставкой 28% на 1 год. Теперь необходимо найти сумму ежемесячных выплат. Для этого воспользуемся финансовой функцией **ПЛТ()**. Затем в открывшемся окне заполняем аргументы функции: в строке «Ставка» пишем годовую ставку /12; в строке «Кпер»-срок кредита; в строке «Пс» - сумму кредита; в строке «Бс»-конечный баланс по кредиту; в строке «Тип» - соответствующий тип в логическом значении при начислении банком ежемесячной суммы на конец месяца. Далее рассчитаем общую сумму выплат путем умножения суммы ежемесячных выплат на срок кредита. Вычислим переплату по кредиту путем вычитания из общей суммы выплат суммы кредита. Результаты вычислений приведены на рис.1.

Простой кредитный калькулятор аннуитетных платежей				
1	A	B	C	D
2				
3	Сумма кредита	1000000		
4	годовая ставка	28%	28%	
5	срок кредита (мес.)	12		
6				
7	Сумма ежемес. выплат	-96 505,99р.		
8	Общая сумма выплат	-1 158 071,86р.		
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Рисунок 1– Создание кредитного калькулятора аннуитетных платежей

Для более подробного расчета добавим детализацию выплат по каждому месяцу. Для этого рассмотрим выплату кредита, выплату процентов, общую выплату, остаток выплаты по каждому периоду. При вычислении выплаты кредита в Microsoft Excel воспользуемся финансовой функцией **ОСПЛТ()**. Заполним ее аргументы аналогично функции **ПЛТ()**, при этом закрепим ссылки на ячейки «Ставка», «Кпер» и «Пс». Затем полученное значение протянем на все периоды и увидим увеличение суммы выплат по кредиту. Для вычисления выплат процентов по кредиту применим финансовую функцию **ПРПЛТ()**, заполнив ее аргументы аналогично функции **ОСПЛТ()**. При протягивании вниз полученного значения можно увидеть уменьшение выплат процентов по кредиту. Таким образом, можно заметить, что общая сумма выплат состоит из суммы выплаты кредита и выплаты процентов по нему. Для проверки правильности вычислений найдем ее. В итоге, общая сумма выплат в каждом периоде одинаковая и равна сумме ежемесячных выплат. Для вычисления остатка по первому периоду из суммы кредита вычитаем выплату кредита в первом периоде. Для вычисления остатка по всем остальным периодам из закрепленной суммы кредита вычитаем сумму всех выплат, сделанных по прошлым периодам, при этом первую выплату по кредиту в данном диапазоне необходимо закрепить. [3]. На рис.2 можно увидеть полную детализацию кредита по каждому периоду.



период	выплата кредита	выплата процентов	общая выплата	остаток выплаты	выплаты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
						1000000	12	1	28%	0										
1	-655528	-23833,99	-96 505,99	-1094502,786																
2	-74890,01723	-21629,771	-96 505,99	-1072561,039																
3	-76627,21764	-19879,771	-96 505,99	-994190,6034																
4	-78415,18605	-18090,803	-96 505,99	-838123,2881																
5	-80244,87372	-16761,115	-96 505,99	-724712,3448																
6	-82117,25411	-14388,735	-96 505,99	-613882,4327																
7	-84033,32337	-12472,665	-96 505,99	-505579,8571																
8	-85994,10092	-10511,888	-96 505,99	-399746,1874																
9	-88000,62994	-8505,3587	-96 505,99	-296325,9272																
10	-90059,79779	-6452,0106	-96 505,99	-195263,7836																
11	-92155,23746	-4350,7512	-96 505,99	-96505,98861																
12	-94305,52633	-2200,4623	-96 505,99	-1 158 071,86																
15	итого	-1000000	-158071,86																	

Рисунок 2 – Детализация кредита по каждому периоду, выплачиваемого аннуитетными платежами

В приведенной ниже диаграмме (рис.3) можно проследить, как происходит погашение кредита аннуитетными платежами. По данной диаграмме можно заметить, что при аннуитетных платежах по кредиту сумма платежа всегда одинаковая, но сначала заемщиком банка выплачивается сумма, большую долю которой составляют проценты за кредит.

Таким образом, каждый человек может легко рассчитать проценты выплат по взятому кредиту любого типа за каждый период в Microsoft Excel путем создания простого кредитного калькулятора.

Список использованной литературы

1. Банки и небанковские кредитные организации и их операции: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Экономика» / [Е.Ф. Жуков и др.]; под редакцией Е. Ф. Жукова, Н. Д. Эриашвили. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. –559с. -
2. Дифференцированные платежи по кредиту в Excel. - URL:<https://excel2.ru/articles/differencirovannye-platezhi-po-kreditu-v-ms-excel>. -Текст: электронный.
3. Расчет аннуитетных платежей по кредиту в Excel. - URL:<https://temabiz.com/finterminy/ap-raschet-annuitetnyh-platezhej-po-kreditu-v-excel.html>. -Текст: электронный.
4. Зайцева И.В., Малафеев О.А., Степкин А.В., Черноусов М.В., Кособлик Е.В. Моделирование цикличности развития в системе экономик // Перспективы науки. 2020. № 10 (133). С. 173-176.
5. Шебукова А.С. Развитие информационных технологий для государственного управления. Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции: в 2-х томах. 2015. С. 295-298.
6. Зайцева, И.В., Шебукова А.С. Линейная алгебра для экономистов. – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2022. - 212 с.
7. Зайцева И.В., Теммоева С.А., Шлаев Д.В., Шебукова А.С. Моделирование решения простейшей задачи размещения трудовых ресурсов // Reports Scientific Society. 2023. № 9 (41). С. 5-10.

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ СИММЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ

Чандыров Оразмырат, Мосanova Дурсун Гулмырадовна,
Арбапов Сердар Муратбайевич, Оразгелдиев Вепа,
Гараева Бегсона Чашем гызы

Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашиогуз,
Туркменистан

Аннотация. В данной работе рассмотрены системы уравнений, уравнения которые можно привести к симметрическим видам. Основная цель данной статьи - показать, как решать некоторые типы систем, содержащих уравнения высшего порядка, в общем виде и как понижать степень полученных уравнений путем замены системы уравнений уравнением или системами уравнений. Если степень первого уравнения системы уравнений равна n , а степень второго уравнения равна m , то степень полученного уравнения с одной переменной будет равна nm .

Ключевые слова: симметрическое уравнение, система уравнений, алгебра, многомерная.

FEATURES OF SOLVING SYMMETRIC SYSTEMS OF EQUATIONS

*Chandyrov Orazmyrat, Mosanova Dursun Gulmyradovna,
Arbapov Serdar Muratbayevich, Orazgeldiyev Wepa,
Garayeva Begsона Chashem gyзы*

Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan

Abstract. One of the most difficult sections of students of Alga is the part of the equivalent equivalent system of a solid level, which preserves the equations of a high level. Methodox. To solve the needs of equestrian sports are used highly cable. Thus, unemployment systems are replaced by an equation for an unexpected capital. If the degree of the first equation of the system of equations is n , and the degree of the second equation is m , then the degree of the resulting equation with one variable will be nm .

Keywords: symmetric equation, system of equations, algebra, multidimensional.

Рассмотрим систему уравнений, например,

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 5, \\ x^3 + y^3 = 9 \end{cases}$$

Запишите первое уравнение системы в виде $x^2 = 5 - y^2$, а затем получим уравнение

$$x^6 = 125 - 75y^2 + 15y^4 - y^6.$$

Аналогично, второе уравнение данной системы будет иметь вид

$$x^6 = 81 - 18y^3 + y^6.$$

В результате получим уравнение

$$2y^6 - 15y^4 - 18y^3 + 75y^2 - 44 = 0.$$

Уравнения такого вида в школьном курсе математики не рассматриваются.

Данный метод редко применяется при решении систем уравнений, содержащих уравнения более высокого порядка; в большинстве случаев применяются искусственные методы, специфические для каждой системы уравнений. В результате опыт, полученный при решении одной системы уравнений, не может быть использован для решения следующей системы уравнений. В конечном итоге этот раздел становится недостаточным для подавляющего большинства студентов.

Вначале дадим определение симметрическому многочлену от двух переменных и, опираясь на теорему, помогающую решить систему уравнений, уравнения которой заданы в симметрической форме, и некоторые ее свойства, рассмотрим примеры решения систем уравнений высших порядков.

Определение. Если многочлен $f(x, y)$ не изменяется при перестановке переменных x и y , то есть $f(x, y) = f(y, x)$, то многочлен $f(x, y)$ называется симметрическим многочленом.

Например, $f(x, y) = x^2 + xy + y^2 + 4$; $f(x, y) = x^3 + y^3$; $f(x, y) = x^4 + x^2y^2 + y^4 + 3$; $f(x, y) = x^2 + y^2 + x + y - 3$ является симметрическим многочленом.

Многочлены $f(x, y) = x + y$ и $f(x, y) = xy$ также являются симметрическими многочленами. Их называют *простыми симметрическими многочленами*.

Теорема. (основная теорема симметрических многочленов от двух переменных). Любой симметрический многочлен от двух

переменных можно выразить через простые симметрические многочлены.

Используя эту теорему, давайте рассмотрим несколько примеров.

Пример 1.

Решим систему симметрических уравнений.

$$\begin{cases} x^2 + xy + y^2 = 4, \\ x + xy + y = 2. \end{cases}$$

Выразим многочлены $x^2 + xy + y^2$ и $x + xy + y$. Получим систему уравнений: $x + y = u$. Введем обозначение $xy = v$ и запишем его как:

$$x^2 + xy + y^2 = x^2 + 2xy + y^2 - xy = (x + y)^2 - xy \text{ и } x + xy + y = x + y + xy.$$

В результате,

$$\begin{cases} (x + y)^2 - xy = 4, \\ x + y + xy = 2, \\ u^2 - v = 4, \\ u + v = 2. \end{cases}$$

Сложив уравнения полученной системы, получим уравнение $u^2 + u - 6 = 0$. Найдем его решения $u_1 = 2$, $u_2 = -3$. Видим, что, подставляя эти значения в уравнение $u + v = 2$ получаем $v_1 = 0$, $v_2 = 5$.

$$\text{В результате решением системы, } \begin{cases} u^2 - v = 4, \\ u + v = 2, \end{cases}$$

являются пары $u_1 = 2, v_1 = 0$ и $u_2 = -3, v_2 = 5$. Подставляя эти решения в уравнения $x + y = u$ и $xy = v$, получаем систему уравнений, эквивалентную данной системе уравнений

$$\begin{cases} x + y = 2, \\ xy = 0 \end{cases} \text{ и } \begin{cases} x + y = -3, \\ xy = 5. \end{cases}$$

Получим системы уравнений, решая которые, находим решения $x_1 = 0, y_1 = 2$ и $x_2 = 2, y_2 = 0$.

Пример 2. Давайте решим систему симметрических уравнений:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 7 + xy, \\ x^3 + y^3 = 6xy - 1 \end{cases}$$

Внесем следующие изменения:

$$x^2 + y^2 - xy = 7; \quad x^2 + 2xy + y^2 - 3xy = 7; \quad (x + y)^2 - 3xy = 7;$$

$$x^3 + y^3 = 6xy - 1; \quad (x + y)(x^2 - xy + y^2) = 6xy - 1; \quad 7(x + y) = 6xy - 1.$$

Теперь, введя обозначения $x + y = u$ и $xy = v$,

$$\begin{cases} u^2 - 3v - 7 = 0, \\ 7u - 6v + 1 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

получаем $2u^2 - 7u - 15 = 0$. Получаем его решения $u_1 = -\frac{3}{2}$, $u_2 = 5$. Подставляя эти значения в уравнение $7u - 6v + 1 = 0$, получаем решения системы (1) $u_1 = -\frac{3}{2}$, $v_1 = -\frac{19}{12}$ и $u_2 = 5$, $v_2 = 6$;

$$\begin{cases} x + y = u, \\ xy = v \end{cases}$$

Найдем решения данной системы уравнений, подставив их в систему:

$$\begin{cases} \begin{cases} x_1 = 2, \\ y_1 = 3; \\ x_2 = 3, \\ y_2 = 2; \end{cases} \\ \begin{cases} x_3 = -\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\sqrt{\frac{183}{3}}, \\ y_3 = -\frac{3}{4} - \frac{1}{4}\sqrt{\frac{183}{3}}; \end{cases} \\ \begin{cases} x_4 = -\frac{3}{4} - \frac{1}{4}\sqrt{\frac{183}{3}}, \\ y_4 = -\frac{3}{4} + \frac{1}{4}\sqrt{\frac{183}{3}}. \end{cases} \end{cases}$$

Пример 3. Решим систему симметрических уравнений.

$$\begin{cases} \sqrt{x} + \sqrt{y} = \frac{5}{6}\sqrt{xy}, \\ x + y = 13. \end{cases}$$

Обозначим $\sqrt{x} = t$, $\sqrt{y} = z$. Тогда $x = t^2$, $y = z^2$, $\sqrt{xy} = t \cdot z$. В результате получим

$$\begin{cases} t + z = \frac{5}{6}tz, \\ t^2 + z^2 = 13. \end{cases}$$

Получим систему уравнений,

$$\begin{cases} t + z = \frac{5}{6}tz, \\ (t + z)^2 - 2tz = 13 \end{cases}$$

запишем это как $t + z = u$, $tz = v$,

$$\begin{cases} u = \frac{5}{6}v, \\ u^2 - 2v = 13 \end{cases}$$

Получим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} u_1 = 5, \\ v_1 = 6 \end{cases} ; \begin{cases} u_2 = -\frac{13}{5}, \\ v_2 = -\frac{78}{25}. \end{cases}$$

$\sqrt{x} = t$ и $\sqrt{y} = z$, нам подойдут только неотрицательные решения. Следовательно, получим систему $\begin{cases} t + z = 5, \\ tz = 6. \end{cases}$

В результате решение данной системы уравнений имеет вид

$$\begin{cases} x_1 = 4, \\ y_1 = 9; \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = 9, \\ y_2 = 4. \end{cases}$$

Пример 4. Нужно решить уравнение: $\sqrt[3]{1 + \sqrt{x}} = 2 - \sqrt[3]{1 - \sqrt{x}}$.

ввести обозначения $\sqrt[3]{1 + \sqrt{x}} = t$, $\sqrt[3]{1 - \sqrt{x}} = z$. $t^3 = 1 + \sqrt{x}$ и $z^3 = 1 - \sqrt{x}$. $t^3 + z^3 = 2$. Получим систему уравнений.

$$\begin{cases} t + z = 2, \\ t^3 + z^3 = 2 \end{cases}$$

Решая эту систему, находим решения, $t = z = 1$.

Следовательно, $\sqrt[3]{1 + \sqrt{x}} = 1$; $x = 0$.

Приведенные примеры можно эффективно использовать для подготовки обучающихся к предметным олимпиадам по высшей математике, проведения внеклассных мероприятий, повышению их самостоятельной активности.

Список использованной литературы

1. Ашыров О., Гурбанмамедов М., Солтанов Х., Алмазов М. *Ýokary matematika. II kitap.* Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2012. – 108 с.
2. Минорский В.П., Сборник задач по высшей математике. – М.: Наука, 1971. – 151 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕПНЫХ ПОДСТАНОВОК В
ФАКТОРНОМ АНАЛИЗЕ ПРИБЫЛИ КОМПАНИИ
«ЛУКОЙЛ-СЕВЕРО-ЗАПАДНЕФТЕПРОДУКТ»**

*Шебукова Анна Сергеевна, Терентьева Полина Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт- Петербург,
Россия, pterenteva395@gmail.com*

Аннотация. В статье исследуется применение метода цепных подстановок для анализа факторов, влияющих на изменение прибыли ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт». Построенная факторная модель связывает изменение прибыли с численностью работающих, производительностью труда и рентабельностью продаж. Результаты позволили выявить ключевые факторы снижения прибыли в 2021 году. Работа предлагает рекомендации по оптимизации управленческих решений.

Ключевые слова: метод цепных подстановок, факторный анализ, прибыль предприятия, рентабельность продаж, производительность труда, экономическое моделирование.

**APPLICATION OF THE METHOD OF CHAIN
SUBSTITUTIONS IN FACTOR ANALYSIS OF PROFIT OF
THE COMPANY
"LUKOIL-SEVERO-ZAPADNEFTEPRODUKT"**

Shebukova Anna Sergeevna, Terenteva Polina Dmitrievna

*FGBOU VO "Russian State Hydrometeorological University", St.
Petersburg, Russia, pterenteva395@gmail.com*

Abstract. The article examines the application of the chain substitution method to analyze factors influencing changes in profits of LUKOIL-Severo-Zapadnefteprodukt. The constructed factor model links changes in profits with the number of employees, labor productivity, and sales profitability. The results made it possible to

identify key factors in the decline in profits in 2021. The work offers recommendations for optimizing management decisions.

Keywords: chain substitution method, factor analysis, enterprise profit, sales profitability, labor productivity, economic modeling.

В условиях динамичной конъюнктуры рынка оперативный анализ финансовых показателей становится необходимым конкурентоспособным элементом промышленных предприятий [2]. Одним из методов для детализации влияния различных факторов на результаты деятельности предприятия является факторное моделирование [1, 3]. Суть факторного моделирования заключается в установлении вида и схемы связи между показателями и самими факторами. Таким образом, этот метод позволяет количественно оценить вклад каждого отдельного фактора в итоговый финансовый результат.

В данной статье факторное моделирование реализовано через метод цепных подстановок – классический подход для экономического анализа, основу которому дают принципы дифференциального исчисления и линейной алгебры. Цель работы – продемонстрировать на примере ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» влияние прикладных аспектов высшей математики на глубокий анализ деятельности компании путём выявления причин изменения прибыли за 2022-2023 годы.

Актуальность исследования объясняется расширением спроса на использование математических моделей в управлении процессах организации. Высшая математика, будучи основой для проведения факторного моделирования, является гарантом точности, прозрачности и понятности выводов, что особенно актуально для организаций топливно-энергетического комплекса, где немаловажной особенностью является сложная структура затрат и высокая волатильность рынка [1, 3].

Для проведения факторного анализа деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» обратимся к внутренним данным компании за период 2020-2021 гг в таблице 1.

Далее применяем способ цепных подстановок, суть которого заключается в последовательной замене факторов базисного периода на факторы отчётного, что помогает изолировать влияние каждого из них в общее отклонение результата.

Таблица 1 – Внутренняя отчётность ООО «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» за период 2022-2023 гг.

Показатели	Ед.изм.	2020 год	2021 год
Среднесписочная численность работающих	чел.	3 040	2 957
Объем реализации продукции, работ, услуг в стоимостном выражении	тыс.руб.	83 367 970	81 879 614
Чистая прибыль	тыс.руб.	2 425 614	2 129 487

Исходя из представленных данных можно составить следующую факторную модель.

$$\Pi = \mathbf{Ч} * \frac{\mathbf{РП}}{\mathbf{Ч}} * \frac{\Pi}{\mathbf{РП}} = \mathbf{Ч} * \mathbf{враб} * \mathbf{R}$$

В таблице 2 отобразим как уже имеющиеся показатели, так и те, которые вывели из факторной модели, а также посчитаем их значения за базисный (2020 г) и отчётный (2021 г) периоды.

Таблица 2 – Показатели факторной модели компании «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» за период 2022-2023 гг.

№ п/п	Показатели	Обозначения	Период	
			Базисный (2020 г.)	Отчётный (2021 г.)
1	Среднесписочная численность работающих	Ч	3 040	2 957
2	Объем реализации продукции, работ, услуг в стоимостном выражении	РП	83 367 970	81 879 614
3	Чистая прибыль	П	2 425 614	2 129 487
4	Выработка работающих (2:1)	враб	27 423, 6743	27 690, 096
5	Рентабельность (3:2)	R	0,0291	0,026

$$\Pi' = \mathbf{Ч}_1 * \mathbf{враб.0} * \mathbf{R}_0 = 2 957 * 27 423, 6743 * 0, 0291 = 2 359 772$$

$$\Pi'' = \mathbf{Ч}_1 * \mathbf{враб.1} * \mathbf{R}_0 = 2957 * 27 690, 096 * 0,0291 = 2 382 697$$

$$\Delta\Pi_{\text{q}} = \Pi' - \Pi_0 = 2\ 359\ 772 - 2\ 425\ 614 = -65\ 842$$

$$\Delta\Pi_{\text{бпаб}} = \Pi'' - \Pi' = 2\ 382\ 697 - 2\ 359\ 772 = 22\ 952$$

$$\Delta\Pi_{\text{R}} = \Pi_1 - \Pi'' = 2\ 129\ 487 - 2\ 382\ 697 = -253\ 210$$

$$\Delta\Pi = -65\ 842 + 22\ 952 - 253\ 210 = -296\ 127$$

Проверка

$$\Delta\Pi = \Pi_1 - \Pi_0 = 2\ 129\ 487 - 2\ 425\ 614 = -296\ 127$$

В результате получается, что ключевым фактором снижения прибыли компании является рентабельность продаж, её отклонение составило -253 210 тысяч рублей. К таким значениям могли привести рост себестоимости или высокая ценовая конкуренция в топливно-энергетической сфере.

Производительность труда работающих показала положительную динамику, оценивающуюся в +22 952 тысячи рублей, однако влияния этого фактора недостаточно для компенсации всех убытков.

Сокращение численности работающих также снизило прибыль на 65 842 тысячи рублей, из-за чего впоследствии итоговое отклонение прибыли получилось -296 127 тысяч рублей.

Анализ представленных результатов позволяет выявить определённые закономерности и сформулировать рекомендации, которые смогут помочь компании «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт» побороть такое снижение прибыли [3, 6]. Во-первых, это внедрение системы контроля затрат, которое позволит стабилизовать рентабельность. А во-вторых, необходимо рассмотреть использование аналитических и прогнозных инструментов для оптимизации товарного ассортимента и управления трудовыми ресурсами [5, 7].

Крупные нефтеперерабатывающие предприятия занимают ключевое место в формировании бюджета территории, как в Северо-Западном регионе, так и Сибирском. Развитие инфраструктуры в разных регионах страны имеют схожее значение для местных сообществ [4].

Развитие информационных технологий выходит на первый план, не только для коммерческих структур, но и сферы государственного управления, применение многомерного факторного анализа доказало свою эффективность в том числе и

при решении управленческих задач [2, 3, 5], поскольку они могут служить первопричиной снижения прибыли компании [6].

Подводя итоги, можно сказать, что факторное моделирование на примере использования метода цепных подстановок продемонстрировало свою эффективность в анализе прибыли предприятия «ЛУКОЙЛ-Северо-Западнефтепродукт». Интеграция этого способа в управленческую практику компании позволит не только выявлять проблемные зоны, но и поможет оценить влияние тех или иных факторов на финансово-хозяйственную деятельность компании, а также сформировать на основе полученных данных стратегии, направленные на устойчивое развитие бизнеса [4].

Список использованной литературы

1. Зайцева И.В., Шебукова А.С. Линейная алгебра для экономистов. – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2022. - 212 с.
2. Заруба, Н.А. Экономическое образование студентов специальности «Государственное и муниципальное управление»: проблемы и пути их решения / Н.А. Заруба, А.С. Шебукова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 2 (108). С. 163-166.
3. Шебукова, А.С. Анализ хозяйственной деятельности – Кемерово, 2016.
4. Шебукова, А.С. Некоторые аспекты развития экономики Сибири. Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Материалы X Международная научно-практическая конференция. – 2013. – С. 271-277.
5. Шебукова, А.С. Развитие информационных технологий для государственного управления // Будущее науки - 2015. Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции: в 2-х томах. 2015. – С. 295-298.
6. Зайцева, И.В. Моделирование решения простейшей задачи размещения трудовых ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммоева, Д.В. Шлаев, А.С. Шебукова // Reports Scientific Society. 2023.– № 9 (41). С. 5-10.
7. Hair J.F. Multivariate Data Analysis. 7th ed. Pearson, 2010. - 816 p.
8. Зайцева И.В., Малафеев О.А., Степкин А.В., Черноусов М.В., Кособлик Е.В. Моделирование цикличности развития в системе экономик // Перспективы науки. 2020. № 10 (133). С. 173-176.

9. Семенчин Е.А., Зайцева И.В. Математическая модель самоорганизации рынка труда для нескольких отраслей // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2003. Т. 10. № 3. С. 740-741.
- 10.Шебукова А.С. Особенности социально-экономического развития территорий в Кемеровской области. Актуальные проблемы управления и экономики: российский и зарубежный опыт. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Новосибирский аграрный университет. 2013. С. 243-248.
- 11.Шебукова А.С., Чупрякова А.Г. Формирование кадрового резерва как необходимое условие повышения эффективности управления муниципальным образованием // Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-3 (86). С. 134-141.
- 12.Зайцева И.В., Теммоева С.А., Шлаев Д.В., Шебукова А.С. Моделирование решения простейшей задачи размещения трудовых ресурсов // Reports Scientific Society. 2023. № 9 (41). С. 5-10.

СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 539.1.098

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

*Бобровский Анатолий Петрович¹, Михтеева Елена Юрьевна¹,
Потапова Вероника Ростиславовна²,
Потапова Ирина Александровна¹, Скобликова Анна Львовна¹*

¹*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург,
Россия, potapovair@yandex.ru*

²*ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-
Петербург, Россия*

Аннотация. В работе проводилось изучение структуры металлов с использованием внешнего фотоэффекта с использованием результатов натурного эксперимента. В ходе эксперимента с различными металлами было установлено, что количество выбитых электронов всегда меньше числа поглощённых фотонов из-за частичных потерь энергии при столкновениях. Графический анализ зависимости задерживающего напряжения от длины волны падающего света показал, что угол наклона графиков для разных металлов схож, но вертикальные смещения объясняются различиями в электронной структуре и взаимодействии электронов с ядром. Приведено объяснение полученных результатов на основании квантовой физики и физико-химической структуры металлов.

Ключевые слова: внешний фотоэффект, натурный эксперимент, энергия, фотон, металл, орбиталь.

STUDYING THE STRUCTURE OF METALS USING AN EXTERNAL PHOTOELECTRIC EFFECT

*Bobrovsky Anatoly Petrovich¹, Mikhiteeva Elena Yurievna¹,
Potapova Veronika Rostislavovna², Potapova Irina Aleksandrovna¹,
Skoblikova Anna Lvovna¹*

*¹ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, potapovaira@yandex.ru*

*² Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F.
Ustinov, St. Petersburg, Russia*

Abstract. The study of the structure of metals using an external photoelectric effect using the results of a field experiment was carried out. During an experiment with various metals, it was found that the number of knocked-out electrons is always less than the number of absorbed photons due to partial energy losses during collisions. Graphical analysis of the dependence of the delay voltage on the wavelength of light showed that the angle of inclination of the graphs for different metals is similar, but the vertical shifts are explained by differences in the electronic structure and the interaction of electrons with the nucleus. The results obtained are explained on the basis of quantum physics and the physico-chemical structure of metals.

Keywords: external photoelectric effect, field experiment, energy, photon, metal, orbital.

Открытие фотоэффекта имело очень большое значение для более глубокого понимания природы воздействия света на металлы и сплавы. Но ценность науки состоит не только в том, что она выясняет сложное и многообразное строение окружающего мира, но и в том, что она дает в руки возможности, используя которые можно совершенствовать производство, создавать новые технические средства для помощи в работе, улучшать условия жизни человека.

Фотоэффект – явление взаимодействия света или любого другого электромагнитного излучения с веществом, при котором энергия фотонов передаётся электронам вещества. В

конденсированных (твёрдых и жидкких) веществах выделяют внешний (поглощение фотонов сопровождается вылетом электронов за пределы вещества) и внутренний (электроны, оставаясь в веществе, изменяют в нём своё энергетическое состояние) фотоэффекты.

Световые кванты (фотоны) ведут себя как неделимые частицы. При поглощении веществом фотон исчезает, а его энергия переходит к поглощающему объекту. При внешнем фотоэффекте энергия поглощаемого металлом фотона переходит к одному из его электронов. За счет этой энергии электрон может выйти из металла, затратив на это энергию $A_{\text{вых}}$. Разность энергии фотона $h\nu$ и работы выхода $A_{\text{вых}}$ остается у электрона в виде кинетической энергии $\frac{mv^2}{2}$. Исходя из этих представлений, на основе закона сохранения энергии, была сформулирована формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта (1):

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2_{\text{max}}}{2}, \quad (1)$$

где

$$E = h\nu, \quad (2)$$

E – энергия света (фотона),

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка,

ν – частота света,

$A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона с поверхности металла,

$\frac{mv^2_{\text{max}}}{2}$ – максимальная кинетическая энергия вылетевших

электронов.

В результате исследования внешнего фотоэффекта с использованием натурного эксперимента [1, 2] было получено следующее:

1. при освещении светом поверхности сплава, наблюдалось явление вылета электронов, которое фиксировалось с помощью прибора, измеряющего задерживающее напряжение U_3 , которое определяет максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов (3)

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{max}} = eU_3, \quad (3)$$

2. выходящим из металла электронам, соответствуют разные энергии от 0 до $\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{max}}$ даже при использовании света

строго определенной частоты. Это связано с тем, что в процессе движения электронов к поверхности металла при столкновениях происходят частичные потери энергии. Часть электронов, потеряв энергию при столкновениях, так и не выходит из металла, поэтому число выходящих электронов всегда меньше числа поглощаемых металлом фотонов,

3. построен график зависимости задерживающего напряжения от длины волны падающего света, рисунок 1.

В результате исследования внешнего фотоэффекта для таких материалов как цезий, калий, рубидий, натрий и оксид бария были получены зависимости задерживающего напряжения U_3 от длины волны λ , представленные на рисунке 2.

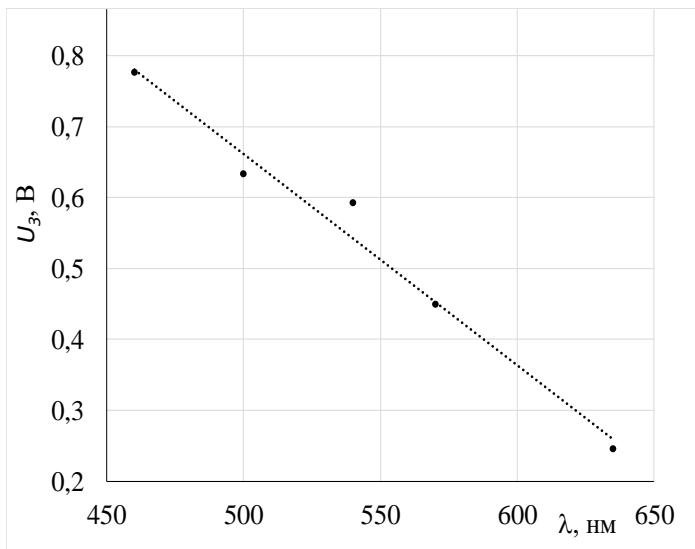


Рисунок 1 – Зависимость задерживающего напряжения U_3 от длины волны падающего света

Анализ графика, представленного на рисунке 2, показывает, что угол наклона прямых почти одинаковый, но сами прямые разнесены по вертикальной оси. Пояснить это можно на основании квантовой физики и физико-химической структуры металлов. Исследуемые вещества характеризуются различным количеством

орбиталей. От натрия к цезию оно увеличивается. Поэтому увеличивается и расстояние до внешней орбитали, на которой находится электрон. Это приводит к уменьшению взаимодействия между зарядами, а именно, между протоном (ядром) и электроном на внешней орбитали.

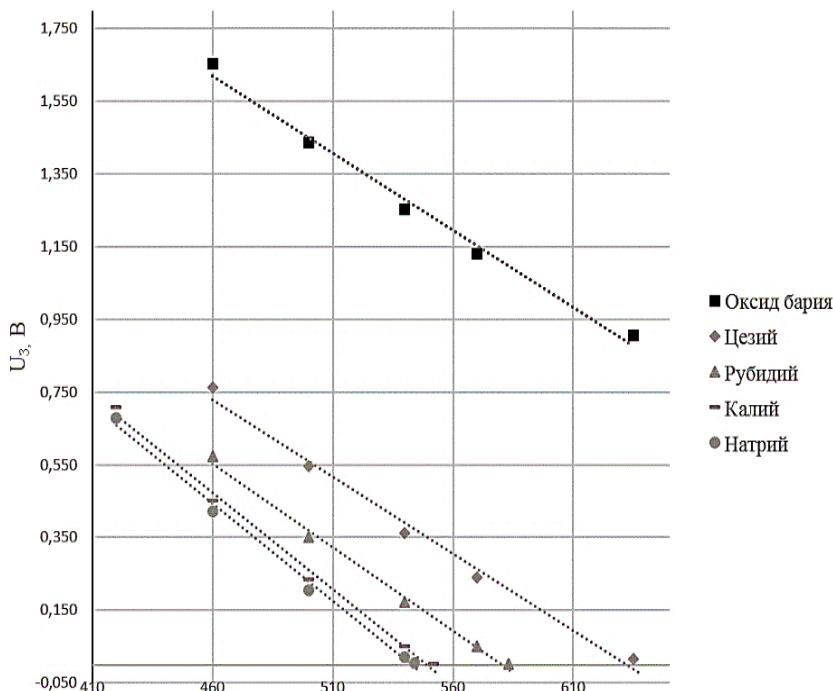


Рисунок 2 – Зависимость задерживающего напряжения U_3 от длины волны λ для различных металлов и оксида бария

В связи с этим ослаблением электрон легче отрывается от ядра под действием энергии фотона внешнего излучения и сохраняет больше кинетической энергии при вылете с поверхности металла. Эта зависимость показана на рисунке 3.

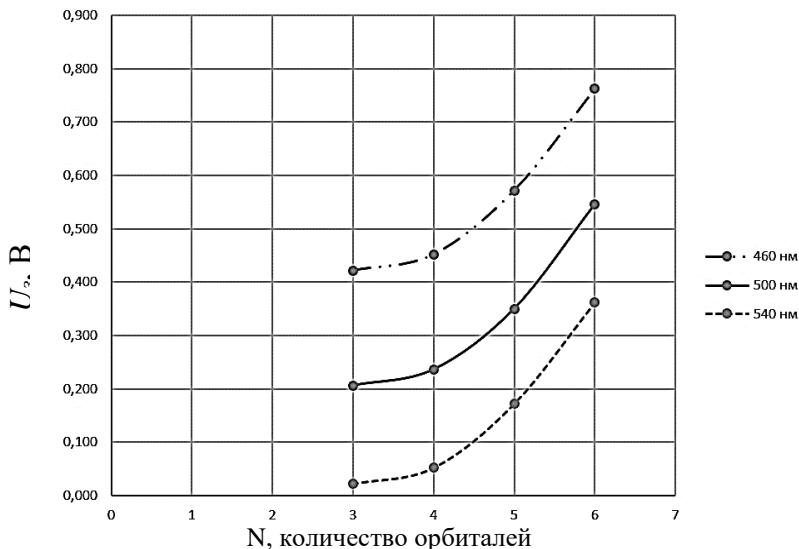


Рисунок 3 – Зависимость задерживающего напряжения U_3 внешнего фотоэффекта от количества заполненных энергетических уровней

На рисунке 2 видно, что зависимость задерживающего напряжения от длины волны для оксида бария находится гораздо выше, чем для металлов. Это связано с особенностями свойствами щёлочноземельного металла. Внешний энергетический уровень V_a , в отличие от рассматриваемых в работе металлов, содержит 2 электрона. Это дает возможность легкого присоединения к себе кислорода O_2 , как активного окислителя. Барий в этом случае является нейтрализатором. O_2 присоединяет к себе электроны V_a , создавая ионную связь, как показано на рисунке 4. Это приводит к смещению электронов бария на внешнем энергетическом уровне в сторону кислорода, то есть происходит увеличение расстояния от ядра V_a до этих электронов, а это в свою очередь существенно уменьшает силу притяжения Кулона между зарядами, так как её значение уменьшается пропорционально квадрату расстояния, как известно из формулы закона Кулона:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Это приводит к тому, что при получении энергии от фотонов (2) электроны легко отрываются с внешнего энергетического уровня и участвуют в явлении внешнего фотоэффекта.

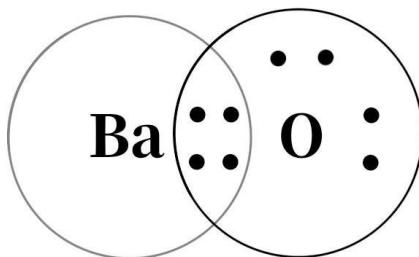


Рисунок 4 – Схема образования молекулы оксида бария (BaO)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что структура вещества, его химический состав существенно влияют на энергетические характеристики электронов внешнего фотоэффекта.

Список использованной литературы

1. Королев М.Е., Белов С.В. Эмпирическое исследование законов внешнего фотоэффекта // В сборнике: Инновации в технологиях и образовании. Сборник статей XVII Международной научной конференции. Кемерово, 2024. С. 250-254.
2. Бобровский А.П., Скобликова А.Л., Дьяченко Н.В., Михтеева Е.Ю. Методика выполнения лабораторной работы «Изучение законов фотоэффекта с использованием приборно-аппаратного комплекса», Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2017. № 2 (20). С. 25–34.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*Волкова Надежда Александровна^{1,2},
Голубков Андрей Максимович^{1,2}*

¹ *ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

² *ФГБУ «Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт»,
Санкт-Петербург, Россия, navolkova@aari.ru*

Аннотация. В статье рассматривается задача моделирования переноса загрязняющих веществ в водных системах на основе решения уравнения адвекции-диффузии-реакции. Предложена численная реализация с использованием метода конечных разностей и upwind-схемы, обеспечивающей устойчивость и простоту решения для задач с преобладающим адвективным переносом. Рассмотрены как базовые случаи линейного разложения вещества, так и более сложные сценарии. Разработанный на Python код позволяет моделировать распространение загрязняющих веществ, визуализировать результаты и анализировать влияние различных параметров, таких как скорость течения, коэффициент диффузии и константы реакций. Результаты работы могут быть использованы для прогнозирования распространения загрязнений в реках и каналах, а также для оценки эффективности мероприятий по очистке. Обсуждаются преимущества и ограничения предложенного подхода, а также возможные направления для дальнейших исследований, включая расширение модели до двумерных и трехмерных случаев и учет дополнительных факторов, таких как осаждение веществ и влияние температуры.

Ключевые слова: моделирование переноса загрязняющих веществ, уравнение адвекции-диффузии-реакции, upwind-схема, метод конечных разностей, численные методы, Python, гидрология.

IMPLEMENTATION OF THE SOLUTION FOR MODELING THE TRANSPORT OF POLLUTANTS

*Volkova Nadezhda Aleksandrovna^{1,2}, Golubkov Andrey
Maksimovich^{1,2}*

¹ *Russian State Hydrometeorological University,*

² *Arctic and Antarctic Research Institute,*

Saint Petersburg, Russia, navolkova@aari.ru

Abstract. The article considers the problem of modeling the transport of pollutants in water systems based on solving the advection-diffusion-reaction equation. A numerical implementation is proposed using the finite difference method and the upwind scheme, which ensures the stability and simplicity of the solution for problems with predominant advective transport. Both basic cases of linear decomposition of matter and more complex scenarios are considered. The code developed in Python allows modeling the spread of pollutants, visualizing the results and analyzing the influence of various parameters, such as flow velocity, diffusion coefficient and reaction constants. The results of the work can be used to predict the spread of pollutants in rivers and canals, as well as to assess the effectiveness of cleaning measures. The advantages and limitations of the proposed approach, as well as possible directions for further research, including extending the model to two-dimensional and three-dimensional cases and taking into account additional factors, such as sedimentation and temperature effects, are discussed.

Keywords: pollutant transport modeling, advection-diffusion-reaction equation, upwind scheme, finite difference method, numerical methods, Python, hydrology.

Актуальность проблемы моделирования переноса загрязняющих веществ в природных и техногенных системах обусловлена необходимостью прогнозирования и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Загрязнение водных объектов, атмосферы и почв представляет серьезную угрозу для экосистем и здоровья человека. В связи с этим разработка эффективных методов моделирования процессов переноса и трансформации загрязняющих веществ является важной задачей в гидрологии и экологии.

Моделирование переноса загрязняющих веществ основывается на решении уравнений адвекции-диффузии-реакции,

которые описывают распространение загрязнений под действием течения, турбулентной диффузии и химических или биологических процессов. Данные уравнения позволяют учитывать сложные взаимодействия между физическими, химическими и биологическими факторами, что делает их эффективным инструментом для анализа и прогнозирования.

Одной из ключевых задач при численном решении таких уравнений является выбор подходящей схемы аппроксимации производных. В частности, upwind-схема широко используется для моделирования адвективного переноса благодаря своей устойчивости и простоте реализации [1,2]. Однако в зависимости от сложности моделируемых процессов (например, нелинейных реакций или взаимодействия нескольких веществ) могут потребоваться более сложные численные методы.

Целью данной статьи является реализация решения задачи моделирования переноса загрязняющих веществ с использованием численных методов, таких как метод конечных разностей и upwind-схема. В работе рассматриваются как базовые случаи (линейное разложение вещества), так и более сложные сценарии, включая нелинейные реакции и взаимодействие нескольких компонентов. Особое внимание уделяется анализу устойчивости и точности численных схем, а также их применимости для решения практических задач.

Математическая постановка задачи моделирования переноса загрязняющих веществ в водной среде обычно основывается на уравнении адвекции-диффузии-реакции [3, 4]. Это уравнение описывает изменение концентрации загрязняющего вещества $C(x, t)$ в пространстве x и времени t . Рассмотрим одномерный случай (например, для реки или канала):

Уравнение адвекции-диффузии-реакции:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + R(C) + S(x, t), \quad (1)$$

где $C(x, t)$ – концентрация загрязняющего вещества, $[ML^{-3}]$; u – скорость течения воды, $[LT^{-1}]$; D – коэффициент турбулентной диффузии, $[L^2T^{-1}]$; $R(C)$ – член, описывающий химические или биологические реакции (например, разложение вещества) $[ML^{-3}T^{-1}]$; $S(x, t)$ – источник или сток загрязняющего вещества $[ML^{-3}T^{-1}]$.

Границные и начальные условия:

1. Начальное условие (при $t = 0$):

$$C(x, 0) = C_0(x),$$

где $C_0(x)$ – начальное распределение концентрации.

2. Граничные условия:

На входе в систему при $x = 0$:

$$C(0, t) = C_{in}(t),$$

где $C_{in}(t)$ – концентрация на входе.

На выходе из системы при $x = L$ (условие свободного выхода):

$$\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=L} = 0.$$

В уравнении (1):

1. Адvection $\left(u \frac{\partial C}{\partial x} \right)$ описывает перенос вещества течением воды.

2. Диффузия $\left(D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right)$ учитывает рассеивание вещества за счет турбулентности.

3. Реакция $(R(C))$ описывает процессы, такие как деструкция, разбавление, осаждение или биологическая трансформация.

4. Источник/сток $(S(x, t))$ учитывает внешние воздействия, например, сброс загрязнений.

Решение уравнения может быть найдено аналитически (для простых случаев) или численно (например, методом конечных разностей или конечных элементов) для сложных систем.

Рассмотрим пример численной реализации задачи моделирования переноса загрязняющих веществ с использованием метода конечных разностей на Python. Решим одномерное уравнение адvection-диффузии-реакции:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - kC,$$

где $C(x, t)$ – концентрация загрязняющего вещества, u – скорость течения, D – коэффициент диффузии, k – константа скорости разложения [T^{-1}].

Исходные данные: длина области $L = 140$ м, время моделирования $T = 100$ с, скорость течения $u = 1$ м/с, коэффициент диффузии $D = 0.1$ м²/с, константа разложения $k = 0.01$ с⁻¹, начальная концентрация $C_0(x) = 0$ (все вещество

добавляется через источник), источник загрязнения $S(x, t)$ (например, точечный источник в $x = 0$).

Используем явную схему для аппроксимации производных:

1. адвекция:

$$\frac{\partial C}{\partial x} \approx \frac{C_i - C_{i-1}}{\Delta x}.$$

2. диффузия:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \approx \frac{C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1}}{\Delta x^2}.$$

Пример реализован на языке программирования Python.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
# Параметры задачи
```

```
L = 140.0      # Длина области (м)
T = 50.0       # Время моделирования (с)
u = 1.0         # Скорость течения (м/с)
D = 0.1         # Коэффициент диффузии (м2/с)
k = 0.01        # Константа разложения (с-1)
nx = 100        # Количество узлов по пространству
nt = 500        # Количество шагов по времени
dx = L / (nx - 1) # Шаг по пространству
dt = T / nt     # Шаг по времени
```

```
# Сетка
```

```
x = np.linspace(0, L, nx)
C = np.zeros(nx) # Начальная концентрация
```

```
# Источник загрязнения (точечный источник в x=0)
def source(t):
```

```
    return 1.0 if t < 10 else 0.0 # Источник активен первые 10
 секунд
```

```
# Численное решение
```

```
for n in range(nt):
```

```
    C_new = np.zeros(nx)
```

```
    for i in range(1, nx - 1):
```

```
        # Адвекция (upwind схема)
```

```
        if u > 0:
```

```

adv = u * (C[i] - C[i - 1]) / dx
else:
    adv = u * (C[i + 1] - C[i]) / dx
# Диффузия
diff = D * (C[i + 1] - 2 * C[i] + C[i - 1]) / dx**2
# Реакция
react = -k * C[i]
# Обновление концентрации
C_new[i] = C[i] + dt * (diff - adv + react)
# Границные условия
C_new[0] = source(n * dt) # Источник на входе
C_new[-1] = C_new[-2] # Свободный выход на конце
C = C_new

# Визуализация каждые 50 шагов
if n % 50 == 0:
    plt.plot(x, C, label=f't = {n * dt:.1f} с')

# Настройка графика
plt.xlabel("Расстояние, x (м)")
plt.ylabel("Концентрация, C (кг/м³)")
plt.title("Моделирование переноса загрязняющих веществ")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

```

Пояснения к коду:

1. Пространственная сетка создается с помощью `np.linspace`, временная сетка задается через количество шагов `nt`.
2. Функция `source(t)` моделирует точечный источник загрязнения, который активен первые 10 секунд.
3. Адvection аппроксимируется с использованием upwind-схемы. Диффузия аппроксимируется центральной разностью. Реакция (деструкция) учитывается через член $-kC$.
4. Границные условия: на входе ($x = 0$) задается концентрация от источника; на выходе ($x = L$) используется условие свободного выхода.
5. Концентрация отображается на графике через каждые 50 шагов по времени.

Результатом выполнения кода программы является график (рис. 1).

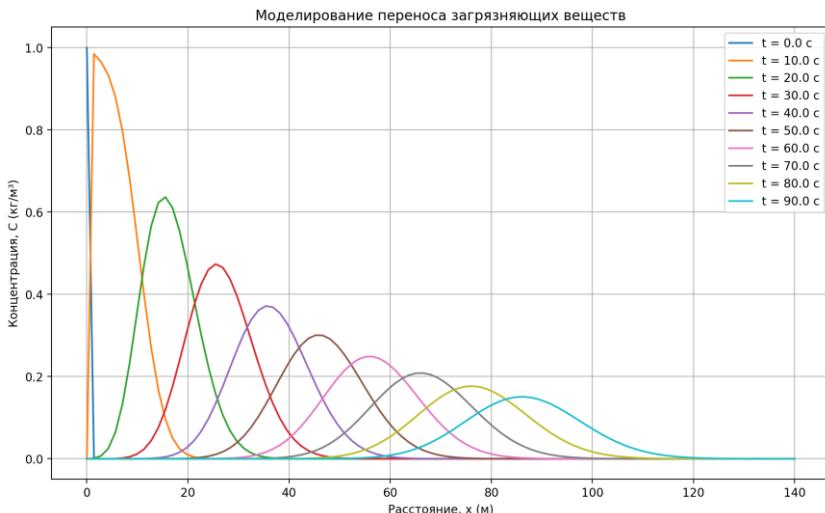


Рисунок 1 – Распространение загрязняющего вещества по длине реки в разные моменты времени после сброса

График показывает, как концентрация загрязняющего вещества распространяется по длине реки с течением времени, учитывая адвекцию, диффузию и деструкцию.

Загрязняющее вещество может разлагаться по более сложному закону, чем первый порядок ($R(C) = -kC$). В зависимости от типа реакции, $R(C)$ может быть нелинейным или зависеть от других факторов, таких как концентрации других веществ, температура, pH и т.д. Рассмотрим несколько возможных вариантов.

1. Реакция второго порядка

Если разложение вещества зависит от его концентрации квадратично (например, при взаимодействии двух молекул вещества), то:

$$R(C) = -kC^2,$$

где k – константа скорости реакции второго порядка.

Изменения в коде:

```
react = -k * C[i] # Было для первого порядка
react = -k * C[i]**2 # Стало для второго порядка
```

2. Реакция с насыщением

Если разложение вещества описывается кинетикой Михаэлиса-Ментен [5] (например, в биохимических процессах), то:

$$R(C) = -\frac{V_{max}C}{K_m + C}$$

где V_{max} – максимальная скорость реакции, K_m – константа Михаэлиса.

Изменения в коде:

```
V_max = 0.1 # Максимальная скорость реакции
```

```
K_m = 1.0 # Константа Михаэлиса
```

```
react = - (V_max * C[i]) / (K_m + C[i])
```

3. Реакция с участием нескольких веществ

Если разложение вещества зависит от концентрации другого вещества (например, катализатора или реагента), то:

$$R(C_1, C_2) = -kC_1C_2,$$

где C_1 – концентрация загрязняющего вещества, C_2 – концентрация катализатора.

Изменения в коде (нужно добавить уравнение для C_2 и учесть взаимодействие):

```
# Предположим, что C2 – концентрация катализатора
```

```
C2 = np.ones(nx) # Начальная концентрация катализатора
```

```
react = -k * C[i] * C2[i]
```

4. Температурно-зависимая реакция

Если скорость разложения зависит от температуры T , то константа скорости k может быть выражена через уравнение Аррениуса:

$$k(T) = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}},$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель, E_a – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

Изменения в коде:

```
k0 = 0.1 # Предэкспоненциальный множитель
```

```
Ea = 1000 # Энергия активации
```

```
R = 8.314 # Универсальная газовая постоянная
```

```
T = 283 # Температура (в Кельвинах)
```

```
k = k0 * np.exp(-Ea / (R * T))
```

```
react = -k * C[i]
```

В статье рассмотрена задача моделирования переноса загрязняющих веществ в реке или канале на основе решения уравнения адвекции-диффузии-реакции. Предложена численная реализация с использованием метода конечных разностей и upwind-схемы, которая обеспечивает устойчивость и простоту

решения даже для задач с преобладающим адвективным переносом.

Основные результаты работы можно обобщить следующим образом:

1. Представлена общая форма уравнения адвекции-диффузии-реакции, включая граничные и начальные условия, что позволяет учесть основные физические и химические процессы, влияющие на распространение загрязняющих веществ.

2. Upwind-схема продемонстрировала свою эффективность для моделирования адвективного переноса, особенно в случаях, когда важно учитывать направление потока. Однако для задач с высокой точностью или сложными реакциями могут потребоваться более продвинутые методы, такие как схемы высокого порядка или неявные методы.

3. Разработанный код позволяет моделировать распространение загрязняющих веществ в одномерной системе, визуализировать результаты и анализировать влияние различных параметров (скорости течения, коэффициента диффузии, констант реакций).

4. Предложенный подход может быть использован для решения практических задач, таких как прогнозирование распространения загрязнений в реках или каналах.

Список использованной литературы

1. Паасонен, В. И. Модифицированная противопоточная и гибридные схемы на специальных сетках для решения задач со слоями / В. И. Паасонен, В. Д. Лисейкин // Вычислительные технологии. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 70-80. – DOI 10.25743/ICT.2024.29.3.006. – EDN VBCDPQ.
2. Кривовичев, Г. В. Анализ устойчивости неявных конечно-разностных решеточных схем Больцмана с направленными разностями / Г. В. Кривовичев, М. П. Мащинская // Вычислительные методы и программирование. – 2019. – Т. 20, № 2. – С. 116-127. – DOI 10.26089/NumMet.v20r212. – EDN PDIUPR.
3. Ермаченко, П. А. Численное решение задачи адвекции-диффузии-реакции на примере биологических очистных сооружений с активным илом / П. А. Ермаченко, Н. С. Бузало // Перспективы развития фундаментальных наук : Сборник научных трудов XI Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 22–25 апреля 2014 года / под редакцией Е.А.

- Вайтулевич; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. – С. 594-596. – EDN TUBFCH.
4. Равшанов, Н. Конструктивная методология математического моделирования для исследования массопереноса в сложных системах // Проблемы вычислительной прикладной математики / Н. Равшанов, У. Саидов, У. Орифжанова // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2022. – № S2(40). – С. 192-215. – EDN SINIYK.
5. Шаталов, М. Ю. Новый метод определения кинетических параметров теоретических моделей на основе экспериментальных данных / М. Ю. Шаталов, С. И. Федотов, Ю. М. Шаталов // Теоретические основы химической технологии. – 2013. – Т. 47, № 3. – С. 260. – DOI 10.7868/S0040357113020103. – EDN PZVLBB.

УДК 551.521:556.555.5(282.256.341)

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ЛЁД

Воробьева Юлия Алексеевна, Уварова Елизавета Алексеевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, makarova.yulia050801@mail.ru

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент, **Яковлева Татьяна Юрьевна**

Аннотация. В данной работе исследуется влияние коротковолновой солнечной радиации на ледяные покровы на озере Байкал. Коротковолновая радиация, представляющая собой часть спектра солнечного излучения, оказывает значительное воздействие на термические процессы в ледяной среде. В результате абсорбции этой радиации происходит нагрев льда, что может приводить к его таянию и изменению структуры. Исследование включает анализ данных спутникового дистанционного зондирования и наземных наблюдений, что

позволяет оценить динамику изменения ледяных покровов в условиях глобального потепления.

Ключевые слова: Солнечная радиация, абсорбции, нагрев льда.

INFLUENCE OF SHORT-WAVE SOLAR RADIATION ON ICE

Vorobeva Yulia Alekseevna, Uvarova Elizaveta Alekseevna

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia
makarova.yulia050801@mail.ru

Scientific supervisor – candidate of physico-mathematical sciences,
associate professor, *Yakovleva Tatyana Yuryevna*

Abstract. This paper examines the impact of shortwave solar radiation on ice cover on Lake Baikal. Shortwave radiation, which is part of the solar radiation spectrum, has a significant impact on thermal processes in the ice environment. As a result of the absorption of this radiation, the ice heats up, which can lead to its melting and changes in structure. The study includes an analysis of satellite remote sensing data and ground-based observations, which allows us to assess the dynamics of ice cover changes in the context of global warming.

Keywords: solar radiation, absorption, heating of ice.

Учёт солнечного нагрева ледяного покрова является трудной задачей. В первом приближении поток тепла от солнечного излучения, проходящий через поглощающую среду, можно описать при помощи закона Бугера – Ламберта [1].

$$I_s = (1 - \alpha_s)Q_s(t) \exp(-\kappa_s z),$$

где α_s – альбедо, κ_s – коэффициент экстинкции, $Q_s(t)$ – интенсивность солнечного излучения на верхней границе льда.

Лёд состоит из нескольких слоёв – первичного, вторичного и наложенного. Первичный является первой стадией образования льда. В ходе охлаждения поверхности озера в верхних слоях воды образуются тонкие кристаллические пластинки, которые при соединении образуют первый тонкий слой льда. На процессе формирования сильно сказываются внешние факторы среды: ветер и осадки, они могут существенно изменить структуру первичного

слоя льда, что приведёт к хаотическому распределению осей кристаллов льда, что может сильно сказаться на альбедо этого слоя. В случае спокойной воды, отсутствии сильных осадков и ветра кристаллы просто соединятся друг с другом, формируя слои с вертикально ориентированными оптическими осями. Второй слой растёт вниз от первого – это обычный прозрачный лёд, состоящий из крупных кристаллов. Наложенный лёд представляет собой поверхностный слой льда, образующийся из снега и воды, которые могут появляться на поверхности из-за осадков, увеличения температуры воздуха в весенний период, а также из-за более масштабных явлений, связанных с крупной деформацией льда. Каждый из перечисленных слоёв имеет своё альбедо, которое присутствует в формуле, это усложняет оценку потока от солнечного излучения, поглощаемого льдом и водой. Кроме того, для каждой спектральной области альбедо и экстинкция будут свои. Однако для упрощения вычислений можно пренебречь влиянием границы лёд-вода на отражение солнечного излучения, прошедшего через лёд, и считать, что байкальский лёд является прозрачным и однородным.

Таким образом, для вычисления потока тепла, поглощенного льдом от солнечного излучения, зная лишь интенсивность солнечного излучения за период развития и деградации ледяного покрова, нужно оценить коэффициенты экстинкции для снега, льда и воды. Кроме того, необходимо знать альбедо перехода воздух-снег и перехода снег-лёд.

Чтобы оценить коэффициент экстинкции и альбедо снега, нужно знать интенсивность излучения в воздухе и интенсивность излучения, прошедшего через снег к границе снег-лёд. Поскольку для посёлка Листвянка в зимний период характерны сильные ветра, наличием снежного покрова в первом приближении можно пренебречь, следовательно, можно сразу перейти к оценке коэффициента экстинкции и альбедо льда и коэффициента экстинкции воды.

В 2011 г. и в 2014 г. в Лимнологическом институте СО РАН были проведены измерения распределения интенсивности солнечного излучения, прошедшего в лёд, а затем в воду. Измерения представляют собой профили интенсивности солнечного излучения от поверхности ледяного покрова до глубины 22 метра в разное время дня и при различных условиях заснеженности, измеренные при опускании датчика и на подъёме.

Для оценки коэффициента экстинкции байкальского льда нужно сначала оценить экстинкцию в байкальской воде. Для этого рассмотрим профили, полученные в ходе измерений в 2011 и 2014 годах. Полученный коэффициент экстинкции воды далее будет использован для оценки коэффициента экстинкции байкальского льда по измерениям интенсивности солнечного излучения за 2016 год.

Для оценки коэффициента экстинкции воды рассмотрим профили, полученные в момент, когда Солнце было близко к зениту, чтобы не учитывать неравномерную угловую чувствительность датчика и зависимость плотности солнечного излучения от угла падения, при различных уровнях заснеженности.

Ниже приведены 4 профиля интенсивности солнечной радиации на глубинах с 1 метра до 10 метров.

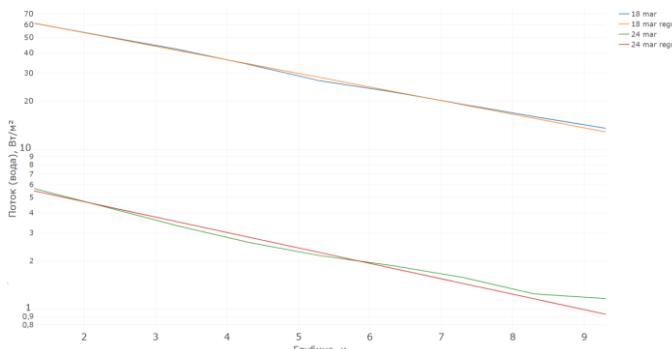


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины (синяя линия) её экспоненциальная регрессия (оранжевая линия) за 18 марта 2011 года и 18 марта 2011 года (зеленая и красная линии)

Регрессии (рисунок 1) имеют одинаковый коэффициент достоверности аппроксимации равный $R^2 = 0,99$, кроме того, они имеют очень близкий наклон в логарифмическом масштабе. Так регрессия для данных за 18 марта 2011 года имеет вид:

$$Ie^{-0,17z},$$

где I – интенсивность солнечного излучения в воде, z – глубина, отчитываемая от нижней границы льда.

А регрессия для данных за 24 марта 2011 года, в свою очередь, имеет вид:

$$Ie^{-0,19z},$$

где обозначения имеют тот же смысл, что и в предыдущей формуле.

Видим, что показатели экспонент очень близки. Выберем для коэффициента экстинкции воды среднее значение, получаемое в результате построения двух регрессий. Таким образом, коэффициент экстинкции воды в дальнейших расчётах будет приниматься равным $k = 0,18$.

Теперь с помощью данных, полученных с автономного ледового комплекса, расположенного в 7 км от берега, за 2016 г. оценим коэффициент экстинкции байкальского льда. Для этого сделаем допущение, об отсутствии отраженной составляющей излучения от границы лёд-вода. А альбедо границы снег-лёд примем равным $\alpha = 0,15$ [2].

Для оценки экстинкции рассчитаем среднюю интенсивность излучения для измерений с датчиков на поверхности льда и на глубине 1,5 метра для каждого дня за период времени, когда положение солнца близко к зенитному. Далее, воспользовавшись равенством интенсивностей излучения на границе вода-лёд, вычислим коэффициент экстинкции.

Оценки могут быть выполнены из следующих соображений. Интенсивность излучения, прошедшая верхнюю границу льда, равна показаниям датчика на поверхности льда с учётом альбедо байкальского льда. На глубине, равной толщине льда, интенсивность может быть вычислена двумя способами. Поскольку на границе раздела лёд-вода в первом приближении потери на отражение не учитываются, интенсивность излучения на нулевой глубине в воде будет равна интенсивности во льду на глубине равной толщине ледяного покрова.

$$Q_1 = (1 - \alpha_{ice})Q_{sun_{ice}} e^{-k_{ice}h_{ice}},$$

$$Q_1 = Q_2,$$

где $Q_{sun_{ice}}$ – интенсивность, регистрируемая датчиком на поверхности льда, k_{ice} – коэффициент экстинкции льда, h_{ice} – толщина ледяного покрова, α_{ice} – альбедо льда, принимаемое равными 0,15, Q_1 – интенсивность излучения во льду на глубине, равной толщине ледяного покрова, Q_2 – интенсивность излучения

в воде на нулевой глубине относительно толщины ледяного покрова.

Найти Q_2 можно из интенсивности излучения, регистрируемой датчиком на глубине 1,5 метра. Это условие можно записать так:

$$Q_{sun_{wat}} = Q_2 e^{-k_{wat} 1,5},$$

где $Q_{sun_{wat}}$ – интенсивность излучения, регистрируемая датчиком на глубине 1,5 м в воде, k_{wat} – коэффициент экстинкции воды, вычисленный ранее.

В результате, зная $Q_{sun_{wat}}$ и $Q_{sun_{ice}}$, можно оценить коэффициент экстинкции льда k_{ice} . Коэффициент экстинкции может быть получен из следующего выражения:

$$k_{ice} = \frac{-\ln \left(\frac{Q_{sun_{wat}} \exp(k_{wat} 1,5)}{Q_{sun_{ice}} (1 - \alpha_{ice})} \right)}{h_{ice}}.$$

Для оценки коэффициента экстинкции нужно отдельно рассмотреть ряд солнечных и пасмурных дней, это связано с зависимостью регистрируемого излучения от угла падения. Так в солнечный день, когда Солнце находится в зените, основное излучение ориентировано нормально к поверхности Земли, и зависимость излучения от угла не играет роли, как и неравномерность угловой чувствительности датчика. Дело осложняется в облачные дни, когда излучение, регистрируемое датчиком, может быть искажено под влиянием описанных выше эффектов. Ниже приведены характерные для облачного и ясного дня измерения интенсивности солнечной радиации, полученные автономным ледовым комплексом, установленным на пирсе в поселке Листвянка в 2022 г.

Изображенный на рисунке 2 график имеет большие колебания значения интенсивности, это характерно для дней с переменной облачностью, когда солнечное излучение в основном направлении то перекрывается облаками, то вновь регистрируется датчиком. На рисунке 3, напротив, видна гладкая зависимость интенсивности от времени, характерная для ясного дня.

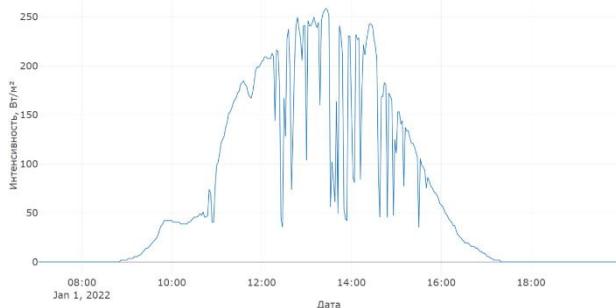


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности солнечного излучения от времени за 1 января 2022 года

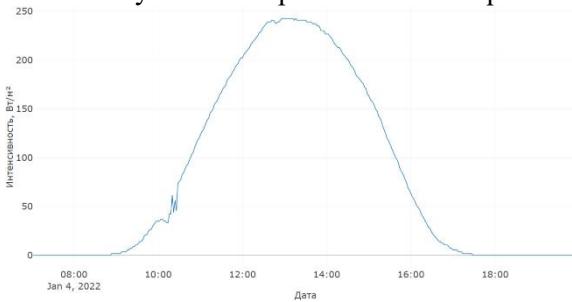


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности солнечного излучения от времени за 4 января 2022 года

Кроме того, необходимо учитывать особенности установки автономного ледового комплекса, которые могут приводить к возникновению неоднородностей на поверхности ледяного покрова. Эти неоднородности могут вызывать увеличение снегонакопления в определённых точках, что негативно сказывается на достоверности регистрируемой датчиками интенсивности солнечного излучения в период наличия снежного покрова.

Поэтому при расчётах для данных 2016 года был выбран промежуток с момента вмерзания датчиков (10.01.2016) до

момента появления снежного покрова (20.01.2016). Результаты вычисления коэффициента экстинкции льда для данного периода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка значения k_{ice} для периода с 10.01.2016

Дата (солнечные дни)	Оценка k_{ice}	Дата (облачные дни)	Оценка k_{ice}
28.01.2016	1,33	27.01.2016	1,31
29.01.2016	1,36	30.01.2016	0,69
31.01.2016	1,42	03.02.2016	0,07
01.02.2016	1,28	04.02.2016	0,26
02.02.2016	1,49	06.02.2016	1,15
05.02.2016	1,12	07.02.2016	0,92
08.02.2016	1,19	09.02.2016	1,25
Среднее значение k_{ice}	1,31	Среднее значение k_{ice}	0,81
СКО k_{ice}	0,12	СКО k_{ice}	0,49

по 20.01.2016

В результате видим, что оценка для облачных дней даёт более случайные результаты с большим разбросом, так проявляется зависимость чувствительности датчика и интенсивности излучения от угла падения. Для ясных же дней оценка даёт близкие и корректные результаты. Таким образом, коэффициент экстинкции льда может быть выбран равным $k_{ice} = 1,31$.

Этот результат позволит в первом приближении учитывать влияние солнечного излучения на процесс развития и деградации ледяного покрова.

Список использованной литературы

1. Завьялов Д.Д. Параметризация поглощения солнечной радиации снежно-ледяным покровом в термодинамической модели льда Азовского моря / Д.Д. Завьялов, Т.А. Соломаха // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37, № 5(221). – С.

538-553. – DOI 10.22449/0233-7584-2021-5-538-553. – EDN PGRVTP.

2. Исследование теплового потока и структуры подледного слоя воды на границе со льдом в Южном Байкале / И.А. Асламов [и др.] // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 3. – С. 296-310. – DOI 10.7868/S0321059617030038. – EDN YRWHOZ.

УДК 543.5

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАБОЛИЧЕСКИХ СТЕРОИДОВ В ДОПИНГ-КОНТРОЛЕ

Гасанов Рустам Ильяс оглы¹, Яковлева Татьяна Юрьевна^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения РФ», г. Санкт-Петербург, Россия,

rustamgasanov2007@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, *yakovtat@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются особенности детекции анаболических стероидов и их метаболитов в ходе допинг-контроля их применения у спортсменов. Стероиды запрещены к применению во всех видах спорта и в течение всего периода подготовки. В работе описан принцип действия радиоиммunoлогического скрининг-анализа. Раскрыты механизмы газовой и жидкостной хроматографии.

Ключевые слова: анаболические стероиды, допинг-контроль, радиоиммунный анализ, хроматография.

METHODS FOR THE DETERMINATION OF ANABOLIC STEROIDS IN DOPING CONTROL

Gasanov Rustam Il'yas ogly¹, Yakovleva Tatiana Yurievna^{1,2}

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, *rustamgasanov2007@gmail.com*

Abstract. The article considers the features of detection of anabolic steroids and their metabolites during doping-control in sports. Steroids are banned for use in *all* sports and throughout the training period. The article describes the principle of action of radioimmunological screening-analysis. The mechanisms of gas and liquid chromatography are revealed.

Keywords: anabolic steroids, doping control, radioimmune analysis, chromatography.

1. Структура и строение анаболических стероидов

Стероиды – большая группа жироподобных веществ. К ним относятся холестерин, желчные кислоты, витамины группы Д, гормоны коркового слоя надпочечников, некоторые алкалоиды, половые гормоны и их производные. Все эти биологически активные вещества имеют гидрированную циклопентаноферандреновую систему в основе своей структуры.

Стремление атлетов к повышению спортивных результатов часто приводит их к использованию различных фармакологических средств, в том числе и анаболических стероидов (АС). Широко распространено мнение, что прием АС в сочетании с интенсивной физической тренировкой способствует увеличению веса тела, мышечной силы и выносливости [1,2]. Отсюда особый интерес к этой группе веществ у тяжелоатлетов, борцов, легкоатлетов, гребцов, конькобежцев и представителей других видов спорта, где результат существенно зависит от выносливости, объема и силы мышц.

Уверенность в «благотворном» действии АС, как правило, основана на субъективном эмпирическом опыте и частных примерах, не имеющих ничего общего с объективными научными данными. При этом даже специалисты весьма смутно представляют возможные последствия приема больших количеств подобных препаратов. Неправильное и неосторожное их применение не только не дает ожидаемого эффекта, но может и отрицательно сказаться на здоровье атлета. Поэтому представляется чрезвычайно важным разъяснение спортсменам, тренерам, спортивным врачам и другим специалистам в области спорта возможности различного рода воздействия анаболических и андрогенных стероидов на физическую работоспособность, а

также объяснение потенциальной опасности, связанной с использованием больших доз, принимаемых в течение длительного времени.

Хотя реакция человеческого организма на различные препараты, включая АС, индивидуальна и не всегда предсказуема, накопленный наукой материал позволяет описать наиболее характерные изменения, связанные с применением АС. Важно отметить, что обнаружение анаболических андрогенных стероидов в допинг-пробах спортсменов осуществляется с помощью физико-химических и биофизических методов. Точная и своевременная идентификация употребления АС спортсменом позволяет снизить риск употребления допинга.

2. Обнаружение АС в биологических жидкостях (допинг-контроль)

АС входят в класс S1 технического стандарта «Запрещенный список» [3]. В настоящее время стероиды запрещены к применению во всех видах спорта в течение всего периода подготовки. Допинговый контроль спортсменов производится по детально разработанному и специально утвержденному регламенту [4]. В качестве биосубстрата используется моча. При этом анализируется не только наличие запрещенной субстанции, маркера, метаболита в биологической жидкости, но и концентрация эндогенных стероидов. Так, относительно недавно введен стероидный модуль биологического паспорта спортсмена, позволяющий за счет вычисления отношения самого тестостерона к его неактивному оптическому изомеру – эпитетостерону, доказать применение запрещенных АС. Выбранный аналитический метод обнаружения допинговых веществ вообще, и АС в частности, должен удовлетворять определенным требованиям [6]. Метод должен быть точным и надежным, достаточно быстрым и производительным (во время больших соревнований лаборатория, осуществляющая контроль, выполняет десятки и даже сотни анализов в сутки). Всем перечисленным требованиям удовлетворяет радиоиммунологическое определение (РИО) АС.

3. Радиоиммунологический скрининг-анализ АС (РИО)

РИО – высокочувствительный метод, основанный на реакции антиген – антитело с применением антигенов или антител, меченных радионуклидом (^{125}I , ^{14}C , ^{3}H , ^{51}Cr и др.). После их взаимодействия отделяют образовавшийся радиоактивный

иммунный комплекс и определяют его радиоактивность в соответствующем счетчике (бета- или гамма-излучение). Интенсивность излучения прямо пропорциональна количеству связавшихся молекул антигена и антител. Этот метод имеет значительное преимущество перед биологическими и биохимическими методами при определении веществ, которые находятся в биологических жидкостях в очень малых количествах. РИО основано на законе действия масс и подчиняется правилам химии и физики [6]. РИО по своей аналитической сущности относится к методам связывания. Основой данной группы методов исследования служит свойство специфического связывания исследуемого вещества легендами – природными или синтетическими соединениями, имеющими к этому веществу (аналиту) высокое сродство. В подавляющем большинстве случаев речь идет об иммунохимической реакции связывания исследуемого белка (аналита), который, согласно иммунохимической терминологии, является антигеном со специфическим белком антителом и в частности к иммунохимическим методам [7]. Иммунохимические методы – совокупность методов определения химического строения и свойств антигенов и антител, а также химических закономерностей их взаимодействия. Принципы иммунохимических методов основаны на специфичности иммунологической реакции и белковой природе антител [7]. Однако в иммунохимической реакции антигеном может быть и низкомолекулярное вещество, в этом случае оно называется гаптеном. В настоящее время в лабораторной аналитике чаще всего в качестве лигандов используют антитела, значительно реже другие белки, например, транспортные или клеточные белки – мишени гормонов. О количестве определяемого вещества судят по концентрации комплекса, образующегося при взаимодействии этого вещества со связывающим агентом. В случае РИО в качестве связывающего агента используют антитела (антисыворотки), получаемые при иммунизации лабораторных животных против анализируемого вещества. Получение антисывороток к АС усложняется тем, что они не обладают иммуногенами свойствами. Для того чтобы организм животных давал иммунный ответ на введение вещества стероидной природы, последнее должно быть связано (конъюгировано) с каким-либо высокомолекулярным носителем, обычно белком. Организация РИО АС включает синтез

соответствующего стероида, имеющего химическую группу, необходимую для конъюгирования с белком; получение конъюгата, например, с бычьим сывороточным альбумином и, наконец, иммунизацию животных для получения антисыворотки [8].

Другой составной частью набора для РИО является меченный радиоактивным изотопом антиген. В качестве «метки» обычно используют изотопы ^3H (тритий) и ^{125}I (йод). В качестве примера, в работе [8] были разработаны и внедрены в практику допингового контроля наборы для определения метандростеналона, нортестостерона и некоторых других АС. Оказалось, что применение указанных наборов эффективно. Однако, имеются и негативные моменты. Относительно высокая специфичность РИО АС, ограниченный срок годности аналитических наборов, довольно высокая стоимость анализов заставляет развивать и параллельно использовать другие аналитические методы определения АС.

4. Хроматографическое определение АС

В допинг-контроле используется также хроматографическое определение АС. Хроматография – процесс разделения и идентификации, основанный на различном распределении веществ между подвижной и неподвижной фазами.

Подвижная фаза непрерывно течет по системе и является, по сути, транспортом для анализируемых компонентов пробы. Неподвижная фаза может быть твердым веществом с развитой поверхностью или жидкостью, нанесенной на твердое вещество или внутреннюю поверхность капилляра. Главное для неподвижной фазы – это способность обратимо взаимодействовать с анализируемыми компонентами пробы [9]. При этом, чем лучше взаимодействие (или сорбция), тем медленнее скорость движения компонента в хроматографической системе. Подвижной фазой может быть газ или жидкость.

В газовой хроматографии (ГХ) подвижной фазой является газ. В жидкостной хроматографии (ЖХ) – жидкость. При применении ГХ для определения АС используют их высоколетучие эфиры, образующиеся с достаточной скоростью и имеющие хорошие хроматографические характеристики. Исследуемую смесь вводят в поток газа-носителя у входа в разделительную колонку. Разделительной средой может быть твердый адсорбент или жидкость, нанесенная на инертное твердое

тело. При прохождении смеси через колонку в потоке газоносителя происходит разделение ее компонентов. Сначала вымываются вещества, не задерживающиеся в колонке. Затем по очереди – компоненты, разделенные в процессе прохождения смеси через колонку. Присутствие искомого вещества в потоке газа регистрируется детектором, который реагирует на изменение какого-либо из свойств газа-носителя. Отклик (сигнал) детектора преобразуют в электрический импульс, поскольку последний проще зарегистрировать [8].

Когда интерпретация данных газохроматографического анализа затруднительна, исследователь вынужден обратиться к какому-либо дополнительному методу, который позволил бы более полно охарактеризовать и окончательно идентифицировать данное вещество. Благодаря тому, что газохроматографически разделенные продукты находятся в газовой фазе, для их последующего анализа возможно использование масс-спектрометрии. Для получения масс-спектра соединения его молекулы в газообразном состоянии подвергают диссоциативной ионизации, после которой производят разделение и анализ, полученный ионов по их массам. Наиболее чистые масс-спектры хроматографических пиков АС получаются в случае их полного разделения в избранном температурном режиме газохроматографического процесса [8].

В последнее десятилетие существенно возросла роль жидкостной хроматографии, в особенности жидкостной хроматографии высокого давления (или высокоэффективной жидкостной хроматографии – ВЭЖХ). Методом жидкостной хроматографии анализируют прежде всего такие вещества, которые нельзя перевести в газовую фазу, не вызвав их разложения. Высокая скорость массопереноса позволяет существенно сократить продолжительность разделения и увеличить быстроту потока подвижной фазы. Благодаря успехам в области разработки ВЭЖХ, созданию колонок, насосов, детекторов и другого оборудования, этот метод становится доступным, как и газовая хроматография.

Применение ВЭЖХ в анализе стероидов особенно перспективно [10], поскольку исчезает характерное для газовой хроматографии ограничение, связанное с низкой летучестью этих соединений. Это обстоятельство позволяет значительно упростить процедуру подготовки и анализа проб. Существенным

преимуществом ВЭЖХ является возможность анализа стероидов в виде их конъюгантов, поскольку многие стероидные гормоны выводятся из организма в виде конъюгантов с глюкуроновой кислотой.

Заключение. Определение АС является одной из важных проблем современного допинг-контроля. Анализ литературы показал, что определение метаболитов АС с каждым годом происходит все эффективнее. Ключевыми лабораторными методами определения АС являются радиоиммунный анализ и хроматография. Злоупотребление анаболическими стероидными средствами при подготовке к соревнованиям высокого ранга практически безошибочно обнаруживается современными средствами, используемыми в допинг-контроле.

Список использованной литературы

1. Мирошников А.Б., Смоленский А.В., Беличенко О.И. и др. Использование анаболических андрогенных стероидов в спорте и фитнесе: обновленная информация (обзор литературы) // ВНМТ. 2021. №4.
2. Сологуб И.С., Муратов И.В., Чилигин Д.В., Хандамаев А.О., Ткаченко П.А., Романов Р.В. Негативное влияние допинга на организм занимающихся бодибилдингом // МНИЖ. 2017. №12-1 (66).
3. Технический стандарт. Запрещенный список. URL <https://rusada.ru/substances/prohibited-list/> (дата обращения: 13.03.2025)
4. Всемирный антидопинговый кодекс. URL <https://rusada.ru/documents/wada-code-and-other-international-standards/> (дата обращения: 13.03.2025)
5. International Standard for Laboratories URL <https://www.wada-ama.org/en/resources/world-anti-doping-code-and-international-standards/international-standard-laboratories/> (дата обращения: 13.03.2025)
6. Красных Л.М., Василенко Г.Ф., Смирнов В.В. Современные подходы к определению концентрации альдостерона в плазме крови в клинической диагностике // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2014. №3.
7. Меньшиков В.В. Клиническая лабораторная аналитика. Том 1. Основы клинического лабораторного анализа // М. 2002. 452 с.
8. Сытинский И.А., Тихомирова О.А. Биохимический анализ

действий анаболических стероидов и их влияние на состояние мышечной системы (лекция) // ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. 1999. 20 с.

9. Хроматография простыми словами <https://chromatograf.ru/2021/11/10/hromatografija-prostymi-slovami/>

10. Мороз Е.В., Стасевич О.В. Валидация методики газохроматографического определения анаболических стероидов в биологически активных добавках для спортсменов // Труды БГТУ. Серия 2. 2016. №4 (186).

УДК [551.556.4+502.3+504](985)

ТРАНСПОЛЯРНЫЙ ПЕРЕНОС ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ АРКТИКИ

*Ковригин Даниил Дмитриевич,
Потапова Ирина Александровна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия, dankov2003@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена проблеме загрязнения воздушного бассейна Арктического региона черным углеродом, рассмотрены физические процессы и методы исследования данной проблемы, а также возможные пути ее решения. Кроме того, акцентируется внимание на важности контроля над промышленным развитием региона и соблюдения международных норм по охране окружающей среды. Подчеркивает необходимость комплексного подхода к изучению атмосферных процессов в Арктике для разработки эффективных мер по снижению антропогенного воздействия, подчеркивается необходимость обеспечения экологической безопасности региона, что требует совместных усилий и соблюдения стандартов охраны окружающей среды.

Ключевые слова: черный углерод, воздушные массы, аэрозольные станции, сила Кориолиса.

TRANSPOLAR TRANSPORT OF POLLUTANTS, ITS PHYSICAL ASPECTS AND CONSEQUENCES FOR THE ARCTIC ECOLOGY

Kovrigin Daniil Dmitrievich, Potapova Irina Alexandrovna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
dankov2003@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to the problem of pollution of the air basin of the Arctic region with black carbon, the physical processes and research methods of this problem, as well as possible solutions, are considered. In addition, attention is focused on the importance of monitoring the industrial development of the region and compliance with international environmental standards. Emphasizes the need for an integrated approach to the study of atmospheric processes in the Arctic in order to develop effective measures to reduce anthropogenic impact, emphasizes the need to ensure the environmental safety of the region, which requires joint efforts and compliance with environmental standards.

Keywords: black carbon, air masses, aerosol stations, Coriolis force.

Актуальность

Арктический регион имеет ключевое значение для глобальной климатической системы благодаря своей уникальной природе. Нарушения естественного равновесия в этой области могут вызвать серьезные последствия не только для самой Арктики, но и для всего мира. Мониторинг качества воздуха и оценка возможных рисков являются необходимыми мерами для уменьшения негативного воздействия хозяйственной деятельности. Обеспечение экологической безопасности и устойчивого развития Арктики требует тщательного анализа взаимосвязей между атмосферными процессами и экосистемами. Изучение физических аспектов загрязнения помогает разрабатывать научно обоснованные стратегии управления природными ресурсами и снижать антропогенную нагрузку.

1. Загрязнение атмосферы арктической зоны

Черный углерод образуется преимущественно вследствие неполного сгорания различных видов топлива, включая процессы в дизельных двигателях, печах и при лесных пожарах. Этот мелкодисперсный аэрозоль оседает на снежные и ледяные

покровы, снижая их альbedo — способность отражать солнечные лучи. В результате ускоряется процесс таяния льда и снега, что ведет к усилению климатических изменений в регионах и оказывает негативное влияние на экосистемы и здоровье людей.

Исследования, посвящённые изучению воздействия верховых и низовых лесных пожаров на содержание черного углерода, позволяют лучше понять механизмы его образования и перемещения в атмосфере. Эти знания критически важны для разработки эффективных мер по предотвращению лесных пожаров и сокращению выбросов черного углерода. Такая работа помогает снизить разрушительное воздействие этого загрязнителя на глобальные климатические процессы и улучшить состояние окружающей среды [4].

2. Воздействие черного углерода на природу

Основной источник появления черного углерода — неполное сгорание топлива в таких объектах, как дизельные двигатели, печи и при лесных пожарах. Оседание сажи на снег и лед снижает их способность отражать солнечный свет, что ускоряет процесс таяния. Это может ускорить изменение климата в регионе и негативно сказаться на экосистемах и здоровье населения [4]. Исследования влияния верховых и низовых лесных пожаров на содержание черного углерода помогают глубже понять механизмы его формирования и перемещения в атмосфере. Эти данные важны для создания стратегий предотвращения лесных пожаров и сокращения выбросов черного углерода, что позволит уменьшить его вредное воздействие на климат и окружающую среду.

3. Пути распространения воздушных загрязнений

Воздушные потоки способны перемещать черный углерод и прочие загрязнители на значительные расстояния от мест возникновения пожаров. Например, при лесных пожарах в Западной Сибири, Европейской части России, степных зонах Восточно-Европейской равнины, Южном Урале и Казахстане, черный углерод может достигать Арктики благодаря движению воздушных масс. Этот процесс переноса загрязнений на большие расстояния известен как атмосферный транспорт. Он способствует глобальному распространению загрязнений, включая черный углерод, оказывая неблагоприятное воздействие на климат, окружающую среду и здоровье людей не только в районах возгорания, но и в удаленных регионах, где они могут оказаться [2].

В арктических регионах в зимние и весенние месяцы нередко наблюдается образование дымки, возникающей из-за сочетания дальнего переноса антропогенных выбросов и температурной инверсии. Эта проблема становится особенно острой в холодный период года. Ключевую роль в данном процессе играет черный углерод, который, поглощая солнечное излучение, ускоряет таяние арктического снега. Такое явление может вызвать изменения в гидрологическом цикле и климатических условиях Арктики.

Кроме того, черный углерод воздействует на облачные системы, что имеет значительное влияние на климат. Он способен изменять стабильность облаков, количество осадков и их отражательные свойства. Эти изменения могут привести к трансформации климатических условий не только в Арктическом регионе, но и в других частях планеты.

Ускоренное таяние снега и льда в Арктике усиливает эффект потепления, поскольку обнажается темная поверхность земли и воды, которая поглощает больше солнечной энергии, чем белый снег. Это создает положительную обратную связь, усиливающую изменение климата.

4. Полярная станция аэрозольных исследований на острове Белый

Аэрозольные станции, подобные станции МГУ «Остров Белый», выполняют значимую функцию в отслеживании уровня загрязнения атмосферы и выявлении его источников. Измеряя концентрации черного углерода, специалисты определяют ключевые источники этого загрязнителя и оценивают их вклад в общий уровень загрязнения воздуха. Такие исследования способствуют не только пониманию механизмов образования аэрозолей, но и разработке методов снижения их воздействия для охраны природы и здоровья людей.

Постоянные измерения на станции МГУ «Остров Белый» предоставляют ученым важные данные о составе атмосферы данного региона, что необходимо для анализа процессов, протекающих в арктической атмосфере, и их влияния на изменения климата [3].

Ученые установили, что основной причиной зимнего загрязнения является использование ископаемых видов топлива, тогда как летом преобладает сжигание биомассы, включая лесные пожары и другие факторы. Сжигание биомассы ответственно

примерно за половину всех годовых выбросов черного углерода в атмосферу.

5. Миграция воздушных масс к Северному полюсу: причины и последствия

Воздушные массы, содержащие черный углерод, направляются в сторону Арктики главным образом под влиянием атмосферной циркуляции и особенностей распределения давления в северных широтах. Один из ключевых факторов, объясняющий их перемещение на север, – это силовая система Кориолиса, которая действует на все движущиеся объекты в атмосфере и океане, заставляя их отклоняться от прямого курса.

Как работает сила Кориолиса?

Сила Кориолиса возникает из-за вращения Земли вокруг своей оси. Когда объект движется в направлении север-юг или обратно, он испытывает боковую силу, которая смещает траекторию его движения. В северном полушарии эта сила вызывает отклонение воздушных масс вправо, а в южном – влево. Таким образом, воздушные массы, движущиеся от низких широт к высоким, испытывают постоянное смещение, которое заставляет их следовать по криволинейным траекториям [8].

Главным проявлением силы Кориолиса в природе является формирование атмосферных вихрей – циклонов и антициклонов. Именно из-за этой силы они закручиваются в противоположные стороны в северном и южном полушариях [1]. В северном полушарии циклоны движутся против часовой стрелки, а антициклоны – по часовой. В южном полушарии все наоборот. Это явление обусловлено двумя причинами: вращением Земли с запада на восток и зависимостью тангенциальной скорости точек на поверхности Земли от географической широты (эта скорость минимальна у полюсов и максимальна на экваторе) [3].

Сила Кориолиса играет важную роль в таких науках, как метеорология, геофизика и океанография, поскольку любое тело, движущееся вблизи поверхности Земли, испытывает её воздействие. Например, эта сила оказывает значительное влияние на атмосферные процессы, определяя направление и интенсивность основных ветровых потоков, а также направление вращения циклонов. В гидросфере она определяет траекторию морских течений [5].

Движущим фактором является также разница в температуре. Черный углерод образуется в основном в районах с высокой

промышленной активностью и интенсивным использованием ископаемого топлива. Эти районы находятся в средних и низких широтах, откуда теплые воздушные массы стремятся к более прохладным регионам, таким как Арктика.

Нельзя исключать и температурную инверсию. В зимний период над Арктикой часто формируются слои теплого воздуха, которые задерживаются высоко в атмосфере, создавая условия для стратификации. Это замедляет перемешивание воздуха и способствует концентрации загрязняющих веществ, включая черный углерод.

Таким образом, сочетание сил Кориолиса, различий в температуре и давлении, а также сезонных атмосферных явлений делает Арктику уязвимой перед поступающими с юга загрязненными воздушными массами.

6. Последствия загрязнения арктической поверхности черной сажей

- Таяние ледников приводит к увеличению уровня моря.

По мере таяния ледников в мировой океан поступает большее воды в результате чего поднимается глобальный уровень моря.

- Негативное воздействие на флору и фауну.

Изменения в морском льде и ледниках повлияли на условия существования множества живых организмов. Это касается мелких планктонных существ, которые живут вблизи ледяных краев, обеспечивающих им подходящие условия для выживания и размножения. Популяции белых медведей оказались под угрозой, лишившись значительной части своих привычных территорий. Прогнозируется, что в будущем деревья начнут продвигаться дальше на север, вытесняя значительную часть тундровой растительности (рис.1).

- Влияние на людей и общество.

Территории, населенные людьми, могут подвергаться затоплениям и оползням. Климатические изменения ведут к снижению объемов рыбного промысла в арктических водах, что уменьшает экономический вклад в региональную экономику [7].



Рисунок 1 – Последствия загрязнения Арктики черной сажей

7. Межгосударственное сотрудничество в Арктике

• Вопрос загрязнения атмосферы черным углеродом обсуждается на международной арене. Одним из первых объединений, работающих над этой проблемой, стал Арктический совет, который объединяет усилия Канады, Дании, Финляндии, Исландии, Норвегии, России, Швеции и США на государственном уровне. Кроме того, в работе форума участвуют представители коренного населения и наблюдатели от различных организаций.

• Первоначально разработанная совместная программа направлена на сокращение выбросов черного углерода на 25—33% к 2025 году относительно показателей 2013 года. В ближайшие два года планируется пересмотреть эти показатели для дальнейшего снижения допустимых уровней загрязнения сажевыми частицами.

Основные направления сотрудничества включают:

1. Экологическая безопасность: Совместные меры по защите уникальной природы Арктики, борьбе с загрязнением, включая проблему чёрного углерода.

2. Научные исследования: Проведение совместных научных экспедиций и исследований климата, флоры и фауны, ледникового покрова.

3. Экономическое развитие: Разработка природных ресурсов, создание транспортной инфраструктуры, таких как Северный морской путь.

4. Социальное благополучие: Поддержка коренных народов, улучшение их качества жизни, сохранение культурного наследия.

5. Международная дипломатия: Обсуждение вопросов безопасности и мирного разрешения споров через международные форумы, такие как Арктический совет.

Такое взаимодействие способствует устойчивому развитию региона, сохранению его экосистем и улучшению условий жизни всех заинтересованных сторон.

8. Решение проблемы выбросов углеродной сажи

Для решения проблемы выбросов углеродной сажи необходимы комплексные меры, направленные на сокращение эмиссий, улучшение технологий и повышение экологической ответственности. Вот несколько ключевых направлений:

1. Переход на чистые источники энергии

- Замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, поможет значительно сократить выбросы углеродной сажи.

- Развитие инфраструктуры для электромобилей и гибридных транспортных средств уменьшит зависимость от дизельного топлива и бензина.

2. Улучшение топливной эффективности

- Современные технологии фильтрации выхлопных газов, такие как сажевые фильтры и каталитические нейтрализаторы, способны существенно снизить выбросы сажи.

- Оптимизация процессов горения в дизельных двигателях и котлах позволит минимизировать образование сажи.

3. Контроль за лесными пожарами

- Предупреждение и оперативное тушение лесных пожаров помогут сократить выбросы сажи, возникающие при горении биомассы.

- Внедрение практики контролируемого выжигания лесов и использование современных методов мониторинга могут снизить риск неконтролируемых пожаров.

4. Международное сотрудничество

- Заключение международных соглашений и стандартов, направленных на снижение выбросов сажи, будет способствовать координации усилий разных стран.

- Совместные проекты по исследованию последствий выбросов и разработке новых технологий будут полезны для всего мира.

5. Экологическое просвещение

- Повышение осведомленности населения о последствиях выбросов углеродной сажи и важности экологически чистого образа жизни.

- Поддержка образовательных программ и инициатив, направленных на популяризацию устойчивых практик.

6. Мониторинг и контроль выбросов

- Установление строгих норм и стандартов на выбросы сажи промышленными предприятиями и транспортными средствами.

- Использование спутниковых данных и наземных станций мониторинга для отслеживания источников и масштабов выбросов.

Развитие технологий улавливания и переработки

- Инвестиции в исследования и разработку технологий, позволяющих улавливать и перерабатывать сажу до её попадания в атмосферу.

- Создание рынка для продуктов, получаемых из переработанной сажи, таких как графеновые материалы.

Комплексный подход, включающий технологические инновации, политические меры и общественное участие, необходим для эффективного решения проблемы выбросов углеродной сажи и минимизации её негативного воздействия на окружающую среду и климат.

Список использованной литературы

1. Большой информационный архив. Силы, действующие в атмосфере, и их влияние на ветер: URL: http://big-archive.ru/geography/earth_atmosphere/27.php (дата обращения: 29.12.2024)

2. Ковригин Д.Д., Потапова И.А. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения воздуха в Арктике / Сборник трудов Международной научно-практической конференции». Санкт-Петербург, 2024. С. 123-129.

3. Ковригин Д.Д., Потапова И.А. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения воздуха / В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 123-129.

4. Научно-популярный физико-математический журнал «Квант»/ Смородинский Я. Сила Кориолиса: URL:

- https://kvant.mccme.ru/1975/04/sila_koriolisa.htm (дата обращения: 25.12.2024)
- 5.. Российский фонд фундаментальных исследований, 1992—2024, Следы на снегу. Эмиссия чёрного углерода меняет климат Арктики: URL: https://www.rfbr.ru/press-center/science_news/3379/ (дата обращения: 10.01.2025)
6. ЦМИТ «Авиатор» 2019—2024 / Агро МЕТЕО: Атмосферная циркуляция: ее организация: URL: <https://agrometeo.online/articles/circulation.html> (дата обращения: 09.01.2025)
7. Экоэнерготех. Вклад в спасение Арктики – минимизация выбросов сажи (черного углерода): URL: <https://eet-msk.ru/posts/8> (дата обращения: 09.01.2025)
8. Элементы. 200 законов мироздания физика. Эффект Кориолиса: URL: https://elementy.ru/trefil/21119/Effekt_Koriolisa (дата обращения: 10.01.2025).

УДК 532.517.4:536.24

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПО СЕКЦИЯМ ПРИ
КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ В ТРУБЕ С
ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫМИ
ПОВЕРХНОСТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ПОТОКА В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ
ПАРАМЕТРОВ**

Лобанов Игорь Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, лётчика-космонавта А. А. Леонова», г. Королёв, Россия, igorlobanow0@yandex.ru

Аннотация. Расчётным методом исследуются зависимости распределений локальных тепловых нагрузок, осреднённых по секциям, при конвективной теплоотдаче в трубах с последовательностями циклических выступов полукруглых геометрий на основах численных решений систем уравнений О.Рейнольдса, замыкаемых посредством моделей переносов сдвигового напряжения Ф.Ментера, и уравнений энергий на

разномасштабной пересекающейся структурированной сетке. Расчётно было установлено, что зависимости расположений максимумов теплонагрузок от критерия Л.Прандтля сравнительно незначительны: с увеличением критерия Л.Прандтля максимумы тепловнагрузок смещаются в районы менее глубинной секции. Зависимости распределений теплонагрузок по секциям в трубе с выступами в особенности важны при учёте для сравнительно короткого канала, в котором имеют место относительно небольшие количества секций. Полученные численные распределения смерчевых зон между выступами для первых и глубинных турбулизаторных секций дают объяснения полученным ранее распределениям по секциям тепловых потоков в трубе с турбулизаторами, а ещё и их различия от аналогичных распределений тепловых потоков на начальных участках гладких труб. Полученные закономерности могут использоваться при инженерном и научном расчёте интенсифицированного теплообмена при течении в каналах с выступами, используемых в перспективных теплообменниках, с целью улучшения их экологических характеристик.

Ключевые слова: теплообмен, конвективный, турбулизатор, труба, модель, Ментер, экология.

THEORETICAL STUDY OF THE DISTRIBUTION OF HEAT LOAD ACROSS SECTIONS DURING CONVECTIVE HEAT EXCHANGE IN A PIPE WITH PERIODICALLY LOCATED SURFACE FLOW TURBULATORS DEPENDING ON GEOMETRIC AND OPERATING PARAMETERS

Lobanov Igor Evgenievich

*Technological University named after Twice Hero of the Soviet Union,
Cosmonaut A. A. Leonov, Korolev, Russia,
igorlobanow0@yandex.ru*

Abstract. The dependence of the distribution of the local heat load, averaged over sections, during convective heat exchange in a pipe with a sequence of periodic protrusions of semicircular geometry is investigated using the computational method based on the numerical solution of the system of Reynolds equations, closed using the Menter shear stress transfer model, and the energy equation on multiscale intersecting structured grids. It has been calculated that the dependence

of the location of the maximum heat load on the number of Prandtl with turbulators is quite insignificant: with an increase in the number of Prandtl, the maximum heat load moves to the area of less deep sections. The patterns of heat load distribution across sections in pipes with turbulators are especially important to consider for relatively short channels in which a relatively small number of sections take place. The calculated distributions of vortex zones between the turbulators for the first and deep sections of the turbulators provide an explanation for the previously obtained distribution of heat flow in pipes with turbulators across sections, as well as the difference between the latter and the similar distribution of heat flow in the initial section of a smooth pipe. The obtained patterns can be used in engineering and scientific calculations of intensified heat exchange during flow in channels with protrusions used in advanced heat exchangers in order to improve their environmental characteristics.

Keywords: heat transfer, convective, turbulator, pipe, model, Mentor, ecology.

Введение

Общеизвестные, апробированные практически способы смерчевого интенсифицирования теплообмена состоят с нанесениях циклических турбулизаторов на поверхности омывания [1]. Сейчас задачи теплофизики интенсивным образом решаются многоблочными вычтехнологиями, базирующимися на структурированно-пересекающихся сетках [2, 3]. Настоящая статья продолжает использование методов [5, 6] при анализировании турбулентных течений и теплообмена в каналах с турбулизаторами разнообразных геометро-характеристик и режимных значений параметров течений теплоносителей, в особенности, при анализировании максимизации тепловых нагрузок по отдельным секциям турбулизаторов.

Влияния режима и геометрии на распределения теплового нагружения по секционности турбулизаторов на основах анализа результативностей численного расчёта

При решении задачи была применена осесимметрическая модель. Рассчитаны характерные линии токов для трубы с выступами при рассматриваемом диапазоне режимного и геометрического определяющего набора факторов ($Re=5\cdot10^3\div10^5$; $Pr=0,72\div1,0$; $d/D=0,93\div0,95$; $t/D=0,25\div1,00$).

Реализации вышеизложенных методов обусловило

получение распределения теплонаагрузок в секциях для трубы с выступами полукруглых трансверсальных профилей как зависимость от геометрии выступа и режима течений теплоносителей.

В продолжении был сделан соответствующий расчёт на предмет выявления закономерностей изменений максимумов теплонаагрузок от режима течений теплоносителей и параметра геометрии выступов для одинаковых других условиях. Рассчитанные секционные распределения максимальных теплонаагрузок позволяют показать вышеупомянутую закономерность при довольно характерных для трубы с турбулизаторами диапазонов определяющих характеристик: $d/D=0,93 \div 0,95$; $t/D=0,25 \div 1,00$; $Re=5 \cdot 10^3 \div 10^5$; $Pr=0,72 \div 1,0$.

Были проанализированы закономерности максимумов теплонаагрузок как от геометрии трубы с выступами, так и от режима течений теплоносителей. За реперные точки были приняты нижеследующие значения: $d/D=0,95$; $t/D=0,50$; $Re=10^4$; $Pr=0,72$, как в наибольшей степени характерные.

Сначала следует обратиться к анализированию зависимостей положений максимумов теплонаагрузок от геометрии трубы с выступами.

Рассмотрим расчётные зависимости распределений теплонаагрузок в секциях от относительных шагов между выступами t/D . Анализирование соответствующего расчётного материала показало, что, при других одинаковых параметрах ($d/D=0,95$; $Re=10^4$; $Pr=0,72$), максимумы относительных теплопотоков расположены в районе 4,00 секций для $t/D=0,25$; в районе 2,75 секций — для $t/D=0,50$; в районе 2,25 секций — для $t/D=0,75$; в районе 2,00 секций — для $t/D=1,00$. Вышеприведённая информация выявляют факт, что максимумы теплонаагрузок реализуются в секции с большим удалением от начала с уменьшением относительных шагов промеж турбулизаторов t/D . При больших увеличениях относительных шагов промеж турбулизаторов реализуются меньшие уменьшения количества секций при максимумах теплонаагрузок. Таким образом, зависимости расположений максимумов теплонаагрузок от относительных шагов промеж турбулизаторов являются ощутимо значительными.

Затем были рассмотрены расчётные зависимости распределений тепловых секционных нагрузок от относительных

диаметров труб с выступами d/D . Анализирование соответствующего расчётного материала, показало, что, при других одинаковых параметрах ($t/D=0,50$; $Re=10^4$; $Pr=0,72$), максимумы относительных тепловых потоков расположены в районе 3,00 секций для $d/D=0,93$; в районе 2,875 секций — для $d/D=0,94$; в районе 2,75 секций — для $d/D=0,95$. Вышепредставленный расчётный материал указывает на то, что максимумы теплонагрузок реализуются при секции с большей удалённостью для турбулизаторах с большими относительными высотами. Зависимости расположений максимумов теплонагрузок от относительных диаметров каналов с выступами являются сравнительно незначительными.

Вначале были рассмотрены расчётные зависимости распределений тепловонагрузок по секциям от критериев О.Рейнольдса Re . Анализирование соответствующего расчётного материала указывает на то, что, для других одинаковых показателях ($d/D=0,95$; $t/D=0,50$; $Pr=0,72$), максимумы относительных теплопотоков расположены в районе 7,50 секций для $Re=5 \cdot 10^3$; в районе 2,75 секций — для $Re=10^4$; в районе 1,375 секций — для $Re=5 \cdot 10^4$; в районе 1,25 секций — для $Re=10^5$. Приведённый расчётный материал указывает на то, что максимумы теплонагрузок реализуются секциях с большим удалением от начала при более низких критериях О.Рейнольдса. Данные закономерности носят характер кубических парабол. При сильном понижении критериев О.Рейнольдса происходят большие увеличения количества секций для максимумов тепловых нагрузок. В эти зависимости очень хорошо вписывается отдельное значение расчёта ($d/D=0,97$; $t/D=0,50$; $Re=8 \cdot 10^3$; $Pr=0,72$). Учитывая вышеизложенное, зависимости расположений максимумов теплонагрузок от критериев О.Рейнольдса являются очень значительными.

После этого были рассмотрены расчётные зависимости распределений по секциям теплонагрузки в зависимости от критериев Л.Прандтля. Анализирование соответствующего расчётного материала, выявило, что, для других одинаковых факторов ($d/D=0,95$; $t/D=0,50$; $Re=10^4$), максимумы относительных тепловых потоков расположены в районе 2,75 секций для $Pr=0,72$; в районе 2,625 секций — для $Pr=4$; в районе 2,375 секций — для $Pr=10$. Вышеприведённая расчётная информация выявила, что максимумы тепловонагрузок

реализуются в секциях с большими удалениями от начала для малых критериев Л.Прандтля для других одинаковых факторов. Описанные закономерности являются прямолинейными. Закономерности отклонений расположений максимумов теплонаагрузок по секциям в каналах с выступами от критериев Л. Прандтля являются сравнительно незначительными.

Вышепредставленное анализирование выявило то, что на расположения максимумов относительных плотностей тепловых потоков q/q_{max} (Nu/Nu_{max}) максимальные влияния оказывают t/D относительные шаги промеж турбулизаторов и Re критерий О.Рейнольдса.

Справедливым будет утверждение о том, что сгенерированные в исследовании распределения тепловых потоков в трубе с выступами в значительной отличаются от аналогичных соответствующих распределений в круглых гладких горизонтальных трубах с неизменными режимами течений [4], в которых указывается на монотонные убывания по длине труб коэффициентов теплосъёмов.

Структуры смерчевых зон промеж турбулизаторов для начальных (первых) и последующих (глубинных) секций турбулизаторов на базе анализа совокупности результатов численного расчёта по низкорейнольдсовым ментеровским моделям

Сгенерированный в работе расчётный материал выявил конкретные секции в трубе с выступами максимальным образом нагружаются в тепловых отношениях и были установлены эти зависимости от геометрии трубы с выступами и режима течений теплоносителей. В данной ситуации ставился вопрос детерминирования единственно характера распределений тепловых нагрузок по секциям на всей протяжённости трубы с выступами.

Были рассчитаны структуры смерчевых зон промеж турбулизаторов полукруглого трансверсального профиля для начальных (первых) и последующих (глубинных) секций при условии $d/D=0,95$; $t/D=0,25$; $Re=104$; $Pr=0,72$. Анализирование линий токов говорит о том, что имеются различия характеров линий токов в круглой трубе с выступами у первых и у глубинных рядов турбулизаторов.

Анализирование представленного расчётного материала по линиям токов промеж турбулизаторов у начальных и глубинных

секций выступов показало, что повышение критериев О.Рейнольдса при других одинаковых параметрах обуславливает смещение центров основных вихрей направления, которые противоположны основному течению.

При увеличениях относительных высот турбулизаторов для других одинаковых параметров происходит смещение центров основных вихрей в направлениях основных течений; при турбулизаторах с более низкими относительными высотами ($d/D=0,97$; $t/D=0,5$; $Re=8 \cdot 10^3$; $Pr=0,72$) вышеуказанные смещения центров смерчей проявляется в меньшей степени, нежели при турбулизаторах с большими относительными высотами.

Вышеприведённые различия характеров смерчевых зон для первых и глубинных секций обуславливают отличия в распределении тепловых потоков в каналах с выступами от аналогичных распределений в гладкотрубном канале с неизменным режимом течений. Реализуются максимумы тепловых нагрузок на секциях, поскольку центры смерчей расположены далее по течению для начальных секций, а не у глубинных — это и детерминирует более высокие значения осреднённого по отдельной секции теплосъёма.

Для открытой впадины — это значит ещё и то, что точки присоединений у начальных секций выступов располагаются далее по основному течению, нежели у глубинных секций, но приращение локальных тепловых потоков реализуется вплоть до точек присоединений течению, следовательно, и осреднённый теплосъём для начальных секций относительно глубинных будет повышенным.

Таким образом, предоставленные в данной работе анализы сгенерированных расчётыми методами смерчевых зон для начальных и глубинных секций выступов объясняют полученные несколько раньше распределения по секциям тепловых потоков в каналах с выступами, а также их отличия от аналогичных распределений по длинам каналов в гладких трубах.

Резюмируя следует сказать, что в настоящей научной работе приводятся главным образом характерные случаи смерчевых зон в трубе с турбулизаторами, каковые могут стать основаниями для последовательных научных исследований в расширенном диапазоне режима течений теплоносителей и геометрических параметров труб и каналов с выступами.

Заключение

1. Реализованный в данной статье расчётный способ, базирующийся на решениях конечно-объёмными методами уравнений О.Рейнольдса, которые замыкаются при помощи факторизированной модели переносов напряжения сдвига Ф.Ментера и уравнений энергий на пересекающейся структурированной сетке разных масштабов (ФКОМ) с приемлемой погрешностью позволил сделать расчёт коэффициентов теплопроводности и гидравлических сопротивлений в трубе с кольцевыми турбулизаторами разнообразных формам.

2. Теоретическим способом были исследованы зависимости распределений локальных теплонаагрузок, секционно осреднённых, для конвективного теплообмена в трубах циклическими поверхностными выступами полукруглого трансверсального профиля основе ФКОМа, которые в значительной мере зависят от геометрий каналов и режимов течений теплоносителей.

3. Приведённый в статье анализ показывает, что наибольшие влияния на расположения максимумов относительных тепловых потоков q/q_{max} ($Nu/Numax$) оказывают относительные шаги t/D промеж турбулизаторов, а также Re критерий О.Рейнольдса.

4. Законы секционных распределений тепловых нагрузок в трубе с выступами в особенности важны для относительно короткого канала, в котором имеются сравнительно небольшое количество секций.

5. Сгенерированные расчётные расположения смерчевых зон промеж турбулизаторов у первых и у глубинных секций объясняют уже полученное распределение тепловых потоков по секциям в трубе с выступами, а кроме этого и различия данного распределения от аналогичных распределений тепловых потоков на начальных участках у прямых гладких труб.

6. Сгенерированные закономерности можно использовать для инженерных и научных расчётов интенсифицированных параметров теплоотдачи при течениях в канале с турбулизаторами, применяющихся в перспективных теплообменных аппаратах, для обеспечения улучшений их экологических параметров.

Список использованной литературы

1. Эффективные поверхности теплообмена / Э.К.Калинин, Г.А.Дрейцер, И.З.Копп и др. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.

2. Управление обтеканием тел с вихревыми ячейками в приложении к летательным аппаратам интегральной компоновки (численное и физическое моделирование) / П./р. А.В.Ермишина и С.А.Исаева. – М.-СПб, 2001. – 360 с.
3. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA J. – 1994. – V. 32. – № 8. – P. 1598.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
5. Лобанов И.Е., Штейн Л.М. Перспективные теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом для металлургического производства. (Общая теория интенсифицированного теплообмена для теплообменных аппаратов, применяемых в современном металлургическом производстве.) В 4-х томах. Том III. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах с применением многослойных, супермногослойных и компаундных моделей турбулентного пограничного слоя. – М.: МГАКХиС, 2010. – 288 с.
6. Лобанов И.Е., Парамонов Н.В. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при течении в каналах на основе сложных моделей турбулентного пограничного слоя. – М.: Изд-во МАИ, 2011. – 160 с.

УДК 532.517.2

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛЛОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В УСЛОВИЯХ ПЫЛЕВОГО ВЫНОСА НА АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Малиновская Елена Александровна¹, Козлов Никита Олегович^{1,2},
Калинин Савелий Дмитриевич^{1,2}, Чхетиани Отто Гурамович¹,
Максименков Леонид Олегович¹*

*¹ФГБУН «Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова
Российской академии наук», г. Москва, Россия*

*²ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет» г. Санкт-Петербург,
Россия , elen_am@inbox.ru*

Аннотация. На основе дневных данных комплексных полевых измерений в аридных условиях в летнее время оцениваются наличие и изменение корреляционных связей различных измеряемых параметров: температуры, скорости и направление ветра, концентрации пылевого аэрозоля, относительной влажности и напряженности электрического поля в приповерхностном слое воздуха. Выявлено, что наибольшая корреляционная связь в течение всего дня характерна для пары величин скорости ветра и напряженности электрического поля. Для всех пар наибольшие корреляции отмечаются в утреннее или вечернее время. Особым времененным интервалом является середина дня, где протекают сложные нелинейные эффекты, связываемые с возникновением баллоэлектрического эффекта.

Ключевые слова: пылевой аэрозоль, заряженные частицы в атмосфере, баллоэлектрический эффект.

INVESTIGATION OF THE BALLOELECTRIC EFFECT UNDER CONDITIONS OF DUST TRANSPORT IN ARID TERRITORIES

*Malinovskaya Elena Aleksandrovna¹, Kozlov Nikita Olegovich^{1,2},
Kalinin Saveliy Dmitrievich², Chkhetiani Otto Guramovich¹,
Leonid Olegovich Maksimenkov¹*

¹*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

²*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, elen_am@inbox.ru*

Abstract. On the basis of daily data of complex field measurements in arid conditions in summer time, the presence and change of correlation relations of various measured parameters: temperature, wind speed and direction, dust aerosol concentration, relative humidity and electric field strength in the near-surface air layer are evaluated. It was revealed that the highest correlation throughout the day is characteristic of the pair of wind speed and electric field strength. For all pairs, the highest correlations are observed in the morning or evening. A special time interval is the middle of the day, where complex nonlinear effects associated with the balloelectric effect occur.

Keywords: dust aerosol, charged particles in the atmosphere, balloelectric effect.

В результате сальвационного взаимодействия крупных частиц с поверхностью аридной территории происходит передача электронов в результате туннельного перехода [KokJ.F., LacksD.J., 2009]. Возникающая разность потенциалов вблизи частиц с неодинаковой кривизной поверхности приводит к перераспределению заряда. Мелкие частицы накапливают отрицательный заряд, относительно крупные – положительный [SchmidtD.S., SchmidtR.A., DentJ.D., 1998]. Поэтому пылевой аэрозоль, стряхиваемый с крупных сальвирующих частиц, имеет отрицательный заряд [KokJ.F., RennoN.O., 2008; BoT.L. et al., 2013].

Напряженность электрического поля линейно связана с концентрациями пылевых частиц [EspositoF. et al., 2016]. Максимум величины напряженности электрического поля в условиях аридных территорий расположен примерно на высоте 1 см от поверхности и далее уменьшается до высоты 20 см [YueG., ZhengX., 2006].

Заметная эмиссия пылевого аэрозоля начинается при относительной влажности воздуха ниже 40-50% [Golitsyn G. S. et al., 2003], что может влиять на величину напряженности электрического поля. Прямая линейная связь напряженности электрического поля и концентрации пылевого аэрозоля выявляется для высокой влажности [PetrovaG. G. et al., 2021]. Обводнение частиц аэрозоля влияет на процесс электризации [Смирнов В.В., 2010]. При бризовом ветре проявляется баллоэлектрический эффект [LopesF., 2016], определяющий наличие зависимостей величины напряженности электрического поля от температуры (от влажности воздуха).

Влажность воздуха зависит от испарения с поверхности [Будыко, 1948; Shahraeeni, Or, 2010]. В песке пар движется через поры за счет диффузии и адвекции [Shahraeeni, Or, 2010; Louge et al., 2022]. Часть пор заполнена газовой фазой, а вода скапливается в микропорах и неровностях [Laurindo, Prat, 1996].

В результате конвективного выноса пылевого аэрозоля из пор поверхности [Gledzer, E. B., Granberg, I. G., & Chkhietiani, O. G. (2009)] также может возникать изменение заряда.

Предполагается, что процесс электризации пылевого аэрозоля, генерируемого в конвективных условиях выноса из пор, может находиться в одном из двух состояний: в сухом и обводненном. Это обстоятельство существенным образом влияет на механизмы электризации.

1. Описание данных.

Полученные данные со всех приборов группировались в пары и исследовались на предмет корреляционных связей. Был выбран пятидневный промежуток с 31.07 по 04.08.2023, когда все указанные величины измерялись непрерывно. Рассматривался временной отрезок с 8 утра до 8 вечера.

Выбранные дни были сухие и солнечные. В дневное время температура воздуха повышается и достигает максимальных значений в моменты времени с 13:00 до 16:00. Относительная влажность воздуха в утренние часы до момента времени 12-13:00 значительно падает (на 10-30 %). После 17-18:00 начинается рост значений. Для напряженности электрического поля в выбранные дни преобладали положительные значения, близкие к -500 В/м. Скорости ветра можно охарактеризовать как умеренные.

Изменения концентрации пылевого аэрозоля на разных уровнях (20, 80 и 160 см) связываются с усилениями ветрового выноса, обладают неравномерной всплесковой динамикой.

2. Корреляционный анализ данных.

Из всех проанализированных зависимостей отобраны 4 пары величин с наиболее высокой корреляцией. Нелинейная связь в течение дня, особенно сильная утром и вечером, обнаруживается для величин концентрации частиц и напряженности электрического поля (рис.1а). Аналогично с парой концентрация–температура: корреляция выше в утренние и вечерние часы, но снижается к полудню (рис.1б). Для пары влажность–напряженность днем связь умеренная, к вечеру усиливается, а ночью становится функциональной из-за роста влажности (рис.1в). Также умеренная зависимость обнаруживается для величин скорости ветра и напряженности электрического поля утром, к полудню переходит в слабую и хаотичную.

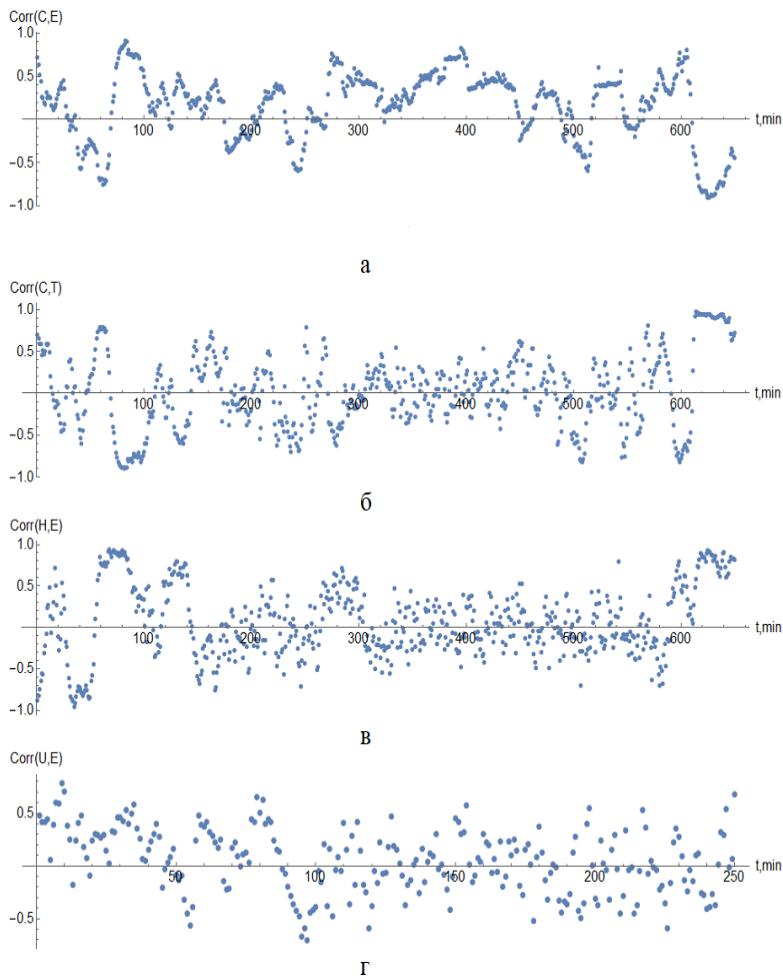


Рисунок 1 – Графики корреляций различных пар величин за 03.08.2023 (а – концентрация и напряженность электрического поля, б – концентрация и температура воздуха, в – влажность воздуха на высоте 2 м и напряженность электрического поля, г – скорость ветра на высоте 2 м и напряженность электрического поля)

3. Сухой и обводненный режимы генерации заряженного пылевого аэрозоля.

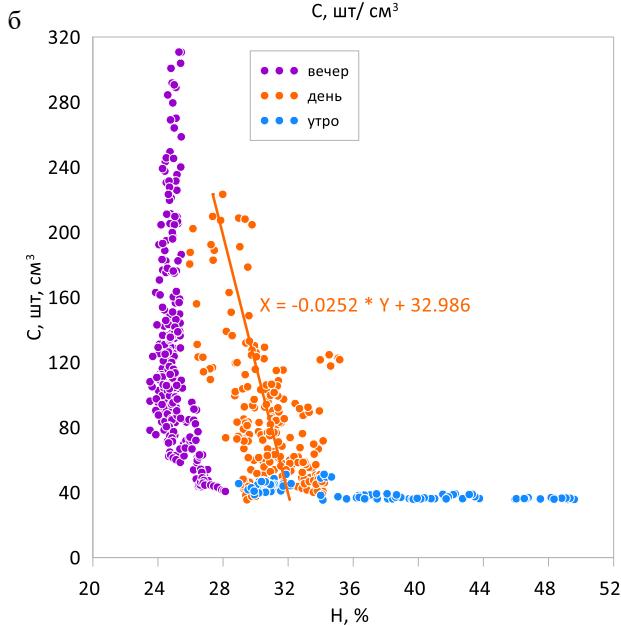
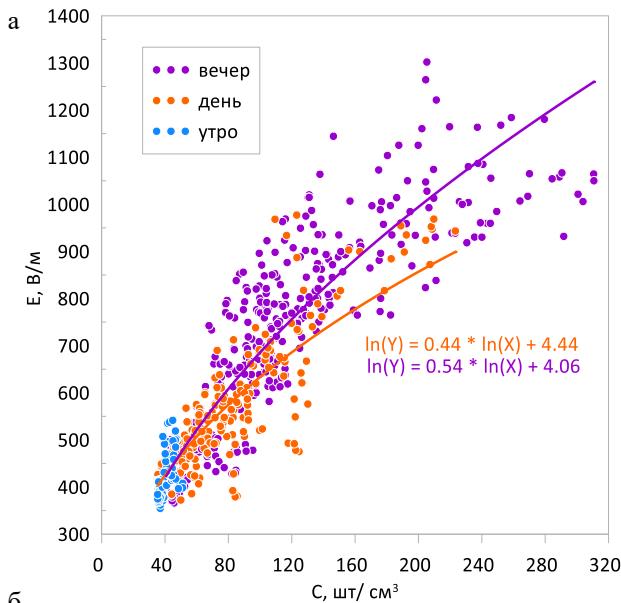
В связи с выявленными закономерностями для корреляций каждый день условно разбит на три составляющие: утро (высокие

значения относительной влажности, $<35\%$), день (падение величины относительной влажности до минимального значения) и вечер с усреднением за 5 минут. В утренние и дневные часы более вероятно появление обводненного аэрозоля, чем в вечернее, так как более интенсивна сушка испарение в порах среды.

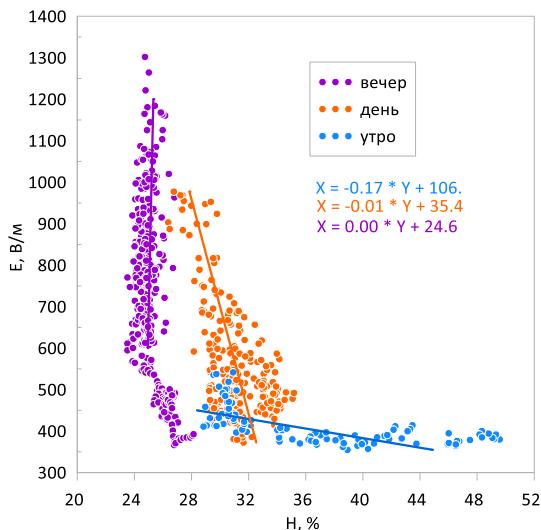
По данным измерений получено, что вклад в изменение фоновой величины электрической напряженности больше для сухого пылевого аэрозоля (вечер, рис.2а), так как его размеры меньше обводненного.

Связь величины относительной влажности воздуха от величины счетной концентрации частиц различна для разных временных участков (рис.2б), что отражает, по сути, три режима конвективного выноса пылевого аэрозоля из пор: 1) отсутствие выноса при относительно влажности $>35\%$; 2) вынос обводненного аэрозоля ($25\text{--}35\%$); 3) сухой вынос ($<25\%$). Подобные режимы проявляются для связи напряженности электрического поля с относительной влажностью (рис.2в).

Выявляются эффекты зависимости скорости ветра от величины напряженности электрического поля (рис.2г) для случаев обводненного и сухого пылевого аэрозоля.



В



Г

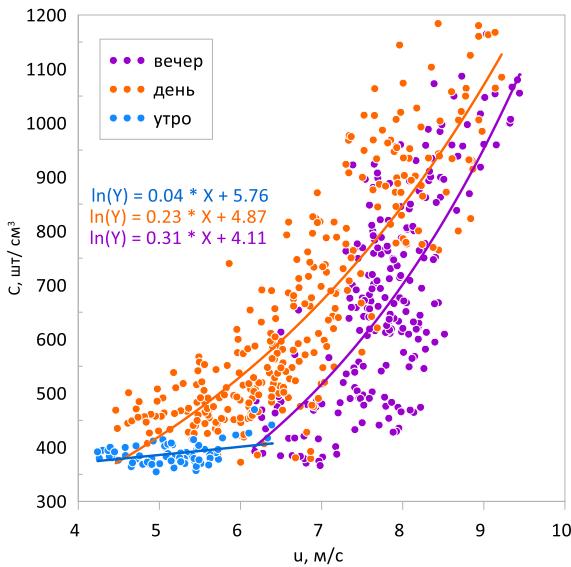
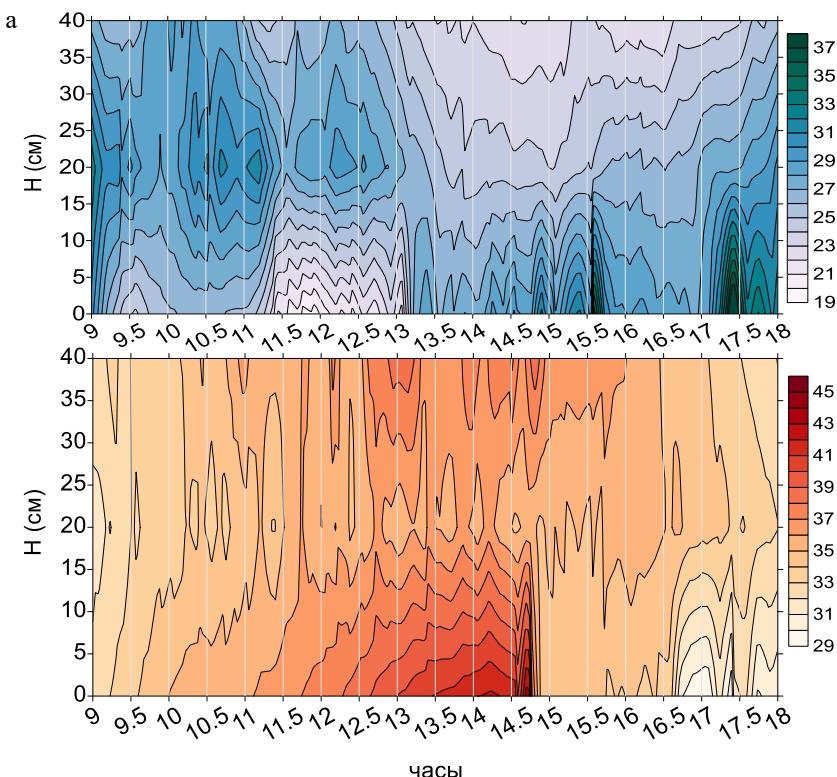


Рисунок 2 – Связи различных величин, усредненных за 5 минут за 1.08.2023, разбитых на три временных интервала (а - вклад в фоновое электрическое поле обводненного пылевого аэрозоля и сухого пылевого аэрозоля; б - три режима выноса пылевого аэрозоля; в – связь скорости ветра и концентрации пылевого аэрозоля; г - зависимость величины напряженности электрического поля от величины относительной влажности)

4.Баллоэлектрический эффект в условиях аридных территорий.

На рис. 3 представлены суточные изменения вертикальных профилей температуры и относительной влажности для аридной территории и степной зоны при схожих температурных условиях

В приземном слое (20 см) наблюдается характерное повышение влажности с одновременным снижением температуры, что свидетельствует об испарении влаги с увлажненных пылевых частиц. Данный процесс сопровождается проявлением баллоэлектрического эффекта, приводящего к снижению фоновых значений напряженности электрического поля.



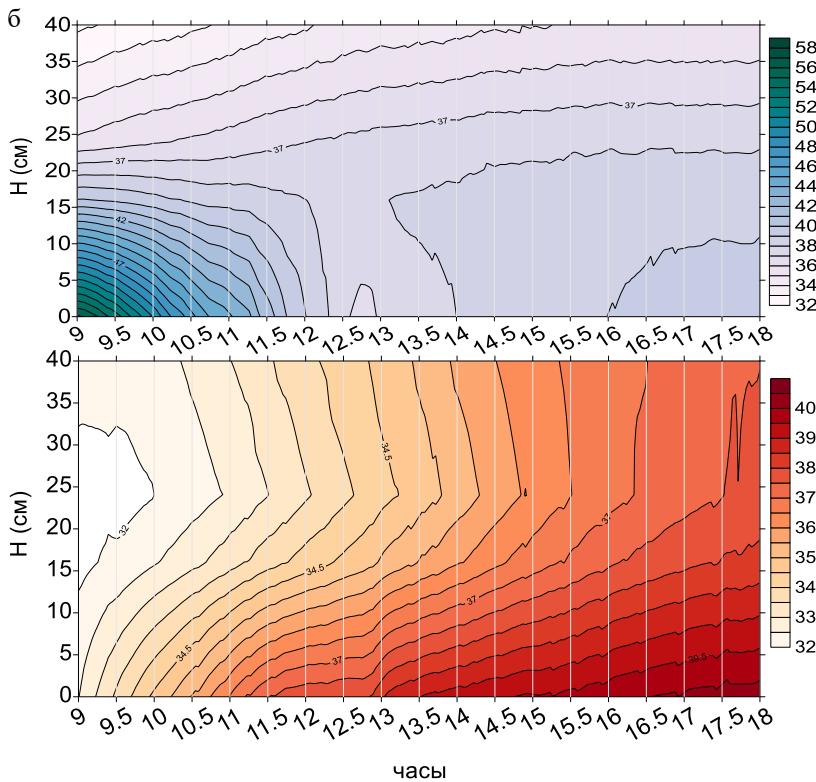


Рисунок 3 – Изменение относительной влажности и температуры воздуха с высотой в течение дня (а – Калмыкия, б – Цимлянск)

Заключение

Проведены комплексные измерения параметров пограничного слоя в аридных условиях, включая температуру, влажность, скорость ветра и напряженность электрического поля. Анализ выявил значительные колебания корреляций между параметрами, особенно выраженные утром и вечером. Суточная динамика показывает три характерных периода: утро, день и вечер. Процессы электризации частиц связаны с их выносом из поверхностных пор. Изменения влажности отражают три фазы испарения: интенсивное утром, вынос увлажненных частиц днем и сухого аэрозоля вечером. Наблюдаемые эффекты объясняются баллоэлектрическими процессами при взаимодействии заряженных частиц.

Список использованной литературы

1. Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent J.D. Electrostatic force on saltating sand // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1998. V. 103. D8. P. 8997-9001.
2. Kok J.F., Lacks D.J. Electrification of granular systems of identical insulators // Physical Review E. 2009. V. 79. №5. P. 051304.
3. Kok J.F., Renno N.O. Electrostatics in wind-blown sand // Physical Review Letters. 2008. V. 100. №1. P. 014501.
4. Bo T.L. et al. Theoretical prediction of electric fields in wind-blown sand. Journal of Geophysical Research: Atmospheres // 2013. V. 118. № 10. P. 4494-4502.
5. Yue G., Zheng X. Electric field in windblown sand flux with thermal diffusion. Journal of Geophysical Research: Atmospheres // 2006. V. 111. D16106.
6. Zheng X.J. Electrification of wind-blown sand: Recent advances and key issues. The European physical journal E. 2013. V. 36. P. 138.
7. Gorchakov G. I. et al. Electric currents of saltation in windsand flux //Doklady earth sciences. Springer Nature BV, 2006, 410(1), 1109.
8. Petrova G. G. et al. Expeditionary research of electrical processes on a high mountain plateau taking into account aerosols and humidity //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 840. – №. 1. – С. 012012.
9. Merrison J. P. Sand transport, erosion and granular electrification. Aeolian Research. 2012. V. 4. P. 1-16.
10. Shao Y. et al. A tribute to Michael R. Raupach for contributions to aeolian fluid dynamics. Aeolian Research. 2015. V. 19. P. 37-54.
11. Голицын Г.С. и др. Исследование термоконвективных выносов аридного аэрозоля в Черных Землях Калмыкии // Естественные и антропогенные аэрозоли. СПб.: СПбГУ, 1998. С. 342–348.
12. Смирнов В.В. Электризация аэрозоля, обводняющегося в биполярно ионизированном воздухе// Изв. РАН. ФАО. – 2010. – том 46. – с. 321-331.
13. Ge Z. et al. Experimental study of sand splash-saltation process in different moisture //Geomorphology. – 2024. – С. 109553.
14. Thermal Coupling, Wind-Driven Pore Advection, Subsurface Waves, and Exchange With the Atmospheric Boundary Layer //Journal of Geophysical Research: Earth Surface. – 2022. – Т. 127. – №. 4. – С. e2021JF006490.

15. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. – Гидрометеорологическое изд-во, 1948.
16. Shahraeeni E., Or D. Pore-scale analysis of evaporation and condensation dynamics in porous media //Langmuir, 2010, 26(17), 13924-13936.
17. Lopes F. et al. Atmospheric electrical field measurements near a fresh water reservoir and the formation of the lake breeze //Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. – 2016. – Т. 68. – №. 1. – С. 31592.
18. Laurindo, J. B., & Prat, M. (1996). Numerical and experimental network study of evaporation in capillary porous media. Phase distributions. *Chemical engineering science*, 51(23), 5171-5185.
19. Gledzer, E. B., Granberg, I. G., & Chkhetiani, O. G. (2009, June). Convective aerosol fluxes near the ground surface. In *Doklady Earth Sciences* (Vol. 426, No. 1, p. 652). Springer Nature BV.

УДК [531+514.12]:629.783

ТРАЕКТОРИИ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Петрова Вера Валерьевна

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, tuitar.tiger@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается влияние начальной скорости искусственного спутника Земли на форму его траектории, а также на ориентацию траектории в пространстве относительно Земли.

Ключевые слова: траектория, начальная скорость, каноническое уравнение эллипса.

TRAJECTORIES OF ARTIFICIAL EARTH SATELLITES UNDER DIFFERENT INITIAL CONDITIONS

Petrova Vera Valeryevna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
tuitar.tiger@yandex.ru*

Abstract. The article examines the effect of the initial velocity of an artificial satellite on the shape of its trajectory, as well as on the orientation of the trajectory in space relative to the Earth.

Keywords: trajectory, initial velocity, canonical equation of an ellipse.

Уравнения движения искусственных спутников Земли, как известно [1], можно вывести из решения системы дифференциальных уравнений, представляющих собой второй закон Ньютона $m\ddot{a} = \vec{F}$, где $\vec{F} = -k^2 m \vec{r}$ – сила притяжения к неподвижному центру. Будем считать, что расстояние искусственного спутника до поверхности Земли невелико по сравнению с радиусом Земли, так что коэффициент k можно считать постоянной величиной. Проектируя второй закон Ньютона на оси декартовой системы координат, можем записать

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -k^2 mx, \\ m\ddot{y} = -k^2 my, \\ m\ddot{z} = -k^2 mz \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x} + k^2 x = 0, \\ \ddot{y} + k^2 y = 0, \\ \ddot{z} + k^2 z = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Каждое уравнение системы (1) можно решить по отдельности. Это однородные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами. Такие дифференциальные уравнения решаются с помощью характеристических квадратных уравнений [1, 2]. В данном случае характеристическое уравнение имеет вид

$$\lambda^2 + k^2 = 0, \quad \lambda_{1,2} = \pm ki.$$

Согласно теоремам дифференциального исчисления, в этом случае решение дифференциального уравнения второго порядка записывается с помощью синусов и косинусов. Для первого уравнения системы (1), таким образом,

$$x(t) = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt.$$

Для нахождения произвольных постоянных C_1 , C_2 используются начальные условия, т.е. необходимо задать начальное положение и начальную скорость. Пусть при $t = 0$

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = v_{0x}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt, \\ x(0) = C_1 &= x_0, \quad \dot{x}(0) = C_2 k = v_{0x}, \quad C_2 = \frac{v_{0x}}{k}.\end{aligned}$$

Следовательно, решение первого уравнения системы (1) имеет вид

$$x(t) = x_0 \cos kt + \frac{v_{0x}}{k} \sin kt.$$

Остальные два уравнения системы (1) полностью повторяют первое уравнение, отличаясь лишь обозначением переменных. Поэтому решение для них будет иметь тот же вид. Собирая все три решения в систему, получим

$$\begin{cases} x(t) = x_0 \cos kt + \frac{v_{0x}}{k} \sin kt, \\ y(t) = y_0 \cos kt + \frac{v_{0y}}{k} \sin kt, \\ z(t) = z_0 \cos kt + \frac{v_{0z}}{k} \sin kt. \end{cases} \quad (2)$$

Система (2) задает уравнение кривой в пространстве. Для определения вида кривой направим ось Ox так, чтобы она проходила через начальное положение точки. Кроме того, проведем плоскость Oxy через направление начальной скорости. Тогда $y_0 = z_0 = v_{0z} = 0$ и уравнения примут вид

$$\begin{cases} x(t) = x_0 \cos kt + \frac{v_{0x}}{k} \sin kt, \\ y(t) = \frac{v_{0y}}{k} \sin kt, \\ z(t) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Получилось уравнение плоской кривой. Т.е. если мы запустим спутник в некоторой плоскости, дальнейшее его движение будет проходить только в этой плоскости. Можно вывести и уравнение этой кривой, если выразить синус и косинус из равенств системы (3).

$$\begin{aligned}\sin kt &= \frac{y}{v_{0y}/k}, \\ \cos kt &= \frac{1}{x_0} \left(x - \frac{v_{0x}}{k} \sin kt \right) = \frac{1}{x_0} \left(x - \frac{v_{0x}}{v_{0y}} y \right).\end{aligned}$$

Поскольку по основному тригонометрическому тождеству $\sin^2 kt + \cos^2 kt = 1$, можем записать

$$\frac{1}{x_0^2} \left(x - \frac{v_{0x}}{v_{0y}} y \right)^2 + \frac{y^2}{(v_{0y}/k)^2} = 1. \quad (4)$$

Если положить $v_{0x} = 0$, получим каноническое уравнение эллипса

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{(v_{0y}/k)^2} = 1,$$

траекторию которого можно изобразить в виде

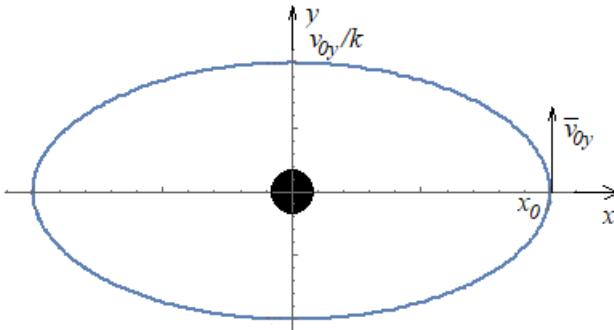


Рисунок 1 – Траектория движения спутника в наиболее простом случае

Уравнение (4) – это тоже уравнение эллипса, но повернутого на некий угол относительно оси Ox [3]. Ясно, что этот угол определяется отношением v_{0x}/v_{0y} . Рассмотрим, как именно отношение координат начальной скорости влияет на вид траектории. Если раскрыть квадрат первого слагаемого формулы (4), то получим

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{1}{v_{0y}^2} \left(\frac{v_{0x}^2}{x_0^2} + k^2 \right) y^2 - \frac{2v_{0x}}{x_0^2 v_{0y}} xy = 1. \quad (5)$$

То, что эллипс повернут на некоторый угол относительно координатных осей, показывает наличие последнего слагаемого в левой части равенства (5). Как известно [2, 3], при повороте декартовых осей координат на некоторый угол φ зависимость между старыми и новыми координатами определяется формулами (см. рисунок 2)

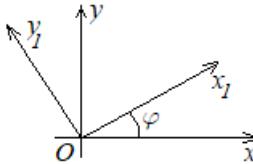


Рисунок 2 – Расположение осей координат при повороте

$$\begin{cases} x = x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi, \\ y = x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi. \end{cases} \quad (6)$$

Если подставить формулы (6) в уравнение (5), то зависимость будет следующей

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_0^2} (x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi)^2 + \frac{1}{v_{0y}^2} \left(\frac{v_{0x}^2}{x_0^2} + k^2 \right) (x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi)^2 \\ - \frac{2v_{0x}}{x_0^2 v_{0y}} (x_1 \cos \varphi - y_1 \sin \varphi) (x_1 \sin \varphi + y_1 \cos \varphi) \\ = 1. \end{aligned}$$

При раскрытии скобок в левой части уравнения будут слагаемые с x_1^2 , y_1^2 и $x_1 y_1$. Нас интересует именно последнее слагаемое, т.к. оно определяет поворот эллипса. Если приравнять коэффициент при $x_1 y_1$ к нулю, мы получим уравнение для угла поворота. Таким образом,

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_0^2} (-2 \sin \varphi \cos \varphi) + \frac{1}{v_{0y}^2} \left(\frac{v_{0x}^2}{x_0^2} + k^2 \right) \cdot 2 \sin \varphi \cos \varphi \\ - \frac{2v_{0x}}{x_0^2 v_{0y}} (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) = 0. \end{aligned}$$

Используя формулы тригонометрии, уравнение можно упростить.

$$\begin{aligned} \left(\frac{v_{0x}^2}{v_{0y}^2 x_0^2} + \frac{k^2}{v_{0y}^2} - \frac{1}{x_0^2} \right) \sin 2\varphi - \frac{2v_{0x}}{x_0^2 v_{0y}} \cos 2\varphi = 0, \\ \operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2 v_{0x} / v_{0y}}{\left(\frac{v_{0x}}{v_{0y}} \right)^2 + k^2 \frac{x_0^2}{v_{0y}^2} - 1}, \\ \varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2 v_{0x} / v_{0y}}{\left(\frac{v_{0x}}{v_{0y}} \right)^2 + k^2 \frac{x_0^2}{v_{0y}^2} - 1} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Очевидно, что арктангенс в формуле (7) не существует при

$$\frac{v_{0x}}{v_{0y}} = \sqrt{1 - \frac{x_0^2}{v_{0y}^2/k^2}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) обращается в тождество, когда $v_{0x} = 0$ и траектория круговая ($x_0 = v_{0y}/k$). Если траектория просто круговая, а $v_{0x} \neq 0$, то

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2}{v_{0x}/v_{0y}} \right). \quad (9)$$

Таблица 1 – Результаты вычислений

v_{0x}/v_{0y}	φ , радианы	φ , градусы
0.05	0.773	44.284
0.1	0.760	43.589
0.2	0.735	42.145
0.3	0.711	40.735
0.4	0.687	39.345
0.5	0.663	37.982
0.6	0.640	36.650
0.7	0.617	35.355
0.8	0.595	34.099
0.9	0.574	32.886
1.0	0.553	31.717
2.0	0.393	22.500
3.0	0.294	16.845
4.0	0.231	13.283
5.0	0.190	10.901
6.0	0.161	9.217
7.0	0.139	7.973
8.0	0.122	7.018
9.0	0.109	6.264
10.0	0.099	5.655

При различных значениях v_{0x}/v_{0y} угол φ будет приобретать разные значения. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что угол поворота стремится к предельному значению в 45° при очень малом соотношении координат начальной скорости. Поскольку $v_{0x} \approx 0$, траектория остается практически круговой. При увеличении v_{0x}/v_{0y} угол поворота уменьшается, но меняется форма траектории. Она становится все более и более эллиптической. На рисунке 3 изображена траектория при $v_{0x}/v_{0y} = 0$, $v_{0x}/v_{0y} = 1$ и $v_{0x}/v_{0y} = 2$.

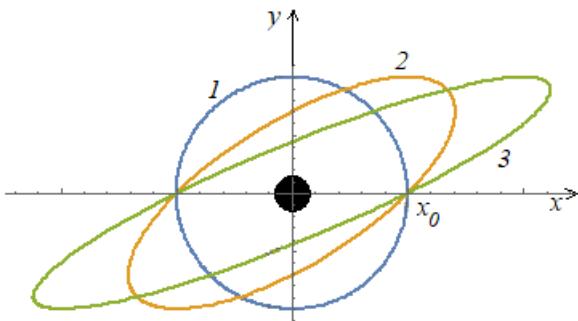


Рисунок 3 – Траектория 1 соответствует значению
 $v_{0x}/v_{0y} = 0$,
2 - $v_{0x}/v_{0y} = 1$, 3 - $v_{0x}/v_{0y} = 2$

Если же траектория изначально была эллиптической, такой, как изображена на рисунке 1, где отношение большой и малой полуосей равно 2, то формула (7) при изменении соотношения координат начальной скорости будет определять угол поворота эллиптической траектории. В таблице 2 приведены значения угла φ при возрастании v_{0x}/v_{0y} .

Наибольший поворот траектории происходит при $v_{0x}/v_{0y} = 2$. На рисунке 4 изображена кривая зависимости угла поворота от соотношения координат начальных скоростей. При дальнейшем возрастании v_{0x} траектория стремится к каноническому положению, изображеному на рисунке 1.

Таблица 2 – Значения угла φ при возрастании v_{0x}/v_{0y}

v_{0x}/v_{0y}	φ , радианы	φ , градусы
0.1	0.033	1.901
0.2	0.065	3.748
0.3	0.096	5.494
0.4	0.124	7.103
0.5	0.149	8.551
0.6	0.172	9.827
0.7	0.191	10.929
0.8	0.207	11.864
0.9	0.221	12.644
1.0	0.231	13.283
2.0	0.260	14.872
3.0	0.232	13.283
4.0	0.199	11.419
5.0	0.172	9.827
6.0	0.149	8.551
7.0	0.131	7.534
8.0	0.117	6.716
9.0	0.106	6.047
10.0	0.096	5.494

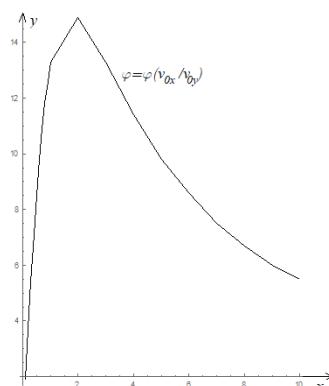


Рисунок 4 – Зависимость угла поворота траектории от соотношения координат начальных скоростей

Правда, траектория при большом v_{0x} вовсе не будет похожа на изображенную на рисунке 1, т.к. возрастание начальной скорости, как было показано выше, влияет на форму траектории. При возрастании v_{0x} она будет все более и более сплюснутой. На рисунке 5 изображена эллиптическая траектория при $v_{0x}/v_{0y} = 0$, $v_{0x}/v_{0y} = 1$ и $v_{0x}/v_{0y} = 2$.

Соответственно при большей величине v_{0x}/v_{0y} траектория будет все больше вытягиваться вдоль оси абсцисс.

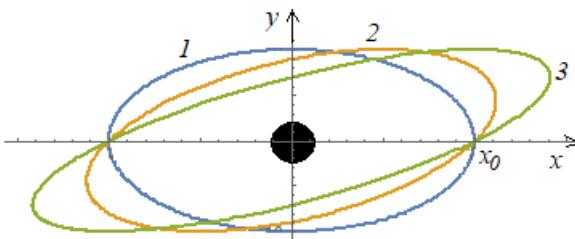


Рисунок 5 – Траектория 1 соответствует значению $v_{0x}/v_{0y} = 0$,
 $2 - v_{0x}/v_{0y} = 1, 3 - v_{0x}/v_{0y} = 2$

Таким образом, изменение соотношения координат начальной скорости материальной точки (например, искусственного спутника), заметно влияет на его траекторию. Варьируя начальную скорость в небольших пределах, можно изменить форму траектории, а также скорректировать ее ориентацию в пространстве, повернув на определенный угол. Очевидна практическая значимость решения данной задачи в эпоху активного освоения околоземного пространства.

Список использованной литературы

1. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. Издательство Московского университета, 1978.
2. Шипачев В.С. Высшая математика. Москва, «Высшая школа», 2003.
3. Зубков В.Г., Ляховский В.А., Мартыненко А.И., Миносцев В.Б. Курс математики для технических высших учебных заведений. Изд. «Лань», 2013.

АДЕКВАТНОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
АЭРОЗОЛЬНЫХ ДАННЫХ: ОТ МОДЕЛИ
РАССЕИВАЮЩЕЙ ЧАСТИЦЫ ДО
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

Потапова Ирина Александровна¹,

Потапова Вероника Ростиславовна²,

Ржонсницкая Юлия Борисовна³, Скобликова Анна Львовна¹,

Яковлева Татьяна Юрьевна¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный

гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург,

Россия *potapovaira@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический

университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Санкт-

Петербург, Россия

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет

ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию свойств атмосферного аэрозоля с акцентом на определение микрофизических характеристик частиц. На основе уникальных экспериментальных данных были созданы модели неоднородных аэрозольных частиц, которые точно описывают процесс экстремально слабого направленного рассеяния излучения. Модели считаются корректными, если отклонения от экспериментальных данных не превышают допустимые погрешности измерений. В работе анализируются ограничения оптических методов, применяемых для оценки характеристик аэрозоля, особенно влияние свойств частиц на результаты, что может приводить к значительным ошибкам. Рассматриваются результаты экспериментов, в которых спектры размеров частиц измерялись с помощью оптического счетчика АЗ-5 и аспирационного устройства, что выявило значительные расхождения. Также предложены технические решения для создания новых поляризационных аэрозольных спектрометров, учитывающих данные моделирования.

Ключевые слова: оптические характеристики, атмосферный аэрозоль, экстремально слабое рассеянное излучение, поляризационный аэрозольный спектрометр, угол рассеяния, поляризованное направленное излучение.

ADEQUATE DESCRIPTION OF EXTREME AEROSOL DATA: FROM A SCATTERING PARTICLE MODEL TO A POLARIZATION SPECTROMETER

*Potapova Irina Alexandrovna¹, Potapova Veronika Rostislavovna²,
Rzhonsnitskaya Yulia Borisovna³, Skoblikova Anna Lvovna¹,
Yakovleva Tatyana Yuryevna¹*

¹ *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, potapovaira@yandex.ru*

² *Baltic State Technical University "VOENMEKH", St. Petersburg,
Russia*

³ *ITMO University, St. Petersburg, Russia*

Abstract. This work is devoted to the study of the properties of atmospheric aerosol with an emphasis on the determination of microphysical characteristics of particles. Based on unique experimental data, models of inhomogeneous aerosol particles have been created that accurately describe the process of extremely weak directional radiation scattering. Models are considered correct if deviations from experimental data do not exceed the permissible measurement errors. The paper analyzes the limitations of optical methods used to evaluate aerosol characteristics, especially the effect of particle properties on the results, which can lead to significant errors. The results of experiments in which the particle size spectra were measured using an AZ-5 optical counter and an aspiration device are considered, which revealed significant discrepancies. Technical solutions have also been proposed for the creation of new polarizing aerosol spectrometers that take into account simulation data.

Keywords: optical characteristics, atmospheric aerosol, extremely weak scattered radiation, polarizing aerosol spectrometer, scattering angle, polarized directional radiation.

Для оценки характеристик аэрозоля применяются различные оптические устройства. Несмотря на высокую скорость измерений

с помощью оптических методов, у них есть значительный недостаток — результаты зависят от микрофизических свойств аэрозольных частиц. Эти методы не позволяют напрямую определить микрофизические характеристики атмосферы. В частности, размеры аэрозольных частиц вычисляются на основе измерений параметров направленного рассеяния излучения [1-5]. Параметры рассеяния зависят как от размеров частиц, так и от их свойств. Влияние свойств частиц на измеряемые величины может быть весьма значительным. В одних условиях это не оказывает заметного влияния на результаты, в то время как в других случаях размеры частиц, полученные с помощью оптического счетчика, могут значительно отличаться от их реальных значений.

Рекомендуется проанализировать результаты, полученные в эксперименте, касающиеся характеристик аэрозоля при различных значениях коэффициента ослабления. Спектры размеров частиц были измерены с помощью оптического счетчика А3-5 и методом отбора проб на фильтр с использованием аспирационного устройства (АУ). Различия в количестве частиц, зафиксированные двумя приборами, могут быть весьма значительными. Это связано с ошибками при определении размеров частиц.

В данной работе на основе уникальных экспериментальных данных предложена новая модель исследования неоднородных аэрозольных частиц, которая адекватно описывает процесс экстремально слабого направленного рассеяния излучения [6-9]. Учитывая результаты моделирования, разработаны технические решения [10-14], основанные на измерении мощности поляризованного излучения, полученного от частиц в счетном объеме. Эти решения могут быть применены для создания новых поляризационных спектрометров для аэрозолей.

Предложенный метод определения характеристик загрязнений в атмосфере отличается высокой точностью и может быть использован, например, для измерения размеров частиц атмосферного аэрозоля. Поляризованное излучение направляется на область, при этом не пропуская направленное поляризованное излучение. Излучение фокусируется в счетном объеме, и производится измерение излучения, проходящего через эту область, а также рассеивающегося в процессе измерения. Это позволяет определить размеры частиц дисперсной среды. Данный метод способствует повышению точности определения за счет более полного исключения влияющих факторов.

Суть метода заключается в повышении точности определения дисперсного состава среды с помощью рассеяния света под углом. Известно, что при уменьшении угла рассеяния можно более точно определить размер частицы, особенно если речь идет о частицах с грубой дисперсией. Уменьшение углового рассеяния достигается благодаря использованию эффекта поляризации света, что позволяет избежать необходимости в световых ловушках (экранах) или уменьшить их размеры. Поляризованное излучение направляется в область, не пропуская направленное поляризованное излучение источника. Лазерное излучение фокусируется в счетном объеме, который находится перед этой областью, и производится измерение излучения в ней, включая рассеянное излучение. Это позволяет определить размеры частиц дисперсной среды на основе полученных данных.

Эти способствует повышению точности измерений за счет более полного исключения засветки, вызванной лазерным излучением [15]. Физические принципы, лежащие в основе предложенных методов, заключаются в том, что лазерное излучение является поляризованным и не должно попадать на приемник. Рассеянное излучение включает как компоненты, которые не передаются к приемному устройству вместе с лазерным излучением, так и те, которые можно измерить.

Принципиальная схема поляризационного аэрозольного спектрометра представлена на рисунке 1.

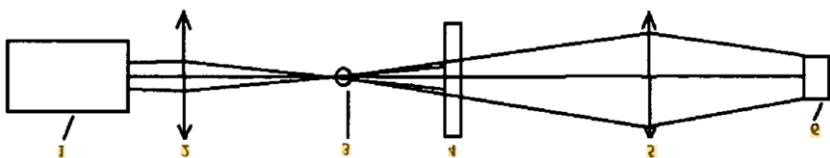


Рисунок 1 – Принципиальная схема спектрометра.

В качестве источника излучения используется лазер 1, который оснащен системой линз 2. Лазерное излучение фокусируется в определенном объеме энергии 3. Рассеивающее излучение измеряется, в том числе, под нулевым углом, где важно знать мощность излучения для определения свойств частиц. Чтобы ограничить засветку от лазера, между приемником и счетным индикатором устанавливается поляроид 4, который блокирует

лазерное излучение. Рассевающее излучение, исходящее от частиц, состоит из двух компонентов:

$$i_1 = \left| \sum_1^{\infty} \frac{2j+1}{j(j+1)} (a_j S_j + b_j Q_j) \right|^2 \quad (1)$$

$$i_1 = \left| \sum_1^{\infty} \frac{2j+1}{j(j+1)} (a_j Q_j + b_j S_j) \right|^2 \quad (2)$$

причем только одна из этих компонент не пропускается поляроидом. Таким образом, засветка от лазера устраняется, и после прохождения через систему линз 5 фотодетектор 6 фиксирует излучение, рассеянное частицей. На основе этого принятого излучения можно определить размер частицы.

Решение данной задачи для аспирационной оптической спектрометрии дисперсной среды представляет собой новый подход. Оно позволяет достичь значительного результата — повышения точности измерений за счет более полного исключения факторов, которые могут влиять на результаты.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтвердили важность проблемы определения характеристик атмосферного аэрозоля, особенно в отношении микрофизических свойств частиц. Созданные модели неоднородных аэрозольных частиц, основанные на уникальных экспериментальных данных, эффективно описывают процесс экстремально слабого направленного рассеяния излучения, что подтверждается их соответствием экспериментальным данным в пределах допустимых погрешностей. Анализ ограничений оптических методов, применяемых для оценки характеристик аэрозоля, показал, что результаты зависят от свойств частиц, что может приводить к значительным ошибкам. На основе полученных данных были предложены технические решения, которые могут быть использованы для создания новых поляризационных аэрозольных спектрометров, что открывает новые возможности для повышения точности измерений и углубления понимания процессов, связанных с атмосферным аэрозолем.

Список использованной литературы

1. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Определение оптических и микроструктурных характеристик атмосферного аэрозоля // Ученые записки Российской государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 11. С. 71-78.
2. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Драбенко В.А. Назличные методы лидарных измерений прозрачности атмосферы // Естественные и технические науки. 2012. № 4 (60). С. 21-25
3. Егоров А.Д., Ивлев Л.С., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Драбенко Д.В. Измерение характеристик атмосферного аэрозоля и проблема достоверности // В сборнике: Естественные и антропогенные аэрозоли. Сборник докладов. 2018. С. 47-52.
4. Потапова И.А., Егоров А.Д., Дьяченко Н.В., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Интерпретация слабого радиационного излучения при лидарном зондировании атмосферы // В книге: АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА (МСАРД – 2019). Международный симпозиум. 2019. С. 189-190.
5. Егоров А.Д., Потапова И.А., Драбенко В.А. Способ аспирационной оптической спектрометрии дисперсной среды // Патент на изобретение RU 2560142 C1, 20.08.2015. Заявка № 2014115935/28 от 21.04.2014.
6. Драбенко В.А., Егоров А.Д., Галкин И.А., Потапова И.А. Способ аспирационной оптической спектрометрии аэрозоля // Патент на изобретение RU 2618597 C, 04.05.2017. Заявка № 2015118823 от 19.05.2015.
7. Егоров А.Д., Абрамов В.М., Потапова И.А., Саноцкая Н.А. Способ определения дисперсного состава аэрозоля // Патент на изобретение RU 2607050 C1, 10.01.2017. Заявка № 2015132868 от 06.08.2015.
8. Егоров А.Д., Потапова И.А. Прозрачнометрия слабозамутненной атмосферы с использованием лидарных систем // В сборнике: Естественные и антропогенные аэрозоли. Сборник докладов. 2018. С. 53-59.
9. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Методы лидарного определения характеристик атмосферного

- аэрозоля // В книге: Атмосферная радиация и динамика (МСАРД - 2009). 2009. С. 44-45.
10. Потапова И.А., Дьяченко Н.В., Потапова В.Р., Ржонсицкая Ю.Б., Скобликова А.Л. Моделирование характеристик рассеянного излучения взвешенными в воздухе крупнодисперсными аэрозолями // В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. сборник трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 168-175.
11. Егоров А.Д., Ржонсицкая Ю.Б., Потапова И.А., Саноцкая Н.А. Определение характеристик атмосферного аэрозоля по данным оптических измерений // Естественные и технические науки. 2010. № 1 (45). С. 215-222.
12. Потапова И.А., Волкова Н.А., Михтеева Е.Ю., Потапова В.Р., Хлябич П.П. Анализ воздействия естественного излучения атмосферы на принимаемый сигнал при исследовании прозрачности // В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 160-167.
13. Драбенко В.А., Егоров А.Д., Галкин И.А., Потапова И.А., Драбенко Д.В., Игнатенко В.М., Потапова В.Р. Способ аспирационной оптической спектрометрии аэрозольных частиц // Патент на изобретение RU 2681256 C2, 05.03.2019. Заявка № 2016120373 от 25.05. 2016.
14. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсицкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Моделирование характеристик рассеяния излучения частицами атмосферного аэрозоля // Ученые записки Российской государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 27. С. 71-76.
15. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсицкая Ю.Б. Оценка случайных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Ученые записки Российской государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 17. С. 51-55.

КРИОТЕРАПИЯ – ЛЕЧЕНИЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА КЛЕТКИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

*Пронова Екатерина Викторовна¹,
Бармасова Анна Михайловна¹,
Бармасов Александр Викторович^{1,2},
Яковлева Татьяна Юрьевна^{1,3}*

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения РФ», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yakovtat@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются историческое развитие метода криотерапии в медицине, описываются традиции, связанные с применением и лечением холода. Повествуется об открытиях учёных Древнего мира и Средних веков в этой области. Рассказывается путь оптимизации метода криотерапии путём определения оптимальных физических параметров, обеспечивающих благоприятное воздействие на организм. Объясняется механизм действия низких температур на кожные покровы человека, описываются адаптивные реакции организма, подчёркиваются показания и противопоказания к применению данной процедуры, а также индивидуальная переносимость криотерапии, которая зависит от биологических параметров организма и интенсивности воздействия. Рассматриваются области применения возможного воздействия холодом. Классифицируются и описываются виды криотерапии. Указываются методы охлаждения путём подачи холода через современные аппараты. Описывается механизм их действия.

Ключевые слова: криотерапия, холод, лечение, температура, метод, человек, воздействие.

CRYOTHERAPY IS A TREATMENT WITH EXPOSURE TO LOW TEMPERATURES ON THE CELLS OF THE HUMAN BODY

*Pronova Ekaterina Viktorovna¹, Barmasova Anna Mikhailovna¹,
Barmasov Alexander Viktorovich^{1,2}, Yakovleva Tatiana Yurievna^{1,3}*

¹ *St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia*

² *St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

³ *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, yakovtat@yandex.ru*

Abstract. The article examines the historical development of the cryotherapy method in medicine, describes the traditions associated with the use and treatment of cold. It tells about the discoveries of scientists of the ancient world and the Middle Ages in this area. It tells about the way to optimize the cryotherapy method by deriving the optimal physical parameters that provide a beneficial effect on the body. The mechanism of action of low temperatures on human skin is explained, the adaptive reactions of the body are described, indications and contraindications for the use of this procedure are emphasized, as well as individual tolerance of cryotherapy, which depends on the biological parameters of the body and the intensity of exposure. The application areas for cold exposure are considered. The types of cryotherapy are classified and described. The methods of cooling by supplying cold through modern devices are indicated. Their mechanism of action is described.

Keywords: cryotherapy, cold, treatment, temperature, method, person, impact.

Первобытный человек возник 2,8 млн лет назад в Африке, в регионе с жарким климатом. Затем, с течением времени, человек освоил и остальные материками с более холодным климатом и суровыми условиями для жизни. Начиная с этого времени противостояние человека и воздействующего на него холода всё время росло.

В течение многих веков с развитием медицины люди разных культур и народов пробовали применять воздействие холода для лечения недугов и укрепления организма. За 2500 лет до нашей эры египтяне применяли холодные компрессы для лечения

ранений грудной клетки и переломов костей черепа. Неоднократно учёные разных времён приходили к выводу, что омывания холодной или прохладной водой полезны для организма. Первые задокументированные упоминания холода упоминаются в Древней Греции. Гиппократ в IV в. н.э. считал, что необходимо проводить процедуры охлаждения организма для лечебных целей. Манипуляции с лечением холода были описаны в Средние века Парацельсом. На Руси с давних времён практиковали закаливание. Существовала традиция прыжания в снег после русской бани. Но в медицине криотерапия не находила широкого применения вплоть до XIX в.

В последнее время всё большее внимание уделяется биофизике – науке, изучающей физические и физико-химические явления в живых организмах, а также влияние различных физических факторов (включая температурные) на живые системы [1]. В современном мире человек стал заметно меньше зависеть от температурных условий, но и в наше время практикуется закаливание в профилактических целях, а также лечение с помощью общего и местного воздействия холодом. Данные процедуры получили общее название – криотерапия. При разработке методик криотерапии производились работы по подбору безопасной и оптимальной температуры теплоносителя. Они зачастую велись методом проб и ошибок, и часто вызывали существенные обморожения. На этапе экспериментов в качестве физических моделей использовали лабораторных животных. Но это оказалось малоэффективным, так как допустимая экспозиция охлаждения зависит от теплоаккумулирующей способности оболочки тела, которая неразрывно связана с общей массой животного и площадью кожного покрова. Единственным эффективным методом оказался метод численного эксперимента.

Таким образом, были выведены физические условия достижения положительных эффектов при криотерапии, теоретические основы эффективности криотерапевтического воздействия [2].

Кожный покров человека защищает организм от физических воздействий. Помимо пассивной защиты от внешних факторов, в организме действует система сенсорных анализаторов. Эта система отслеживает силу воздействий и помогает оценивать степень их возможной угрозы. Для распознавания и количественной интерпретации раздражителей в коже размещены

специализированные рецепторы, в том числе и холодовые. При воздействии холодом на кожаные покровы человека неизбежно возникнет адаптивная реакция организма.

Так, при воздействии холода происходит рефлекторная реакция: сосуды сужаются (вазоконстрикция) и уменьшается кровоток в области воздействия. Это временно снижает приток кислорода и питательных веществ к тканям. Было доказано, что для того, чтобы снять отёк и воспаления необходимо дополнительная небольшая компрессия в наклонном положении, когда область лечения приподнята. Такая комбинация факторов может быстрее устраниТЬ отёк тканей. После окончания процедуры сосуды расширяются (реактивная гиперемия), что усиливает кровообращение и способствует восстановлению тканей [3].

Низкие температуры изменяют проницаемость мембран клеток. За счёт этого снижается степень чувствительности ноцицепторов (болевых рецепторов), являющихся афферентными нейронами и отвечающих за передачу болевого сигнала. Оперативное применение холода приводит к снижению продукции нейротрансмиттеров, которые отвечают за запуск реакции воспаления. Результатом снижения концентрации факторов воспаления становится то, что интенсивность боли падает на 70÷80 % как следствие замедления воспалительной реакции. Субъективно пациент ощущает холодовое воздействие, которое затем переходит в ощущение жжения, покалывания, сменяющееся анальгезией и анестезией.

Низкие температуры замедляют химические реакции в клетках, в результате снижается их метаболическую активность. Уменьшается скорость обмена ионов и молекул через мембранны, а это также снижает активность воспалительных процессов и уменьшает болевые ощущения, поскольку уменьшается передача болевых сигналов.

При криотерапии наблюдаются также адаптивные реакции организма: незначительный рост частоты сердечных сокращений, систолического и диастолического артериальных давлений, увеличение объёма вентиляции лёгких, выделение адреналина и норадреналина надпочечниками, дрожь, спазм мышц.

Степень влияния криотерапии на каждого человека различна. Она зависит от выраженности патологии, возраста, пола, индивидуальных особенностей и пр. пациента. Также выделяют

объективные параметры криотерапии: температура газа, равномерность охлаждения, площадь контакта газовой среды с поверхностью объекта воздействия, время контакта.

Криотерапию можно разделить на общую и локальную, в зависимости от области действия. Показания к криотерапии:

1. Ревматология: воспаления суставов.
2. Неврология: мигрень, невралгия.
3. Ортопедия и травматология: травмы сухожилий, связок, суставов и костей. Травмы, полученные в результате спортивных соревнований.
4. Хирургия: ожоги, раны, пролежни.
5. Дерматология: угревая сыпь, атопический дерматит.
6. Реабилитация [4].

Противопоказаниями к криотерапии являются общие противопоказания к физиотерапии: инфаркт миокарда в анамнезе, нарушения периферического кровообращения, серповидно-клеточная анемия, гиперчувствительность к холодовому фактору, наличие в тканях имплантатов, могущих изменять свои свойства под влиянием снижения температуры.

Следует соблюдать осторожность при использовании метода как у больных раннего детского возраста, так и пожилых людей в связи с особенностями терморегуляции.

Существуют два основных метода получения эффекта охлаждения: за счёт кондукции и за счёт сублимации. При методе кондукции используют лёд или криогель. При сублимации – газовую криотерапию. При газовой криотерапии источником холода служит жидкий азот, который позволяет получить температуру ниже -120°C (температура кипения жидкого азота $77,4\text{ K}$).

Современный аппарат для локальной кондукционной криотерапии Kryotur 600 использует положительные свойства льда, но при этом устраняет все возможные недостатки, связанные с его применением.

Kryotur 600 создает холод с помощью термоэлектрических модулей Пельтье. Терапевтическая головка, которая берёт на себя функцию льда, подвергается охлаждению до заранее выбранной температуры, которая затем поддерживается на заданном уровне во время всей процедуры.

Типичные лечебные процедуры с использованием аппарата Kryotur 600:

1. Лечение растяжения связок.
2. Послеоперационная реабилитация.
3. Лечение отёков.

Современная воздушная криотерапия не зависит от сменных газовых баллонов. Аппарат Cryoflow 1000 IR представляет собой устройство для местного лечения и массажа, генерирующее поток охлаждённого воздуха.

Пациент принимает удобное положение, рабочую насадку аппарата фиксируют над требуемым участком кожного покрова, устанавливают необходимые температуру и время процедуры на дисплее, и включают подачу холодного воздуха. Аппарат Cryoflow 1000 IR с помощью инфракрасного датчика температуры автоматически контролирует температуру на поверхности охлаждаемого участка кожного покрова пациента и сверяет полученные показания с заданной температурой. Как только температура охлаждаемого участка начинает приближаться к заданной, аппарат уменьшает подаваемый поток холодного воздуха.

Перечень лечебных процедур, осуществляемых аппаратом Cryoflow 1000 IR:

1. Снятие боли.
2. Уменьшение воспаления.
3. Снятие отёков.
4. Послеоперационная реабилитация.

5. Лечение методом «охлаждение и растяжение». При данном методе физиотерапевт охлаждает мышцу потоком холодного воздуха с целью устранения мышечного спазма, а затем приступает к растяжению этой зоны методом мануальной терапии.

Перечислим основные области применения современной криотерапии.

Хирургия: лечение ожоговых и резаных ран, рожистых воспалений, пролежней и язв [5].

Травматология и ортопедия: терапия сухожилий, связок, контрактур, патологий мягких и костных тканей, суставов.

Неврология: терапия мигреней, спастических гемипарезов, парапарезов, острого болевого вертеброгенного синдрома, рассеянного склероза.

Ревматология: лечение артрозов, ревматизма, артритов.

Дерматология: лечение заболеваний кожи, рубцов, пигментаций и т.п.

Благодаря своей эффективности криотерапия остаётся наиболее востребованной процедурой и в косметологии.

Список использованной литературы

1. Пьянкова М.С., Бармасова А.М., Бармасов А.В., Яковлева Т.Ю. Основные тенденции развития биофизики / В сборнике: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. – 2024. – С. 176-182.
2. Барапов А.Ю. Низкотемпературные установки медицинского назначения. Аппараты для общего криотерапевтического воздействия / 2016. – С. 16-17, 24-25.
3. Горбунова Н.И., Тибекина Л.М. Криотерапия в лечении больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. – 2018. – Т. 3, Вып. 1. – С. 58-71.
4. Буренина И.А. Современные методики криотерапии в клинической практике // Вестник современной клинической медицины. – 2014. – Т. 7, Приложение 1. – С. 57-61.
5. Арапова М.В., Глухов А.А. Общая и местная криотерапия в комплексном лечении ран // Вестник новых медицинских технологий. 2015. – № 2. – С. 111-115.

УДК 537.12:004.9

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ

Ружицкая Ева Витальевна, Михтеева Елена Юрьевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, evaruzickaa26872@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются факторы, влияющие на характер движения электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях. Проведен вычислительный эксперимент, получены уравнения траектории частицы в параметрическом виде и визуализирована траектория движения частицы.

Ключевые слова: электрон, скрещенные поля, напряженность, циклотронная частота, период.

VISUALIZATION OF ELECTRON MOTION IN CROSSED FIELDS

Ruzhitskaya Eva Vitalievna, Mikheeteva Elena Yuryevna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
evaruzickaa26872@gmail.com*

Abstract. The article discusses the factors influencing the nature of electron motion in crossed electric and magnetic fields. A computational experiment was carried out, the equations of the particle trajectory were obtained in parametric form, and the trajectory of the particle motion was visualized.

Keywords: electron, crossed fields, intensity, cyclotron frequency, period.

Развитие компьютерных технологий позволяет по-новому взглянуть на физические системы и процессы, способствует наглядному моделированию изучаемых процессов [1]. Введение необходимых ограничений приводит к тому, что сложность решаемых задач носит не принципиальный, а вычислительных характер [2]. Например, можно решить адаптированную практическую задачу по определению скорости звука в морской воде, «очищенную» от чрезмерных технических подробностей, вычислительными методами [3].

Был проведен вычислительный эксперимент по движению заряженных частиц электрическом и магнитном полях. В процессе проведения вычислительного эксперимента можно изменять заряд и массу частицы, т.е. рассчитывать траекторию не только электрона, но и любой другой заряженной частицы. Можно изменять значения напряженностей электрического и магнитного полей и увидеть, как эти изменения влияют на движение заряженной частицы. Значения вводимых величин могут быть самыми различными, даже такими, которые не могут быть реализованы в лабораторном эксперименте [4].

Используемая модель состоит в следующем. Заряженная частица попадает со скоростью \vec{v}_0 под произвольным углом к силовым линиям в поле плоского конденсатора. Рассчитываются координаты частицы. Пройдя электрическое поле, частица

вылетает из него со скоростью \vec{v} и попадает в однородное магнитное поле \vec{B} под углом α . Частица движется по винтовой траектории, определяется время одного оборота T , сила Лоренца, циклотронная частота ω_c .

Важный случай движения электронов получаем при наличии двух полей – магнитного и электрического, перпендикулярных друг к другу. В приборах магнетронного типа происходит преобразование потенциальной энергии электронов, движущихся в скрещенных постоянном электрическом и магнитных полях в энергию СВЧ колебаний [5]. В таких скрещенных полях электроны подвергаются воздействию сил электрического и магнитного полей и могут двигаться по различным траекториям.

Моделируется движение электрона в таком устройстве. Допустим, плоский магнетрон, катод и анод которого ограничены плоскостями, параллельными между собой. В этом случае в центральной части магнетрона электрическое поле \vec{E} однородно. Магнитное поле \vec{B} , которое мы будем считать также однородным, направлено перпендикулярно к электрическому.

В магнетроне траектории электронов уже не являются окружностями, как в случае отсутствия электрического поля, а изображаются линиями с меняющейся кривизной. Это происходит потому, что электрон при своем движении попадает на различные эквипотенциальные поверхности электрического поля, и поэтому модуль его скорости изменяется. Вследствие этого изменяется модуль силы Лоренца, а, следовательно, и вызываемое ею искривление траектории. Если магнитное поле достаточно велико, то траектории электронов не пересекают плоскости анода и имеют вид, изображенный на рис.1. В этом случае ни один электрон не достигает анода.

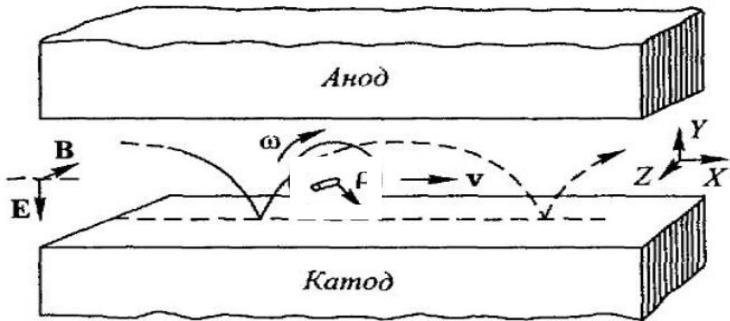


Рисунок 1 – Движение электрона в плоском магнетроне

Уравнение движения частицы в однородных полях в общем виде:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}].$$

Полная скорость частицы в проекциях:

$$v_x = v_{\perp} \cos \omega_c t + \frac{E_y}{B}, \quad (1)$$

$$v_y = -v_{\perp} \sin \omega_c t \quad (2)$$

Второе слагаемое в формуле (1) называется скоростью дрейфа v_D . Эта скорость перпендикулярна к обоим полям и не зависит от заряда и массы частицы

$$v_D = \frac{E}{B}$$

Интегрируя выражения (1) и (2), находим уравнение траектории движения частицы в параметрическом виде:

$$x = \frac{v_{\perp}}{\omega_c} \sin \omega_c t + \frac{Et}{B} + x_0, \quad (3)$$

$$y = -\frac{v_{\perp}}{\omega_c} \cos \omega_c t + y_0. \quad (4)$$

где ω_c - циклотронная частота:

$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

Конкретные параметры кривой зависят от начальных условий. При $x_0 = 0$ (частица находится в начале координат) $y_0 = -v_0/\omega_c$. Эта часть траектории рассчитывалась для промежутка времени, равного двум периодам вращения частицы в магнитном поле с интервалом $T/4$. Индукция магнитного поля $B=0,02$ Тл. Были взяты разные напряженности E , чтобы посмотреть, как будет вести себя частица при разных соотношениях значений

напряженности электрического поля и индукции магнитного поля \vec{B} .

Таблица 1 – Траектория движения электрона в скрещенных полях, $E=-2 \cdot 10^3$ В/м и при $E=-2 \cdot 10^4$ В/м

$t, 10^{-10}$ с	$x_1, 10^{-3}$ м	$y_1, 10^{-3}$ м	$x_2, 10^{-3}$ м	$y_2, 10^{-3}$ м
4,46	4,39	-4,44	3,99	-4,44
8,93	-0,0893	0,00	-0,0893	0,00
13,4	-4,57	-4,44	-5,78	-4,44
17,9	-0,179	-8,87	-0,179	-8,87
22,3	4,21	-4,44	2,20	-4,44
26,8	-0,268	0,00	-0,268	0,00
31,3	-4,75	-4,44	-7,56	-4,44
35,7	-0,357	-8,87	-0,357	-8,87

По результатам, полученным в таблице 1, построены графики, показанные на рис. 1-4. На рисунках 1-3 взята напряженность от -2000 до -200000 В/м и на них можно заметить, что с увеличением напряженности шаг электрона тоже увеличивается.

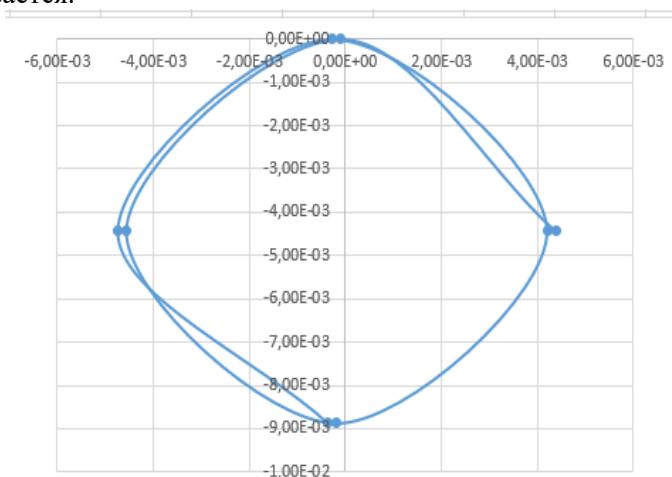


Рисунок 2 – Траектория движения электрона в скрещенных полях при $E=-2000$ В/м

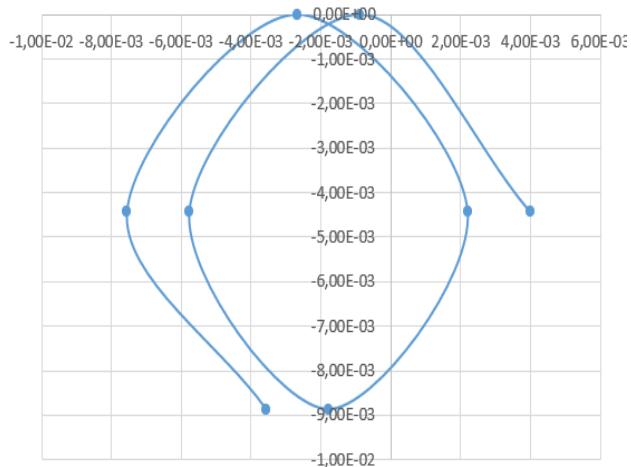


Рисунок 3 – Траектория движения электрона в скрещенных полях при $E=-20000$ В/м

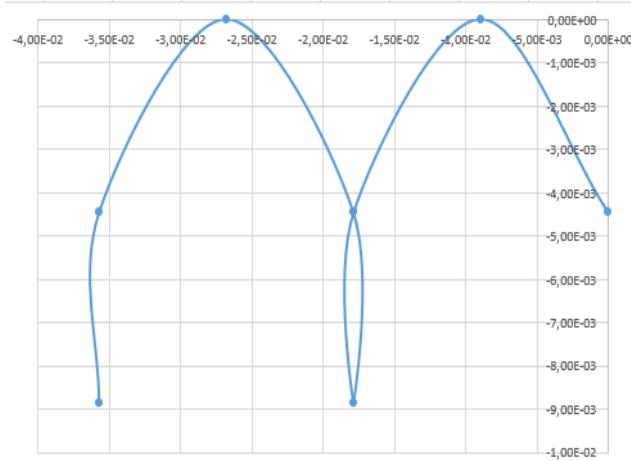


Рисунок 4 – Траектория движения электрона в скрещенных полях при $E=-200000$ В/м

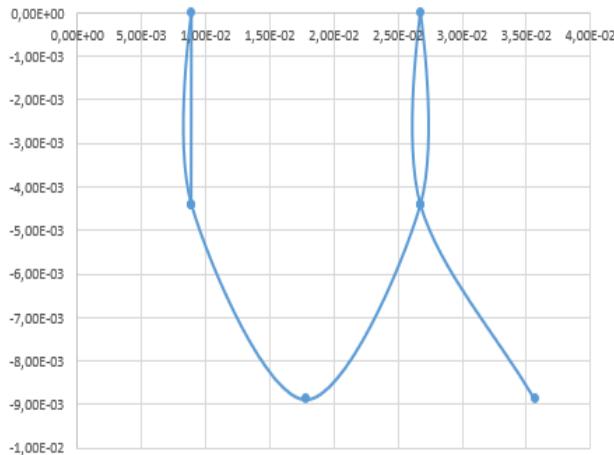


Рисунок 5 – Траектория движения электрона в скрещенных полях при $E=200000$ В/м

Результаты представлены на рисунках 1-3, на которых можно увидеть, как изменяется траектория движения частицы в скрещенных полях. Электрон с увеличением напряженности начинает увеличивать шаг.

На рисунке 4 можно увидеть, что частица поменяла направление и ветви стали направлены вверх при напряженности \vec{E} равной $2 \cdot 10^5$ В/м.

Построив графики получили визуальное представление траектории движения электрона, по виду траектории можно сделать вывод о том, какие из изменяемых параметров оказывают влияние на движение частицы, а какие нет. Электрон в скрещенных полях описывает кривую, которая в зависимости от используемых значений может быть в виде трохоиды или циклоиды. Характер движения электрона в междуэлектродном пространстве зависит от соотношения значений напряженности электрического поля и индукции магнитного поля \vec{B} , а также от начальной скорости электронов.

Список использованной литературы

1. Михтеев С. Ш., Михтеева Е.Ю. Моделирование распространения звука в морской воде. – Сб. материалов XXVI Международной НМК «Современное образование: содержание,

- технологии, качество». - СПб, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. Т. 1.С. 73-75.
2. Сиек Ю. Л., Кирьянов А. В., Михтеева Е. Ю., Борисов А. Н. Анализ точности наблюдателя состояния автономного необитаемого подводного аппарата при маневрах в вертикальной плоскости. - Морская радиоэлектроника. 2023. № 1 (83). С. 34-39.
3. Кудель, М. Д. Численное моделирование влияния гидростатического давления на скорость распространения звука в морской воде / М. Д. Кудель, Е. Ю. Михтеева // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 07 апреля 2023 года / Под редакцией И.В. Зайцевой. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2023. – С. 123-126. – EDN IPTQRX.
4. Михтеева Е.Ю., Яковлева Т.Ю., Хлябич П.П. Вычислительный эксперимент в курсе общей физики. – Сб. материалов XXIV Международной НМК «Современное образование: содержание, технологии, качество», СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб, 2019, т.2, с. 323 - 325.
5. Войцехович Л.Н. Теория движения электромагнитного поля /Электрон. // Л.Н. Войцехович - 2013. -№6. -С.7-27

УДК 61:534.838.7

**ПОЛЬЗА И ВРЕД УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

**Смирнов Илья Олегович¹, Бармасова Анна Михайловна¹,
Бармасов Александр Викторович^{1,2},
Яковлева Татьяна Юрьевна^{1,3}**

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет Министерства
здравоохранения РФ», г. Санкт-Петербург, Россия,

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет», г. Санкт-Петербург, Россия,

³ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия, yakovtat@yandex.ru

Аннотация. Ультразвук является неотъемлемой частью окружающей среды, соответственно, проблема широкого спектра его влияния на человеческий организм стоит весьма остро. В статье рассмотрено биологическое действие ультразвука, его положительные и отрицательные аспекты применительно к медицинской сфере. На сегодняшний день ультразвук широко используется в медицине в самых различных областях, сферы его применения становятся всё разнообразнее год от года и не без причин: это совершенно безопасная, полифункциональная и эффективная технология.

Ключевые слова: ультразвук, волна, отражение, проницаемость, плотность излучения.

THE BENEFITS AND HARMS OF ULTRASOUND EXPOSURE ON A HUMAN BODY

*Smirnov Ilia Olegovich¹, Barmasova Anna Mikhailovna¹,
Barmasov Alexander Viktorovich^{1,2}, Yakovleva Tatiana Yurievna^{1,3}*

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³ Russian State Hydrometeorological University,
St. Petersburg, Russia, yakovtat@yandex.ru

Abstract. Ultrasound is an integral part of the environment; accordingly, the problem of its wide range of effects on the human body is really actual. This article is supposed to explain the biological effects of ultrasound, its positive and negative aspects in relation to the medical field. Nowadays, ultrasound is used widely in different fields of medicine, spheres of its usage are becoming more and more various and it is reasonable: this technology is completely safe, multifunctional and effective.

Keywords: ultrasound, wave, reflection, penetrability, radiation density.

Ультразвук (УЗ) – вид звуковых волн, частота которых лежит в диапазоне от 20 кГц до 1 ГГц (то есть между диапазоном слышимых частот и гиперзвуком). Ультразвук не воспринимается человеческим слуховым аппаратом, соответственно, его регистрация производится посредством специальных приборов (дефектоскопа, толщиномера и ряда других).

Влияние ультразвуковых волн можно подразделить на 2 типа: тепловое (возникает за счёт усиления трения слоёв жидкости/мягких тканей между собой) и механическое (его причиной является прямое воздействие ультразвука, как продольной волны). Их отдельное или совместное воздействие может приводить к различным эффектам, которые и будут рассмотрены далее [1, 2].

Положительные аспекты воздействия ультразвука на организм человека используются в медицине с целью: медицинская диагностика (например, ультразвуковое исследование (УЗИ) или сонография, эхокардиография (ЭХОКГ)), проведение операций: как неинвазивных (ультразвуковая гипертермия, дробление камней), так и инвазивных (ультразвуковые скальпели), терапевтические процедуры (микромассаж сердца, лёгких, мышечных тканей; фенофорез, ультразвуковая ингаляция, ультразвуковой остеосинтез).

К отрицательному влиянию ультразвука можно отнести всё, что касается бесконтрольного избыточного выплеска: деградация тканей из-за кавитационного гидравлического удара, ультразвуковая гипертермия вне требуемой области (фактически иной вид разрушения ткани).

С помощью УЗИ можно выявить самые разные заболевания на ранних стадиях: желудка, печени, сердца, поджелудочной железы, органов пищеварения, молочных желез, щитовидной железы, почек, мочеполовой системы и многих других органов. С помощью УЗИ можно также выявить (локализовать) распространение метастаз при онкологических заболеваниях.

Важно отметить отсутствие какого-либо подтверждённого воздействия ультразвуковых волн на психику пациента (например, у мышей длительное воздействие ультразвуковых волн вызывает тревогу и угнетение нервной деятельности, но люди данные частоты попросту не воспринимают) [1, 3].

I. УЗИ и ЭХОКГ

ЭХОКГ – эхокардиография сердца, иначе – УЗИ сердца (ЭХОКГ – частный случай УЗИ). Принцип действия ЭХОКГ схож с принципом работы эхолокатора (соответственно, УЗИ – яркий пример механического эффекта ультразвуковых волн): применяются электромеханические излучатель и приёмник ультразвуковых волн. Ультразвуковая волна от излучателя направляется к тканям, далее при контакте часть волны отражается и движется назад к приёмнику, который регистрирует время возвращения, что позволяет определить расстояние той или иной тканевой структуры от поверхности тела. Но оставшаяся часть ультразвукового импульса движется глубже, встречает новую границу раздела тканей и снова частично отражается.

Интенсивность отражения описывается уравнением:

$$R = \left(\frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \right)^2,$$

где R – коэффициент отражения, который показывает, какая часть волны отразилась; ρV – волновое сопротивление ($\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$), характеризующее сопротивление, встречаемое волной при распространении в среде вдоль прямой линии.

С коэффициентом отражения R неразрывно связан коэффициент пропускания D уравнением:

$$D = R - 1,$$

Соответственно, он характеризует часть волны, которая на границе раздела тканей идет далее, не отражаясь.

Но на самом деле строение аппарата УЗИ немного сложнее: существует большое количество излучателей, каждый из которых отвечает за свой сегмент площади (что позволяет проводить сканирование – исследование УЗИ с движением излучателя по поверхности тела). Далее отражённый ультразвук регистрируется, конвертируется в электрический сигнал и выводится на экран в виде изображения с более светлыми и темными участками. Также стоит отметить, что при большом количестве излучателей фактически регистрируется не время возвращения волны, а интенсивность отражения, что позволяет создавать информативную и интуитивно понятную картину исследования: тёмные участки имеют большее волновое сопротивление, а значит и большую плотность, соответственно светлые участки, отображаемые на мониторе УЗИ, имеют меньшее волновое сопротивление и меньшую плотность. Ультразвуковое исследование применяется почти повсеместно, например, при

ведении беременности или при диагностике состояния мягких тканей перитонеальной области [1, 4].

II. Ультразвуковая гипертермия

Из закона сохранения и превращения энергии следует, что энергия не возникает из ниоткуда и не уходит в никуда, а только переходит из одной формы в другую. Соответственно, чем больше поглощение ультразвуковых волн в ткани, тем больше её нагрев. Эта взаимосвязь косвенно характеризуется законом Бугера-Ламберта:

$$I = I_0 e^{-\gamma x},$$

где I – интенсивность звука в среде на глубине x ,

I_0 – интенсивность звука на входе в среду,

γ – коэффициент поглощения,

x – координата в пространстве, глубина, отсчитанная от поверхности тела.

В разных биологических тканях наблюдается различная степень поглощения ультразвука. В зависимости от особенностей молекулярного строения тканей организма в некоторых диапазонах частот возможно аномальное поглощение энергии ультразвука. Таким образом, чем больше поглощение в среде, тем больше термический эффект. Если взять входную волну очень высокой частоты, то термический эффект и вовсе становится колоссальным (волны высокой частоты затухают в разы быстрее, а, следовательно, и легче поглощаются).

Деградация многих онкологических новообразований происходит именно при нагревании ткани до критических 40-45 °С. При этом окружающие ткани не находятся под угрозой, так как можно весьма точно сфокусировать волновой пучок на нужной структуре или использовать несколько пучков безопасного уровня энергии, пересекающихся в нежелательном образовании [1, 5].

III. Дробление камней

Этот тип неинвазивного операционного воздействия основан на механическом влиянии ультразвука на конкременты (камни) низкой плотности.

Разрушение подобного рода образований в мочеполовой системе очень важно, так как они могут причинять невыносимо острую боль. А неинвазивный метод лечения сводит к минимуму риски как в интраоперационном, так и в послеоперационном периодах, а также облегчает процесс реабилитации [1, 6].

IV. Ультразвуковой скальпель

Раны с ровными краями заживают намного дольше, чем раны с «естественными» краями. Поэтому отмечается положительная динамика в реабилитации пациентов, у которых во время операций на инструменты были приложены ультразвуковые волны (минимальные колебания инструмента приводят к мельчайшему зазубриванию краёв раны, что ускоряет процесс регенерации: увеличивает контакт раневых поверхностей между собой). К тому же проявляется и асептическое воздействие, что уменьшает риски появления инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП). Также при такой методике проведения операционных вмешательств расширяется диапазон приемлемых операционных полей: включаются внутренние поверхности вен, дыхательные пути [1, 7].

V. Ультразвуковая ингаляция

Ультразвуковая ингаляция представляет собой перевод лекарственного вещества в форму аэрозоля, посредством сообщения энергии через ультразвуковые волны высокой частоты.

Препарат в газовой фазе всасывается быстрее (так как больше поверхность контактирующих слизистых, причём богатых сосудистой сетью), также не требуется производить глотательных движений (что критически важно, например, при терминальной стадии эзофагита) [1, 8].

VI. Отрицательное влияние

Гипертермия приводит к гибели тканей (денатурация белков происходит уже при температуре от 43-45 °C и выше), что может быть достигнуто при чрезмерной интенсивности ультразвукового излучения (при неграмотных настройках аппарата УЗИ или его дефекте). В жидкой фазе такие дефекты приведут к кавитации, в результате будут происходить гидравлические удары кавитационной природы, также разрушающие ткань [1,9].

Поскольку отрицательное влияние ультразвукового излучения происходит лишь при врачебных ошибках или дефектах приборов, так что можно говорить о безопасности ультразвуковых методов в медицине [10-12].

Список использованной литературы

1. Сидоров В.П. «Физика: практикум», учебно-методическое пособие для студентов медицинских вузов. – 2018. – С. 85-99.

2. Большая российская энциклопедия // Ультразвук URL: <https://old.bigenc.ru/search?q=ультразвук> (дата обращения: 25.11.2024).
3. Ультразвук. Источники и влияние на организм человека // ФБУЗО «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области» 2016. URL: <https://orenfbuz.ru/news/ultrazvuk-istochniki-i-vliyanie-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 13.03.2025).
4. Мифы и правда об ультразвуке: от медицины до секретного оружия // ГБУЗ МО «Дзержинская ГБ». 2024. URL: <https://d-gb.ru/blog/mify-i-pravda-ob-ultrazvuke-ot-meditsiny-do-sekretnogo-oruzhiya> (дата обращения: 13.03.2025).
5. Гипертермия в вопросах и ответах // Республикаанский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова. Белоруссия. URL: <https://omr.by/news/stati/gipertermiya-v-voprosakh-i-otvetakh> (дата обращения: 13.03.2025).
6. Литотрипсия // ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России URL: <https://new.nmicr.ru/pacientam/urological-diseases/mochekamennaja-bolezni/litotripsiya/> (дата обращения: 13.03.2025).
7. Ученые "наточили" ультразвуковой скальпель // Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. 2016. URL: <https://msu.ru/news/novosti-nauki/uchenye-natochili-ultrazvukovoy-skalpel.html> (дата обращения: 13.03.2025).
8. Небулайзеры и ингаляционная терапия в пульмонологической практике //Российский медицинский журнал. 2013. URL: https://www.rmj.ru/articles/bolezni_dykhatelnykh_putej/Nebulayzery_i_ingalyacionnaya_terapiya_v_pulymonologicheskoy_praktike/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 13.03.2025).
9. Скворцов С.П. Методы контроля параметров ультразвуковой кавитации // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – №2. – С. 83-100.
10. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – 2-е изд. – М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 725 с.
11. Эльпинер И.Е. Биофизика ультразвука. – М.: Наука, 1973. – 384 с.
12. Хилл К. Ультразвук в медицине: физические основы применения. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2008. – 544 с. 978-5-9221-0894-2

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТИТИКАКА- ДЕЗАГУАДЕРО-ПООПО

*Соломонова Ирина Владимировна¹,
Гречушкина Мария Георгиевна^{1,2},
Фролов Анатолий Васильевич¹*

¹*ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук
(ИВП РАН)», г. Москва, Россия, anatolyfrolov@yandex.ru,*

²*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им.
М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия*

Аннотация. Проведен анализ гидрологической системы озер Титикака и Поопо, соединенных рекой Дезагуадеро. Основное внимание уделяется влиянию стока Дезагуадеро на водный баланс озер Поопо, Титикака и гидрологическое состояние региона. Проанализирована зависимость водного баланса озера Поопо от стока Дезагуадеро, обусловленного колебаниями уровня воды в Титикака. Предложенная авторами теоретическая модель многолетних колебаний уровня озера Титикака допускает возможность “отрицательного оттока” из озера, т.е. поступления стока р. Дезагуадеро в озеро. Данная особенность гидрологического режима озера, отличает его от других крупных проточных озер Мира. Использование предложенной динамико-стохастической модели позволяет анализировать и прогнозировать режим стока реки Дезагуадеро и оценивать перспективы восстановления озера Поопо.

Ключевые слова: озеро Титикака, озеро Поопо, река Дезагуадеро, динамико-стохастическое моделирование, водный баланс, уровень.

HYDROLOGICAL SYSTEM TITICACA-DESAGUADERO- POOPÓ

*Solomonova Irina Vladimirovna¹,
Grechushnikova Maria Georgievna^{1,2}, Frolov Anatoly Vasilievich¹*

¹*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, anatolyfrolov@yandex.ru*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Abstract. The hydrological system of Lake Titicaca and Lake Poopó connected by the Desaguadero River is analyzed. The main attention is paid to the influence of the Desaguadero runoff on the water balance of Lakes Poopó and Titicaca and the hydrological state of the region. The dependence of the water balance of Lake Poopó on the Desaguadero runoff caused by fluctuations in the water level in Titicaca is analyzed. The theoretical model of long-term fluctuations in the level of Lake Titicaca proposed by the authors allows for the possibility of a “negative outflow” from the lake, i.e. the inflow of the Desaguadero River runoff into the lake. This feature of the hydrological regime of the lake distinguishes it from other large flowing lakes in the world. The use of the proposed dynamic-stochastic model allows us to analyze and predict the runoff regime of the Desaguadero River and assess the prospects for the restoration of Lake Poopó.

Keywords: Lake Titicaca, Lake Poopó, Desaguadero River, dynamic-stochastic modeling, water balance, level.

Введение

Гидрологическая система, включающая озера Титикака (Lake Titicaca) и Поопо (Lake Poopó), связанные рекой Дезагуадеро (Desaguadero River), представляет собой критически важный регион для экономики и экологии Южной Америки. Озеро Титикака – крупнейшее высокогорное озеро в мире [1]. Озеро Поопо – второе по величине озеро страны и крупнейшее из соленых озер на континенте [2]. Экономика прибрежных территорий этих государств существенно зависит от использования водных ресурсов озер и их бассейнов. Расположенные на территориях Перу и Боливии, эти водоемы поддерживают сельское хозяйство, рыболовство, туризм и промышленность, обеспечивая средства к существованию для миллионов людей [3]. Поверхностные и подземные водные запасы озерных бассейнов представляют собой основной источник воды для коммунально-бытовых, производственных и сельскохозяйственных целей. В последние годы в регионе увеличивается интерес к проектам по производству возобновляемой энергии, включая гидроэнергетику [4]. Прогрессирующее увеличение населения и активизация хозяйственной деятельности имеют следствием увеличение водопотребления в бассейне озер.

Однако, в последние десятилетия, система подверглась значительным изменениям, включая катастрофическое высыхание озера Поопо и колебания уровня воды в озере Титикака, что требует комплексного научного подхода для разработки устойчивых стратегий управления водными ресурсами.

Гидрологическая связь

Одной из самых острых проблем озера Поопо является то, что оно настолько мелкое, что может практически полностью высыхать в очень засушливые периоды. За последние десятилетия было несколько таких периодов, но полное пересыхание фиксировалось только в начале 1940-х, и конце 2015 года (см., например, [5, 6]). На протяжении последних нескольких десятилетий Поопо утратило более 80% своей площади. После высыхания в 1940 г. озеро восстановилось. К концу 2015 года озеро, некогда известное своим богатым биоразнообразием, почти полностью исчезло, оставив после себя лишь остатки болот.

Озеро Титикака, благодаря своему большому объему (930 км³) и уровню, обладает более стабильной гидрологической устойчивостью по сравнению с Поопо (3.4 км³). Однако и на нем происходит постоянное снижение уровня воды, вызванное изъятиями в хозяйственных целях из речного притока в озеро в сочетании с El Niño (см., например, [7, 8, 9, 10, 11]).

Озера Титикака и Поопо связаны рекой Дезагуадеро, которая выполняет роль ключевого звена в гидрологическом цикле региона. Вода из озера Титикака поступает в Дезагуадеро, а затем, часть этой воды достигает Поопо. Таким образом, река служит важным каналом для обмена водными ресурсами между двумя озерами и влияет на их гидрологические и экологические характеристики. Изменения в стоке реки, вызванные климатическими изменениями или антропогенной деятельностью, могут существенно повлиять на уровень воды и экосистему обоих озер.

Одним из существенных моментов, которому мало уделено внимание, заключается в том, что сток Дезагуадеро сильно изменчив и может быть нулевым в некоторые годы и даже “отрицательным” [12]. То есть вода из р.Дезагуадеро может поступать обратно в озеро Титикака [13]. В таком случае, озеро Поопо не получает воду из реки, что подчеркивает критическую зависимость этого водоема от гидрологической системы Титикака-Дезагуадеро, т.к. водный баланс озера на 70% состоит из стока этой

реки [5, 14]. Разработанная одним из соавторов динамико-стохастическая модель (ДС-модель) многолетних колебаний уровня озера Титикака [15] и, как следствие, модели оттока из озера (р.Дезагуадеро) позволит не только обеспечить физически обоснованный подход к пониманию сложных взаимодействий в водном балансе озера, но и внести существенный вклад в оценку возможности восстановления озера Поопо после его пересыхания в 2015 году.

Материалы и методы

Водный баланс озера Титикака неоднократно изучался (см, например, [11, 16]). Оценки среднемноголетних величин составляющих водного баланса озера различаются в зависимости от периодов и длительности наблюдений. В нашем исследовании мы использовали водный баланс озера из работы [16] за наиболее длительный непрерывный период наблюдений 1966–2011 гг. (табл. 1). Также в таблице 1, для сравнения, представлен водный баланс озера Поопо.

Средние величины компонент водного баланса и уровня озера из [16] были дополнены нами оценками вторых моментов распределений – дисперсии и коэффициентами авто-и взаимных корреляций. Эти характеристики необходимы для учета стохастической природы многолетних колебаний, составляющих водного баланса озера.

Таблица 1 – Основные составляющие водного баланса озер Титикака и Поопо

	о. Титикака		о. Поопо	
	%	1966–2010 гг. по [16]	%	1960-2002 гг. по [14]
Приток, км ³ /год	53	6.69	80	2.08
Осадки, мм/год	47	880	20	372
Испарение, мм/год	91	1560	98	1700
Отток, км ³ /год	9	0.85	бессточное	
Инфильтрация	0%		2%	

Водозабор в бассейне озера производится из поверхностных и подземных вод. По оценкам, содержащимся в монографии [1] и основанных на работах [9, 10], водозабор из поверхностных источников на ирригацию равен 0.23 км³/год, с ограничением максимально возможным объемом изъятий 0.6–0.8 км³/год.

Водозабор из подземных источников оценивается величиной 0.1 км³/год. Предположительно, средняя величина речного притока в озеро, представляет собой приток-нетто и таковым принимается в настоящем исследовании.

Результаты и дискуссия

Аппроксимирующие аналитические зависимости площади акватории $F(h)$ и стока из озера $D(h)$ от уровня h , принятые нами в виде формул, построенных по данным [16],

$$F(h) = 8.0 + 0.32 h \text{ (тыс. км}^2\text{)}, \quad (1)$$

$$D(h) = 0.17 \exp(h+0.15) - 0.1 \text{ (км}^3\text{/год)}, \quad (2)$$

уровень воды h в озере отсчитывается в метрах от отметки 3808.4 м abs. Ярко выраженная нелинейная зависимость стока р.Дезагуадеро от уровня воды представляет собой особенность гидрологического режима озера Титикака, отличающая его от других крупных проточных озер Мира.

Для нахождения плотности распределения вероятности (ПРВ) уровня озера как стационарного решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) нами использовалось уравнение, описывающее колебания уровня воды в озере Титикака, в виде

$$\frac{dh(t)}{dt} = f(h) + g(h)\tilde{v}^+, \quad (3)$$

где

$$f(h) = \frac{\bar{v}^+ - v^-(h)}{F(h)} + g(h)\tilde{v}^+(t), \quad g(h) = 1/F(h), \quad (4)$$

\bar{v}^+ – математическое ожидание суммы речного притока в озеро за вычетом испарения с озерной акватории (для краткости будем называть эту величину притоком), $\tilde{v}^+(t)$ – отклонение притока от \bar{v}^+ , $F(h)$ и $v^-(h)$ даются зависимостями (1) и (2).

Уравнение стационарной ПРВ уровня озера, в соответствии с уравнением ФПК, имеет вид

$$p(h) = \frac{c}{g(h)} \exp\left(\frac{4}{N_0} \int_{h'}^h \frac{f(x)}{g(x)^2} dx\right), \quad (5)$$

где c – постоянная, получаемая из нормировки $\int_{-\infty}^{\infty} p(h)dh = 1$. График ПРВ уровня озера, полученный в соответствии с (1)–(5), приведен на рисунке 1.

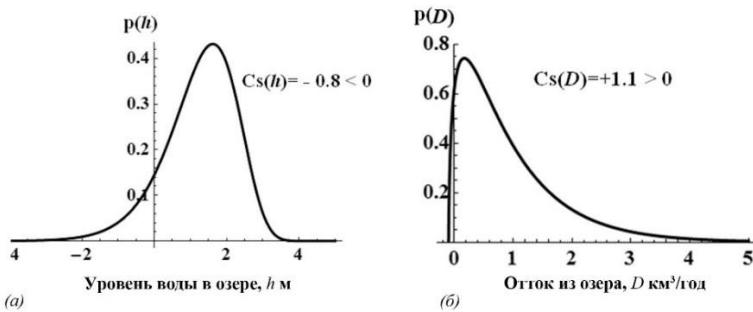


Рисунок 1 – Плотности распределения вероятности $p(\cdot)$: уровня h воды в озере Титикака (а), оттока D воды из озера (р.Дезагуадеро) (б).

Отметим, что уровень и отток из озера имеют противоположные знаки коэффициента асимметрии, т.е. имеет место своеобразная “противофазность” знака этого коэффициента (рис. 1). Столь сильная обратная связь выделяет механизм колебаний уровня озера Титикака среди других крупных озер Мира. Например, для Каспийского моря, отток морской воды в залив Кара-Богаз-Гол на интервале отметок примерно $-30.0\dots-27.5$ м БС примерно линейно зависит от уровня моря; зависимости оттока из оз. Байкал (р.Ангара) Ладожского озера от уровней воды также близки к линейным.

Обращает на себя внимание, что наша теоретическая модель многолетних колебаний уровня озера допускает возможность “отрицательного оттока” из озера (рис. 1б), т.е. поступления стока р.Дезагуадеро в озеро. Действительно, как отмечается в [13], временами озеро Титикака превращалось из проточного водоема в бессточный из-за падения уровня воды ниже отметки 3808.4 м. При этом, иногда, р.Дезагуадеро становилась источником поступления воды в озеро за счет выпадения осадков в бассейнах рек – притоков р.Дезагуадеро.

Практически важной характеристикой многолетних колебаний уровня воды в любом водоеме служит т.н. равновесный уровень. Для большинства крупных озер, в том числе и для озера Титикака, этот уровень характеризует, с той или иной точностью, среднемноголетнюю отметку (близок к отметке среднемноголетнего уровня за длительный интервал времени), вокруг которой происходят колебания уровня. По определению, равновесной отметкой уровня (или, для краткости, равновесным

уровнем) называется уровень, при котором поступление воды в водоем уравновешивается расходованием воды из водоема. Для проточного водоема с зависимостью площади акватории от уровня воды в нем $F(h)$ и водным балансом, состоящим из трех компонент – суммарного речного притока $Q(t)$, эффективного испарения с акватории $Ef(t)$ водоема и зависимостью стока из водоема от уровня $D(h)$, равновесная отметка уровня Z представляет собой решение детерминистического уравнения, в общем случае – нелинейного,

$$\bar{Q} - D(Z) = F(Z) * \bar{Ef}, \quad (6)$$

где \bar{Q} и \bar{Ef} – математические ожидания суммарного речного притока в водоем и эффективного испарения с его акватории, соответственно. Предполагается, что речной приток $Q(t)$ и эффективное испарение $Ef(t)$ представляют собой стационарные случайные процессы, не зависящие от уровня воды в озере. Для озера Титикака, уравнение (6) имеет вид

$$6.7 - 0.17 \exp(Z + 0.15) - 0.1 = (8.0 + 0.32 Z) \cdot 0.684,$$

имеющее решение $Z = 1.6$ м относительно отметки 3808.4 м, принимаемой за нулевую (в абс. отметках уровня $Z = 3810$ м абс., рис. 2).

Равновесный уровень воды
в оз. Титикака $Z = Z(\bar{Q})$ м абс.

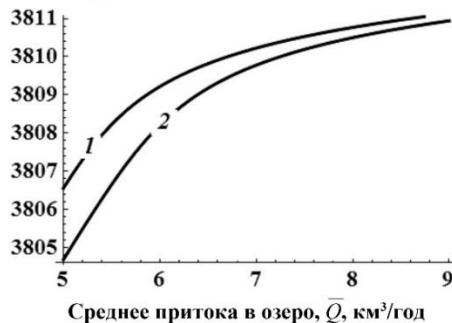


Рисунок 2 – Зависимости отметки $Z(\bar{Q})$ равновесного уровня озера Титикака от среднего речного притока \bar{Q} при средних величинах слоев эффективного испарения с акватории озера: 1 – $\bar{Ef} = 0.684$ м/год (по [16]), 2 – $\bar{Ef} = 0.748$ м/год (по [11]).

В соответствии с формулами (1) и (2), равновесная площадь $F(Z) = 8.51$ тыс. км², равновесный сток р. Дезагуадеро $D(Z) = 0.88$ км³/год.

Заключение

Река Дезагуадеро функционирует как критически важный элемент, обеспечивающий гидрологическую связь между озерами Титикака и Поопо. Вариации стока Дезагуадеро оказывают существенное влияние на уровенный режим и экологическое состояние обоих водоемов.

Применение предложенной динамико-стохастической модели многолетних колебаний уровня воды в озере Титикака позволит анализировать и прогнозировать режим стока реки Дезагуадеро, и вследствие этого, оценивать перспективы восстановления озера Поопо.

Действие отрицательной обратной связи в механизме колебаний уровня воды в озере Титикака, образованная экспоненциальной зависимостью стока р. Дезагуадеро, вытекающей из озера, от уровня, увеличивается с подъемом уровня. Отсюда возникает демпфирование подъема уровня, что приводит к отрицательному коэффициенту асимметрии уровня. Эта связь действует как механизм отрицательной обратной связи, который смягчает значительные изменения уровня воды в озере, особенно на более высоких уровнях, что способствует стабильности гидрологического режима озера. Данная зависимость стока Дезагуадеро от уровня воды в озере Титикака является уникальной особенностью гидрологического режима озера Титикака.

Наша динамико-стохастическая модель учитывает “смену знака” оттока рекой Дезагуадеро при отметках уровня воды в озере ниже отметки максимальной глубины истока 3808.4 м. Это явление наблюдается в случаях, когда уровень воды в русле реки превышает глубину истока вследствие поступления воды за счет боковой приточности.

Построенная модель многолетних колебаний уровня озера Титикака позволяет оценить влияние величины изъятий из речного притока в озеро на его уровенный режим и сток р. Дезагуадеро. При уменьшении среднего притока в озеро до ~5.0 км³/год и среднем эффективном испарении с акватории 0.684 м/год равновесный уровень воды в озере понижается до 3806.56 м абс.,

что на ~3.4 м ниже среднемноголетнего уровня. Отток из озера прекращается, озеро становится бессточным водоемом.

Равновесный уровень показывает значительную чувствительность к уменьшению среднего притока в озеро Титикака. Согласно модельным оценкам, относительно небольшое, примерно на 25%, уменьшение суммарного речного притока может привести к практически необратимому снижению уровня воды в озере.

Помимо естественных климатических факторов, нерациональное водопользование усугубляет экологические проблемы в системе озер.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы № FMWZ-2025-0001 Государственного задания ИВП РАН.

Список использованной литературы

1. Румянцев, В.А. Великие озера мира / В.А. Румянцев, В.Г. Драбкова, А.В. Измайлова. - СПб: Лема, 2012. - 370 с.
2. Paskevics, E. Lake Poopó, Second Largest In Bolivia, Dries Up Completely / E. Paskevics. - Текст (визуальный): электронный // HNGN: [сайт]. - 2015. - URL: <http://www.hngn.com/articles/162142/20151219/lake-poop%C3%B3-second-largest-bolivia-dries-up-completely.html> (дата обращения: 15.08.2024).
3. UNESCO-WWAP. Water for People, Water for Life. Vol. 1 / UNESCO-WWAP. - UNESCO Pub.: Paris, France; New York, NY, USA, 2003. - p. 576.
4. International Hydropower Association: сайт. - South-America, 2022. - URL: <https://www.hydopower.org/region-profiles/south-america> (дата обращения: 15.08.2024).
5. Bengtsson, L. POOPO' LAKE, BOLIVIA / L. Bengtsson // Encyclopedia of Earth Sciences Series. Encyclopedia of Lakes and Reservoir / Edited by L. Bengtsson, R. W. Herschy, Rh. W. Fairbridge. – Springer Science Business Media B.V, 2012. – P. 616-618
6. Lima-Quispe, N. Untangling the effects of climate variability and irrigation management on water levels in Lakes Titicaca and Poopó / N. Lima-Quispe, M. Escobar, A. J. Wickel, M. von Kaenel, D. Purkey // Journal of Hydrology. Regional Studies. - 2021. - Vol. 37. - P. 100927-100944

7. Малинин, В. Н. Общая океанология. Ч.1. Физические процессы / В. Н. Малинин. – СПБ: Изд. РГГМУ, 1998. - 348 с.
8. Малинин, В. Н. Влагообмен между океаном и атмосферой во внутритропической зоне конвергенции / В. Н. Малинин, П. А. Вайновский // Гидрометеорология и экология. - 2021. - № 63. - С. 255-278.
9. Cathcart, R.B. Lake Titicaca – Physics of an Inherited Hydropower Macroproject Propal / R. B. Cathcart, A. A. Bolonkin. – Текст (визуальный): электронный // arXiv:physics [сайт]. - 2007. - URL: <http://arXiv:physics/0703182> (дата обращения: 15.08.2024).
10. Revollo, M. F. Lake Titicaca: Experience and lessons learned brief / M. F. Revollo, M. L. Cruz, A. L. Rivero // Lake Basin Management Initiative. Kusatsu: ILEC. - 2005. - P. 377-388.
11. Roche, M. A. Climatology and hydrology of the Lake Titicaca basin / M. A. Roche, J. Bourges, J. Cortes, R. Mattos // Lake Titicaca A Synthesis of Limnological Knowledge. Monographiae Biologicae. Vol. 68 / Ed. C. DeJoux, A. Iltis. - Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1992. - pp. 63-88.
12. Hill, R.A. Inflow to Lake Titicaca / R.A. Hill// Journal Geophysical Research. - 1959. - Vol. 64, no. 7. - P. 789-794.
13. Ponce, V.M. Facts on lake Titicaca, Peru and Bolivia / V.M. Ponce. – Текст (визуальный): электронный // PONCE. [сайт]. - 2003. - URL: https://ponce.sdsu.edu/facts_on_lake_titicaca.html (дата обращения: 15.08.2024).
14. Zolá, R. P. Long-term and extreme water level variations of the shallow Lake Poopó, Bolivia / R. P. Zolá, L. Bengtsson // Hydrological Sciences Journal. - 2006. - Vol. 51, no. 1. - P. 98-114
15. Frolov, A. V. Dynamic-Stochastic Model of Long-Term Fluctuations in Lake Titicaca Level / A. V. Frolov, I. V. Solomonova // Water Resources. - 2025. - Vol. 52, no. 2. - P. 273-281
16. Caloir, B. G. Balance Hídrico y Escenarios de cambio climático en el Lago Titicaca. Informe final / B. G. Caloir, J. M. Carpio // Proyecto: Fortalecimiento de planes locales de inversión y adaptación al cambio climático en el Altiplano boliviano. - La Paz: Bolivia, 2014. – 260 p.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*Уварова Елизавета Алексеевна, Воробьева Юлия Алексеевна,
Зайцева Ирина Владимировна,
Дьяченко Наталья Владимировна, Михтеева Елена Юрьевна
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург,
Россия, liz.uvarowa2014@yandex.ru*

Аннотация. В современном мире сплавы на основе титана являются важными элементами в промышленности. Благодаря своим особым свойствам, титановые сплавы находят обширное применение за счет высокой прочности, коррозионной стойкости и низкой теплопроводности. Титановые сплавы играют ключевую роль в авиации, в медицине, в судостроительной отрасли и так далее. Изучение данных сплавов является важной задачей металлургии, так как именно от этого зависит успешность их использования, а также производственные технологии. Для лучшего изучения структур титанового сплава применяется количественный анализ. Искусственный интеллект служит новой технологией в количественном анализе. За счет искусственного интеллекта повышается скорость и точность исследований.

Ключевые слова: титановые сплавы, искусственный интеллект, промышленность, новые технологии.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF TITANIUM ALLOYS

*Uvarova Elizaveta Alekseevna, Vorobyova Julia Alekseevna,
Zaitseva Irina Vladimirovna, Dyachenko Natalia Vladimirovna,
Mikhteeva Elena Yurievna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
liz.uvarowa2014@yandex.ru*

Abstract. In the modern world, titanium-based alloys are important elements in industry. Due to their special properties, titanium alloys are widely used due to their high strength, corrosion resistance and low thermal conductivity. Titanium alloys play a key role in aviation, medicine, the shipbuilding industry, and so on. The study of

these alloys is an important task of metallurgy, since the success of their use, as well as production technologies, depends on it. Quantitative analysis is used to better study the structures of the titanium alloy. Artificial intelligence serves as a new technology in quantitative analysis. Artificial intelligence will increase the speed and accuracy of research.

Keywords: titanium alloys, artificial intelligence, industry, new technologies.

Титан является одним из самых популярных химических элементов за счет своей невысокой плотности, коррозионной стойкости и прочности. Данный материал имеет преимущество перед алюминием и сталью. Титановые сплавы обширно применяются в оборонной промышленности, медицине, судостроении, металлургии и в других областях. На сегодняшний день титаносодержащие сплавы применяются для производства нержавеющих и жаропрочных сталей, для производства сварочных электродов используется диоксид титана, в военных целях для создания дымовых завес используется тетрахлорид титана. В радиотехнике и электротехнике в качестве поглотителя газов используется титановый порошок. Титан является незаменимой деталью в судостроении и промышленности, при производстве деталей, предназначенных для работы с агрессивными жидкостями, в условиях высокой коррозионной активности, а также для анодирования различных деталей.

Важными свойствами для эксплуатации являются: стойкость к низким и высоким температурам, удельная прочность, коррозионная стойкость. Особую роль титановые сплавы играют в северных широтах страны, материал сохраняет ударную вязкость от 0 °C до -269 °C. Данное свойство применимо для машин, ракетных комплексов и космических станций [1]. Прочность титановых сплавов при низких температурах повышается, а пластичность уменьшается.

Важной задачей для создания нового материала является сохранение высокой прочности при повышении температуры и достаточной пластичности в широком диапазоне температур. Из-за особенной структуры титан имеет высокую температуру плавления, не всегда обладает высокой жаропрочностью.

Титан занимает промежуточное место по плотности и удельной теплоёмкости, уступая алюминию и железу, но стоит

отметить, что механическая прочность титана в 2 раза больше механической прочности железа и примерно в 6 раз больше механической прочности алюминия. Из-за активного поглощения титаном азота, кислорода и водорода, снижаются пластические свойства, но с углеродом титан образует тугоплавкие карбиды, обладающие высокой твердостью [2].

Важным методом для анализа структуры материалов является оптическая металлография [3]. С помощью микроскопов можно проанализировать такие микроструктуры материалов, как зерна, неметаллические включения, крупные частицы второй фазы, поры и трещины. Эти детали имеют важное значение для определения ключевых механических свойств материалов. Без использования оптических микроскопов в наше время нельзя выполнить серьезное металловедческое исследование.

Данные металлографические микроскопы часто используют для определения размеров и структуры зерен в металлических материалах, а также для выявления типа и содержания неметаллических включений. На рисунке 1 представлена схема металлографического микроскопа. Препарированный специальным образом образец помещается перпендикулярно оптической оси микроскопа в плоскости, соответствующей передней главной фокальной плоскости объектива. Образец освещается практически параллельным оптической оси световым пучком, который формируется осветительной системой, пропускающей свет через объектив.

Металлографический микроскоп используют для изучения структуры материалов [3]. Поверхность шлифа под углом к оптической оси отражает свет в объектив, тогда как микронеровности не передают свет. Это позволяет видеть на изображении контрастные границы зерен, включая частицы второй фазы и поры. Формирование конечного изображения происходит через окуляр.

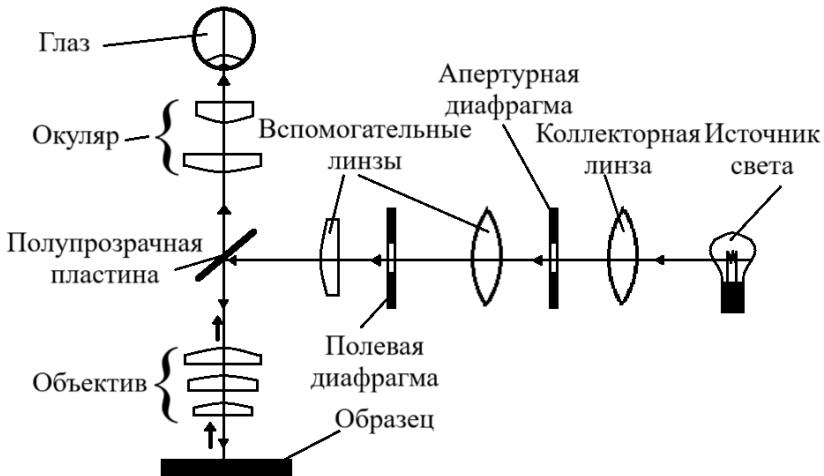


Рисунок 1 – Принципиальная схема металлографического микроскопа

Визуализация образцов с помощью электронного пучка применяется в просвечивающей электронной микроскопии. Разрешение изображений в этом методе составляет около 1-2 Å. Электроны с высокой энергией (80-300 кэВ) проходят через электронно-прозрачные образцы толщиной 100 нм. Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) позволяет достичь более высокого пространственного разрешения по сравнению с сканирующей электронной микроскопией, но требует более сложной подготовки образца. В ПЭМ имеется возможность настраивать и сохранять параметры линз, дефлекторных катушек, электронного пучка, а также режимы формирования изображения для достижения оптимальных результатов в различных режимах работы.

Растровая электронная микроскопия является оптимальным методом для анализа микроструктуры высокопрочных сплавов из титана после старения. Данный микроскоп имеет увеличение в миллион раз, что позволяет иметь возможность для выполнения панорамной съемки [3]. На рисунке 2 представлен снимок микроструктуры титанового сплава. Данный снимок был получен с помощью микроскопа LYRA3. На рисунке 2 отчетливо видны крупные частицы первичной α -фазы, а также более мелкие темные

частицы вторичной α -фазы. Вторичная α -фаза на снимках, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), образует некоторую сетку, что затрудняет анализ изображений, поскольку фактически она имеет игольчатую структуру, которая не представляет себя в виде сеток. Данное наблюдение указывает на необходимость более детального изучения структуры и свойств вторичной α -фазы для более точного анализа данных и интерпретации результатов.

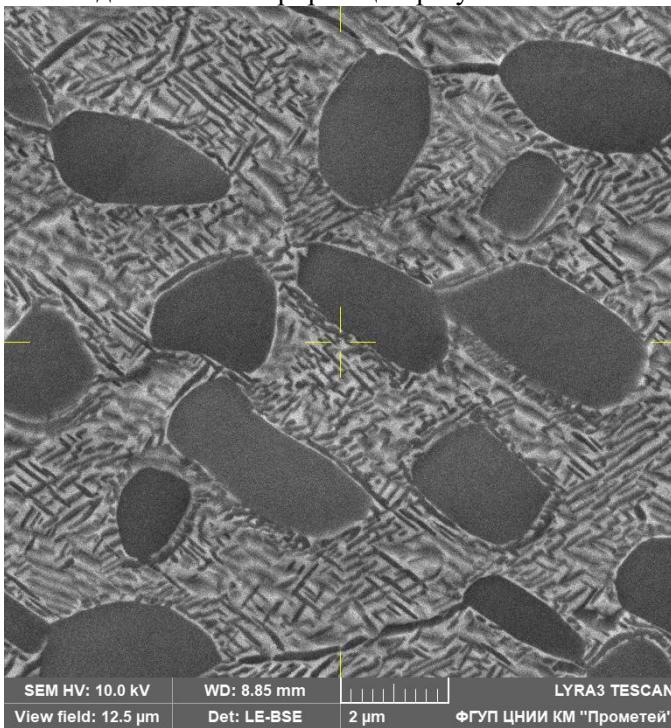


Рисунок 2 – Микроструктура титанового сплава

Fiji (ImageJ) – программно-аппаратный комплекс, который используется для количественного анализа микроструктуры. Данный комплекс использовался для обработки изображений, главная задача заключалась в возможности получения дополнительных плагинов и их документации из одного источника – официального сайта, и возможности создания собственных плагинов и макросов. Fiji (ImageJ) широко применялся в нейробиологии, но за счет дополнительный плагинов его стали

широко использовать в материаловедении. Достоинство программы заключается в простом интерфейсе, а также возможности подключения различных плагинов, которые могут быть использованы в ряде задач, которые невозможно выполнить с помощью базовых инструментов программы.

Но также существуют у него и недостатки, которые заключаются в малом функционале по ручной обработке изображений. Вся обработка, которую можно произвести в программе, заключается в различных вариантах обработки бинаризованных изображений, а вторичная α -фаза, имеющая игольчатую структуру, на изображениях визуально не отделима и образует сетку, что не имеет под собой физической основы.

В связи с невозможностью работы в автоматическом режиме, с использованием простейших инструментов, разделить отдельные частицы вторичной α -фазы требуется применение программного обеспечения с элементами искусственного интеллекта, что позволит сократить время работы над каждым изображением и увеличит эффективность анализа.

Титановые сплавы обладают большим значением в промышленности и научных исследованиях, благодаря своей надежности и эффективности. Исследование этих сплавов является ключевым для металлургии, так как от него зависит успешность их применения и технологии производства [4].

Усовершенствование методов анализа структуры титановых сплавов важно для повышения качества материалов и поиска новых применений. Внедрение современных технологий, включая искусственный интеллект, позволит улучшить точность и скорость исследований. Например, для автоматизированного анализа микроструктуры титана на языке программирования Python разрабатываются программные инструменты, включающие в себя алгоритмы обработки изображений, сегментации зерен и определения их характеристик [5].

Искусственный интеллект поможет ускорить анализ структуры титановых сплавов и снизить риск человеческих ошибок, что повысит долговечность материалов и эффективность производства. В процессе работы исследуются области применения, структура сплавов и методы их получения с заданными свойствами, с особым акцентом на закалку и старение.

Среди методов исследования микроструктуры выделяется растровая электронная микроскопия как наиболее подходящий

метод, позволяющий получать качественные изображения и панорамные снимки.

Основные проблемы количественного анализа, такие как отделение первичной и вторичной α -фазы, решались с помощью обработки изображений в Fiji (ImageJ) и кластерного анализа. В результате были получены данные о размере, угле поворота и занимаемой площади частиц α -фаз, что поможет установить оптимальное соотношение для упрочнения сплава.

Список использованной литературы

1. Глазунов С.Г., Ясинский К.К. Титановые сплавы для авиационной техники и других отраслей промышленности // Технология легких сплавов. – 1993. – №7-8.
2. Веселова В.Е., Гладковский С.В., Ковалев Н.И. Влияние режимов термической обработки на структуру и механические свойства метастабильного титанового сплава BT23 // ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2021. – Т. 23, №4. – С. 31-39.
3. Борисова Е.А., Бочвар Г.А., Брун М.Я. и др. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. / Борисова Е.А., Бочвар Г.А., Брун М.Я., Глазунов С.Г., Колачев Б.А., Коробов О.С., Мальков А.В., Моисеев В.Н., Ноткин А.Б., Перцовский Н.З., Полькин И.С., Семенова Н.М., Солонина О.П., Шаханова Г.В. // М.: "Металлургия", 1980. – 464 с.
4. Venables J.A., Harland C.J. Electron back-scattering patterns – A new technique for obtaining crystallographic information in the scanning electron microscope // Philosophic Magazine. – 1973. – Vol. 2. – P. 1193–1200.
5. Недбайло О.В., Гаврилин А.Е., Яковлева Т.Ю. Автоматизированный анализ микроструктуры титана: обработка зерен с помощью PYTHON // В сборнике: Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах. Труды Международной молодежной научной школы. Воронеж, 2024. С. 50-52.

СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 658.562:004.031

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА И АНАЛИЗА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ БРАКА

Аветисян Артур Сергеевич

*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский
технический университет», г. Иркутск, Россия,
avetisyan_geven@mail.ru*

Аннотация. Современные ИСУК в радиоэлектронике обладают рядом преимуществ. Во-первых, это возможность отслеживания партий компонентов и материалов на протяжении всего производственного цикла, что обеспечивает прослеживаемость и позволяет быстро локализовать источник проблемы в случае обнаружения дефектов. Во-вторых, ИСУК автоматизируют процессы сбора и анализа данных, снижая влияние человеческого фактора и повышая точность измерений. Важным аспектом является интеграция ИСУК с другими системами предприятия, такими как ERP и MES. Это обеспечивает комплексный подход к управлению производством и позволяет использовать данные о качестве для оптимизации планирования, логистики и других бизнес-процессов. Внедрение ИСУК требует значительных инвестиций, но эти затраты окупаются за счет снижения издержек на брак, повышения производительности и улучшения репутации предприятия как поставщика качественной продукции. Кроме того, наличие сертифицированной ИСУК является важным аргументом при участии в тендерах и заключении контрактов с крупными заказчиками. В заключение, современные информационные системы управления качеством являются неотъемлемой частью успешной деятельности предприятий радиоэлектронной промышленности. Они

обеспечивают контроль качества на всех этапах производства, позволяют оперативно реагировать на возникающие проблемы и повышают конкурентоспособность предприятия на рынке.

Ключевые слова: ИСУК, радиоэлектроника, преимущества, отслеживание, компоненты.

MODERN INDUSTRIAL QUALITY MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS INTEGRATE A PROCESS APPROACH AND ANALYSIS TO REDUCE DEFECTS

Avetisyan Artur Sergeevich

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

avetisyan_geven@mail.ru

Abstract. Modern ISCs in radio electronics have a number of advantages. Firstly, it is possible to track batches of components and materials throughout the entire production cycle, which ensures traceability and allows you to quickly locate the source of the problem in case of defects. Secondly, ISMS automate the processes of data collection and analysis, reducing the influence of the human factor and increasing the accuracy of measurements. An important aspect is the integration of ISMS with other enterprise systems such as ERP and MES. This provides a comprehensive approach to production management and allows you to use quality data to optimize planning, logistics, and other business processes. The implementation of ISMS requires significant investments, but these costs are recouped by reducing the cost of defects, increasing productivity and improving the company's reputation as a supplier of quality products. In addition, the availability of a certified ISMS is an important argument when participating in tenders and concluding contracts with large customers. In conclusion, modern information quality management systems are an integral part of the successful activities of enterprises in the radio electronics industry. They ensure quality control at all stages of production, allow you to quickly respond to emerging problems and increase the competitiveness of the company in the market.

Keywords: ISUK, radio electronics, advantages, tracking, components.

В эпоху цифровизации, современные информационные системы управления качеством (ИСУК) становятся ключевым

инструментом для промышленных предприятий, стремящихся к совершенству производственных процессов и минимизации дефектов. Интеграция процессного подхода, краеугольного камня стандартов ISO 9000, с передовыми методами анализа данных открывает новые горизонты в управлении качеством.

Процессный подход, рассматривающий каждую деятельность как взаимосвязанную цепочку операций, преобразующих входные данные в конечный продукт, приобретает новое звучание в контексте современных ИСУК. Отслеживание и анализ данных на каждом этапе процесса, от закупки сырья до финальной сборки, позволяют в режиме реального времени выявлять потенциальные источники дефектов и оперативно корректировать параметры процесса [1].

Ключевым элементом успешной реализации процессного подхода является назначение владельца процесса, ответственного за его эффективность, развитие и оптимизацию. Владелец процесса, вооруженный современными ИСУК, получает инструменты для мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI), выявления узких мест и принятия обоснованных решений на основе данных.

Рассмотрим применение процессного подхода в электронной промышленности. Стремление к безупречному качеству продукции является приоритетом, однако, риск возникновения брака сохраняется. Современные ИСУК позволяют рассматривать процесс образования брака как параллельный процесс, требующий столь же пристального внимания, как и основной производственный процесс. Анализ данных о дефектах, собранных на различных этапах производства, позволяет выявить системные проблемы, приводящие к браку, и разработать целенаправленные меры по их устраниению.

Вместо простого констатирования факта брака, современные ИСУК позволяют:

1. Прогнозировать возникновение дефектов на основе анализа данных о состоянии оборудования, качестве сырья, квалификации персонала и других факторов.
2. Оптимизировать производственные процессы для минимизации рисков возникновения дефектов.
3. Оперативно реагировать на возникающие проблемы и предотвращать распространение брака.
4. Постоянно совершенствовать систему управления

качеством на основе анализа данных и обратной связи от потребителей.

Таким образом, интеграция процессного подхода и анализа данных в современных ИСУК позволяет промышленным предприятиям не только минимизировать брак и повысить качество продукции, но и значительно повысить эффективность производства, сократить издержки и укрепить свои позиции на рынке [2].

Анализ процесса производства и возникновения брака показывает, что дефекты часто обусловлены сложностями в производственных механизмах. Исследование выявило условия, нарушение которых ведет к нестабильности и увеличению брака. Влияние этих факторов и их взаимосвязи были установлены при создании причинно-следственных диаграмм, основанных на анализе конкретных видов дефектов. Эти диаграммы учитывают не только нарушения технологических условий, но и влияние сырья, материалов, оборудования и человеческого фактора.

Применим процессный подход к анализу дефектов на примере сколов в керамике при производстве металлокерамических коммутационных плат (МКК). Исследования показали, что сколы – это сложные дефекты, контролируемые на многих этапах производства, поскольку их причины могут быть обнаружены рано, но проявляются только на выходе. Появление сколов может быть связано с контролем и тестами, обусловленными прочностными характеристиками керамики, соблюдением режимов обработки, качеством сырья, а также неосторожным обращением или ошибками персонала.

Ключевым фактором в образовании сколов является качество ресурсов, имеющихся на предприятии. Для успешного производства необходимы не только современное оборудование и технологии, но и квалифицированный персонал, готовый к обучению и подготовке новых специалистов. Важно также качество исходного материала – глинозема, так как оно напрямую влияет на итоговое качество продукции. Наличие качественных ресурсов на начальном этапе производства – необходимое условие для создания изделий с нужными характеристиками.

Существующая методология оценки технологического процесса и качества продукции включает анализ общего состояния процесса, качества заготовок после каждого этапа и готовых изделий. В современном производстве важно контролировать все

виды брака на всех этапах технологического процесса, а не только на отдельных участках. Если количество контролируемых параметров и потенциальных отклонений (B_i) равно количеству технологических операций (A_i), то целесообразно отслеживать каждое потенциальное отклонение, поскольку главная цель производства – создание бездефектной продукции, а не просто поддержание норм параметров на входе.

Ввиду сложности и временных затрат, сопряженных с мониторингом каждой стадии производственного процесса, целесообразно сфокусировать усилия контроля на специфических типах дефектов или потенциальных отклонениях на отдельных этапах технологической цепи. Это подразумевает необходимость системного анализа контроля качества и производственного процесса в контексте каждого вида дефекта, как на уровне всего предприятия, так и на отдельных его участках.

Применяя принципы причинно-следственного анализа, возможно структурировать взаимосвязи между дефектами и производственными процессами. Данный методологический подход обеспечивает углубленное понимание ключевых факторов, детерминирующих возникновение дефектов, а также процессов, ассоциированных с их формированием. Разработка и использование причинно-следственных диаграмм является эффективным инструментом для оптимизации производственных процессов с целью минимизации дефектности и повышения общей эффективности.

Методы активного управления качеством, включающие в себя оценку технологических операций, режимов и применение статистических методов регулирования, направлены на достижение целевых характеристик продукции.

В текущей организационной структуре контроль качества осуществляется отделом технического контроля (ОТК), осуществляющим инспекцию изделий после завершения каждой технологической операции. Дополнительно, группа представителей ОТК проводит периодическую оценку стабильности производственных процессов [3].

Однако, существующая практика характеризуется отсутствием четко определенной персональной ответственности за дефектную продукцию. Для повышения эффективности внедрения процессного подхода рекомендуется назначение "владельцев" процессов или функциональных руководителей, ответственных за

управление определенными типами брака. В сферу их компетенции должно входить: превентивные меры по предотвращению дефектов, контроль и оптимизация критических параметров технологического процесса, а также мониторинг и устранение причин возникновения брака.

В настоящее время ОТК осуществляет контроль ограниченного набора параметров на входе и выходе технологических этапов, что затрудняет идентификацию конкретной стадии возникновения дефекта при обнаружении бракованной партии. Введение института "владельцев" процессов будет способствовать повышению вовлеченности персонала в обеспечение качества продукции.

Следовательно, внедрение принципов процессного подхода к мониторингу и устранению дефектов представляется перспективным направлением. Это обусловлено непрерывным воздействием на материалы в процессе производства, а также наличием латентного периода формирования отдельных видов дефектов. Установление персональной ответственности за различные виды брака и назначение ответственных за их предотвращение и устранение позволит решить задачу определения и внедрения мероприятий, направленных на повышение качества выпускаемой продукции.

Список использованной литературы

1. Уварова, А. Г. Автоматизация управления процессов промышленного производства / А. Г. Уварова, И. Н. Помазнюк // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей 12-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 01 ноября 2022 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 348-352
2. Мурина, Э. В. Учет и управление затратами на исправление брака при производстве промышленной продукции / Э. В. Мурина, Г. Я. Остаев, Б. Н. Хосиев // Вестник Московского университета МВД России. – 2023. – № 5. – С. 271-278. – DOI 10.24412/2073-0454-2023-5-271-278.
3. Панченко, К. Е. Как с помощью автоматизации повысить эффективность производства и снизить уровень брака? / К. Е. Панченко // Управление качеством. – 2023. – № 9. – С. 35-39. – DOI 10.33920/pro-01-2309-06.

**ПРИКЛАДНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В КОНТЕКСТЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУРГУТСКОГО МОСТА**

*Багровская Елена Николаевна, Гимгин Егор Николаевич,
Петров Юрий Владимирович*

*ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г.
Тюмень, РФ, 89129240127@bk.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию возможностей применения прикладных геоинформационных технологий в процессе строительства и эксплуатации нового Сургутского моста с акцентом на экологические аспекты. Целью исследования является систематизация технологических возможностей информационного сопровождения системы экологического менеджмента, организованной при функционировании путепровода, как и в целом, во взаимодействии отдельного антропогенного объекта с окружающими природными и селитебными ландшафтами. Задачи исследования: выявить основные направления правоприменительной практики для геоинформационных технологий; разработать рекомендации для подключения отдельных технологических и взаимоувязанных организационных решений в процесс принятия управленческого решения. Как показали результаты сопоставления существующего природно-ресурсного потенциала, состояния окружающей природной среды и ассимиляционного потенциала сложных северных селитебных ландшафтов геоинформационное сопровождение позволяет на нормативном и организационном уровнях обеспечивать принятие грамотных управленческих решений с последующей корректировкой. При этом, в связи с необходимостью донесения экологической информации до неопределённого круга заинтересованных лиц, подход выбора геоинформационных технологий должен ориентироваться на принципы замещения, дополнения, интеграции информационных ресурсов. В основе эффективности применения геоинформационных технологий в составе государственного и корпоративного экологического мониторинга лежит ориентация*

на исходную фиксацию природного фона, с учётом сложившейся картины экологического состояния, с последующей ориентацией на исходные характеристики территории.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геоинформационное сопровождение, комплексирование информационных ресурсов, государственный экологический мониторинг, муниципальный экологический мониторинг, корпоративный экологический мониторинг.

APPLIED GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF STATE ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE SURGUT BRIDGE CONSTRUCTION AND OPERATION

*Bagrovskaya Elena Nikolaevna, Gimgin Egor Nikolaevich,
Petrov Yuri Vladimirovich*

*Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation,
89129240127@bk.ru*

Abstract. The article is devoted to the study of the possibilities of using applied geoinformation technologies (GIT) in the construction and operation of the new Surgut bridge with an emphasis on environmental aspects. The purpose of the study is to systematize the technological possibilities of information support for the environmental management system, organized during the operation of the overpass, as well as in general, in the interaction of a separate anthropogenic object with the surrounding natural and residential landscapes. Research objectives: to identify the main areas of law enforcement practice for geoinformation technologies; to develop recommendations for connecting individual technological and interrelated organizational decisions into the management decision-making process. As the results of comparing the existing natural resource potential, the state of the natural environment and the assimilation potential of complex northern residential landscapes have shown, geoinformation support makes it possible at the regulatory and organizational levels to ensure the adoption of competent management decisions with subsequent adjustments. At the same time, due to the need to convey environmental information to an indefinite range of stakeholders, the approach to choosing geographic information technologies should be guided by the principles of substitution, complementation, and integration of information resources. The effectiveness of the use of geoinformation

technologies as part of state and corporate environmental monitoring is based on an orientation towards the initial fixation of the natural background, taking into account the prevailing picture of the ecological state, followed by an orientation towards the initial characteristics of the territory.

Keywords: geographic information systems, geographic information support, integration of information resources, state environmental monitoring, municipal environmental monitoring, corporate environmental monitoring.

Введение

Строительство нового Сургутского моста является знаковым событием для региона, учитывая его стратегическое значение для транспортной сети Западной Сибири. Однако возведение таких объектов неизбежно связано с экологическими рисками, включая разрушение природных местообитаний, загрязнение водоемов и атмосферного воздуха. Поэтому применение современных геоинформационных технологий становится необходимым инструментом для обеспечения экологической безопасности возведения сложных уникальных инвестиционных проектов, которые реализуются в сложных геоэкологических условиях [1-4]. Цель исследования – выявление предпосылок применения геоинформационных технологий для обеспечения экологической устойчивости процесса строительства и последующей эксплуатации сургутского моста, возводимого для перехода через р. Обь вблизи г. Сургута, как дублера уже функционирующего путепровода.

Задачи:

1. разработать рекомендации для мониторинга экологических изменений в процессе эксплуатации моста;
2. выявить практические примеры успешного применения данных технологий на аналогичных объектах.

Мост через реку Обь — это масштабный проект, требующий комплексного подхода к планированию, проектированию и эксплуатации, что делает использование современных инструментов особенно актуальным. Одним из основных методов проектирования, основанным на геоинформационных технологиях, является использование геомоделирования. Этот метод позволяет создавать трехмерные модели местности с учетом геолого-геодезических и гидрологических данных. С помощью

таких моделей можно анализировать потенциальные риски, связанные с строящейся инфраструктурой, например, оценивать динамику потока реки, возможные наводнения или эрозию берегов. Инструменты для создания геомоделей, такие как ArcGIS и QGIS, обеспечивают интеграцию пространственных данных с возможностью визуализации. В контексте единого рисунка построения логистической сети каждое звено становится отдельным механизмом, обеспечивающим устойчивость всей совокупности транспортных потоков; при наложении определённых повышенных нагрузок на одно из звеньев возможно нарушение устойчивости всей сети, что существенно может увеличить и экологические риски [5, 6].

При применении подрядной организацией пространственного анализа и сопоставления его с ландшафтной экологической информационной системой, которая основана на материалах полевых экспедиций прошлых лет и текущего дистанционного мониторинга, получилось выявить наиболее уязвимые места – концентрации элементов природно-ресурсного потенциала. Эти результаты стали возможными за счёт ландшафтной предваряющей дифференциации прилегающей территории на основе выделения устойчивых и неустойчивых уроцищ. В контексте ландшафтного планирования – «чувствительных уроцищ», требующих особого хозяйственного обращения в сложных природно-климатических условиях сибирского Севера [7, 8]. Такими выявленными элементами явились территории традиционного природопользования Коренных малочисленных народов Севера с необходимостью учёта экономической рентабельности этих особых селитебных и хозяйственных территориальных общественных систем, а также прилегающие к путепроводу заболоченные уроцища, как местообитания животных, концентрация водных ресурсов и формирование особых климатических условий.

На основе проведенного анализа была разработана серия рекомендаций по использованию для мониторинга экологических изменений в процессе эксплуатации моста. Эти рекомендации включают в себя внедрение постоянных систем мониторинга, которые позволяют в реальном времени отслеживать изменения в ландшафтном окружении и оперативно реагировать на возможные негативные воздействия. Использование дистанционного зондирования, спутниковых данных и автоматизированных систем

диагностики создает новые возможности для контроля экологической ситуации. Даже на этапе возведения моста производится подрядчиком регулярный облёт с помощью беспилотных летательных аппаратов для фиксации определённых состояний, в том числе окружающей среды. Последующая привязка полученной фото- и видеодокументации позволяет отображать на геоинформационной карте изменения исходного состояния.

Подходы, основанные на современных геоинформационных технологиях, не только способствуют повышению качества проектирования и строительного процесса, но и играют критическую роль в обеспечении устойчивого развития и охраны окружающей среды в условиях современности. Своевременное обеспечение пространственной информацией по возводимому и функционирующему инфраструктурному объекту позволяет доносить до общественности релевантную информацию [9], исключающую проявление риска появления необоснованной дискриминирующей информации, что является чувствительной темой для субъектов традиционного природопользования.

Список использованной литературы

1. Стась, И. Н. Индустриализация Ханты-Мансийского округа как основной фактор развития городов нефтяников во второй половине XX в / И. Н. Стась // Ойкумена. Регионоведческие исследования. – 2013. – № 2(25). – С. 95-104.
3. Прищепа, А. И. Первые транспортные траектории обеспечения жизнедеятельности Сургутских нефтяников / А. И. Прищепа // Вестник Сургутского государственного университета. – 2015. – № 4(10). – С. 89-94.
4. Регион в фокусе: Ханты-Мансийский автономный округ // Саморегулирование и бизнес. – 2012. – № 23(03). – С. 41-44.
5. Деньга, Е. А. Туристско-рекреационный потенциал Ханты-Мансийского автономного округа / Е. А. Деньга, Б. М. Эйдельман // Современные проблемы социально-гуманитарных наук. – 2017. – № 2(10). – С. 96-101.
6. Жернов, Е. Е. Взаимозависимость видов ренты как фактор эффективного недропользования на территории / Е. Е. Жернов, Н. В. Осокина // Уголь. – 2022. – № 1(1150). – С. 33-38. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-1-33-38.

7. Анализ логистической транспортной структуры территории Югры / А. М. Выходцев, Г. Н. Гребенюк, А. М. Луговской, О. Ю. Вавер // Геология, география и глобальная энергия. – 2018. – № 3(70). – С. 159-170.
8. Багровская, Е. Н. Информационный вакуум локальных геоданных для практического геоэкологического применения при возведении и функционировании транспортных объектов / Е. Н. Багровская, Е. Н. Гимгин, Ю. В. Петров // Экологическая география: современные векторы в науке/ Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2024. – С. 81-86.
9. Transport Infrastructure for the Sustainable Development of Rural Territories in Siberia / V. V. Aleschenko, O. A. Aleschenko, Yu. V. Petrov, E. V. Rudoy // Transportation Research Procedia. – Krasnoyarsk: Elsevier B.V., 2023. – P. 750-754. – DOI 10.1016/j.trpro.2023.02.103.
- 10.Петров, Ю. В. Геоэкологические лимиты на расширения тюменской агломерации / Ю. В. Петров, Б. И. Кочуров // III-й Международный демографический форум "Демография и глобальные вызовы". – Воронеж: ООО "Цифровая полиграфия", 2024. – С. 774-780.

УДК 502.131.1:[338.436.33+911.373]:004.9

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ АПК И СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Велкакаев Тахыр Арзудурдыевич

*Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз,
Туркменистан*

Аннотация. Агропромышленный комплекс и сельское хозяйство играют важную роль в экономике, обеспечивая продовольственную безопасность и устойчивое развитие rural территорий. Цифровизация открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости агросектора. Основные принципы устойчивого развития включают эффективное использование ресурсов, сохранение биоразнообразия и

поддержку местных сообществ. Цифровые технологии, такие как системы точного земледелия и блокчейн, способствуют экономической эффективности, социальному развитию и экологической устойчивости. Однако существует ряд вызовов, связанных с доступом к технологиям, необходимостью обучения и кибербезопасностью. Успешные примеры применения технологий в Нидерландах, США и Израиле демонстрируют потенциал цифровизации для агрокомпонента.

Ключевые слова: биоразнообразия, агропромышленный комплекс, агросектор, цифровизация, блокчейн, беспилотник.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE AND RURAL AREAS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Velkakaev Takhyr Arzdurdievich

Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan

Abstract. The agricultural sector and agro-industrial complex play a crucial role in the economy, ensuring food security and sustainable development of rural areas. Digitalization opens new opportunities to enhance the efficiency and sustainability of the agricultural sector. The key principles of sustainable development include effective resource use, biodiversity conservation, and support for local communities. Digital technologies such as precision farming systems and blockchain contribute to economic efficiency, social development, and environmental sustainability. However, there are several challenges related to technology access, the need for training, and cybersecurity. Successful examples of technology implementation in the Netherlands, the USA, and Israel demonstrate the potential of digitalization for the agricultural component.

Keywords: Biodiversity, agro-industrial complex, agricultural sector, digitalization, blockchain, drone.

Сельское хозяйство и агропромышленный комплекс (АПК) играют ключевую роль в экономике многих стран, обеспечивая продовольственную безопасность и устойчивое развитие территорий. В последние годы мы наблюдаем стремительное развитие цифровых технологий, которые открывают новые горизонты для повышения эффективности и устойчивости аграрного сектора. Цифровая трансформация уже становится

неотъемлемой частью агробизнеса, что требует адаптации методов управления и внедрения инновационных решений. В этой статье рассматриваются основные аспекты устойчивого развития АПК и сельских территорий в условиях цифровизации.

1. Понятие устойчивого развития АПК

Устойчивое развитие АПК — это концепция, предполагающая сочетание экономической эффективности, социальной ответственности и охраны окружающей среды. Оно нацелено на обеспечение продовольственной безопасности при минимизации негативных воздействий на природу. Основные принципы устойчивого развития включают:

1. Эффективное использование ресурсов.
2. Сохранение биоразнообразия.
3. Поддержка местных сообществ.
4. Инновации и технологии.

В условиях цифровизации устойчивое развитие АПК предполагает внедрение аналитических данных и технологий для оптимизации процессов, повышения урожайности и качества продукции.

2. Роль цифровизации в АПК

Цифровизация в АПК включает использование различных технологий, таких как:

1. Системы управляемого орошения. Благодаря IoT (Интернет вещей) можно оптимально управлять расходом воды, что особенно важно в условиях изменений климата.

2. Точные методы земледелия. Использование GPS и беспилотников позволяет фермерам собирать данные о состоянии полей, что помогает принимать обоснованные решения по удобрению и защите растений.

3. Аналитические платформы. Платформы для анализа больших данных могут помочь в прогнозировании урожайности, ценообразовании и планировании производства.

4. Блокчейн. Технология блокчейн обеспечивает надежность и прозрачность цепочки поставок, что очень важно для потребителей, заботящихся о безопасности продуктов питания.

Цифровизация открывает возможность для более эффективного планирования и контроля на всех уровнях производства, что в значительной степени способствует устойчивому развитию АПК.

3. Преимущества цифровизации для устойчивого развития сельских территорий

Цифровизация оказывает существенное влияние на устойчивое развитие сельских территорий. Рассмотрим несколько ключевых преимуществ:

1. Экономическая эффективность. Цифровизация позволяет снизить затраты на производство, повысить урожайность и улучшить качество сельскохозяйственной продукции. Это в свою очередь способствует росту доходов аграриев и местных сообществ.

2. Социальное развитие. Использование цифровых технологий может привести к созданию новых рабочих мест и возможности для обучения местного населения. Это важно для укрепления местных сообществ и повышения уровня жизни.

3. Экологическая устойчивость. Цифровые технологии позволяют минимизировать использование химикатов и воды, что положительно сказывается на состоянии окружающей среды. Например, системы точного земледелия помогают сельскохозяйственным производителям использовать удобрения и пестициды только в необходимом объеме.

4. Информация и доступ к рынкам. Цифровизация облегчает доступ крестьян к информации о рынках, ценах, технологиях и лучших практиках. Это позволяет им более эффективно конкурировать и занимать свои ниши на рынке.

4. Проблемы и вызовы цифровизации в АПК

Несмотря на очевидные преимущества, есть ряд проблем и вызовов, связанных с цифровизацией в АПК. К ним относятся:

1. Неравенство доступа. Не все сельские населенные пункты имеют доступ к интернету, что создает цифровой разрыв. Это может привести к неравномерному развитию и углублению существующих социально-экономических проблем.

2. Необходимость в обучении и навыках. Для успешного внедрения технологий требуются знания и навыки, которыми не всегда располагают сельские жители. Необходимы программы обучения и поддержки, чтобы подготовить специалистов и поднять уровень информационной грамотности.

3. Кибербезопасность. Цифровизация неизбежно влечет за собой риски, связанные с безопасностью данных. Система, которая не защищена, может стать жертвой кибератак, что может

повлечь за собой серьезные последствия как для производителей, так и для потребителей.

4. **Финансовые затраты.** Внедрение новых технологий требует значительных инвестиций, которые не всегда доступны для мелких фермеров и небольших аграрных предприятий.

5. Примеры успешной цифровизации в АПК

Есть много примеров успешной цифровизации, которые можно привести как образцы. Некоторые страны активно используют технологии для повышения устойчивости своего агросектора:

1. **Использование** системы автоматизации, сенсоры, дронов и аналитики данных для управления аграрным производством. Это позволяет фермерам получать высокие урожаи с минимальными затратами ресурсов.

2. **Активное** использование точного земледелия, где производится мониторинг состояния поля и управляет ресурсами с помощью данных, собранных с помощью дронов и космических снимков. Применение таких технологий помогло значительно повысить урожайность и снизить воздействие на природу.

3. **Использование** водосберегающие технологии и автоматизированные системы орошения. Это не только повышает урожайность, но и спасает ресурсы в условиях нехватки воды.

6. Будущее устойчивого развития АПК и сельских территорий

Будущее устойчивого развития АПК в условиях цифровизации зависит от комплексного подхода, который будет включать:

1. **Инвестиции в технологии.** Необходимо увеличивать вложения в исследования и инновации, чтобы создать новые решения и повысить доступность технологий для всех слоев населения.

2. **Образование и обучение.** Важнейшей задачей является подготовка кадров, способных работать с новыми технологиями, а также информирование фермеров о лучших практиках и возможностях, которые им предоставляет цифровизация.

3. **Партнерство.** Важно наладить сотрудничество между государственными структурами, частным сектором и научными организациями для разработки и внедрения инновационных решений в аграрном секторе.

4. Политика устойчивого развития. Государственная поддержка устойчивого развития АПК и сельских территорий, включая финансовые меры, налоговые льготы и программы поддержки, поможет создать стимулы для внедрения цифровых технологий.

Заключение

Устойчивое развитие АПК и сельских территорий в условиях цифровизации представляет собой важную задачу, учитывающую современные вызовы и изменения. Цифровизация открывает новые горизонты для повышения эффективности, устойчивости и конкурентоспособности аграрного сектора. Однако для успешного внедрения новых технологий необходимы совместные усилия, направленные на устранение существующих проблем и создание условий для инновационного развития. Устойчивое и разумное использование цифровых технологий позволит обеспечить продовольственную безопасность и повысить качество жизни на сельских территориях, что является ключевым фактором для их будущего.

УДК 004.9:[656.61:528.47](985)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QGIS В ЭЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СУДОХОДСТВА НА СЕВЕРНОМ МОРСКОМ ПУТИ

*Гаврилов Даниил Игоревич,
Ярошенко Анатолий Вячеславович,
Сикарев Игорь Александрович*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей применения геоинформационной системы QGIS в качестве инструмента для повышения эффективности и безопасности судоходства по Северному морскому пути (СМП). Рассматриваются ключевые вызовы арктического судоходства, включая сложные ледовые условия, недостаток гидрографических данных и слаборазвитую инфраструктуру.

Ключевые слова: Северный морской путь, QGIS, электронно-картографические системы, навигация, ледовая обстановка, Арктика.

THE USE OF QGIS IN ELECTRONIC CARTOGRAPHIC SYSTEMS FOR NAVIGATION ON THE NORTHERN SEA ROUTE

*Gavrilov Daniil Igorevich, Yaroshenko Anatoly Vyacheslavovich,
Sikarev Igor Alexandrovich*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Abstract. The article explores the potential of using the QGIS geoinformation system as a tool to enhance the efficiency and safety of navigation along the Northern Sea Route (NSR). It examines the key challenges of Arctic shipping, including complex ice conditions, insufficient hydrographic data, and underdeveloped infrastructure.

Keywords: Northern Sea Route, QGIS, electronic chart systems, navigation, ice conditions, Arctic.

Введение

Северный морской путь (СМП) представляет собой стратегически значимую транспортную артерию, связывающую Европу и Азию через арктические воды. Однако судоходство в этом регионе сопряжено с рядом серьезных вызовов, включая экстремальные погодные условия, сложную ледовую обстановку, недостаток гидрографических данных и слаборазвитую инфраструктуру. В таких условиях ключевую роль в обеспечении безопасного и эффективного судоходства играют электронно-картографические системы (ЭКС), которые становятся незаменимыми инструментами для навигации.

Особое внимание заслуживает возможность интеграции в ЭКС современных геоинформационных технологий, таких как QGIS — открытая геоинформационная система, обладающая широким спектром функций для работы с пространственными данными. QGIS позволяет не только обрабатывать навигационные карты, но и анализировать ледовую обстановку, учитывать гидрографические параметры и интегрировать данные из различных источников, что делает его ценным инструментом для использования на СМП.

Роль электронно-картографических систем в судоходстве на СМП

ЭКС представляют собой цифровые платформы, которые заменяют традиционные бумажные карты, предоставляя экипажам судов актуальную навигационную информацию. Основные функции таких систем включают:

1. Визуализацию навигационных карт в соответствии со стандартами S-57/S-63, установленными Международной гидрографической организацией.
2. Отображение данных о глубинах, навигационных опасностях, портах и других объектах.
3. Интеграцию с Автоматической идентификационной системой (AIS) для отслеживания местоположения судов.
4. Ведение электронного судового журнала и планирование маршрутов.
5. Обмен данными с береговыми службами и ледовой разведкой.

Для навигации в условиях СМП требуется дополнительная информация, такая как спутниковые снимки, прогнозы погоды, данные о ледовой обстановке и результаты гидрографических исследований. Именно здесь QGIS может существенно расширить возможности стандартных ЭКС, предоставляя дополнительные аналитические инструменты и улучшая процесс принятия решений.

Возможности QGIS для судоходства в Арктике

QGIS — это универсальная геоинформационная платформа, которая благодаря своей гибкости и открытой архитектуре может быть адаптирована для решения задач судоходства в Арктике. Ее ключевые функции включают:

1. Работа с морскими навигационными картами
1. Поддержка различных форматов карт, включая S-57, S-63 и GeoTIFF.
2. Возможность обновления данных в режиме реального времени через подключение к WMS/WFS-сервисам.
3. Отображение навигационных знаков, глубин и опасных зон.
2. Анализ ледовой обстановки
1. Импорт спутниковых снимков (Sentinel-1/2, Landsat-8, MODIS) для мониторинга состояния льдов.

2. Интеграция данных от Росгидромета и Арктического и Антарктического НИИ.
3. Построение моделей дрейфа льдов на основе метеорологических и океанографических данных.
3. Интеграция с системами мониторинга судов
 1. Подключение данных AIS для отслеживания местоположения судов.
 2. Визуализация маршрутов с учетом ледовой обстановки.
 3. Синхронизация с судовыми GPS-устройствами.
 4. Гидрографические исследования и батиметрия
 1. Обработка данных, полученных с помощью многолучевых эхолотов, для создания батиметрических карт.
 2. Автоматическое обновление данных о глубинах.
 3. Построение 3D-моделей морского дна для анализа навигационных рисков.
 5. Планирование маршрутов
 1. Учет метеорологических данных (ветер, течения, температура воды) для выбора оптимального пути.
 2. Анализ альтернативных маршрутов с точки зрения безопасности и экономии топлива.
 3. Визуализация зон повышенного риска, таких как мелководья, ледовые поля и айсберги.

Интеграция QGIS с электронно-карографическими системами

QGIS может быть использован как дополнительный модуль, расширяющий функциональность стандартных ЭКС. Возможные сценарии интеграции включают:

1. Автоматизация обновления карт
1. Использование WMS/WFS для загрузки актуальных данных.
2. Подключение к береговым службам и спутниковым системам для получения информации о льдах.
3. Интеграция с судовыми эхолотами для обновления данных о глубинах.
2. Мониторинг ледовой обстановки
 1. Импорт оперативных ледовых карт от Росгидромета.
 2. Создание прогнозных моделей движения льдов.
 3. Визуализация потенциально опасных зон и ледовых коридоров.
3. Анализ маршрутов судов

1. Импорт данных AIS для анализа движения флота
2. Построение карт интенсивности судоходства на СМП.
3. Оценка рисков прохождения судов в определенных районах.
4. Разработка специализированных плагинов
 1. Создание плагинов для анализа ледовой обстановки на основе данных *Copernicus*.
 2. Интеграция QGIS с судовыми системами маршрутизации.
 3. Разработка скриптов для автоматизации обработки данных.

Практическое применение QGIS на СМП

QGIS может быть полезен в следующих сценариях:

1. Планирование рейсов: судовладельцы могут использовать QGIS для предварительного анализа маршрутов, оценки ледовой обстановки и выбора оптимального пути.
2. Оперативное принятие решений: капитаны могут загружать актуальные ледовые карты, сравнивать маршруты и оценивать риски в реальном времени.
3. Научные исследования: исследовательские суда могут применять QGIS для анализа морского дна, мониторинга экосистем и создания карт подводного рельефа.

Заключение

Использование QGIS в электронно-картографических системах для судоходства на СМП открывает новые перспективы для навигации в сложных условиях Арктики. Благодаря своей гибкости, открытой архитектуре и мощным аналитическим функциям, QGIS может стать важным дополнением к традиционным ЭКС, предоставляя дополнительные возможности для анализа ледовой обстановки, батиметрии, маршрутизации и мониторинга судов.

Этот инструмент будет полезен не только судовладельцам и капитанам, но также гидрографам и научным исследователям, работающим в Арктическом регионе. В условиях растущей активности на СМП внедрение современных геоинформационных технологий становится необходимым шагом для повышения безопасности и эффективности судоходства.

Список использованной литературы

1. Паршин, А. В., А. В. Паршин, В. А. Мельников, О. И. Демина, Е. А. Руш // ГИС как судовая электронно-карографическая система
2. Van der Kwast, H. QGIS for Hydrological Applications / H. van der Kwast, K. Menke.
3. О. Б. Кузнецов. «Управление Арктическими территориями на основе геоинформационных систем»
4. В. П. Журавель, В. П. Назаров. «Северный морской путь: настоящие и будущее»
5. Международная гидрографическая организация (ИHO). Стандарты S-57 и S-63 для электронных навигационных карт (ENC). – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ihodata.int>
6. Федеральное агентство морского и речного транспорта России (Росморречфлот). Развитие инфраструктуры Северного морского пути. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://morflot.gov.ru>
7. QGIS Documentation. Официальное руководство по использованию QGIS. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://qgis.org/ru/docs/index.html>

УДК [528.88+629.735]:[502.175+551+556]

РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

*Гробылев Матвей Евгеньевич, Дербенев Илья Владиславович,
Анисько Тимур Сергеевич, Сикарев Игорь Александрович
ФГБОУ ВО «Российский государственный метеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Приводится обзор существующих технологий и методов мониторинга окружающей среды с помощью БПЛА, включая их классификацию, технические характеристики и способы обработки данных. Особое внимание уделено применению дронов для мониторинга качества воздуха,

состояния водоемов, почвенного покрова и растительности, а также для выявления антропогенных воздействий на экосистемы. В гидрометеорологии рассматриваются возможности БПЛА для измерения температуры, влажности, атмосферного давления, изучения облачности, прогнозирования погодных условий и мониторинга стихийных бедствий. Анализируются преимущества и ограничения использования беспилотных технологий, а также перспективы их дальнейшего развития в научных исследованиях.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, экологический мониторинг, гидрометеорологические исследования, аэрофотосъемка, дистанционное зондирование.

DEVELOPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR ECOLOGICAL AND HYDROMETEOROLOGICAL PURPOSES

*Grobylev Matvey Evgenievich, Derbenev Ilya Vladislavovich,
Anisko Timur Sergeevich, Sikarev Igor Aleksandrovich*

*Russia state hydrometeorological university,
Saint-Petersburg, Russia*

Abstract. In article development and the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in ecological and hydrometeorological purposes are considered. An overview of existing technologies and methods for monitoring the environment using UAVs, including their classification, technical characteristics, and data processing methods is provided. Special attention to the use of drones to monitor air quality, the condition of reservoirs, soil cover and vegetation, as well as to identify anthropogenic impacts on ecosystems is paid. The possibilities of UAVs for measuring temperature, humidity, atmospheric pressure, studying clouds, forecasting weather conditions and monitoring natural disasters in hydrometeorology are investigated. The advantages and limitations of using unmanned technologies, as well as the prospects for their further development in scientific research are analyzed.

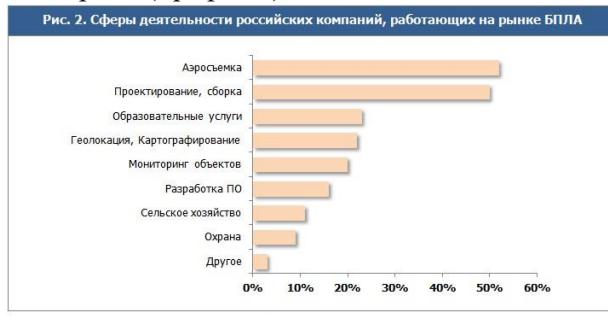
Keywords: unmanned aerial vehicles, environmental monitoring, hydrometeorological research, aerial photography, remote sensing.

В последние годы благодаря развитию и совершенствованию технологий (как передачи радиосигналов, так и в разработке аккумуляторов и энергетических систем) беспилотные

летательные аппараты (БПЛА) стали важным инструментом в области экологического и гидрометеорологического мониторинга. Их мобильность, способность к сбору данных в труднодоступных районах и возможность быстрой обработки информации делают их перспективным средством для научных исследований [1].

Достаточное развитие БПЛА позволило внедрить новые методы исследования атмосферных процессов, мониторинга водных объектов и экологического состояния территорий [2]. Их использование в метеорологии началось еще в 1970-х годах и с тех пор значительно расширилось благодаря усовершенствованию датчиков и навигационных систем. За прошедшее время научно-технический прогресс совершил значительный скачок вперед – современные дроны оснащены передовыми технологиями, включая искусственный интеллект, автоматическое управление и возможность интеграции с наземными и спутниковыми системами наблюдения. Все вышеперечисленные усовершенствования позволили значительно улучшить точность прогнозов и оперативность реагирования на изменения природной среды (немаловажный фактор, влияющий как на сложность управления самим беспилотным аппаратом, так и на точность полученной в результате исследования информации). Кроме того, БПЛА обеспечивают более низкие затраты по сравнению с пилотируемыми воздушными и космическими методами мониторинга [3].

Ниже представлен наиболее актуальный график сфер деятельности российских компаний, производящих беспилотные летательные аппараты (График 1).



Источник: Ассоциация БПЛА

График 1. График сфер деятельности российских компаний на рынке БПЛА [4]

БПЛА подразделяются на два основных типа: беспилотные летательные аппараты самолетного типа и мультироторные БПЛА. Самолетные БПЛА используются преимущественно для мониторинга больших территорий, поскольку к достоинствам данного типа относятся большая дальность полета и продолжительность работы. БПЛА самолетного типа широко применяются в гидрометеорологических исследованиях, позволяя проводить аэрофотосъемку больших пространств, измерять атмосферные параметры на значительных высотах и отслеживать изменения в экосистемах. Мультироторные дроны, в свою очередь, более маневренны и удобны для детализированного изучения объектов. Свое применение мультироторные БПЛА находят в экологическом мониторинге для съемки локальных зон, исследования качества воды, наблюдения за животными и оценки состояния растительного покрова. Их ограниченное время полета компенсируется возможностью зависания в одной точке и точностью выполнения заданий [5].

Современные БПЛА оснащены разнообразными датчиками, адаптированными для проведения природоохранных и гидрометеорологических исследований. Среди наиболее распространенных типов датчиков можно выделить тепловизоры, которые позволяют отслеживать температурные аномалии и используются при мониторинге лесных пожаров и утечек нефти; мультиспектральные камеры, применяемые для оценки состояния растительности и выявления участков с загрязнением; газоанализаторы, которые измеряют концентрации вредных веществ в атмосфере и позволяют оперативно определять источники загрязнения воздуха; лидары, создающие высокоточные цифровые модели рельефа и используемые для анализа эрозионных процессов и расчета объемов биомассы лесов. Важную роль играет программное обеспечение, которое позволяет заранее планировать маршруты полетов, обеспечивать повторяемость измерений и автоматически анализировать полученные данные с использованием алгоритмов машинного обучения [6].

Процесс мониторинга окружающей среды с помощью БПЛА включает несколько этапов: планирование полетов, сбор данных, их обработку и анализ. На этапе планирования определяются маршруты полета и параметры съемки, что позволяет минимизировать погрешности и исключить дублирование данных.

В ходе сбора информации дроны выполняют съемку в различных диапазонах спектра, собирают данные о составе атмосферы, фиксируют пространственные изменения природных объектов. После полетов все собранные данные проходят обработку в специализированных программах, где создаются ортофотопланы, трехмерные модели рельефа, анализируются температурные аномалии и химический состав проб. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет автоматизировать процесс анализа изображений, выявлять потенциальные угрозы экологии и прогнозировать дальнейшие изменения природной среды. В гидрометеорологии используются методы интеграции данных с БПЛА с результатами наземных измерений и спутникового наблюдения, что позволяет более точно моделировать климатические процессы и предсказывать экстремальные погодные явления [7].

При применении БПЛА в экологических исследования, беспилотные летательные аппараты оснащаются газоанализаторами для выявления концентраций вредных веществ в атмосфере, что позволяет оперативно определять источники загрязнения. Они используются для анализа уровня загрязнения воздуха в промышленных районах, оценки воздействия транспортных выбросов и контроля за распространением опасных химических соединений. Дроны позволяют проводить забор проб воздуха на различных высотах, что значительно расширяет возможности исследования воздушных потоков и загрязняющих веществ [5].

БПЛА применяются для мониторинга состояния водных объектов, позволяя фиксировать загрязнения, анализировать цветность воды и выявлять утечки нефти и химикатов. Дроны используют мультиспектральные камеры для оценки уровня эвтрофикации водоемов и прогнозирования возможных экологических рисков. Также они помогают в исследованиях ледовой обстановки, отслеживании динамики паводков и выявлении незаконных сбросов отходов в реки и озера [5].

С помощью БПЛА проводится картирование почв, анализ эрозионных процессов и выявление нарушений сельскохозяйственных земель. Мультиспектральные камеры позволяют оценивать степень деградации почв и выявлять участки, нуждающиеся в рекультивации. В лесном хозяйстве дроны используются для мониторинга незаконных вырубок, оценки

последствий пожаров и контроля за восстановлением экосистем [6].

БПЛА позволяют отслеживать динамику изменений экосистем, выявлять зоны, подвергшиеся антропогенному воздействию, и прогнозировать последствия природных катастроф. Они используются для наблюдения за изменениями береговой линии, урбанизированными территориями и объектами промышленной инфраструктуры, а также для оценки последствий изменения климата [7].

Активное использование беспилотных летательных аппаратов в гидрометеорологических исследованиях так же позволяет решать различные задачи. БПЛА широко применяются для сбора метеорологических данных, включая измерение температуры, влажности и атмосферного давления. Использование дронов позволяет получать данные на различных высотах, что особенно важно в районах с недостаточной сетью метеорологических станций. Данные, собранные с помощью БПЛА, помогают валидации метеорологических моделей и прогнозов [3].

БПЛА используются для детального анализа облачных образований и динамики формирования осадков. Они могут оснащаться датчиками влажности и температуры, а также специальными камерами для съемки в инфракрасном и ультрафиолетовом спектрах. Это позволяет более точно определять характеристики облачных систем и прогнозировать интенсивность осадков [6].

Данные, полученные с БПЛА, интегрируются с наземными и спутниковыми наблюдениями, что позволяет повышать точность прогнозирования погодных условий. Особенно актуально использование дронов в исследованиях климатических изменений, поскольку они могут фиксировать изменения температуры и влажности воздуха на региональном уровне и отслеживать долгосрочные климатические тренды [7].

БПЛА играют ключевую роль в мониторинге стихийных бедствий. Они используются для оценки последствий ураганов, наводнений и лесных пожаров, предоставляя спасательным службам оперативную информацию. Дроны позволяют составлять карты пострадавших территорий, выявлять зоны наибольшего риска и координировать усилия по ликвидации последствий катастроф. В частности, они помогают в обнаружении очагов

возгорания в труднодоступных лесных районах и оперативном мониторинге уровней воды в реках во время паводков [5]. Перспективным направлением развития метеорологических беспилотных летательных аппаратов является возможность унификации с разнообразными Едиными информационно-управленческими решениями с целью комплексного автоматизированного анализа данных для принятия наиболее рационального решения.

Отдельно необходимо указать возможность координирования действий не только напрямую, но также и с учетом использования дополнительного звена в виде беспилотного судна как в роли транспортировщика, так и в виде дополнительной станции для последующей передачи информации (с использованием радиосвязи, интернет-связи и наземных станциях связи) [8]. Побочным результатом использования вышеуказанной связки дрона-беспилотного корабля, помимо основных целей их эксплуатации потенциально может использоваться для поддержания судов и сопровождения сотрудников в процессе проведения полевых исследований



Рисунок 1 – Правовой алгоритм использования БПЛА

Преимущества использования БПЛА включают высокую оперативность сбора данных, возможность работы в труднодоступных районах, безопасность для исследователей и универсальность применяемых датчиков. Благодаря развитию технологий дроны становятся все более автономными, а точность измерений продолжает расти. Однако их применение ограничивается зависимостью от погодных условий, ограниченным временем полета и регуляторными ограничениями на использование БПЛА. В некоторых странах действуют строгие законодательные нормы, ограничивающие использование беспилотных аппаратов для гражданских и научных целей [7].

Ниже представлена схема (или графическое изображение) правового алгоритма использования БПЛА (рис. 1)

Использование БПЛА в экологических и гидрометеорологических исследованиях открывает новые перспективы для мониторинга окружающей среды. Внедрение этих технологий способствует повышению точности данных и оперативности принятия решений в сфере охраны природы и управления природными ресурсами [1].

Список использованной литературы

1. Чем беспилотники полезны экологии: опыт Геоскана // Геоскан URL: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/chem-bespilotniki-polezny-ekologii-optyt-geoscana> (дата обращения: 11.03.2025).
8. Дроны для мониторинга окружающей среды // BRLAB URL: <https://brlab.ru/scopes/monitoring-okruzhayushchey-sredy/> (дата обращения: 11.03.2025).
9. Дроны в экологии // optiplane URL: <https://optiplane.ru/ecomonitoring> (дата обращения: 11.03.2025).
10. Прогнозы и тренды в области беспилотников // URL: <https://robotrends.ru/robopedia/prognozy-i-trendy-v-oblasti-bespilotnikov/> (Дата обращения 12.03.2025)
11. А.А. Дуленин, П.А. Дуленина, Д.В. Коцюк, В.В. Свиридов Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Техника для рыбохозяйственных исследований. - 2021. - С. 134-151.
12. Д. Г. Чечин, А. Ю. Артамонов, Н. Е. Бодунков, Д. Н. Живоглотов Опыт исследования турбулентной структуры атмосферного пограничного слоя с помощью беспилотного

летательного аппарата // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2021. - №5. - С. 602–610.

13. И.А. Репина, М.И. Варенцов, Д.Г. Чечин, А.Ю. Артамонов Использование беспилотных летательных аппаратов для исследования атмосферного пограничного слоя // Инноватика и экспертиза. - 2020. - С. 20-39.

14. Гаврилов Д.И., Сикарев И.А., Ярошенко А.В. СИСТЕМЫ СВЯЗИ // Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией И.В. Зайцевой. Санкт-Петербург, 2023. С. 194-198.

УДК [004.89+004.9]:[551.46+551.5+556]

**АРХИТЕКТУРА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Гусев Сергей Игоревич, Колесенков Александр Николаевич
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», г. Рязань,
Россия, kt.rsreu@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена концепция цифровой геоинформационной платформы, предназначенный для комплексного анализа гидрометеорологических данных. Платформа интегрирует методы искусственного интеллекта и облачные вычисления для обеспечения эффективной обработки, визуализации и анализа больших объемов разнородной гидрометеорологической информации. Описаны ключевые компоненты платформы, включая архитектуру данных, функциональные возможности, алгоритмы машинного обучения и преимущества использования облачной инфраструктуры. Представлены примеры применения платформы для решения задач прогнозирования наводнений, оценки водных ресурсов и мониторинга климатических изменений.

Ключевые слова: ГИС, гидрометеорология, искусственный интеллект, машинное обучение, облачные вычисления, анализ данных, прогнозирование, климатические изменения.

GEOINFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE FOR COMPLEX ANALYSIS OF HYDROMETEOROLOGICAL DATA

*Kolesenkov Alexander Nikolaevich, Gusev Sergey Igorevich
Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Ryazan, Russia, kt.rsreu@yandex.ru*

Abstract. The article presents the concept of a digital geoinformation platform designed for complex analysis of hydrometeorological data. The platform integrates artificial intelligence methods and cloud computing to ensure efficient processing, visualization and analysis of large volumes of heterogeneous hydrometeorological information. The key components of the platform are described, including the data architecture, functionality, machine learning algorithms, and the benefits of using a cloud infrastructure. Examples of using the platform to solve flood forecasting, water resource assessment, and climate change monitoring tasks are presented.

Keywords: GIS, hydrometeorology, artificial intelligence, machine learning, cloud computing, data analysis, forecasting, climate change.

Гидрометеорологические данные играют критически важную роль в управлении водными ресурсами, прогнозировании стихийных бедствий, мониторинге климата и планировании устойчивого развития. Однако, объемы и разнородность этих данных, включая данные наблюдений, моделирования и дистанционного зондирования, создают значительные сложности для их эффективной обработки и анализа. В связи с этим, разработка цифровых платформ, интегрирующих геоинформационные системы (ГИС), искусственный интеллект (ИИ) и облачные вычисления, становится актуальной задачей. Такие платформы позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки, анализа и визуализации гидрометеорологических

данных, обеспечивая поддержку принятия решений на основе научно-обоснованной информации [1].

Предлагаемая цифровая ГИС-платформа состоит из следующих ключевых компонентов:

– Подсистема сбора данных из различных источников, их предварительной обработки и хранения в централизованном хранилище [2].

– ГИС-модуль, обеспечивающий геопространственную привязку данных, их визуализацию на картах, выполнение пространственного анализа и интеграцию с другими данными [3].

– Источники данных, в том числе: источники гидрометеорологических данных (наземные метеостанции, гидрологические посты), спутниковые данные, радарные данные, данные численного моделирования погоды и климата, данные социальных сетей.

– Модуль интеллектуального анализа данных и машинного обучения, предназначенный для выявления закономерностей в данных, построения прогнозов и разработки аналитических моделей [4].

– Модуль визуализации результатов анализа данных в виде интерактивных карт, графиков, диаграмм и отчетов.

– Пользовательский интерфейс, обеспечивающий доступ пользователей к функциональности платформы через веб-браузер или мобильное приложение.

– Облачная инфраструктура, обеспечивающая масштабируемость, надежность и доступность платформы, а также возможность обработки больших объемов данных и выполнения ресурсоемких вычислений [5].



Рисунок 1 – Архитектура цифровой ГИС-платформы

Платформа предоставляет широкий спектр функциональных возможностей для комплексного анализа гидрометеорологических данных:

– Выполнение пространственного анализа гидрометеорологических данных, включая интерполяцию, кластеризацию, анализ близости и наложение слоев [6].

– Анализ временных рядов гидрометеорологических данных для выявления трендов, сезонности и аномалий.

– Построение прогнозов гидрометеорологических параметров с использованием методов машинного обучения, таких как рекуррентные нейронные сети (RNN), долгосрочная краткосрочная память (LSTM) и градиентный бустинг.

Платформа использует методы ИИ и машинного обучения для анализа гидрометеорологических данных:

– Рекуррентные нейронные сети (RNN) и долгосрочная краткосрочная память (LSTM) для прогнозирования временных рядов гидрометеорологических данных, таких как температура, осадки и уровень воды.

– Сверточные нейронные сети (CNN) для анализа спутниковых и радарных данных и обнаружения экстремальных явлений, таких как наводнения и засухи.

– Метод опорных векторов (SVM) для классификации гидрометеорологических явлений и построения моделей риска.

– Градиентный бустинг (GBM) для построения ансамблевых моделей, объединяющих прогнозы нескольких моделей для повышения точности.

– Методы кластеризации для выявления регионов с аналогичными гидрометеорологическими условиями и построения региональных моделей.

Использование облачной инфраструктуры предоставляет ряд преимуществ для цифровой ГИС-платформы:

– Масштабируемость по требованию для обработки больших объемов данных и выполнения ресурсоемких вычислений.

– Надежность благодаря резервированию и распределению ресурсов.

– Снижение затрат на ИТ-инфраструктуру.

– Доступность из любой точки мира через интернет.

– Автоматизация процессов сбора, обработки и анализа данных.

– Совместная работа над проектами и обмен данными между различными организациями и пользователями.

Цифровая ГИС-платформа может быть использована для решения широкого спектра задач в области гидрометеорологии [7]:

– Построение моделей прогнозирования наводнений на основе данных наблюдений, моделей и дистанционного зондирования. Платформа может интегрировать данные о количестве осадков, уровне воды в реках, состоянии почвы и топографии местности для оценки риска наводнений и предоставления своевременных предупреждений населению.

– Оценка запасов водных ресурсов, баланса воды и водопотребления с использованием ГИС-технологий и методов моделирования. Платформа может интегрировать данные о количестве осадков, испарении, стоке, водопотреблении и запасах подземных вод для оценки доступности водных ресурсов и планирования их использования.

– Мониторинг и оценки засухи на основе данных об осадках, температуре воздуха, влажности почвы и вегетационных индексах SPI (Standardized Precipitation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и VCI (Vegetation Condition Index).

– Мониторинг долгосрочных изменений гидрометеорологических параметров для оценки воздействия климатических изменений на водные ресурсы и экстремальные гидрометеорологические явления. Платформа может интегрировать данные о температуре, осадках, уровне моря и ледниковом покрове для анализа климатических трендов и оценки их воздействия на водные ресурсы и население.

Подводя итоги, отметим, что разработка цифровой ГИС-платформы для комплексного анализа гидрометеорологических данных с использованием ИИ и облачных вычислений является перспективным направлением, позволяющим автоматизировать процессы сбора, обработки, анализа и визуализации данных, обеспечивая поддержку принятия решений на основе научно обоснованной информации. Предлагаемая платформа предоставляет широкий спектр функциональных возможностей для решения задач прогнозирования наводнений, оценки водных ресурсов и мониторинга климатических изменений. Использование облачной инфраструктуры обеспечивает масштабируемость, надежность и доступность платформы, а также возможность обработки больших объемов данных и выполнения ресурсоемких вычислений.

Список использованной литературы

1. Разработка картографических веб-приложений на основе геоинформационных технологий / Н. В. Акинина, А. В. Курагин, А. Н. Колесенков, Б. В. Костров // Телекоммуникации. – 2023. – № 2. – С. 23-31. – DOI 10.31044/1684-2588-2023-0-2-23-31.
2. Цегельник, Д. В. Особенности каталогизации разнородных спутниковых данных средствами ГИС / Д. В. Цегельник, А. Н. Колесенков // Интеллектуальные информационные системы : Труды Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Воронеж, 11–12 декабря 2018 года. Том Часть 1. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2018. – С. 66-69.
3. Кривошеев, А. В. Сопряжение мультиагентных и нейросетевых технологий в программной системе распознавания образов для роботизированного документооборота / А. В. Кривошеев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2024. – № 87. – С. 54-61. – DOI 10.21667/1995-4565-2024-87-54-61.
4. M. Reichstein et al., "Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science," *Nature*, vol. 566, no. 7743, 2019, pp. 195-204.
5. Демидова, Л. А. Аспекты разработки архитектуры вопросно-ответной системы для обработки больших данных на основе нейросетевого моделирования / Л. А. Демидова, Н. А. Морошкин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 86. – С. 145-155. – DOI 10.21667/1995-4565-2023-86-145-155.
6. Karpatne et al., "Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, no. 10, 2017, pp. 2318-2331.
7. Моделирование сейсмических рисков на территориях расположения объектов критической инфраструктуры / В. П. Корячко, В. А. Минаев, Р. О. Степанов, А. О. Фаддеев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – № 84. – С. 133-142. – DOI 10.21667/1995-4565-2023-84-133-142.

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
РЕСУРСОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА**

Петров Юрий Владимирович

*ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
г. Тюмень, Россия*

Аннотация. В статье представлено концептуальное представление геоинформационного позиционирования экологической инфраструктуры ресурсодобывающего субъекта РФ, с отражением приоритетных задач и их комплексирования.

Ключевые слова: экологическая инфраструктура, ресурсодобывающий регион, территориальная общественная система, территориальная общность людей, геоинформационное представление, долгосрочные комплексные цели.

**GEOINFORMATION REPRESENTATION OF THE
ECOLOGICAL INFRASTRUCTURE OF A RESOURCE-
PRODUCING REGION**

Petrov Yuriy Vladimirovich

University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. The article presents a conceptual representation of the geoinformation positioning of the ecological infrastructure of a resource-producing region of the Russian Federation, reflecting the priorities and their integration.

Keywords: environmental infrastructure, resource-producing region, territorial social system, territorial community of people, geographic information representation, long-term comprehensive goals.

Экологические инструменты организации социального благоустройства уже прочно вошли в повседневность современного общества. Экологическое образование и просвещение, страхование и аудит, планирование и интернализация – всё это имплементировано в ткань социальной жизнедеятельности населённого пункта, муниципалитета,

субъекта РФ. Для исключения рисков от наложения пересекающихся мероприятий целесообразна систематизация сведений о функционировании региональной (межрегиональной) инфраструктуры в формате геоинформационного ресурса – сайта, геопортала, интерактивной ведомственной информационной системы, интегратора информационных потоков и т.п. Так как геоинформационное моделирование находится, в основном, в серой зоне экологического регулирования, то целесообразно концептуальное отражение представления экологической региональной инфраструктуры в контексте интерактивного взаимодействия с территориальной общностью людей в сформировавшейся территориальной общественной системе [1-4].

Первостепенной задачей для формирования геоинформационного представления определённого явления становится ориентация на конечный итоговый результат. В условиях неопределённости итогового результата, на который ориентируется определённая территориальная общественная система, зыбкими становятся и инструменты информационного обеспечения, так как само целеполагание становится неочевидным. Поэтому определение краткосрочных и доктринальных ключевых показателей эффективности – тот ориентир, который должен быть задан сразу. По мере достижения краткосрочных показателей производится оценка доктринальных ориентиров, с возможностью внесения соответствующих корректировок [3].

Второй в очередности является имплементация экологической повестки в канву регионального развития, когда сопоставляются внутри территориальной стратегии вопросы социально-экономического будущего, частью которого является и функционирование экологической инфраструктуры. Несмотря на очевидность данного тезиса, встраивание экологических целей в региональные ориентиры, зачастую, происходит или обособленно, или в контексте поверхностных блоков, описание строения которых не позволяет потребителям получить понимания необходимости экологических задач. Да, есть потребность в «чистом воздухе», но достижение энергетической безопасности территории общественной системы воспринимается на другом уровне, экзистенциальном, на фоне которого ориентир с чистотой воздуха становится второсортным [5-6].

Внутри данной задачи также находится определение стратегической роли определённой социально-экономической модели внутри каждой территориальной общественной системы применительно к населённому пункту, совокупности населённых пунктов, районным и межрайонным взаимодействиям. Тут особо следует выделить ресурсодобывающие территории, под которыми, согласно российскому налоговому законодательству, будем понимать субъекты РФ, в которых поступление доходов от налогов на добычу полезных ископаемых превышает четверть расходной части регионального бюджета [7]. Их сырьевая специализация требует учёта экологических параметров в приоритетном порядке, как основы инвестиционной привлекательности формирующихся территориальных общественных систем.

Третьей задачей выступает определение единства информационных потоков в формате взаимосопоставимых сведений. Классические требования к данным выстраиваются в заданной последовательности: легитимность, актуальность, корректность, полнота, сопоставимость со смежными информационными и геоинформационными полями. При формировании геоинформационного сопровождения уже на концептуальном уровне должны быть определены все акторы в роли поставщиков данных, в роли потребителей данных, в роли производителей вторичных, третичных и последующих итерационных уровней по отношению к исходной информации [8-9].

Последним верификационным элементом выступает понятийно-терминологический аппарат. Здесь важно понимать современный спрос на экологическую инфраструктуру на региональном уровне как фактор сбалансированного социально-экономического развития определённых территориальных общественных систем и их гармоничному взаимоувязанному сочетанию. Исходя из сложившейся практики регионального ресурсодобывающего субъекта РФ Тюменской области (без автономных округов), под экологической региональной инфраструктурой следует понимать совокупность социально-экономических инструментов для обеспечения безопасности окружающей природной среды для территориальной общности людей территориальных общественных систем субъекта РФ, включая обеспечение сбалансированного конкурентоспособного экономического развития на основе экологических механизмов. В

таком контексте подчёркивается связь локальных стратегических целей сбалансированного развития во взаимосвязи с региональными целями, неотъемлемой среди которых выступает и экологическая безопасность, в широком понимании данного определения.

По отношению к первой задаче для ресурсодобывающего региона выделим следующие планируемые показатели: 1) сохранение параметров физического и химического воздействия в границах регионального фона; 2) создание экологического каркаса субъекта РФ, обеспечивающего привлекательность территориальных общественных систем для жизнедеятельности востребованных специалистов. 1 показатель, который можно отнести к числу краткосрочных ориентиров, математически сопоставляется с определённым региональным ландшафтом, по отношению к которому выбираются фоновые значения. Если характеристики значений по определённому фиксируемому показателю превышают фоновые значения, то для определённой территориальной общественной системы прорабатывается комплекс мер (внутри муниципалитета, либо их совокупности) для возврата к целевому показателю. В этом случае, на уровне муниципальных стратегических документов принимаются управленические решения, которые исключают до определённого выхода на заданную целевую установку развитие рисковых видов деятельности в границах определённого ландшафта [3-4].

2 показатель является долгосрочным ориентиром, достижение которого фиксируется в характеристиках экологической привлекательности населённых пунктов для проживания конкурентоспособной территориальной общности людей [10]. Наиболее показательным примером выступает территориальная общественная система городского округа г. Тобольск, для сбалансированного развития градообразующего нефтегазохимического комплекса которого требуется привлечение высококвалифицированных специалистов, закрепление которых на постоянное проживание в провинциальной локации требуется формирование соответствующей окружающей среды. По мере нарастания, с одной стороны, дефицита трудовых кадров, повышения мобильности населения, с другой стороны, дистанционных форм приложения труда – с третьей стороны, всемирной глокализации планетарной экономики – с четвёртой стороны, конкуренция за квалификационный состав

территориальной общности людей будет возрастать. В контексте ресурсодобывающего региона нахождение баланса экологического благополучия при активном воздействии на окружающую среду является залогом конкурентоспособности, с существующими ориентирами на экономические модели Норвегии, Австралии, ОАЭ [11-13].

Стратегические задачи регионального развития ресурсодобывающего региона заключаются в наиболее эффективном использовании природно-ресурсного потенциала для территориальных общностей людей сложившихся территориальных общественных систем. У эффективно работающей территории люди являются обеспеченными в материальном и социальном отношении, соответственно, не только уровень зарплат, но и интернализация возникающих экстерналий становится оценочными ориентирами. Если в составе валового регионального продукта считать и экологические дивиденды от проживания в благоприятных условиях окружающей среды, то такой показатель также становится приемлемым для геоинформационного представления.

Исходя из концептуализации двух задач, получается широкий тематический коридор рассматриваемых показателей для геоинформационного представления. При этом, не только экологические показатели становятся информационными индикаторами, но и социальные данные [14]. Одними из показательных могут выступать демографические сведения: естественный прирост населения вкупе с механическим приростом. Естественный прирост отражает привлекательность территории для формирования семей, высокий миграционный прирост – привлекательность территории для молодёжи. В условиях извлечения горной ренты в ресурсодобывающих регионах, которая характеризуется краткосрочностью своего протекания, формирование устойчивого роста населения на основе сочетания естественного и механического прироста.

Список использованной литературы

1. Dobryakova, V. A. Studying the dynamics of population size changes in settlements by mapping methods // Tyumen State University Herald. 2012. No. 7. P. 4-7.
2. Михайлов, В. Идентификация человека. Территориальные общности и социальное пространство: опыт концептуализации //

- Социологические исследования. 2019. № 1. С. 52-62. DOI 10.31857/S013216250003747-4.
3. Шарыгин, М. Д. Общественная география в России: тернистый путь развития // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 17-25. DOI 10.17072/2079-7877-2017-2-17-25.
4. Столбов, В. А. Региональный потенциал и региональный капитал: "возможное" - "реальное" - "необходимое" / В. А. Столбов, М. Д. Шарыгин // Экономика региона. 2016. Т. 12, № 4. С. 1014-1027. DOI 10.17059/2016-4-4.
5. Осипов, В. А. О структуре геовремени // Вестник Тюменского государственного университета. Гуманитарные исследования. Humanitates. 2013. № 10. С. 14-21.
6. Осипов, В. А. О "втором времени" и пятом измерении географического пространства // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2015. № 4. С. 201-211.
7. Петров, Ю. В. Геоэкологические лимиты на расширения тюменской агломерации / Ю. В. Петров, Б. И. Кочуров // Демография и глобальные вызовы. Воронеж: ООО "Цифровая полиграфия", 2024. С. 774-780.
8. Затолокин, А. С. Принципы реализации ESG-повестки в составе геопорталов / А. С. Затолокин, Ю. В. Петров // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29, № 1. С. 240-254. DOI 10.35595/2414-9179-2023-1-29-240-254.
9. Валеева, К. Н. Использование цифровых технологий для оценки ресурсообеспеченности Викуловского района Тюменской области / К. Н. Валеева, Ю. В. Петров // Цифровая география. Том I. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. С. 232-235.
10. Дружинин, А. Г. Развитие Российской общественной географии: современные вызовы и опыт прошлого // Географический вестник. 2022. № 2(61). С. 17-33. DOI 10.17072/2079-7877-2022-2-17-33.
11. Ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования в нефтегазопромысловых районах Западной Сибири (на примере Надым-Пур-Тазовского междуречья) / В. В. Козин, А. В. Маршинин, Д. М. Марьинских // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2008. № 3. С. 200-215.

12. Козин, В. В. Ландшафтно-экологический подход при комплексной оценке экологического состояния участков перспективного нефтегазового освоения на севере Западной Сибири / В. В. Козин, И. В. Холодилов // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2008. № 3. С. 234-240.
13. Затолокин, А. С. Механизмы внедрения ESG-повестки для Тюменской области // Социально-экономические и правовые системы: современное видение. Омск: Омский государственный технический университет, 2023. С. 319-322.
14. Добрякова, В. А. Динамика морфологической структуры систем расселения населения юга Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2007. № 3. С. 180-185.

УДК: [004.9:338.2](575.2)

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ В КЫРГЫЗСТАНЕ: ВЫЗОВЫ,
ПЕРСПЕКТИВЫ И РОЛЬ В СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ**

*Золотарёва Татьяна Анатольевна,
Абдыкадыров Санжар Кубатович
Ошский государственный университет, г. Ош,
Кыргызстан*

Аннотация. Цифровизация становится важным инструментом трансформации экономики и общества, способствуя повышению конкурентоспособности и улучшению качества жизни. Настоящая статья посвящена анализу роли цифровизации в развитии социально-экономических систем Кыргызстана. Основное внимание уделено динамике внедрения цифровых технологий, их влиянию на ключевые экономические показатели, а также существующим вызовам и перспективам. Проанализирована позиция КР в международных рейтингах, характеризующих развитие цифровизации среди стран-участниц ЕАЭС. Среди представленных индексов и рейтингов, характеризующих процесс цифровизации и внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ),

Кыргызская Республика в основном занимает худшие места среди стран ЕАЭС. Статья подчеркивает важность цифровизации, как стратегического направления для обеспечения социально-экономического прогресса и предлагает пути преодоления текущих вызовов, что делает её ценной для учёных, политиков и практиков, заинтересованных в цифровой трансформации Кыргызстана.

Ключевые слова: цифровизация, трансформация экономики, социально-экономические системы, информационные и коммуникационные технологии, интернет, цифровая экономика.

DIGITALIZATION IN KYRGYZSTAN: CHALLENGES, PROSPECTS AND ROLE IN SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

Zolotareva Tatiana Anatolievna, Abdykadyrov Sanzhar Kubatovich
Osh State University, Osh, Kyrgyzstan

Abstract. Digitalization is becoming an important tool for transforming the economy and society, contributing to increased competitiveness and improved quality of life. This article is devoted to the analysis of the role of digitalization in the development of socio-economic systems in Kyrgyzstan. The main attention is paid to the dynamics of the introduction of digital technologies, their impact on key economic indicators, as well as existing challenges and prospects. The position of the Kyrgyz Republic in international rankings characterizing the development of digitalization among the EAEU member states is analyzed. Among the presented indices and rankings characterizing the process of digitalization and implementation of information and communication technologies (ICT), the Kyrgyz Republic mainly takes the worst places among the EAEU countries. The article emphasizes the importance of digitalization as a strategic direction to ensure socio-economic progress and suggests ways to overcome current challenges, which makes it valuable for scholars, policy makers and practitioners interested in the digital transformation of Kyrgyzstan.

Keywords: digitalization, economic transformation, socio-economic systems, information and communication technologies, Internet, digital economy.

В последние десятилетия цифровизация стала ключевым фактором, определяющим развитие экономики и социальной сферы во всём мире. Современные цифровые технологии трансформируют традиционные подходы к ведению бизнеса, управлению государством и предоставлению услуг населению.

Цифровизация мировой экономики вступила в активную фазу внедрения на страновом уровне в последние 10–15 лет. В глобальном масштабе цифровизация способствует повышению производительности труда, росту инновационной активности и созданию новых рабочих мест. Согласно данным исследований, доля цифровой экономики в ВВП развитых стран составляет до 7–10%, что подчёркивает её значимость в обеспечении устойчивого развития [1].

Для Кыргызстана цифровизация представляет собой стратегический инструмент преодоления экономических и социальных вызовов, таких как низкий уровень производительности, ограниченный доступ к государственным услугам в регионах и необходимость повышения конкурентоспособности на международной арене. Национальные программы, такие как "Цифровой Кыргызстан 2019–2023" и "Таза Кoom", закладывают основу для внедрения цифровых технологий во все аспекты общественной жизни [2].

Однако внедрение цифровизации в Кыргызстане сталкивается с рядом проблем, включая недостаточную инфраструктуру, ограниченные финансовые ресурсы и низкий уровень цифровой грамотности населения. Это делает исследование роли цифровизации в социально-экономических системах Кыргызстана крайне актуальным.

Целью настоящей статьи является анализ роли цифровизации в развитии социально-экономических систем Кыргызстана с акцентом на её влияние на ключевые экономические и социальные показатели.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

Проанализировать основные государственные стратегии и программы цифровизации в Кыргызстане.

Исследовать динамику экономических показателей за последние 5 лет на основе данных Национального статистического комитета КР.

Оценить влияние цифровизации на ключевые аспекты социально-экономического развития, включая производительность труда, уровень занятости и доступность государственных услуг.

Выявить основные вызовы и перспективы цифровизации в Кыргызстане.

Предложить рекомендации для эффективного использования цифровых технологий в целях устойчивого развития.

Исследование основывается на использовании комбинированных методов, включая:

Аналитический метод: изучение программных документов, таких как "Цифровой Кыргызстан 2019–2023", "Национальная стратегия развития Кыргызстана на 2018–2040 годы".

Сравнительный анализ: сопоставление показателей цифровизации Кыргызстана с данными других стран ЕАЭС и мировых лидеров в этой области.

Статистический анализ: использование данных Национального статистического комитета КР для изучения динамики ВВП, уровня занятости, инвестиций и других экономических показателей за последние 5 лет.

Рассмотрим некоторые теоретические аспекты цифровизации.

Цифровизация представляет собой процесс внедрения цифровых технологий во все сферы жизни общества и экономики. Она включает использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), искусственного интеллекта, больших данных и автоматизации для повышения эффективности процессов и улучшения качества жизни населения.

Цифровая экономика определяется как экономика, основанная на цифровых технологиях, таких как Интернет, облачные вычисления, искусственный интеллект и Интернет вещей (IoT). Она охватывает такие области, как электронная коммерция, платформенные технологии и цифровые услуги.

Согласно определению Организации экономического сотрудничества и развития (OECD), цифровая экономика включает в себя использование данных как основного ресурса, что приводит к созданию новых бизнес-моделей и трансформации традиционных отраслей [3].

Мировая практика цифровизации демонстрирует значительные достижения в развитии экономики, социальной сферы и управления. Так, например, в развитых странах, таких как США, Германия и Южная Корея, доля цифровой экономики достигает 7–10% ВВП.

Программы цифровизации, например, «Индустря 4.0» в Германии или «Цифровая Шёлковая дорога» в Китае, стимулируют внедрение инноваций, автоматизацию производства и развитие интеллектуальной инфраструктуры.

Электронные государственные услуги, например, в Эстонии, существенно упрощают взаимодействие между гражданами и государством.

Основные вызовы цифровизации:

Разрыв между уровнями развития цифровой инфраструктуры в различных странах и регионах.

Низкая цифровая грамотность, особенно в развивающихся странах.

Рост киберугроз и необходимость обеспечения цифровой безопасности.

Неравномерное распределение цифровых благ, что усугубляет социальное и региональное неравенство.

Кыргызстан пока находится на этапе зарождения цифровой экономики, сталкиваясь с проблемами финансирования, низкой доступности Интернета в регионах и отсутствием квалифицированных специалистов [2].

Рассмотрим цифровизацию в аспектах устойчивого развития.

Устойчивое развитие подразумевает сбалансированный подход к решению экономических, социальных и экологических задач. Цифровизация играет ключевую роль в достижении целей устойчивого развития, определённых ООН:

1. *Экономический аспект*: повышение производительности труда и снижение издержек благодаря автоматизации и внедрению цифровых технологий.

2. *Социальный аспект*: расширение доступа к образованию, здравоохранению и государственным услугам через цифровые платформы.

3. *Экологический аспект*: использование технологий для мониторинга окружающей среды, повышения энергоэффективности и сокращения выбросов углекислого газа.

4. Программы, такие как "Цифровой Кыргызстан 2019–2023", направлены на создание открытого и прозрачного цифрового общества, что соответствует принципам устойчивого развития. В рамках программы внедряются проекты по улучшению доступа к электронным услугам, что способствует социальному равенству и снижению бюрократических барьеров.

5. Цифровизация становится мощным инструментом для повышения качества жизни, конкурентоспособности экономики и достижения устойчивого развития в глобальном и национальном контексте.

6. В Кыргызстане процесс перехода всех сфер к цифровизации проходит при поддержке государственных программ и стратегий, таких как:

1. *Концепция цифровой трансформации "Цифровой Кыргызстан 2019–2023"*. Эта программа направлена на создание цифровой среды, включающей использование современных технологий для повышения эффективности государственного управления, улучшения доступности государственных услуг и роста конкурентоспособности экономики. Основные цели включают:

1. Внедрение электронного правительства для упрощения взаимодействия граждан и государства.

2. Развитие цифровой инфраструктуры, в том числе расширение доступа к Интернету в регионах.

3. Повышение цифровой грамотности населения.

2. *Программа "Таза Кoom" (Чистое общество)*. Это компонент Национальной стратегии развития Кыргызстана на 2018–2040 годы. "Таза Кoom" направлена на формирование открытого, прозрачного общества через цифровизацию:

1. Создание условий для электронного взаимодействия бизнеса, государства и граждан.
2. Разработка систем для безопасного хранения и обработки данных.
3. Развитие цифровой экономики с упором на использование ИКТ для оптимизации государственного управления.

3. *Проект "Digital CASA".* Международная инициатива, в рамках которой Кыргызстан участвует в создании цифровой инфраструктуры для Центральной Азии. Цель проекта – подключение удалённых регионов к глобальным сетям связи, что способствует снижению цифрового разрыва между городами и сёлами [2].

Рассмотрим некоторые достижения и текущие проблемы цифровизации в Кыргызстане.

Достижения:

1. *Электронные государственные услуги:* внедрение цифровых решений, таких как онлайн-регистрация бизнеса, электронные платежи налогов, что упрощает административные процессы для граждан и предпринимателей.

2. *Развитие цифровой инфраструктуры:* увеличение числа пользователей Интернета, расширение покрытия мобильной связи. К 2018 году стоимость мобильного Интернета в Кыргызстане была одной из самых низких в мире (0,27 доллара за 1 ГБ).

3. *Цифровое образование:* реализация образовательных проектов, направленных на повышение цифровой грамотности среди населения.

Текущие проблемы:

1. *Недостаточная инфраструктура:* в отдалённых регионах доступ к высокоскоростному Интернету и современным технологиям ограничен.

2. *Финансовые ограничения:* низкий уровень инвестиций в развитие цифровой экономики. Большая часть финансирования зависит от международной помощи и грантов.

3. *Кадровый дефицит:* нехватка квалифицированных специалистов в сфере ИКТ тормозит внедрение цифровых технологий в ключевые секторы экономики.

4. *Кибербезопасность:* низкий уровень защиты данных вызывает риски утечки информации и кибератак.

По данным международных исследований, Кыргызстан пока занимает невысокие позиции, что свидетельствует о необходимости ускорения процессов цифровизации. Предоставим обновленные данные по указанным показателям для Кыргызстана на 2023–2024 годы:

1. *Глобальный инновационный индекс (ГИИ)*: В 2023 году Кыргызстан занял 99-е место, поднявшись на семь позиций по сравнению с предыдущим годом, по сравнению с 2018 годом 94 место из 126 стран.

2. *Индекс развития ИКТ*: Актуальные данные по этому индексу отсутствуют, так как Международный союз электросвязи прекратил его публикацию после 2017 года. По данным 2017 года Кыргызстан занимал 109 место из 176 стран, худший показатель среди стран ЕАЭС.

3. *Индекс сетевой готовности*: Последние доступные данные относятся к 2015 году, когда Кыргызстан занимал 98-е место среди 143 стран. Обновленная информация по этому индексу недоступна.

4. *Уровень доступа к Интернету*: По данным Национального статистического комитета Кыргызской Республики, в 2022 году 50% домохозяйств имели доступ к Интернету, что свидетельствует о значительном росте по сравнению с 18,8% в 2017 году.

5. *Индекс развития электронного правительства*: В 2024 году Кыргызстан поднялся на 78-е место среди 193 стран, улучшив свою позицию на три пункта по сравнению с предыдущим рейтингом, а по сравнению с 2018 годом Кыргызстан занимал 91 место из 193 стран.

Эти данные подчеркивают, что, несмотря на наличие государственных инициатив и отдельных успехов, Кыргызстан находится на начальной стадии цифровой трансформации и требует более активных усилий для достижения конкурентоспособности в цифровой экономике (Таблица 1).

Таблица 1 – Позиции Кыргызстана в международных рейтингах цифровизации

Индекс	Позиция КР	Позиция лидера ЕАЭС	Комментарий
Глобальный инновационный индекс	94/126	Россия (46/126)	Низкий уровень инноваций
Индекс развития ИКТ	109/176	Россия (45/176)	Ограниченнная цифровая инфраструктура
Индекс сетевой готовности	98/143	Казахстан (40/143)	Низкий доступ к Интернету
Индекс развития электронного правительства	91/193	Россия (32/193)	Ограниченнное использование eGov

Рассмотрим влияние цифровизации на развитие социально-экономических систем, на примере основных экономических показателей за последние 5 лет.

Анализ динамики ключевых экономических показателей Кыргызстана позволяет оценить влияние цифровизации на социально-экономическое развитие страны.

1. *Валовой внутренний продукт (ВВП)*: за последние 5 лет ВВП Кыргызстана демонстрировал устойчивый, хотя и умеренный рост. Однако вклад цифровой экономики в ВВП остаётся крайне низким — около 0,4% в 2017 году. Основные сектора, такие как сельское хозяйство и услуги, пока слабо интегрированы в цифровую экономику (Таблица 2).

Таблица 2 – Основные экономические показатели Кыргызстана за 2018–2022 годы

Год	ВВП (млрд сом)	Рост ВВП (%)	Доля цифровой экономики (%)	Занятость в ИКТ (тыс. чел.)
2018	618,2	3,5	0,4	18,5
2019	637,0	4,0	0,5	19,2
2020	596,5	-8,6	0,6	20,1
2021	621,7	3,6	0,7	21,0
2022	650,3	4,5	0,8	22,4

2. *Занятость*: доля занятых в секторе информационно-коммуникационных технологий постепенно растёт. К 2018 году число специалистов, занятых в сфере ИКТ, достигло более 18

тысяч человек, что на 20% больше, чем в 2014 году. Однако в общем объёме занятости этот показатель остаётся низким.

3. *Инвестиции*: инвестиции в цифровую инфраструктуру и технологии увеличились, но их объёмы остаются недостаточными. Основная часть финансирования поступает из международных проектов, таких как Digital CASA. Расходы на развитие ИКТ в 2018 году составили всего 0,72% от ВВП.

Проведем анализ внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) на предприятиях.

Цифровизация бизнеса в Кыргызстане постепенно набирает обороты, но сталкивается с рядом проблем:

4. *Распространение ИКТ (данные 2023–2024 года)*:

Число предприятий, использующих ИКТ, продолжает расти. В 2023 году, согласно данным Национального статистического комитета, более 14500 предприятий активно применяли информационно-коммуникационные технологии, что свидетельствует о положительной динамике по сравнению с 12152 предприятиями в 2018 году.

1. *Использование цифровых технологий*: в 2023 году доступ к компьютерам имели около 35% предприятий, а доступ к Интернету обеспечивался на 30%, что показывает заметный прогресс по сравнению с 21,4% и 18,8% соответственно в 2018 году. Однако эти показатели всё ещё уступают соседним странам ЕАЭС, где уровень цифровизации предприятий значительно выше.

2. *Электронные платежи и автоматизация*: несмотря на общий рост цифровизации, электронные платежи и системы автоматизации всё ещё слабо внедрены, особенно в малом и среднем бизнесе. Основные причины включают недостаточную техническую оснащённость и ограниченный доступ к финансовым ресурсам. [4].

1. *Финансирование цифровизации*:

1. Основной источник финансирования — собственные средства предприятий (77,3% в 2018 году).

2. Государственная поддержка ограничена, её доля составляет менее 20% от общего объёма затрат на ИКТ.

1. *Образовательный компонент*: недостаток квалифицированных специалистов ограничивает возможность предприятий внедрять сложные цифровые решения.

Рассмотрим роль цифровизации в повышении производительности труда и конкурентоспособности бизнеса.

Цифровизация способна существенно улучшить производительность труда и конкурентоспособность предприятий в Кыргызстане, что подтверждается мировым опытом и отдельными примерами в стране:

1. *Автоматизация бизнес-процессов*: Внедрение систем управления ресурсами (ERP) и автоматизация рутинных операций позволяют значительно сократить затраты времени и ресурсов.

2. *Электронная коммерция и маркетинг*: Использование цифровых платформ открывает доступ к новым рынкам и расширяет клиентскую базу. Однако в Кыргызстане проникновение электронной коммерции остаётся низким из-за слабой инфраструктуры и ограниченной цифровой грамотности.

3. *Аналитика и большие данные*: Компании, использующие инструменты анализа данных, получают конкурентное преимущество благодаря оптимизации поставок, прогнозированию спроса и адаптации продуктов под запросы клиентов.

4. *Повышение качества продукции и услуг*: Внедрение цифровых решений способствует улучшению качества продукции и повышению уровня удовлетворённости клиентов [4].

Несмотря на текущие достижения, цифровизация бизнеса в Кыргызстане пока находится в стадии зарождения. Для ускорения процесса необходимо развитие инфраструктуры, обучение кадров и активное участие государства в поддержке цифровых инициатив.

За последние 3 года реализуются проекты по внедрению цифровизации. Например:

5. **Проект "Digital CASA".** Digital CASA (Central Asia South Asia) — ключевой проект для цифровизации Центральной Азии, включая Кыргызстан. Его цель — создать высокоскоростную цифровую инфраструктуру для подключения отдалённых регионов и повышения цифрового взаимодействия между странами [1].

Основные направления проекта:

1. Развитие национальной цифровой инфраструктуры: создание оптоволоконных сетей и центров обработки данных (ЦОД).

2. Уменьшение "цифрового разрыва" между городами и сельскими районами.

3. Интеграция Кыргызстана в глобальные цифровые рынки.
4. Повышение доступности электронных услуг для граждан и бизнеса.

Результаты:

1. Улучшение доступа к Интернету в отдалённых регионах.
2. Снижение стоимости доступа к высокоскоростным сетям для пользователей и бизнеса.

3. Интеграция Кыргызстана в региональные цифровые инициативы, что создаёт базу для трансграничного взаимодействия.

4. **"Таза Коом" (Чистое общество):** программа направлена на развитие электронных государственных услуг и повышение прозрачности взаимодействия между гражданами, бизнесом и государством.

1. Созданы электронные платформы для предоставления услуг (например, портал eGov).

2. Внедрены цифровые системы для регистрации, налогообложения и лицензирования.

3. Электронное правительство:

1. Разработка цифрового идентификатора (электронный ID) для граждан, позволяющего упрощать доступ к услугам.

2. Внедрение электронного документооборота для сокращения бюрократии и повышения прозрачности управления [2].

Таблица 3 – Сравнительная таблица цифровизации в странах ЕАЭС (данные 2023–2024 гг.)

Параметры	Кыргызстан	Россия	Казахстан	Беларусь	Армения
Стадия цифровой трансформации	На начальной стадии	Лидер ЕАЭС по цифровой инфраструктуре	Быстро развивающаяся цифровая инфраструктура	Успешная реализация проектов в ИТ и технологиях (например, "Парк высоких технологий")	Основной упор на развитие ИТ-образования и стартапов

Проникновение Интернета	50% населения имели доступ к Интернету в 2022 году (значительный рост с 18,8% в 2017 году)	Высокий уровень доступа к Интернету, более 80% населения	Широкий доступ к мобильному Интернету, более 70% населения подключены	Высокий уровень проникновения Интернета (около 80%)	Более 60% населения имеют доступ к Интернету
Доля цифровой экономики в ВВП	Низкая — около 0,8% в 2023 году	Около 3%, активно развивается сектор ИТ-услуг	Около 3,9%, значительное внимание уделяется электронным государственным услугам	Существенный вклад ИТ-услуг, их экспорт занимает важное место в экономике	Данных нет, но значительный акцент на развитии ИТ-инициатив
Уровень кибербезопасности	Низкий, требует значительных улучшений	Высокий, значительное внимание уделяется защите данных	Улучшается, но требует дополнительных инвестиций	Умеренно высокий, развивается в рамках государственных инициатив	Начальный, ограниченные ресурсы с акцентом на подготовку специалистов
Финансирование цифровизации	Сильная зависимость от международной помощи (например, проект Digital CASA)	Основное финансирование: обеспечивается государственными программами и частным сектором	Смешанное финансирование: государство, частные инвестиции и международные гранты	Активное участие государства, экспорт ИТ-услуг приносит значительные средства	Ограниченные ресурсы, финансирование через образовательные и международные инициативы

Эта таблица подчеркивает ключевые различия и общие тенденции цифровизации в странах ЕАЭС, показывая, что Кыргызстану предстоит пройти долгий путь для достижения уровня лидеров региона [6].

Итак, можно сделать следующие выводы из вышеприведенной Таблицы 3:

1. Кыргызстан отстает от других стран ЕАЭС в развитии цифровой экономики, что объясняется ограниченными ресурсами, слабой инфраструктурой и низкой цифровой грамотностью.

2. Однако международные проекты, такие как Digital CASA, предоставляют значительные возможности для ускорения цифровизации и интеграции в региональные и глобальные процессы.

3. Для сокращения разрыва необходимо активизировать усилия в области развития инфраструктуры, инвестиций и подготовки кадров.

Перечислим проблемы цифровой грамотности в Кыргызстане:

4. Ограниченный доступ к обучению: несмотря на усилия, многие жители, особенно в отдаленных регионах, всё еще сталкиваются с трудностями в получении базовых навыков работы с компьютерами и Интернетом.

5. Нехватка образовательных программ: Существуют инициативы по обучению цифровым навыкам, но их охват и доступность остаются ограниченными, что препятствует массовому повышению цифровой компетенции.

6. Слабая осведомленность: Многие граждане не полностью осознают преимущества и возможности, которые предоставляют цифровые технологии, что сдерживает их.

Цифровизация оказывает положительное влияние на социальные аспекты жизни населения, улучшая доступ к образованию, здравоохранению и государственным услугам. Однако для полного раскрытия потенциала цифровизации необходимо преодолеть такие барьеры, как низкий уровень цифровой грамотности, недостаточная инфраструктура и нехватка специалистов. Государственные программы и международные инициативы играют ключевую роль в решении этих проблем и создании равных возможностей для всех граждан.

Цифровизация является важным инструментом для повышения конкурентоспособности экономики, социальной интеграции и улучшения качества жизни населения Кыргызстана. Государственные программы, такие как "Цифровой Кыргызстан 2019–2023" и "Таза Коом", создают основу для цифровой

трансформации, но требуют большего финансирования и координации. Несмотря на рост числа пользователей ИКТ и развитие инфраструктуры, цифровая экономика занимает менее 1% ВВП, что свидетельствует о её низкой интеграции в экономику страны. Основными барьерами цифровизации остаются низкая цифровая грамотность населения, недостаток инфраструктуры в регионах и ограниченные финансовые ресурсы. Влияние цифровизации на социальные системы уже заметно: улучшение доступа к образованию, здравоохранению и государственным услугам способствует росту социальной интеграции.

Предлагаем следующие рекомендации для государственной политики и бизнеса:

1. *Развитие инфраструктуры*: ускорить строительство оптоволоконных сетей и улучшить доступность Интернета в сельских районах, включая развитие проекта Digital CASA.

2. *Образовательные инициативы*: внедрить массовые программы повышения цифровой грамотности, включая обучение в школах, университетах и для взрослого населения.

3. *Государственная поддержка*: увеличить государственное финансирование цифровых проектов, включая субсидии для малого и среднего бизнеса на внедрение цифровых технологий.

4. *Кибербезопасность*: усилить меры защиты данных и внедрить стандарты цифровой безопасности на национальном уровне.

1. *Инвестирование в ИКТ*: бизнесу важно активно инвестировать в автоматизацию, электронные коммерческие платформы и аналитические инструменты.

2. *Обучение сотрудников*: организовать внутренние тренинги и курсы для повышения квалификации работников в области цифровых технологий.

3. *Партнёрство с государством*: участвовать в государственных инициативах, таких как "Таза Коом", для создания интегрированных цифровых решений.

В статье предложены рекомендации для государственной политики и бизнеса. Для ускорения цифровизации предлагается увеличить государственное финансирование, расширить программы повышения цифровой грамотности и поддержать малый и средний бизнес в переходе на цифровые технологии.

Бизнесу рекомендуется активно инвестировать в автоматизацию процессов, электронную коммерцию и обучение сотрудников.

Перспективы цифровизации Кыргызстана в контексте глобальных трендов

В условиях глобальных трендов цифровизации Кыргызстан имеет возможности для ускоренного развития благодаря международным проектам, таким как Digital CASA, и государственным инициативам.

1. **Глобальная интеграция:** Активное участие в международных цифровых проектах обеспечит доступ к новым рынкам и технологиям.

2. **Иновации и стартапы:** Развитие экосистемы стартапов и привлечение инвестиций в ИТ-сектор помогут создать новые рабочие места и повысить вклад цифровой экономики в ВВП.

3. **Устойчивое развитие:** Цифровизация может стать драйвером устойчивого развития, обеспечивая более эффективное использование ресурсов, повышение качества жизни и сокращение социального неравенства.

Список использованной литературы

1. Зверева А. А., Беляева Ж. С., Сохаг К. Влияние цифровизации экономики на благосостояние в развитых и развивающихся странах // Экономика региона. — 2019. — Т. 15, вып. 4. — С. 1050-1062
2. Ташбаев А.М., Осмоналиева Д.А. Развитие информационно-коммуникационных технологий и становление цифровой экономики в Кыргызстане// Экономика и бизнес. – 2020. - №4-3 (62). - С. 65-71
3. Абдыкадыров С.К., Эрмекбаева А.Т., Илимбеков М.И. О сущности понятия цифровой трансформации в развитии социально-экономических систем// Вестник Ошского государственного университета. Экономика. – 2024. – №1(4) - С. 78-80. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-suschnosti-ponyatiya-tsifrovoy-transformatsii-v-razvitiu-sotsialno-ekonomicheskikh-sistem>
4. Магомедов А.М. Развитие ИКТ и проблемы цифровизации бизнеса // УЭПС. 2019. №4. – [Электронный ресурс]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiye-ikt-i-problemy-tsifrovizatsii-biznesa>

5. Цифровая трансформация как способ обеспечения устойчивого развития страны и интеграции в глобальную цифровую экономику. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ict.gov.kg/index.php?r>
6. Официальный сайт Национального статистического комитета Кыргызской Республики. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stat.gov.kg/ru/>
7. Цифровой Кыргызстан: нынешнее состояние и путь вперед. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ict.gov.kg/uploads/ckfinder/files/DIGITAL>
Концепция цифровой трансформации Кыргызской Республики на 2024-2028 годы. - [Электронный ресурс]. – <https://digital.gov.kg/wp-content/uploads/2024/06/konczepciya-czifrovoj-transformaczii-kyrgyzskoj-respubliki-na-2024-2028-gody.pdf>
8. Информационно-коммуникационные технологии в Кыргызской Республике 2014- 2018. – Бишкек: Нацстатком Кыргызской Республики, 2019. – 60 с.

УДК [656.61:528.47]:006.32

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ ЭКНИС В СУДОХОДСТВЕ

Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич,

Решетников Александр Константинович

ФГБОУ ВО «Российский государственный

гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,

Россия

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,

Сикарев Игорь Александрович

Аннотация. В статье рассматриваются гидрографические стандарты, обеспечивающие надежную работу ЭКНИС в судоходстве, анализируются ключевые международные стандарты, их роль в безопасности морской навигации.

Ключевые слова: ЭКНИС, электронные навигационные карты, навигационная безопасность, судоходство, гидрографические стандарты.

ECDIS HYDROGRAPHIC STANDARTS IN SHIPPING

*Zotov Vladislav Denisovich, Stepanov Lev Alekseevich,
Reshetnikov Alexander Konstantinovich*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Scientific supervisor – doctor of technical sciences, professor, *Sikarev
Igor Aleksandrovich*

Abstract. The article discusses hydrographic standards that ensure the reliable operation of ECDIS in navigation, analyzes key international standards and their role in the safety of maritime navigation

Keywords: ECDIS, electronic navigation charts, navigation safety, navigation, hydrographic standards.

В динамичном мире современного судоходства, где суда бороздят океаны, перевозя грузы и пассажиров через сложнейшие морские пути, безопасность и эффективность навигации имеют первостепенное значение. Ключевую роль в этом играет ЭКНИС – электронная картографическая навигационно-информационная система, а фундаментом ее надежной работы служат гидрографические стандарты.

Что такое ЭКНИС и почему стандарты так важны? ЭКНИС – это комплексная навигационная система, объединяющая в себе электронные навигационные карты (ENC), данные с различных датчиков и сенсоров судна, а также мощное программное обеспечение для обработки и отображения этой информации. Она позволяет штурманам планировать маршруты, отслеживать местоположение судна, избегать опасностей и принимать обоснованные решения в сложных навигационных условиях [1].

Однако, для того чтобы ЭКНИС действительно была надежным и эффективным инструментом, необходимо, чтобы все компоненты системы работали согласованно и обеспечивали единообразное представление информации, независимо от производителя оборудования или источника данных. Именно здесь на сцену выходят гидрографические стандарты.

Какова роль гидрографических стандартов? Гидрографические стандарты – это набор правил и спецификаций, разработанных международными организациями (в первую

очередь, ИНО – Международной гидрографической организацией), которые определяют: 1) Формат и структуру данных электронных карт (ENC): Это гарантирует, что ЭКНИС от разных производителей могут читать и отображать данные с карт, произведенных разными гидрографическими службами. 2) Способы отображения информации на экране ЭКНИС: Стандарты определяют цветовые схемы, символы, условные обозначения и правила отображения различных объектов и явлений (глубины, береговые линии, навигационные знаки и т.д.), что позволяет штурману быстро и правильно интерпретировать информацию [2]. 3) Процедуры защиты данных: Стандарты обеспечивают защиту ENC от несанкционированного копирования и использования, гарантируя, что только авторизованные пользователи имеют доступ к этим данным. 4) Требования к эксплуатационным характеристикам ЭКНИС: Стандарты определяют минимальные требования к функциональности, надежности и точности ЭКНИС, а также к их интеграции с другими навигационными системами.

Цель изучения гидрографических стандартов в судоходстве многогранна и направлена на обеспечение безопасности, эффективности и устойчивости морской деятельности. Главная цель – это минимизация рисков аварий и происшествий на море. Знание стандартов позволяет морякам правильно интерпретировать информацию на электронных картах, избегать навигационных опасностей и принимать обоснованные решения.

Следующая цель – это правильная интерпретация и использование ЭКНИС. Гидрографические стандарты определяют, как данные отображаются на ЭКНИС (электронных картографических навигационно-информационных системах). Понимание этих стандартов позволяет морякам эффективно использовать ЭКНИС, правильно распознавать символы и условные обозначения, и получать максимум информации для навигации [3].

Соответствие нормативным требованиям: Многие международные и национальные нормативные акты, регулирующие судоходство, требуют соответствия гидрографическим стандартам. Знание этих стандартов необходимо для соблюдения законодательства и прохождения инспекций.

Эффективное планирование и прокладка маршрутов: Понимание гидрографических данных и их

представления позволяет оптимально планировать маршруты, избегать опасных участков и экономить время и топливо.

Обеспечение совместимости оборудования и данных: Гидрографические стандарты обеспечивают совместимость оборудования ЭКНИС разных производителей и данных электронных карт, что позволяет морякам использовать информацию из разных источников без проблем.

Также к целям изучения гидрографических стандартов в судоходстве можно отнести повышение профессиональной компетентности (Изучение гидрографических стандартов повышает профессиональную компетентность моряков и их ценность на рынке труда) вклад в устойчивое развитие морской деятельности.

Ключевые стандарты и их назначение:

S-52 (Presentation Library): Определяет, как данные ENC должны отображаться на экране ЭКНИС, обеспечивая единство визуального представления.

S-57 (Data Transfer Standard): Устанавливает формат хранения и обмена ENC, позволяя различным системам считывать и интерпретировать данные карт.

S-63 (ENC Data Protection Scheme): Определяет механизм защиты данных ENC от несанкционированного использования.

S-100 (Universal Hydrographic Data Model): Новое поколение стандартов, обеспечивающее гибкую и расширяемую модель данных для поддержки широкого спектра морской информации (статической, динамической, высокоточной).

S-101 (ENC Product Specification for S-100): Спецификация для создания ENC на основе стандарта S-100, обеспечивающая совместимость и функциональность карт нового поколения. [4]

Сравнительный анализ международных гидрографических стандартов ИМО: S-52, S-57, S-63, S-100, S-101

Международная гидрографическая организация (ИМО) разрабатывает стандарты, определяющие правила создания, отображения и защиты электронных навигационных карт (ENC) и другой гидрографической информации. Эти стандарты, обозначаемые буквой "S" и числом, обеспечивают единство визуального представления информации и совместимость оборудования. Рассмотрим ключевые стандарты: S-52, S-57, S-63, S-100 и S-101, сравнив их по ключевым параметрам:

S-52: “Спецификация для отображения ЭКНИС”. Этот стандарт определяет, как данные из ENC (чаще всего в формате S-57) должны отображаться на экране ЭКНИС. Он регламентирует цвета, символы, размеры шрифтов и другие визуальные элементы, чтобы обеспечить единообразное представление информации для всех пользователей. S-52 включает в себя библиотеку отображения (Presentation Library), которая содержит правила визуализации.

S-57: “Стандарт для передачи цифровых гидрографических данных”. Этот стандарт определяет формат хранения и обмена ENC. Он основан на векторном формате и описывает, как различные объекты (береговые линии, глубины, навигационные знаки и т.д.) представляются в виде цифровых данных. S-57 является самым распространенным форматом ENC на сегодняшний день.

S-63: “Схема защиты данных ЭКНИС”. Этот стандарт описывает методы защиты ENC от несанкционированного копирования и использования. Он использует шифрование и другие механизмы, чтобы гарантировать, что ENC могут быть использованы только на авторизованных ЭКНИС.

S-100: “Универсальная гидрографическая модель данных”. Это *новый* стандарт, предназначенный для замены S-57. Он обеспечивает более гибкую и расширяемую модель данных, позволяющую включать в ENC новые типы информации, такие как динамические данные (например, текущие течения, ледовая обстановка) и данные высокого разрешения (например, батиметрия высокого разрешения). S-100 не ограничивается только ENC и может использоваться для представления широкого спектра гидрографических и морских данных.

S-101: “ENC Product Specification for S-100”. Этот стандарт *конкретизирует* S-100 для создания ENC. Он определяет, как использовать гибкую структуру S-100 для представления данных, необходимых для навигации, обеспечивая обратную совместимость с существующими ЭКНИС насколько это возможно, и позволяя внедрять новые возможности. Фактически, S-101 - это спецификация нового поколения ENC, основанная на S-100.

Какой гидрографических международный стандарт используется в судоходстве в настоящее время? В настоящее время, **S-57** является наиболее широко используемым

гидрографическим международным стандартом в судоходстве для электронных навигационных карт (ENC).

Почему S-57 все еще доминирует? Это связано с его распространностью. S-57 существует уже давно, и большинство существующих ЭКНИС (Electronic Chart Display and Information Systems) и инфраструктура данных разработаны с учетом этого стандарта. Миллионы ENC в формате S-57 доступны по всему миру. Также, большинство судов в настоящее время оснащены ЭКНИС, которые поддерживают S-57 ENC и Гидрографические службы по всему миру производят и распространяют ENC в формате S-57

Что нужно знать о переходе на S-100: Несмотря на то, что S-57 остается доминирующим, активно ведется работа по переходу на стандарт S-100. S-100 - это гораздо более современный и гибкий стандарт, который предлагает множество преимуществ, включая поддержку динамических данных, растровых данных и большего объема информации. Переход на S-100 – это постепенный процесс, и, хотя некоторые новые ЭКНИС и системы начинают поддерживать S-100, потребуется некоторое время, прежде чем он полностью заменит S-57. S-101 как продукт спецификации для S-100 будет постепенно вводиться в эксплуатацию, и новые ENC будут создаваться в этом формате [5].

Важные моменты: Есть пару важных моментов связанные с переходом на стандарт S-100. Суда должны быть оборудованы ЭКНИС, которые соответствуют требованиям IMO (Международной морской организации) и отображают ENC, соответствующие стандартам ИНО. Несмотря на переход на S-100, знание и понимание S-57 по-прежнему важны для моряков и гидрографов.

В заключение, хотя S-100 является будущим стандартом для гидрографических данных, в настоящее время S-57 по-прежнему широко используется и является стандартом “де-факто” для ENC в судоходстве.

Какие есть недостатки у стандарта S-100 и как их можно уладить?

Хотя стандарт S-100 несет в себе множество преимуществ и представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с S-57, он также имеет некоторые недостатки и проблемы, которые необходимо учитывать и решать для успешного внедрения.

Недостатки S-100:

Сложность обучения: S-100 - это гораздо более сложный и гибкий стандарт, чем S-57. Это требует значительных усилий для освоения со стороны гидрографов, разработчиков ЭКНИС и моряков. Большое количество опций и возможностей может показаться ошеломляющим. Для решения этого недостатка необходимы обширные программы обучения и тренинги для всех заинтересованных сторон, чтобы они могли эффективно использовать S-100. Также понадобится создание удобных инструментов разработки и подробных руководств поможет разработчикам создавать и поддерживать S-100 продукты. Стоит отметить, что внедрение S-100 следует осуществлять постепенно, начиная с простых приложений и постепенно переходя к более сложным.

Неопределенность в интерпретации: Гибкость S-100 может привести к различиям в интерпретации стандарта разными производителями и гидрографическими службами, что потенциально снижает совместимость. Для решения этого недостатка ИНО должна разработать более четкие и однозначные спецификации и руководства по реализации S-100. Также понадобится создание стандартизованных тестовых наборов для проверки соответствия продуктов S-100 стандарту и стоит организовать форумы и рабочие группы для обсуждения и решения проблем, связанных с интерпретацией S-100.

Стоимость и сложность внедрения: Переход на S-100 требует значительных инвестиций в разработку нового программного обеспечения, обновление оборудования и обучение персонала. Понадобится предоставление государственной поддержки и финансирования для стимулирования внедрения S-100. Скорее всего понадобится разработка общих программных платформ и библиотек для S-100, чтобы снизить затраты на разработку.

Проблемы обратной совместимости: S-100 не полностью обратно совместим с S-57. Это означает, что существующие ЭКНИС, которые поддерживают только S-57, не смогут отображать S-100 ENC без обновления. Стоит разработать ЭКНИС, которые поддерживают оба стандарта (S-57 и S-100) в течение переходного периода и разработать инструменты для преобразования данных из S-57 в S-100.

Недостаточная доступность S-100 ENC: На данный момент доступно относительно небольшое количество ENC,

соответствующих стандарту S-100. Гидрографические службы должны увеличить производство S-100 ENC. Поддержка от ИНО: ИНО может оказывать поддержку и координацию для гидрографических служб в процессе создания S-100 ENC.

Общие рекомендации для решения проблем: 1) Международное сотрудничество: необходимы тесное сотрудничество и координация между ИНО, гидрографическими службами, производителями ЭКНИС и другими заинтересованными сторонами для обеспечения успешного внедрения S-100. 2) Открытость и прозрачность: процесс разработки и внедрения S-100 должен быть открытым и прозрачным, чтобы все заинтересованные стороны могли внести свой вклад. 3) Учет потребностей пользователей: необходимо учитывать потребности пользователей (моряков, судовладельцев и т.д.) при разработке и внедрении S-100.

В итоге, можно сказать, что переход от действующего стандарта S-57 к перспективному S-100 в судоходстве – это важный, но непростой процесс. S-100 предлагает значительные улучшения в гибкости, объеме данных и поддержке новых технологий. Однако, для успешного внедрения необходимо решить такие проблемы, как сложность, стоимость, обратная совместимость и доступность S-100 карт. Ключ к успеху – это международное сотрудничество, четкие спецификации, обучение, государственная поддержка и учет потребностей пользователей. При правильном подходе, S-100 существенно повысит безопасность и эффективность морской навигации.

Гидрографические стандарты являются краеугольным камнем безопасности и эффективности современного судоходства. Они обеспечивают единообразное представление информации, совместимость оборудования и защиту данных, что позволяет морякам принимать обоснованные решения в сложных навигационных условиях. Соблюдение гидрографических стандартов – это не просто формальность, а залог безопасного и успешного плавания.

Список использованной литературы

1. Международная гидрографическая организация. Стандарт передачи цифровых гидрографических данных S-57. – Монако: МГО, 2000. – 150 с.

2. Международная гидрографическая организация. Спецификация для отображения электронных навигационных карт (ENC) в системах ЭКНИС S-52. – Монако: МГО, 1996. – 200 с.
3. Международная гидрографическая организация. Универсальная гидрографическая модель данных S-100. – Монако: МГО, 2010. – 250 с.
4. Международная гидрографическая организация. Спецификация электронных навигационных карт нового поколения S-101. – Монако: МГО, 2018. – 180 с.
5. Пищёлко В.В. Электронные картографические навигационно-информационные системы (ЭКНИС). – Санкт-Петербург: Издательство Морского технического университета, 2015. – 320 с.

УДК 528.88:629.786.2

ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС

*Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич,
Решетников Александр Константинович
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
Сикарев Игорь Александрович

Аннотация. Статья посвящена глобальной навигационной спутниковой системе ГЛОНАСС, ее значимости в мировом масштабе и перспективам развития.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, навигационная спутниковая система, GPS, Galileo, BeiDou, глобальное позиционирование, дифференциальное позиционирование, навигационные технологии.

GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM GLONASS

*Zотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич, Решетников
Александр Константинович*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Scientific supervisor – doctor of technical sciences, professor, *Sikarev
Igor Aleksandrovich*

Abstract. The article is devoted to the global navigation satellite system GLONASS, its importance in the world scale and prospects of development.

Keywords: GLONASS, navigation satellite system, GPS, Galileo, BeiDou, global positioning, differential positioning, navigation technologies.

ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) была разработана в Советском Союзе и является первой навигационной системой, позволяющей осуществлять позиционирование в глобальном масштабе. [1] С момента своего запуска в 1982 году система прошла через множество этапов модернизации и обновления. На сегодняшний день ГЛОНАСС состоит из 27 спутников, обеспечивающих покрытие территории России и значительной части земного шара.

Одна из основных характеристик ГЛОНАСС — это наличие спутников на орбите, что обеспечивает постоянное покрытие территории России и возможность работы системы в различных географических условиях, включая труднодоступные районы. ГЛОНАСС функционирует одновременно с другими глобальными навигационными системами, такими как GPS, что способствует повышению точности определения местоположения пользователя. Данная система позволяет достигать уточненных координат с точностью до нескольких метров, что делает ее крайне полезной в различных областях, включая транспорт, сельское хозяйство, картографию и военные приложения.

Еще одним важным преимуществом ГЛОНАСС является ее способность работать в условиях низких температур и сильных погодных явлений, что делает ее более устойчивой в суровых климатических условиях. Плюс к этому, ГЛОНАСС предоставляет пользователям широкий спектр услуг, включая возможность дифференциального позиционирования, что позволяет достичь высокой точности на уровне сантиметров.

Дифференциальное позиционирование – способ определения координат спутникового приемника путем их

уточнения по данным, получаемым с другого приемника, установленного на станции с известными координатами, называемой базовой, опорной, контрольно-корректирующей или референц-станцией. [2]

Кроме того, система активно интегрируется с другими навигационными системами, что открывает новые возможности для повышения качества навигационных услуг. ГЛОНАСС также поддерживает работу на гибридных устройствах, что делает ее совместимой с современными технологиями и различными приложениями. Таким образом, ГЛОНАСС, с ее высокой точностью, устойчивостью к помехам и интеграционными возможностями, представляет собой надежный инструмент для пользователей по всему миру, оставаясь при этом важным элементом российской аэрокосмической инфраструктуры.

В современных условиях глобальное позиционирование стало неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Навигация на основе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) играет ключевую роль в обеспечении безопасности, эффективности и удобства перемещения как на Земле, так и в воздухе. На данный момент существует четыре ведущие глобальные навигационные системы: GPS (США), Galileo (Европейский Союз), BeiDou (Китай) и ГЛОНАСС (Россия). Каждая из этих систем имеет свои особенности и преимущества, но в данной статье мы сосредоточимся на значимости ГЛОНАСС и его роли в контексте глобальной навигации.

Важность ГЛОНАСС в контексте глобальных систем заключается в ее стратегической независимости, синергии с другими системами, поддержке новых технологий и приложений и глобальном покрытии, и доступности.

Одним из важнейших факторов значимости ГЛОНАСС является возможность обеспечения автономности навигации для России и стран, активно сотрудничающих с ней. Это особенно актуально в условиях geopolитической нестабильности, когда зависимость от одной навигационной системы может стать рискованной. Вводя ГЛОНАСС в оборот, Россия получает возможность использовать высокоточные навигационные данные, независимо от внешних факторов.

ГЛОНАСС, как часть комплексной экосистемы глобального позиционирования, активно взаимодействует с другими навигационными системами, такими как GPS, Galileo и BeiDou.

Это обеспечивает пользователям возможность работать одновременно с несколькими системами, существенно увеличивая точность и надежность навигации. Совместное использование данных от различных систем вооружает пользователя возможностями, которые способны повысить эффективность работы в различных областях, таких как транспорт, сельское хозяйство, логистика и др.

ГЛОНАСС обеспечивает поддержку новых технологий, таких как автоматизированные системы управления транспортом, беспилотные летательные аппараты и интернет вещей (IoT). Разработка и внедрение технологий на базе ГЛОНАСС открывают новые горизонты для бизнеса, уменьшая затраты и увеличивая производительность. Это также способствует ускорению внедрения инноваций в области навигации и геоинформационных технологий.

Хотя ГЛОНАСС был первоначально разработан для обеспечения навигационных услуг в России, его возможности обеспечивают покрытие другой части мира. Это делает систему доступной для использования в международных маршрутах и операциях. Возможность использования ГЛОНАСС за пределами России расширяет круг пользователей и повышает его полезность на глобальном уровне.

ГЛОНАСС представляет собой важный элемент в мире глобальных навигационных систем, играя решающую роль в обеспечении стратегической автономии, синергии с другими системами, поддержке новых технологий и расширении глобального доступа к навигационным данным. В эпоху, когда точность и надежность навигации становятся критически важными для множества секторов, ГЛОНАСС подчеркивает свою значимость в качестве одного из столпов глобального позиционирования наряду с GPS, Galileo и BeiDou. Продолжая развиваться и адаптироваться к современным вызовам, ГЛОНАСС обеспечит своим пользователям надежный и эффективный инструмент для навигации в будущем. [3]

Чтобы ГЛОНАСС могла конкурировать с GPS, Galileo и BeiDou, а в перспективе и превзойти их, необходим комплексный подход, включающий в себя улучшение технических характеристик, расширение функциональности, оптимизацию управления и продвижение системы на международном рынке. Вот конкретные направления, в которых следует двигаться:

1. Повышение численности спутников в орбитальной группировке

Одним из основных факторов, обеспечивающих точность и надежность навигационных данных, является количество спутников в орбитальной группировке. Увеличение количества спутников ГЛОНАСС позволит улучшить покрытие и обеспечить более точное позиционирование. При наличии большего количества спутников пользователи смогут получать сигналы из разных уголков Земли, что особенно важно в густонаселенных и труднодоступных районах.

2. Совершенствование технологий передачи данных

Обновление технологий передачи данных между спутниками и наземными станциями может существенно повысить точность и быстроту получения навигационных данных. Внедрение новых методов модуляции и шифрования сигналов позволит уменьшить влияние внешних помех и повысить защиту передаваемой информации. Это, в свою очередь, улучшит качество навигационных услуг и укрепит доверие пользователей к системе.

3. Внедрение новых технологий для улучшения позиционирования

Современные технологии, такие как «умные» датчики, машинное обучение и искусственный интеллект, могут значительно улучшить работу навигационной системы. Например, использование алгоритмов анализа данных для прогнозирования возможных ошибок позиционирования и их автоматическое исправление сможет повысить точность в сложных условиях. Кроме того, разработка новых методов дифференциального позиционирования поможет в улучшении качества навигационных услуг, особенно в критически важных приложениях, таких как автономные транспортные средства.

4. Увеличение инвестиций в научные исследования и разработки

Для достижения целей по улучшению ГЛОНАСС необходимы комплексные инвестиции в научные исследования и разработки. Это включает в себя как обучение специалистов, так и финансирование новых технологий и инноваций. Создание ведущих исследовательских институтов и лабораторий, а также сотрудничество с университетами и частными компаниями позволит накапливать знания и развивать проекты, способные изменить лицо навигационной системы.

5. Устойчивое развитие и экологические технологии

В условиях глобальных вызовов, связанных с изменением климата, важно внедрять устойчивые и экологически чистые технологии в производство и обслуживание спутников. Использование альтернативных источников энергии и разработка устойчивых материалов для спутников помогут снизить углеродный след системы и сделать ее более гармоничной в контексте глобальных экологических инициатив.

Усовершенствование системы ГЛОНАСС требует комплексного подхода, охватывающего различные аспекты – от увеличения числа спутников до внедрения современных технологий и экологически чистых решений. Глобальная навигационная система должна адаптироваться к вызовам времени и находить решения, чтобы обеспечить пользователей высококачественными и надежными навигационными услугами. [4] Если удастся реализовать указанные направления развития, ГЛОНАСС может занять ведущие позиции на рынке глобальных навигационных систем, обеспечивая свою репутацию лидера в области высоких технологий.

Список использованной литературы

1. Перов А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования, Изд.4-е, перераб. М.: Радиотехника, 2010. 800 с. [Perov A.I., Kharisov V.N. GLONASS. Principles of construction and operation. Ed. 4th, pererab. M.: radio engineering, 2010. 800 p. (in Russian)].
2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1993. 408 с. [Shebshaevich V.S., Dmitriev P., Ivantsevich N.V. et al. Network satellite radio navigation systems, 2nd ed., Rev. and extra.M.: Radio and communication, 1993. 408 p. (in Russian)].
3. Фатеев Ю.Л., Дмитриев Д.Д., Тяпкин В.Н., кремез Н.С., Ратушняк В.Н. Использование технологий ГНСС для высокоточных навигационных геостационарных космических аппаратов. Международная Сибирская конференция по управлению и связи (СИБкОН–2015), Омск,2015, С. 7147250. [Fateev Yu.L., Dmitriev D.D., Tyapkin V.N., Kremez N.S., Ratushnyak V.N. The use

of GNSS technologies for high-precision navigation geostationary spacecraft. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015). Proceedings. Omsk, 2015, P. 7147250. (in Russian)]

4. ГЛОНАСС, официальный веб-сайт Википедия. Доступно по адресу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>. [GLONASS, the official web site Wikipedia. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>].

УДК [658.7:656.61](985)

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ВЕЛИЧИНЫ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК НА ПЕРЕВОЗКИ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

Клюшина Элина Сергеевна, Мартын Ирма Андреевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, klyushinaelina2004@gmail.com

Аннотация. На фоне таяния арктических льдов, Северный морской путь (СМП) становится все более привлекательным альтернативным маршрутом для грузоперевозок между Европой и Азией. В статье рассматривается экономическая целесообразность использования СМП, акцентируя внимание на растущих затратах на его эксплуатацию. Анализируя данные за 2018-2023 годы, выявлены тенденции к увеличению средних издержек на перевозку по СМП. В работе используются методы анализа данных временных рядов с расчетом оценочных метрик. Приведены результаты прогнозирования издержек при использовании СМП на 2025г. Исследование предоставляет важную информацию для оценки будущих расходов при использовании СМП и разработки эффективных стратегий управления рисками. Это, в свою очередь, способствует повышению конкурентоспособности СМП в качестве ключевого элемента глобальной транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: Северный морской путь, СМП, Арктика, транспортные издержки, прогнозирование, линейный тренд,

логистика, экономические риски, международные перевозки, климатические изменения.

ASSESSMENT AND FORECAST OF LOGISTICS COSTS FOR SHIPPING VIA THE NORTHERN SEA ROUTE

Klyushina Elina Sergeevna, Martyn Irma Andreevna

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
klyushinaelina2004@gmail.com*

Abstract. Against the background of melting Arctic ice, the Northern Sea Route (NSR) is becoming an increasingly attractive alternative route for cargo transportation between Europe and Asia. The article examines the economic feasibility of using the NSR, focusing on the growing costs of its operation. Analyzing the data for 2018-2023, trends towards an increase in average transportation costs along the NSR have been identified. The paper uses methods for analyzing time series data with the calculation of estimated metrics. The results of forecasting the costs of using the NSR for 2025 are presented. The study provides important information for estimating future costs when using the NSR and developing effective risk management strategies. This, in turn, helps to increase the competitiveness of the NSR as a key element of the global transport infrastructure.

Keywords: Northern Sea Route, NSR, Arctic, transport costs, forecasting, linear trend, logistics, economic risks, international transportation, climate change.

Северный морской путь (СМП) является стратегически важным транспортным коридором, связывающим Европу и Азию через арктические воды России. В условиях глобального потепления и сокращения ледового покрова Арктики интерес к СМП как альтернативе традиционным маршрутам через Суэцкий канал значительно возрос [1]. Согласно данным ФГБУ «Информационный аналитико-статистический центр РосМорРечФлота» за 2022 год разрешение на плавание в акватории СМП получило 941 судно. По данным о принадлежности судов к разным странам был построен график, отображающий спрос на СМП у государств (рисунок 1).

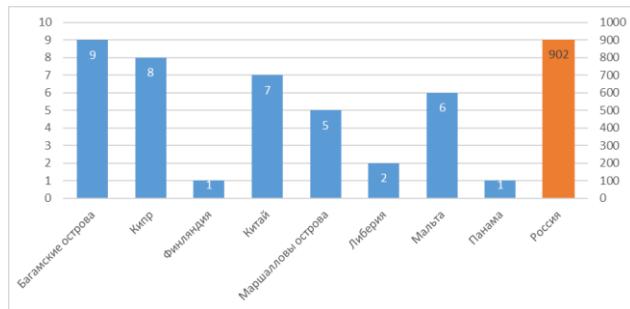


Рисунок 1 – Использование СМП странами

Основным пользователем СМП является Россия (95,8%), лидеры по эксплуатации пути среди зарубежных стран – Багамские острова (0,96%), Кипр (0,85%) и Китай (0,74%) (рисунок 2).

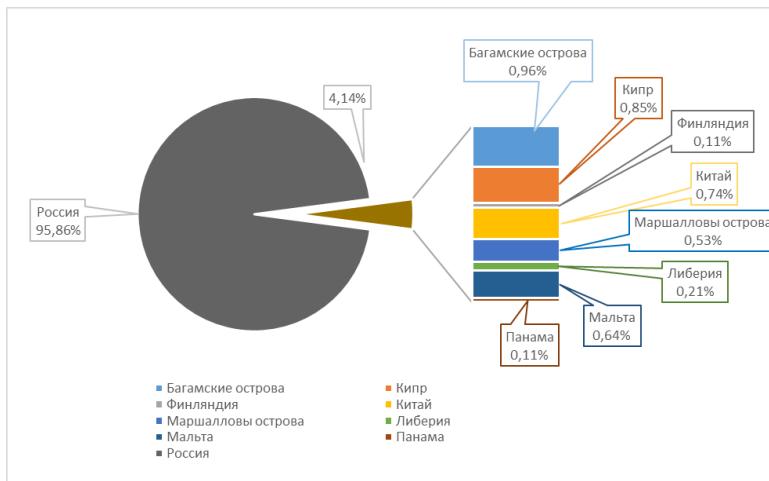


Рисунок 2 – Диаграмма основных пользователей СМП [2]

Эксплуатация СМП сопряжена с рядом экономических рисков, которые могут существенно повлиять на стоимость перевозок. Для эффективного планирования логистических операций и минимизации потенциальных потерь необходимо учитывать не только текущие издержки, но и прогнозировать их динамику в среднесрочной перспективе.

Для прогнозирования затрат на 2024-2025 года будет использоваться метод прогнозирования трендом [1]. В качестве

исходных данных использованы данные о средних издержках на перевозку по СМП с 2018 по 2023 года (таблица 1).

Таблица 1 – Средние издержки на перевозку за 2018–2023 гг.

Год	Средние издержки на перевозку, млн \$
2018	12,5
2019	13,0
2020	14,2
2021	15,5
2022	16,8
2023	18,0

С помощью уравнения линейного (1) были рассчитаны значения тренда.

$$y = ax + b + \varepsilon \quad (1)$$

На основе полученных данных построен график, отображающий фактические данные и спрогнозированные линейным трендом, представляющий собой прогноз средних издержек на перевозку по СМП (рисунок 3).

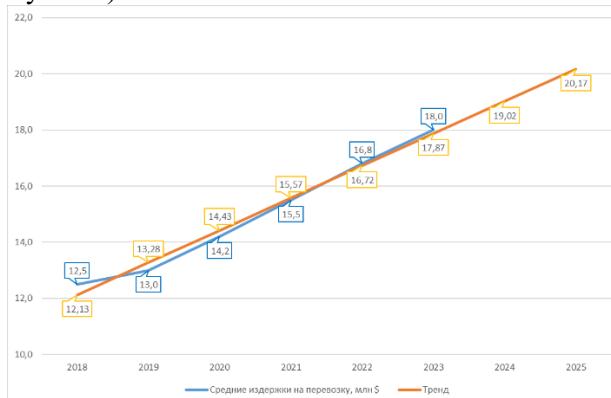


Рисунок 3 – Прогноз средних издержек на основе линейного тренда ($y=1.14x-2305.68$)

Для оценки значимости тренда и качества прогноза были рассмотрены метрики коэффициент детерминации 0,99, оценка тренда на значимость по критерию Стьюдента. Для этого необходимо найти $t_{\text{эмп}}$ по формуле (2) и сравнить его с критическим значением при уровне значимости 5%:

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|r|}{\sigma} \quad (2)$$

, где $\sigma = \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}}$.

По результатам расчетов $t_{\text{эмп}}(157,2) > t_{\text{крит}}(2,57)$, из чего следует, что тренд является значимым и положительным с величиной 1.14 млн.\$/год.

В результате выполненной работы, согласно прогнозу, издержки будут увеличиваться с каждым годом. В 2024 году они составят 19,02 млн.\$, а в 2025 году – 20,17 млн. \$.

Данный прогноз позволяет оценить потенциальные затраты и разработать стратегии для минимизации рисков [3], что особенно важно для повышения конкурентоспособности СМП на мировом рынке транспортных услуг.

Список использованной литературы

1. Оценка изменчивости климатических характеристик Карского моря для безопасного и эффективного использования Северного морского пути / Е. П. Истомин, Я. А. Петров, И. А. Мартын, Е. С. Новожилова // Геоинформатика. – 2024. – № 2. – С. 45-53. – DOI 10.47148/1609-364X-2024-2-45-53. – EDN LUNXAC.
2. Разрешения на плавание судна в акватории Северного морского пути // Федеральное государственное бюджетное учреждение информационный аналитико-статистический центр Росморречфлота URL: http://www.nsra.ru/ru/rassmotrenie_zayavleniy/razresheniya.html?year=2022 (дата обращения: 10.03.2025).
3. Управление производственными системами в условиях развития искусственного интеллекта / С. Ю. Степанов, А. Ю. Сидоренко, О. Н. Колбина, И. А. Мартын // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2024. – № 3(51). – С. 157-162. – EDN ECBDLQ.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ: КЛЮЧЕВЫЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Ковригин Даниил Дмитриевич,
Завгородний Владимир Николаевич
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, dankov2003@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию состояния ИТ-отрасли в России, выявлению ключевых задач и путей их решения. Основная цель исследования заключается в построении структуры ИТ-отрасли для того, чтобы понять её влияние на различные сферы общественной жизни. В работе рассмотрены современные тенденции и достижения ИТ-отрасли, проведена систематизация конечной продукции в зависимости от направленности, а также проанализированы существующие инструменты и методы решения актуальных задач. Особое внимание уделено перспективам дальнейшего развития ИТ-сектора. Результаты исследования позволяют сформировать комплексную картину состояния ИТ-отрасли в России и определить ключевые направления для её устойчивого роста и интеграции в общественные процессы.

Ключевые слова: отрасль информационных технологий, структура, задачи, направления, перспективы развития.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN RUSSIA: KEY PROBLEM AND WAYS TO SOLVE THEM

*Kovrigin Daniel Dmitrievich, Zavgorodny Vladimir Nikolaevich
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, dankov2003@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to the study of the state of the IT industry in Russia, identifying key tasks and ways to solve them. The main purpose of the research is to build the structure of the IT industry in order to understand its impact on various spheres of public life. The paper examines current trends and achievements in the IT industry,

systematizes the final products depending on their focus, and analyzes existing tools and methods for solving current problems. Special attention is paid to the prospects for further development of the IT sector. The research results allow us to form a comprehensive picture of the state of the IT industry in Russia and identify key areas for its sustainable growth and integration into social processes.

Keywords: Information technology industry, structure, tasks, directions, development prospects.

Введение

Исследование многослойной, сложной системы отрасли информационных технологий (ИТ-отрасли) в России актуально как с точки зрения научного анализа, так и с практической стороны, поскольку способствует развитию инновационной экономики и укреплению позиций страны на международной арене.

ИТ-отрасль играет центральную роль в современном мире, определяя развитие экономики, науки и повседневной жизни людей. Сегодня невозможно представить успешное предприятие или организацию без активного использования цифровых технологий.

Выбор данной темы исследования обусловлен необходимостью осмыслиения и систематизации многообразия современных направлений в информационных технологиях, их роли в обществе и экономике. Изучение ИТ-отрасли важно для понимания текущих тенденций и прогнозирования будущего технологического ландшафта. Исследование актуальных задач и средств их решения позволяет лучше понять, как информационные технологии трансформируют окружающий мир и как они могут способствовать прогрессу в различных сферах человеческой деятельности.

Для более глубокого изучения, анализа информационных технологий и перспектив их дальнейшего развития необходимо разработать структуру ИТ-отрасли России, выделив ключевые задачи и способы их решения. Основные направления работы включают:

1. Исследование текущего состояния ИТ-отрасли в России.
2. Анализ и классификация конечных продуктов ИТ-отрасли согласно их направленности.

3. Рассмотрение инструментов и методов решения задач в ИТ-отрасли.

4. Определение перспектив развития ИТ-отрасли.

Современное состояние ИТ-отрасли в России

ИТ-отрасль занимает ключевое место в современном мире, оказывая значительное влияние на развитие экономики, научно-технического прогресса и повседневную жизнь общества.

ИТ-отрасль в России находится на стадии динамичного роста и активно развивается благодаря сочетанию государственного регулирования, частного предпринимательства и высокообразованной рабочей силы. Это создает благоприятные условия для инноваций и привлечения инвестиций в технологии.

В ИТ-отрасли России представлен широкий спектр продуктов, которые можно классифицировать по различным категориям. Эти направления активно развиваются, что способствует росту как внутреннего, так и внешнего спроса на ИТ-продукты и услуги в России [1,2] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Диаграммы: «Ведущие направления ИТ-отрасли в России»

На основании представленных диаграмм заметно, что обозначенные направления ИТ-отрасли демонстрируют стремительный рост в 2024–2025 годах, значительно опережая темпы развития 2023 года.

Ключевые характеристики российского рынка информационных технологий:

1. Государственное регулирование и поддержка: российское правительство активно поддерживает развитие ИТ-отрасли через национальные проекты, гранты и субсидии. Одним

из примеров является программа «Цифровая экономика», направленная на модернизацию инфраструктуры и повышение уровня цифровизации страны.

2. Высокий уровень образования: Россия обладает значительным количеством высококвалифицированных специалистов в области ИТ. Университеты и технические школы выпускают тысячи инженеров и программистов ежегодно, что создает устойчивый кадровый резерв для индустрии.

3. Импортозамещение: в условиях санкций российские компании вынуждены ускорять процесс импортозамещения, развивая собственные аналоги зарубежных продуктов и сервисов. Это стимулирует рост локального производства программного обеспечения (ПО) и оборудования.

4. Рост спроса на внутренние решения: внутренний рынок продукции информационных технологий (ИТ-продукции) растет благодаря увеличивающемуся спросу на отечественные решения в сфере информационной безопасности, Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия (ERP-систем), облачных услуг и телекоммуникационных платформ.

5. Инвестиции в стартапы и инновации: венчурный капитал и государственные фонды продолжают инвестировать в стартапы и инновационные проекты, что способствует появлению новых технологий и бизнес-моделей [1].

Основные задачи ИТ-отрасли

Чтобы глубже осознать задачи, стоящие перед ИТ-отраслью, необходимо сосредоточиться на создании конечных продуктов, критически важных для России. Этот вектор охватывает ряд основополагающих аспектов:

1. Технологическая независимость: Развитие отечественных ИТ-решений, которые смогут заменить импортные аналоги и обеспечить устойчивость критически важных отраслей экономики и государства.

2. Инновационность: Создание продуктов, основанных на новейших технологиях, таких как искусственный интеллект, большие данные и многие другие, чтобы оставаться конкурентоспособными на мировом уровне.

3. Безопасность: Разработка защищенных систем и программного обеспечения, отвечающих высоким стандартам информационной безопасности, особенно в условиях возрастающей угрозы кибератак.

4. Оптимизация затрат: Эффективное использование ресурсов и минимизация издержек при разработке и внедрении ИТ-продуктов, что позволит сделать их доступными для широкого круга пользователей.

5. Интеграция с другими отраслями: Адаптация ИТ-решений для различных секторов экономики, таких как здравоохранение, образование, промышленность и сельское хозяйство, что способствует общему росту и модернизации страны.

Таким образом, фокус на создании качественных и востребованных конечных продуктов является одной из приоритетных задач ИТ-отрасли, способствующей устойчивому развитию и конкурентоспособности России на международной арене [2].

Основные задачи ИТ-отрасли, выражющиеся в конечной продукции, направлены на удовлетворение потребностей бизнеса и общества в автоматизации, оптимизации и улучшении различных процессов. Эти задачи включают в себя разработку и поддержку широкого спектра информационных систем и технологий, предназначенных для повышения эффективности, снижения затрат и улучшения качества принимаемых решений.

Структура ИТ-отрасли

Структура ИТ-отрасли может быть организована по различным задачам и средствам их решения. Представим структурную схему, которая включает основные направления и подходы:

1. Разработка программного обеспечения

- Задачи:
 - Создание приложений и систем
 - Интеграция различных систем
- Средства:
 - Языки программирования (Python, Java, C#, JavaScript и т.д.)
 - Средства разработки (IDE, редакторы кода)
 - Системы контроля версий (Git, SVN)

2. Управление проектами

- Задачи:
 - Планирование и контроль выполнения проектов
 - Ведение документации и отчетности
- Средства:
 - Инструменты для управления проектами (Jira, Trello, Asana)

- Методологии (Agile, Scrum, Waterfall)

3. Системное администрирование

- Задачи:

- Настройка и поддержка ИТ-инфраструктуры
- Обеспечение безопасности и доступности систем

- Средства:

- Операционные системы (Linux, Windows Server)
- Мониторинг и управление сетями (Nagios, Zabbix)

4. Техническая поддержка и обслуживание пользователей

- Задачи:

- Решение проблем пользователей
- Обучение и поддержка

- Средства:

- Системы тикетов (Zendesk, Freshservice)
- Удаленные инструменты доступа (TeamViewer, AnyDesk)

5. Анализ данных и бизнес-аналитика

- Задачи:

- Сбор и анализ данных для принятия решений
- Визуализация и отчетность

- Средства:

- Языки и инструменты для анализа данных (R, Python, SQL)
- BI-платформы (Tableau, Power BI)

6. Кибербезопасность

- Задачи:

- Защита данных и систем от атак
- Мониторинг и реагирование на инциденты

- Средства:

- Антивирусы и фаерволы (Norton, McAfee)
- Системы обнаружения вторжений (IDS/IPS)

7. Облачные технологии

- Задачи:

- Хранение и обработка данных в облаке
- Использование облачных сервисов для разработки и развертывания приложений

- Средства:

- Облачные платформы (AWS, Microsoft Azure, Google Cloud)
- Контейнеризация (Docker, Kubernetes)

8. Разработка и поддержка веб-сайтов

- Задачи:

- Создание и обслуживание веб-приложений

- Оптимизация и продвижение сайтов
- Средства:
 - Фреймворки и CMS (WordPress, Django, Ruby on Rails)
 - Инструменты SEO (Ahrefs, SEMrush)

9. Искусственный интеллект и машинное обучение (AI/ML).

- Задачи:
 - Разработка и внедрение AI/ML-решений
 - Обработка и анализ больших данных
- Средства:
 - Библиотеки и фреймворки (TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn)

Эта структура может быть адаптирована в зависимости от специфики компании или региона. Каждое направление может включать множество подзадач и специализированных методов решения.

Для более структурированного представления направлений и задач в ИТ-отрасли можно организовать их в виде иерархической схемы (рисунок 2).

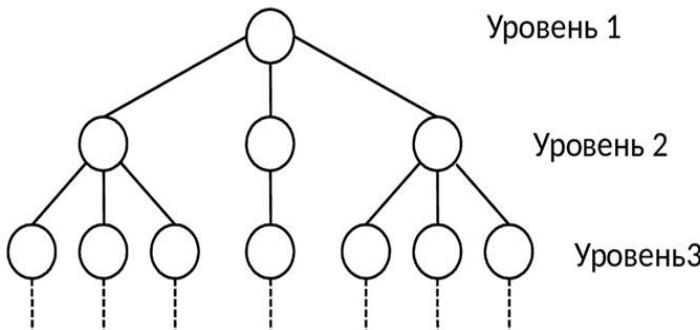


Рисунок 2 – Графическое изображение иерархической структуры

Описание иерархической структуры ИТ-отрасли:

I. Разработка и внедрение программного обеспечения

1. Специальное отраслевое программное обеспечение

- Программные решения для специфических нужд отраслей (финансовый сектор, здравоохранение и т.д.)

2. Общесистемное программное обеспечение

- Системы управления и администрирования: ОС, офисные приложения и др.

II. Аппаратное обеспечение

1. Платформенное оборудование

- Серверы, рабочие станции, сетевое оборудование
2. Телекоммуникационные платформы
 - Оборудование для передачи данных, IP-телефонии, видеоконференций
- III. Базы данных и управление данными
1. Системы управления базами данных (СУБД)
 - Реляционные (MySQL, PostgreSQL) и нереляционные (MongoDB) базы данных
 2. Анализ и управление данными
 - ETL-процессы, обработка и хранение данных
- IV. Информационная безопасность
1. Защита данных
 - Шифрование, резервное копирование, управление доступом
 2. Киберзащита
 - Антивирусные решения, системы защиты от вторжений
- V. Искусственный интеллект и машинное обучение
1. AI-программное обеспечение
 - Алгоритмы машинного обучения, обработка естественного языка
 2. Системы поддержки принятия решений
 - Инструменты для анализа и визуализации данных, рекомендации
- VI. Геоинформационные системы (ГИС)
1. Создание и обработка геоданных
 - Интерфейсы для работы с картами, пространственным анализом
 2. Визуализация данных
 - Инструменты для графического представления геоинформации
- VII. Центры обработки данных (ЦОД)
1. Инфраструктура ЦОД
 - Серверные комнаты, системы климат-контроля, энергообеспечение
 2. Управление ЦОД
 - Мониторинг, автоматизация и управление ресурсами
- VIII. Поддержка и обслуживание
1. Техническая поддержка
 - Обслуживание пользователей, решение инцидентов
 2. Обучение и консалтинг
 - Обучение сотрудников работе с ПО и системами

Эта структура помогает систематизировать подходы и решения, используемые в различных сегментах ИТ-отрасли, обеспечивая комплексный взгляд на задачи и ресурсы, необходимые для их решения (рисунок 3).



Рисунок 3 – Фрагмент иерархической структуры ИТ-отрасли

Применение метода анализа иерархий для анализа состояния ИТ- отрасли в России

В ходе дальнейшего исследования данной темы планируется применение методов иерархического анализа для создания модели оценки текущего состояния ИТ-отрасли в России и прогнозирования возможных направлений её будущего развития.

Метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Томасом Саати, представляет собой систематический подход к принятию решений, который позволяет разбивать сложную проблему на составляющие части, устанавливать приоритеты и делать обоснованные выводы [3].

Краткий алгоритм МАИ:

1. Определение критериев оценки. Определяются ключевые факторы, влияющие на состояние ИТ-отрасли, такие как:

- Уровень технологического развития,
- Человеческий капитал,
- Государственная поддержка,
- Экономическое окружение,
- Международное сотрудничество.

2. Построение иерархической структуры. Проблема разбирается на уровни: цель (состояние ИТ-отрасли), критерии

(вышеупомянутые факторы), альтернативы (возможные сценарии развития) (рисунок 4).



Рисунок 4 – Пример построения иерархической структуры ИТ-отрасли

3. Проведение парных сравнений. Эксперты сравнивают каждый критерий с другим по степени важности относительно цели. Затем сравниваются альтернативы по каждому критерию.

4. Расчет приоритетов. На основе парных сравнений вычисляются весовые коэффициенты для каждого критерия и каждой альтернативы.

5. Анализ результатов. Полученные результаты позволяют выявить наиболее важные факторы и предпочтительные стратегии для улучшения состояния ИТ-отрасли.

Заключение. Перспективы развития ИТ-сфера в России

Перспективы развития ИТ-сфера в России весьма многообразны и зависят от ряда факторов, включая государственную политику, инвестиционную привлекательность, кадровый потенциал и международную конъюнктуру. Рассмотрим основные направления и тенденции, которые определяют будущее этой отрасли [2,4]:

1. Развитие цифровой инфраструктуры.

Россия увеличивает инвестиции в цифровизацию, что включает:

- создание современной телекоммуникационной инфраструктуры,
- расширение интернет-покрытия, особенно в удалённых регионах,
- строительство мощных data-центров.

Это содействует внедрению таких ИТ-решений, как облачные вычисления, большие данные и интернет вещей (IoT).

2. Импортозамещение и развитие отечественных ИТ-решений.

Рынок активнее развивает собственные программные и аппаратные решения, включая:

- операционные системы (например, AstraLinux),
- специализированные продукты для бизнеса (1С, Галактика и др.).

Эти инициативы поддерживают национальную безопасность и снижают зависимость от зарубежных поставщиков.

3. Рост популярности искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML).

AI и ML становятся ключевыми технологиями в различных сферах, таких как:

- банковское дело,
- медицина,
- промышленное производство.

Государство поддерживает исследования, выделяя гранты и создавая научно-исследовательские центры. Российские компании достигают успехов в разработке AI-решений, особенно в распознавании речи, компьютерном зрении и робототехнике.

4. Развитие киберсистемы и усиление информационной безопасности.

С увеличением числа кибератак растет потребность в системах защиты данных. В России активно развивается кибербезопасность, появляются отечественные антивирусные программы и решения для защиты критической инфраструктуры. Ключевыми игроками остаются Лаборатория Касперского и Group-IB.

5. Электронное правительство и цифровая трансформация госуправления. Государственные органы продолжают переводить административные процедуры в электронный формат. Это снижает бюрократическую нагрузку, улучшает доступ граждан к государственным услугам и повышает прозрачность работы властей.

6. Активное развитие ИТ-образования.

Подготовка квалифицированных кадров остаётся ключевой задачей для ИТ-сферы. Вузы и корпоративные программы обучают специалистов, внедряя дуальное образование, которое сочетает

учёбу с практическим опытом. Государственные инициативы, как «Кадры для цифровой экономики», способствуют росту числа выпускников ИТ-направлений.

7. Увеличение экспортного потенциала Российские ИТ-компании активно выходят на международный рынок с конкурентоспособными решениями в программном обеспечении, играх, кибербезопасности и ИТ-консалтинге. Продукты российских разработчиков востребованы в СНГ, Восточной Европе и Азии. Экспорт ИТ-услуг играет важную роль в диверсификации экономики и увеличении доходов от интеллектуальной собственности.

8. Поддержка стартапов и инноваций.

Правительство стимулирует развитие малого и среднего бизнеса в ИТ-сегменте через создание технопарков, акселераторов и венчурных фондов. Это способствует появлению новых идей и продуктов, которые впоследствии могут выйти на глобальный рынок. Примером таких инициатив являются «Фонд Сколково» и «Российская венчурная компания» (РВК).

9. Развитие 5G и Интернета вещей (IoT).

С развитием сетей пятого поколения и технологий IoT появляется возможность внедрения умных городов, беспилотного транспорта, промышленных роботов и прочих инноваций.

Таким образом, ИТ-отрасль представляет собой не только мощный инструмент для повышения эффективности существующих бизнес-процессов, но и платформу для формирования будущего, основанного на цифровых технологиях и инновациях.

Список использованной литературы

1. Научно-технический и научно-производственный журнал «Информационные технологии» URL: <http://novtex.ru/IT/> (дата обращения: 15.01.2025)
2. Сетевое издание «CNews» ИТ-рынк и технологии. URL: <https://www.cnews.ru/analytics> (дата обращения: 12.02.2025)
3. Т.Саати, К.Кернс, Аналитическое планирование. Организация систем. Пер. с англ. – М: Радио и связь,1991. - 224 с.
4. Электронный научный журнал «ИТ-Стандарт» URL: https://itstd-journal.ru/?page_id=65 (дата обращения: 12.02.2025)

**СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОГО
РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОЧВЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Кондратьева Ангелина Феликсовна,
Яковлева Татьяна Юрьевна*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург,
Россия, angelinakondrateva13@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматривается важность составления планов ЛАРН для прогнозирования объемов возможных разливов и определения вреда, нанесенного окружающей природной среде.

Ключевые слова: нефтепродукты, ликвидация аварийных разливов нефти, почвы, атмосферный воздух, автоцистерна, геоинформационные системы.

**DEVELOPMENT OF AN ONSHORE OIL SPILL RESPONSE
PLAN USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

*Kondratieva Angelina Feliksovna, Yakovleva Tatiana Yurievna
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
angelinakondrateva13@gmail.com*

Abstract. The article discusses the importance of drawing up emergency plans for predicting the volume of possible spills and determining the damage caused to the environment.

Keywords: petroleum products, emergency oil spill response, soils, atmospheric air, tanker truck, geoinformation systems.

В наше время стали наиболее высоки риски возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера ввиду сильного развития технологических процессов, появления большего количества заводов и производств, увеличения потребностей населения. Также нередкими стали аварии, связанные с разливами нефти и нефтепродуктов, как на водных объектах, так и на суше. Для предотвращения таких аварий, или уменьшения вреда от них окружающей среде и населению, составляются планы ликвидации

аварийного разлива нефти (план ЛАРН). План ЛАРН определяет действия, предусмотренные для предупреждения, выявления и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, возникшей в результате разлива нефтепродуктов. Данный план составляется для предприятий, деятельность которых связана с нефтепродуктами, танкеров, автоцистерн, нефтехранилищ, автомобильных заправочных станций и других объектов. Планы ЛАРН содержат следующую важную информацию:

- 1) Операции, производимые с нефтепродуктами (хранение, добыча, очистка и др.);
- 2) Сведения о возможных источниках разлива (цистерна, нефтепровод и др.);
- 3) Максимальные расчётные объёмы разливов;
- 4) Прогнозируемые зоны распространения разлива с указанием влияния на экологическую обстановку и население;
- 5) Перечень первоочередных действий персонала при возникновении аварийной ситуации;
- 6) Расчёт достаточности сил и средств для ликвидации максимального расчётного объёма разлива;
- 7) Сроки локализации и ликвидации разлива нефтепродуктов;
- 8) Состав и порядок действий сил и средств аварийно-спасательных формирований;
- 9) Мероприятия по организации хранения, транспортировки и утилизации собранных нефтепродуктов [1].

План ЛАРН составим для автоцистерны, так как транспортные аварии — это не редкость для крупных городов. Также разлив нефтепродуктов из автоцистерны может произойти вследствие халатности персонала, например, из-за отсутствия проведения технического обслуживания цистерны. По таблице 1 вероятность отказа технологического оборудования АЗС (автомобильной цистерны) является одной из наиболее высоких [2].

Таблица 1 – Вероятности отказов технологического оборудования АЗС

Оборудование	Характер отказа	Вероятность отказа	Масштабы выброса нефтепродуктов
Технологический трубопровод	Разгерметизация	$5 \cdot 10^{-3}$ на 1000 м трубопровода в год	Объем выброса, равный объему трубопровода
	Разрыв	$1,4 \cdot 10^{-6} - 3,2 \cdot 10^{-9}$ на 1 м трубопровода в год при диаметре трубопровода 50-1200 мм	
Насос	Разгерметизация	$5 \cdot 10^{-3}$ в год	Объем, вытекший через уплотнения, за время предотвращения утечки
Резервуар	Полное разрушение	$5 \cdot 10^{-6}$ в год	Полное содержимое резервуара
	Частичное разрушение	10^{-4} в год	Объем, вытекший через отверстие диаметром X, за время предотвращения утечки
Автомобильная цистерна	Разрыв соединительных рукавов	10^{-3} на 1 заправку в год	Объем, вытекший через сливное отверстие, за время предотвращения утечки

Для транспортировки и доставки топлива используют бензовоз полуприцеп-цистерну SF3325 объемом 25 м³ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Бензовоз SF3325

Данный бензовоз имеет 3 секции, в которых производится доставка светлых нефтепродуктов – дизельного топлива, бензинов АИ-92 и АИ-95. Объем каждой секции составляет приблизительно 8,3 м³, однако с учетом того, что секции бензовоза заполняются на 95%, объем нефтепродукта в одной секции будет равен 7,9 м³ [3].

Предположим, что, разлив нефтепродуктов произошёл вследствие столкновения спец. транспорта с бензовозом, описанным ранее, в результате чего разгерметизация цистерны и вытекание нефтепродукта пришлись на почвы и часть территории АЗС (рисунок 2).

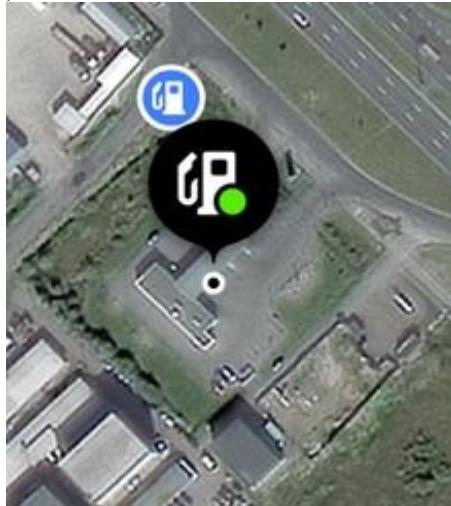


Рисунок 2 – Территория АЗС

По формуле (1) рассчитаем диаметр свободного растекания топлива:

$$d = \sqrt{25,5 \times V_{\text{НП}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{НП}}$ – объем разлившихся нефтепродуктов, м³.

$$d = \sqrt{25,5 \times 23,7} = 24,58 \text{ м}$$

Для расчета площади разлива используем формулу (2):

$$S = \pi \times d^2 / 4, \quad (2)$$

$$S = \frac{3,14 \times 24,58^2}{4} = 474,28 \text{ м}^2$$

С помощью геоинформационных систем, находящихся в открытом доступе [4], можем визуализировать как будет выглядеть данный разлив нефтепродуктов (рисунок 3).

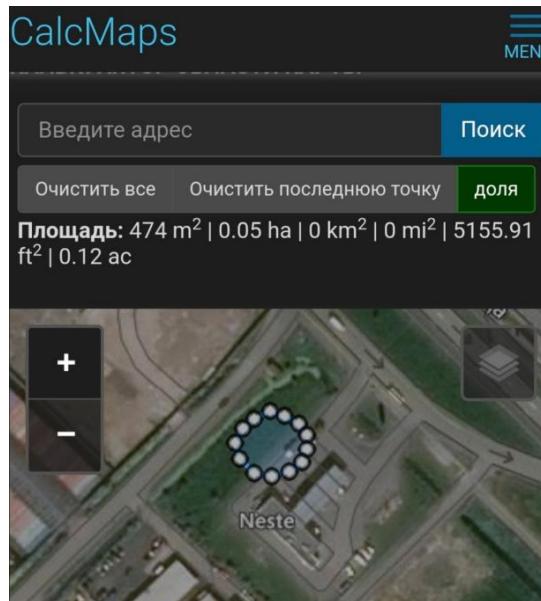


Рисунок 3 – Разлив нефтепродуктов в результате ДТП

Помимо визуализации, можем выделить область разлива, находящуюся на почвах. Ее площадь составляет 256 м² (рисунок 4).

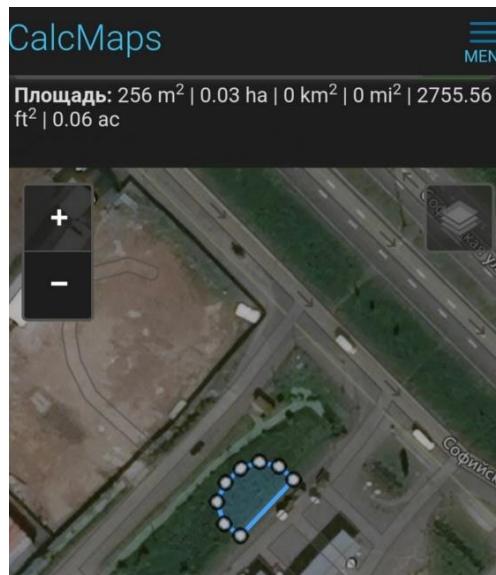


Рисунок 4 – Площадь разлива нефтепродуктов на почве

Аварийные разливы нефтепродуктов, наравне с другими аварийными ситуациями, негативно сказываются на состоянии природы. Пожары, разрывы трубопроводов, выход из строя газового оборудования и множество других аварий на опасных производственных объектах сказываются на состоянии атмосферного воздуха, водных объектов и почвы: происходит выброс продуктов горения, сброс сильнозагрязненных сточных вод, попадание в грунты технических жидкостей и др.

Зная масштаб разлива, можем вычислить массу испарившегося бензина в атмосферный воздух по формуле (3):

$$M_{AB} = q_{IP} \times S \times 10^{-6}, \text{ т} \quad (3)$$

где M_{AB} – количество углеводородов, испарившихся с поверхности разлива за 1 час, т

q_{IP} – скорость испарения бензина при скорости ветра до 1 м/с и температуре 25 °C, г/с·м² ($q_{IP} = 2,140$)

S – площадь разлива, м².

Произведем расчет по формуле (3):

$$M_{AB} = 2,140 \times 474,28 \times 10^{-6} = 0,00101 \text{ т} (1,01 \text{ кг})$$

Таким образом, в результате разлива нефтепродуктов за 1 час в атмосферный воздух испарится 1,01 кг бензина.

Больший вред будет нанесен почвам. Рассчитаем объем загрязненного грунта по формуле (4), предполагая, что глубина проникновения загрязняющих веществ составляет 10 см:

$$V_{загр. почвы} = S_{почв} \times h, \quad (4)$$

где h – высота слоя загрязнения, м

$$V_{загр. почвы} = 256 \times 0,1 = 25,6 \text{ м}^2$$

Снятие грунта осуществляется на 2 см глубже загрязнения, после чего необходимо вместо него засыпать новый грунт [5]. Рассчитаем необходимое количество грунта после снятия загрязненного слоя почвы:

$$V_{нов. грунт} = 256 \times 0,12 = 30,72 \text{ м}^2$$

Таким образом, частично составлен план ЛАРН с использованием геоинформационных систем для визуального представления площади разлива и удобства расчета количества нефтепродуктов, попавших на почву.

Список использованной литературы

1. План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛАРН) / ЭкспертПро. – <https://expertpro96.ru/>

2. Артемьев Р.М. Повышение уровня безопасности АЗС на основе анализа риска // Журнал Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. – № 9. – С. 1070-1073.
3. Бензовоз SF3325 / Сеспель. – Режим доступа: <https://www.sespel.com/>.
4. Вычислительные карты [Электронный ресурс]/CALCMAPS. – Режим доступа: <https://www.calcmaps.com/>.
4. Временное методическое руководство по оценке экологического риска деятельности нефтебаз и автозаправочных станций от 21.12.1999.
5. <https://files.stroyinf.ru/Data1/59/59538/index.htm?ysclid=m84u2ercdq816728962>

УДК 669.018.73:004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ИССЛЕДОВАНИИ И АНАЛИЗЕ СПЛАВОВ И МЕТАЛЛОВ

*Поляков Даниил Дмитриевич, Яковлева Татьяна Юрьевна,
Михтеева Елена Юрьевна, Хлябич Петр Петрович
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия, skilin690@gmail.com*

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые направления применения нейросетей в материаловедении, включая прогнозирование свойств сплавов, оптимизацию их состава, анализ экспериментальных данных и контроль качества. Показано, что интеграция искусственного интеллекта с традиционными методами исследований позволяет ускорить разработку новых материалов и снизить затраты.

Ключевые слова: нейросети, сплавы, микроструктуры, прогнозирование, искусственный интеллект.

THE USE OF NEURAL NETWORKS IN RESEARCH AND ANALYSIS OF ALLOYS AND METALS

*Polyakov Daniil Dmitrievich, Yakovleva Tatiana Yurievna,
Mikhteeva Elena Yurievna, Khlyabich Peter Petrovich*

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
skilin690@gmail.com*

Abstract. The article discusses the key areas of neural network application in materials science, including predicting alloy properties, optimizing compositions, analyzing experimental data, and quality control. It is shown that the integration of artificial intelligence with traditional research methods accelerates the development of new materials and reduces costs.

Keywords: neural networks, alloys, microstructures, prediction, artificial intelligence.

Введение

Современное материаловедение сталкивается с необходимостью быстрого проектирования новых материалов с заданными свойствами, оптимизации производственных процессов и анализа огромных массивов данных. Нейросети, обладающие способностью выявлять сложные паттерны в данных, становятся ключевым инструментом в решении этих задач. В статье рассмотрим основные направления их применения в исследовании металлов и сплавов.

1. Прогнозирование свойств материалов

Нейросети позволяют предсказывать механические, термические и химические характеристики сплавов на основе их состава и истории обработки. Например, модели глубокого обучения анализируют данные о концентрации элементов, температуре закалки или деформации, чтобы спрогнозировать прочность, коррозионную стойкость или электропроводность.

Пример: Алгоритмы на основе полносвязных сетей успешно предсказывают свойства высокоэнтропийных сплавов, сокращая время на эксперименты.

Преимущество: Ускорение разработки новых материалов в 5-10 раз по сравнению с традиционными методами [1].

2. Оптимизация состава сплавов

Генетические алгоритмы в сочетании с нейросетями помогают находить оптимальные комбинации элементов. Системы генерируют виртуальные «кандидаты», оценивают их свойства через модель и отбирают лучшие варианты для синтеза.

Кейс: Разработка алюминиевых сплавов для аэрокосмической отрасли с улучшенной жаропрочностью.

Технология: Использование методов reinforcement learning для максимизации целевых параметров [2].

3. Анализ экспериментальных данных

Нейросети автоматизируют обработку данных спектроскопии, рентгеновской дифракции и электронной микроскопии.

1. Обработка сигналов: Рекуррентные сети (RNN) анализируют временные ряды термического анализа.

2. Спектры и дифракция: Сверточные сети (CNN) декодируют сложные спектры, идентифицируя фазы в сплавах.

4. Контроль качества и неразрушающий тестинг

В промышленности нейросети применяются для обнаружения дефектов:

1. Ультразвуковая дефектоскопия: CNN классифицируют сигналы, определяя трещины и пустоты.

2. Термовизионные изображения: GAN (генеративно-состязательные сети) улучшают разрешение снимков для точного анализа.

Анализ микроструктур

Сверточные нейросети (CNN) стали стандартом для обработки изображений микроструктур:

1. Сегментация: Выделение зерен, границ и фаз.

2. Классификация: Определение типа структуры (например, мартенсит vs аустенит).

3. Пример: Системы на базе U-Net автоматически оценивают размер зерна в сталях [3].

Преимущества и вызовы

Плюсы:

1. Сокращение времени и затрат на эксперименты.

2. Возможность работы с Big Data (например, базы данных NIST, Materials Project).

Сложности:

1. Необходимость больших помеченных датасетов.

2. Интерпретируемость моделей («черный ящик»).

Перспективы

1. Интеграция с квантовыми расчетами: Нейросети ускоряют DFT-симуляции.

2. Автоматизация лабораторий: Роботы + ИИ для автономного синтеза и тестирования.

3. *Open Data*: Развитие открытых платформ (Citrination, Matminer) для обучения моделей.

Заключение

Нейросети трансформируют материаловедение, делая исследования сплавов и металлов быстрее, точнее и экономичнее. Несмотря на вызовы, их потенциал в открытии новых материалов и оптимизации технологий невозможно переоценить. В ближайшие годы интеграция искусственного интеллекта с экспериментальными и вычислительными методами станет основой инноваций в отрасли.

Список использованной литературы

1. Smith J., Brown K. Neural Networks in Materials Science. – 2023. – 120 p.
2. Lee S., Kim M. Reinforcement Learning for Alloy Design. – Journal of AI Applications, 2024. – P. 45–60.
3. Wang L., Zhang Y. U-Net for Microstructure Analysis. – Materials Today, 2025. – Vol. 12. – P. 33–40.

УДК 771.712:514.742.2

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИГОДНОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА

Щукин Антон Александрович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург, Россия

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук,
Волкова Надежда Александровна

Аннотация. В статье рассмотрена задача автоматизированной классификации воды на пригодность для потребления на основе девяти параметров качества: водородный показатель, твёрдость воды, концентрация твёрдых веществ, хлорамины, концентрация сульфатов и тригалометанов,

электрическая проводимость, содержание органического углерода и уровень мутности. Для решения задачи классификации использовался метод опорных векторов с подбором гиперпараметров с помощью grid search метода. Чистая питьевая вода является жизненно важным ресурсом для человека. Однако во многих регионах мира качество воды не соответствует санитарным нормам, непригодная для питья вода, не прошедшая определённые стадии обработки, может приводить к серьёзным заболеваниям, вплоть до летального исхода. Традиционные лабораторные методы анализа воды требуют значительных затрат времени и ресурсов, в связи с чем растёт потребность в более быстром, но при этом точном анализе воды на пригодность потребления. Исследования в этой области направлены на разработку и внедрение интеллектуальных систем мониторинга, которые могут повысить уровень безопасности водоснабжения и минимизировать риски для здоровья населения.

Ключевые слова: метод опорных векторов, анализ пригодности воды.

CLASSIFICATION OF WATER POTABILITY BASED ON QUALITY PARAMETERS

Anton Alexandrovich Shchukin

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia

Scientific supervisor – candidate of physico-mathematical sciences,
Volkova Nadezhda Aleksandrovna

Abstract. This paper considers the problem of automated water potability classification based on nine quality parameters: pH level, water hardness, total dissolved solids, chloramines, sulfate and trihalomethane concentrations, electrical conductivity, organic carbon content, and turbidity level. The classification task was solved using the Support Vector Machine (SVM) method with hyperparameter tuning via the grid search method. Potable water is a vital resource for human life. However, in many regions of the world, quality of water does not meet sanitary standards, and non-potable water that has not undergone the necessary treatment processes can lead to severe illnesses, including fatal outcomes. Traditional laboratory methods for water analysis

require significant time and resources, which has led to an increasing demand for faster yet accurate methods for assessing water potability. Research in this field aims to develop and implement intelligent monitoring systems that can enhance the safety of water supply and minimize health risks for the population.

Keywords: support vector machine, water potability analysis.

Описание данных

В данной работе использованы синтетические параметры качества воды с указанием на принадлежность параметров определённому классу (пригодная для потребления вода, или не пригодная) [1].

В массиве данных описаны следующие параметры: pH – показатель кислотности воды, приемлемые значения которого вариируются в пределах от 6.5 до 8.5; жёсткость воды (Hardness) – данный параметр в основном обусловлен нерастворимыми солями кальция и магния в воде; Хлорамины (Chloramines) – содержание в воде хлора или хлораминов, которые используются в составах дезинфицирующих средств в системах общественного водоснабжения; Концентрация сульфатов (Sulfate) – сульфаты используются в химической промышленности; Электропроводность (Conductivity) – связана с содержанием ионов в воде, чем чище вода, тем она хуже проводит электрический ток; Концентрация органического углерода (Organic_carbon) – показатель общего количества углерода в органических соединениях в воде; Тригалометаны (Trihalomethanes) – химические вещества, которые могут содержаться в воде, обработанной хлором; Мутность (Turbidity) – признак определяется количеством твёрдого нерастворённого в воде вещества [2].

Описание теоретической части

Метод опорных векторов (SVM) – один из популярных методов машинного обучения, который специализируется на задачах классификации [3].

Пусть имеется N -мерное признаковое пространство, основная задача метода заключается в нахождении такой гиперплоскости, которая в большей степени сохраняет исходное распределение по возможности без дополнительных предположений.

Оптимальная гиперплоскость с точки зрения SVM это та, которая образует наибольшую по длине полу между двумя ближайшими точками разных классов в признаковом пространстве. В таком случае гиперплоскость должна проходить посередине данной полосы, перпендикуляры к гиперплоскости от точек называются опорными векторами, отражая суть метода.

Любая гиперплоскость описывается формулой:

$$\langle w, \vec{x} \rangle - b = 0 \quad (1)$$

где w – вектор весов, x – вектор признаков (координаты точки в признаковом пространстве), b – смещение относительно начала координат, $\langle w, x \rangle$ - скалярное произведение векторов.

Простейшая модель бинарного классификатора выглядит следующим образом:

$$F(x) = \text{sign}(\langle w, x \rangle - b) \quad (2)$$

где sign – бинарная функция, которая на вычисляет метки класса, то есть принимает значения $\{-1; +1\}$.

Сначала рассмотрим задачу построения SVM-классификатора для линейно разделимых классов, потом рассмотрим общий случай для линейно неразделимых классов.

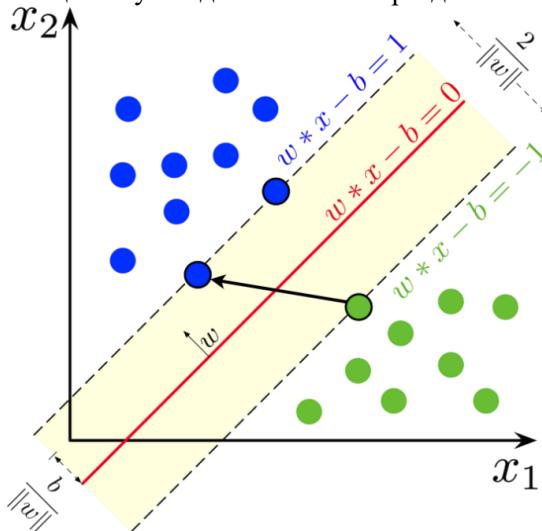


Рисунок 1 – SVM-классификатор в двумерном пространстве признаков

На рисунке 1 изображена гиперплоскость, в двумерном пространстве это линия, которая наиболее точно разделяет положительный и отрицательный классы. Для нахождения ширины полосы необходимо найти проекцию вектора, концами которого являются опорные вектора, на вектор нормали w .

$$L = \frac{\langle w, \overrightarrow{X_+ - X_-} \rangle}{\|w\|^2} \rightarrow \max \quad (3)$$

Формула (3) является основной задачей в нахождении оптимальной гиперплоскости. Чтобы избежать влияние длины единичного вектора, необходима исключить величину из вычисления скалярного произведения, квадрат используется для оптимизации дальнейших вычислений.

Для решения задачи максимизации необходимо ввести понятие отступа (M_i). Отступ – минимальное расстояние от обучающих точек до гиперплоскости, которая разделяет классы. Отступы вычисляются по следующей формуле:

$$M_i = y_i * a(x_i) = y_i * (\langle w, x_i \rangle - b) \quad (4)$$

где y_i - действительная метка класса у точки, $a(x_i)$ - метка класса, которую вычисляет классификатор. При положительном отступе можно утверждать, что классификация данной точки корректна, при отрицательном отступе – некорректна.

Отступ можно нормировать, если ввести $\alpha > 0$:

$$\alpha M_i = y_i * (\langle \alpha w, x_i \rangle - \alpha b) \quad (5)$$

Нормализация не изменит сути задачи оптимизации, но зато можно подобрать такую величину α , при котором отступы будут равны единице, то есть:

$$M_i(X_+) = 1, M_i(X_-) = 1, \min_{i=1, \dots, l} M_i(\alpha w, \alpha b) = 1 \quad (6)$$

Из этого следует, что:

$$\langle w, \overrightarrow{X_+ - X_-} \rangle = \langle w, X_+ \rangle - \langle w, X_- \rangle = 1 - (-1) = 2 \quad (7)$$

Если подставить вычисление в формулу (3):

$$L = \frac{2}{\|w\|^2} \rightarrow \max \quad (8)$$

От задачи максимизации будет удобнее перейти к минимизации, в итоге вычислений для линейно разделимых классов задачу можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \|w\|^2 \rightarrow \min_{w,b} \\ M_i(w, b) \geq 1 \end{cases} \quad (9)$$

Для линейно неразделимого случая вводится $\xi_i \geq 0$ - параметр ошибки (slack variable). Значит для каждого образа мы допускаем некоторое значение ошибки:

$$M_i(w, b) \geq 1 - \xi_i \quad (10)$$

Очевидно, что параметр ошибки должен стремится к нулю, поэтому, чтобы учесть это, перепишем условие задачи:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C * \sum_{i=1}^l \xi_i \rightarrow \min_{w,b,\xi} \\ M_i(w, b) \geq 1 - \xi_i \\ \xi_i \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

где C – гиперпараметр.

Для решения задачи сначала необходимо переписать выражения с параметром ошибки, если стоит условие минимизации параметра, то уравнения можно упростить:

$$\begin{cases} \xi_i = 1 - M_i(w, b) \\ \xi_i = 0 \end{cases} \Rightarrow (1 - M_i(w, b))_+ \quad (12)$$

Тогда можно перейти от системы (11) к безусловной минимизации:

$$\sum_{i=1}^l (1 - M_i(w, b))_+ + \frac{1}{2C} \|w\|^2 \rightarrow \min_{w,b} \quad (13)$$

В формуле (13) принято считать, что первое слагаемое – функционал качества или эмпирический риск, а второе слагаемое – L2 регуляризатор.

При решении данной оптимизационной задачи, задача (13) сводится к данной формуле:

$$w = \sum_{i=1}^l \lambda_i y_i x_i \quad (14)$$

где λ_i - коэффициент, y_i - метка класса, x_i - вектор признаков.

Эту формулу можно трактовать так, что опорный вектор – это линейная комбинация наблюдений из обучающей выборки.

Коэффициент λ может принимать разные значения, в зависимости от этих значений и значений гиперпараметра и отступа можно классифицировать метку:

1. $\lambda = 0$ - наблюдение не используется для вычисления вектора;
2. $0 < \lambda_i < C; \xi_i = 0; M_i = 1$ - опорные граничные метки;
3. $\lambda_i = C; \xi_i > 0; M_i < 1$ - опорные ошибочные метки.

На рисунке 2 представлены примеры разных меток.

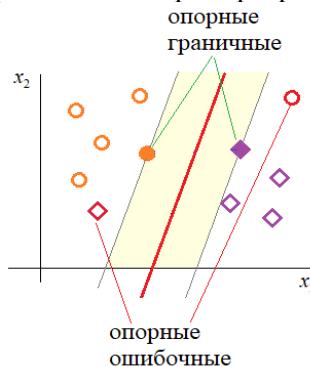


Рисунок 2 – Примеры опорных граничных меток и опорных ошибочных меток

Описание практической части

Для работы с массивом данных использовалась библиотека pandas, которая предоставляет широкий функционал обработки табличных данных. Данные представлены в формате Comma Separated Values (CSV). Массив данных состоит из 3000 записей разных признаков, а соотношение классов питьевой и загрязнённой воды примерно 40% к 60%. В процессе анализа было выявлено около 1000 некорректных записей, в которых данные

были пропущены, так как классификатор не умеет справляться с пропусками, было решено удалить данные строчки из выборки.

Для обучения классификатора изначально нужно было выделить значащие признаки, которые позволят отличить питьевую воду от воды, не пригодной для питья.

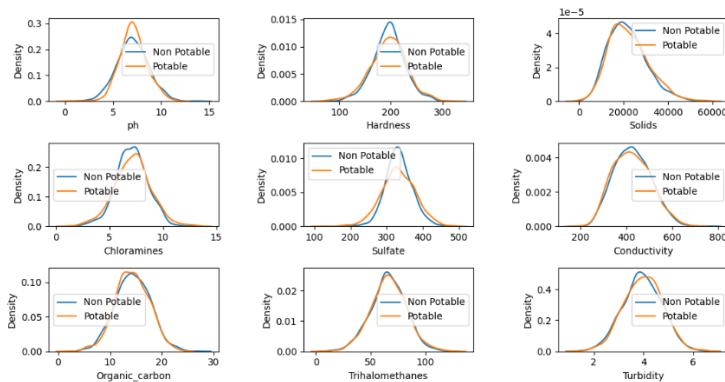


Рисунок 3 – Графики частот встречаемости разных значений признаков

На рисунке 3 отчётливо видно какие признаки более уникальны и информативны, поэтому, в качестве обучения классификатора было принято решение оставить признаки pH, Hardness, Chloramines, Sulfate и Turbidity.

Далее для более корректного обучения и увеличения точности классификации данные необходимо нормализовать данные, привести их к виду с нулевым средним значением и единичным стандартным отклонением.

После организации и нормализации выборки организуется поиск гиперпараметров, который подбирает разные модели ядра, параметры C и γ .

Когда выполнены все предыдущие шаги, модель проходит валидацию и сохраняется на диск для дальнейшего использования.

Заключение

Для решения задачи автоматизации классификации питьевой воды был реализован SVM классификатор с ядром 'rbf', $C=10$, $\gamma=0.1$, который имеет следующие показатели качества (табл. 1):

Таблица 1 – Метрики качества модели

	precision	recall	f1-score	support
0 – non-potable	0.74	0.79	0.76	180
1 – potable	0.66	0.58	0.62	122
accuracy			0.71	302

Данная разработка будет полезна в области гидрометеорологии и экологии, а также для автоматизированных систем мониторинга качества воды.

Список использованной литературы

1. Water Quality Dataset [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/adityakadiwal/water-potability/data> (дата обращения: 09.03.2025).
4. Adelagun O. A. R., Etim E. E., Godwin O. E. Application of Water Quality Index for the Assessment of Water from Different Sources in Nigeria // Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment. 2021. 458 p.
5. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006. 758 p.
6. Deisenroth M. P., Faisal A. A., Ong C. S. Mathematics for Machine Learning. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. 417 p.

УДК 332.1

ОРГАНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «МОРСКОЕ ДВИЖЕНИЕ» И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СУДОВ

*Ярошенко Анатолий Вячеславович,
Гаврилов Даниил Игоревич, Сикарев Игорь Александрович
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

Аннотация. В статье рассматривается принцип работы навигационной системы Marin Traffic, организация передачи данных и использования данной системы для обеспечения безопасного плавания автономных судов.

Ключевые слова: Marine Traffic, AIS, спутник, данные, судно.

ORGANIZATION OF THE «MARINE TRAFFIC» NAVIGATION SYSTEM AND ITS APPLICATION FOR AUTONOMOUS VESSELS

*Yaroshenko Anatoly Vyacheslavovich, Gavrilov Daniil Igorevich,
Sikarev Igor Alexandrovich*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Abstract. The article discusses the principle of operation of the Marinetrack navigation system, the organization of data transmission and the use of this system to ensure safe navigation of autonomous vessels.

Keywords: Marine Traffic, IS, Satellite, Data, ship

Marine traffic. Marine Traffic – это глобальная система отслеживания судов, основанная на данных автоматической идентификационной системы (AIS). Она используется для мониторинга перемещения морских судов в реальном времени, предоставляя информацию о местоположении, скорости, направлении и типе судна. Данный сервис играет ключевую роль в судоходной отрасли, обеспечивая прозрачность и безопасность морских перевозок.

Основу работы Marine Traffic составляют данные, передаваемые суднами с помощью AIS. Эта технология позволяет судам автоматически обмениваться информацией с береговыми станциями и другими судами. Передача данных осуществляется по радиосигналам, которые принимаются наземными станциями вдоль побережья, а также спутниковыми системами в открытом море. Благодаря этому пользователи Marine Traffic могут наблюдать за движением судов практически в любой точке мира.

Система Marine Traffic предоставляет широкий спектр данных о каждом судне: его уникальный идентификационный номер (IMO), название, флаг, грузоподъемность, маршрут следования и порт назначения. Эти данные обновляются в реальном времени, что делает платформу полезной не только для судоходных компаний и портовых операторов, но и для исследователей, экологов и даже туристов, интересующихся морскими путешествиями.

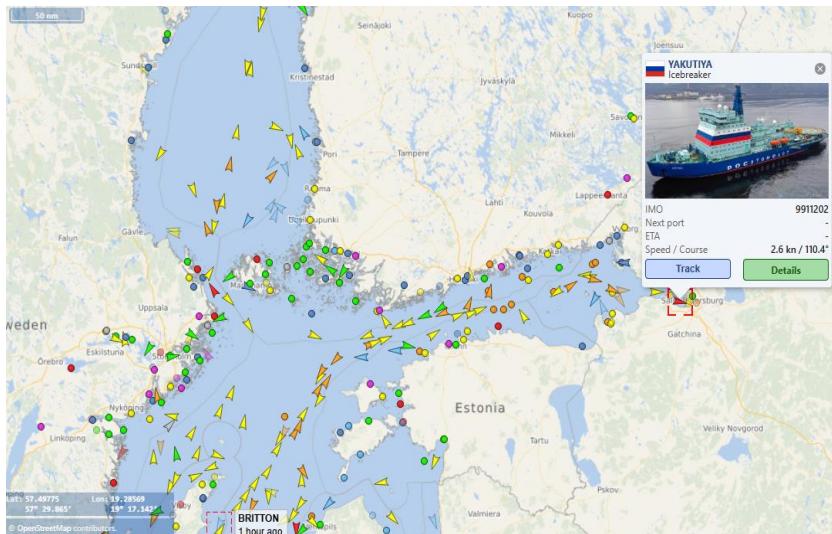


Рисунок 1 – Отображение судов на карте в реальном времени на сайте Marine traffic

Одним из ключевых преимуществ Marine Traffic является его доступность. Сервис можно использовать как через веб-интерфейс, так и с помощью мобильных приложений, что делает его удобным для пользователей по всему миру. Кроме того, Marine Traffic предлагает платные премиум-функции, такие как архивы маршрутов судов, прогнозы движения и аналитические инструменты, которые особенно полезны для профессионалов в сфере морского транспорта.

Marine Traffic широко применяется в судоходстве, логистике, страховании и даже в сфере туризма. Например, туристические компании могут использовать этот сервис для планирования морских экскурсий и наблюдения за лайнерами, а экологические организации – для отслеживания движения судов в зонах с высокой экологической нагрузкой.

Принцип работы Marine traffic. Система Marine Traffic использует технологию отслеживания маршрутов AIS, чтобы передавать данные о местоположении, курсе, скорости и движении судов в режиме реального времени. Теперь эти данные можно накладывать на карту Google Mars, что позволяет пользователям следить за передвижением судов и транспортировкой различных грузов.

AIS (Автоматическая идентификационная система) — это система, основанная на передаче данных с судов, которые оснащены специальными приёмниками. Она предназначена для повышения безопасности мореплавания, предотвращения столкновений и мониторинга передвижения судов как коммерческими, так и государственными структурами.

Ранее AIS-данные принимались только наземными станциями, которые использовались логистическими компаниями и государственными службами. Однако с появлением небольших и доступных спутников, способных принимать сигналы AIS, возможности мониторинга значительно расширились.

Принцип работы спутникового AIS довольно прост: низкоорбитальные спутники принимают сигналы, передаваемые судами, и передают их на берег для обработки. В отличие от наземных станций, спутники не ограничены береговой линией или горизонтом, что позволяет им охватывать огромные территории.

Существует два основных метода обработки спутниковых AIS-данных:

1. **On-board processing** — спутник самостоятельно обрабатывает данные, определяя, от какого судна получен сигнал. Этот метод работает эффективно в малонаселённых судоходных районах, например, в Тихом океане. Однако при большом количестве судов система может не справляться с идентификацией всех сигналов.

2. **Spectrum decollision processing** — спутник просто записывает все полученные сигналы и передаёт их на Землю, где мощные вычислительные системы анализируют данные и распределяют их по конкретным судам.

Одним из провайдеров спутникового мониторинга является компания **ExactEarth**. Её микроспутники работают на высоте 650 км и охватывают территорию диаметром около 3000 миль. Полученные сигналы передаются на береговые станции, а затем в центр обработки данных.

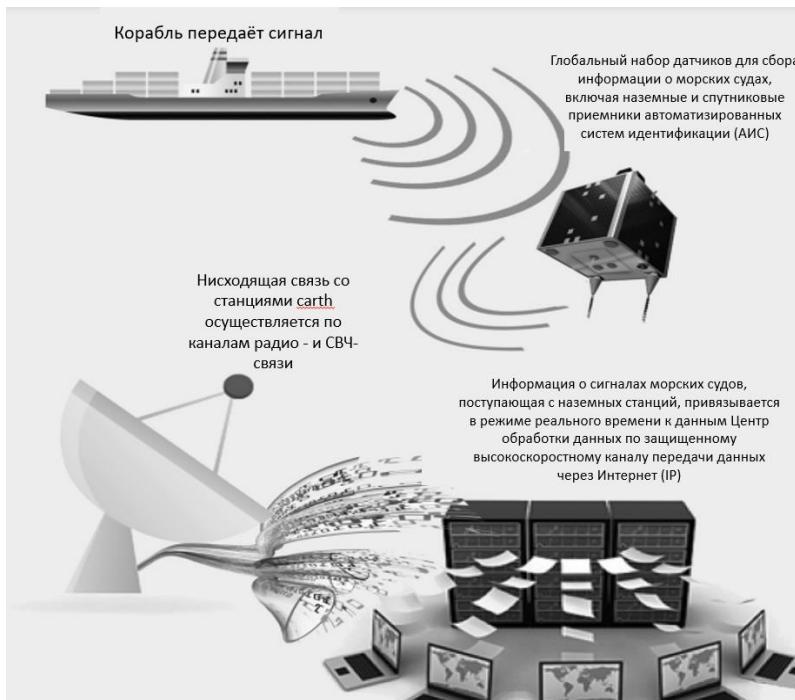


Рисунок 2 – Организация передачи информации с корабля в центр обработки данных.

Marine Traffic использует данные сразу от трёх провайдеров спутникового AIS: **ExactEarth**, **ORBCOMM** и **Spire**. Объединяя их информацию, сервис достигает высокой частоты обновления данных и предоставляет максимально точное местоположение судов в любой точке мира.

Организация безопасности плавания автономных судов с использованием Marin traffic.

Автоматизированная система обнаружения аварии. Автономное судно должно быть оборудовано системой мониторинга технического состояния и окружающей среды. В случае обнаружения критической неисправности (например, пробоины, сильного крена, пожара) или отсутствия связи с оператором в течение заданного времени, система инициирует автоматическую передачу сигнала бедствия.

Передача сигнала бедствия по международным каналам. Основные методы передачи сигнала включают использование

автоматического идентификационного оборудования (AIS), спутниковой связи (Inmarsat, Iridium) и системы Глобального морского бедственного и навигационного обеспечения (GMDSS). Сообщение о бедствии должно содержать идентификатор судна, его координаты, тип аварии и возможную степень угрозы.

GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) — это техническая, оперативная и административная структура для морской связи в чрезвычайных ситуациях и обеспечения безопасности во всём мире.

Основные функции GMDSS — повышение уровня безопасности, снижение её зависимости от квалификации судовых специалистов. Обычно GMDSS применяется ко всем судам валовой вместимостью от 300 тонн и выше во время международных рейсов.

Защищённая трансляция местоположения. Для передачи данных о местоположении на платформу Marine Traffic можно использовать шифрованные протоколы связи, такие как AES или TLS, в сочетании с VPN-туннелями. Это позволит предотвратить несанкционированный доступ к данным. Передача информации может осуществляться через спутниковые сети или береговые станции AIS.

AES — тип симметричного шифрования, который использует один и тот же ключ для шифрования данных. То есть, отправителю, и получателю нужен один и тот же ключ для расшифровки данных. Симметричное шифрование быстрее, хотя оно менее безопасно, чем асимметричное шифрование.

Основная концепция шифрования: шифр заменяет каждую единицу информации другой, в зависимости от ключа безопасности. Например, AES-256 завершает 14 операций шифрования, что делает его невероятно безопасным.

Шаги включают в себя разделение данных на блоки, замену разных байтов, смещение строк и смешивание столбцов, чтобы полностью скремблировать информацию. К концу процесса результатом является совершенно случайный набор символов, который не будет иметь смысла ни для кого, если у них нет ключа расшифровки.

TLS (transport layer security) — обеспечивает защиту данных во время их передачи по Сети. Он работает на четвёртом, транспортном, уровне сетевой модели OSI, где отвечает

за создание безопасных сессий обмена данными между браузером и сервером.

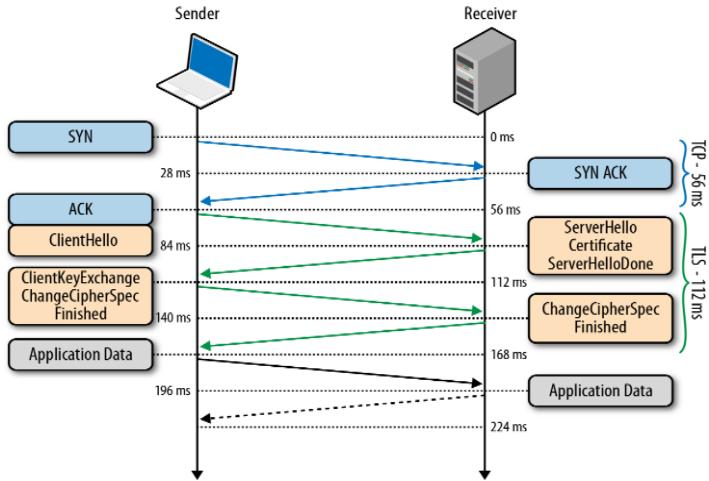


Рисунок 3 – Схема начала соединения пользователя с сервером (TLS Handshake)

Разберём подробнее каждый этап:

1. Перед установлением защищённого соединения по TLS сначала создаётся TCP-соединение между клиентом и сервером.
2. После этого клиент отправляет серверу текстовое сообщение с параметрами соединения, включая желаемую версию протокола и поддерживаемые алгоритмы шифрования.
3. Сервер выбирает версию протокола, один из предложенных методов шифрования, прикрепляет свой сертификат и передаёт ответ клиенту. При необходимости он также может запросить сертификат клиента.
4. На этом этапе параметры соединения считаются согласованными. Клиент проверяет сертификат сервера и инициирует либо RSA, либо обмен ключами по Диффи-Хеллману, в зависимости от настроек.
5. После обработки сервером полученных данных и проверки MAC он отправляет клиенту зашифрованное финальное сообщение.
6. Клиент расшифровывает его, сверяет MAC и, если всё в порядке, соединение считается установленным, после чего начинается передача данных между приложениями.

Обновление координат и сопровождение судна

После подачи сигнала бедствия система должна продолжать передавать обновлённые координаты судна на электронную карту в режиме реального времени. Для этого можно использовать резервные каналы связи, такие как мобильные сети (если судно в зоне покрытия) или радиочастотные ретрансляторы. Это обеспечит точное отслеживание и координацию спасательной операции.

Вывод

Система Marine Traffic играет важную роль в обеспечении безопасности морских перевозок, предоставляя данные о местоположении и передвижении судов в реальном времени. Она использует автоматическую идентификационную систему (AIS), наземные станции и спутниковые технологии для сбора и обработки информации, что делает мониторинг судоходства доступным и точным.

Одним из ключевых аспектов работы Marine Traffic является её интеграция с различными спутниковыми провайдерами, такими как ExactEarth, ORBCOMM и Spire. Это позволяет охватывать большие территории и обеспечивать высокую частоту обновления данных. Кроме того, использование различных методов обработки AIS-сигналов повышает точность определения местоположения судов даже в загруженных судоходных зонах.

Важным направлением развития является организация безопасности автономных судов с помощью Marine Traffic. Для этого используются системы автоматического мониторинга технического состояния судна и передачи сигналов бедствия через международные каналы связи, такие как AIS, Inmarsat, Iridium и GMDSS. Эти технологии позволяют быстро реагировать на аварийные ситуации и повышают уровень безопасности мореплавания.

Список использованной литературы

1. Education Marine: официальный сайт. – СПБ. – URL: <https://educationmarine.com/> (дата обращения 10.03.2025).
2. Ship Tracker: официальный сайт. – СПБ. – URL: <https://ship-tracker.org/ru/> (дата обращения 10.03.2025).
3. Электронная навигация и ГМССБ для судоводителей: Монография / Ю.М. Устинов, А.А. Дуров, Д.А. Бакеев и др. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2009.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ
ВЕТРА**

*Ятченко Андрей Сергеевич, Абанников Виктор Николаевич
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия., andrewdotnet@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается разработка программы для автоматизированного расчета энергетических характеристик скорости ветра. Описан алгоритм обработки метеорологических данных, включая расчет повторяемости скорости ветра, количества часов работы, скорости ветра на высоте 30 метров, а также потенциальной выработки электроэнергии. Программа реализована на языке C# с использованием библиотеки EPPlus для обработки данных из Excel. Реальные расчеты проведены на основе данных о скорости ветра в Никеле, Россия.

Ключевые слова: ветровой кадастр, скорость ветра, выработка энергии, программный расчет, C#, Excel.

**DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CALCULATING THE
ENERGY CHARACTERISTICS OF WIND SPEED**

*Yatchenko Andrew Sergeevich, Abannikov Victor Nikolaevich
Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg,
Russia., andrewdotnet@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the development of a program for automated calculation of wind speed energy characteristics. An algorithm for processing meteorological data is described, including calculation of wind speed repeatability, number of operating hours, wind speed at a height of 30 meters, and potential electricity generation. The program is implemented in C# using the EPPlus library for processing data from Excel. Real calculations are based on wind speed data in Nikel, Russia.

Keywords: wind cadastre, wind speed, energy production, software calculation, C#, Excel.

Введение: анализ режима ветра является важным этапом при оценке ветроэнергетического потенциала исследуемого района, а также для проектирования и обеспечения эксплуатации ветроэнергетических установок. В рамках решения вышеперечисленных задач возникает необходимость и по выбору оптимального места размещения ВЭУ. Для этого необходимо учитывать длительность и частоту различных скоростей ветра, стартовую, номинальную и максимальную скорости ветрогенератора, а также потенциальную выработку электроэнергии.

Целью данной работы является разработка программы, которая позволит автоматизировать обработку больших массивов метеорологических наблюдений за характеристиками ветра и рассчитывать ключевые энергетические показатели на основе данных о скорости ветра, включая повторяемость скорости ветра в соответствующих значениях, пересчет скорости на высоту 30 метров с высоты флюгера, выработку и общую выработку электроэнергии.

Исходные данные и методы обработки: в качестве исходных данных использованы результаты срочных метеорологических наблюдений на метеостанции Никель за 2022 год в количестве 2920 сроков [1]. Для расчета ветроэнергетических характеристик использовались технические характеристики ветрогенератора Yashel FT 20 кВт со стартовой скоростью 2,5 м/сек и диаметром лопастей 10 м [2].

Для обработки большого массива данных по скорости ветра была использована программа, реализованная на языке C#, которая выполняет следующие операции [3, 4]:

1. Считывает данные:

Программа считывает данные о скорости ветра из Excel-файла. Учитываются уникальные значения скорости ветра.

2. Определяет количества сроков:

Для каждой наблюдаемой скорости ветра определяется количество сроков — это число раз, когда данная скорость была зафиксирована.

3. Рассчитывает повторяемость скорости ветра:

Повторяемость рассчитывается по формуле (1):

$$R = \frac{N}{N_{\text{общ}}}, \quad (1)$$

где R — повторяемость скорости ветра в соответствующих значениях, N — количество сроков определенной скорости, $N_{\text{общ}}$ — общее количество сроков.

4. Определяет количество часов:

Рассчитывается количество часов в году, когда наблюдалась каждая скорость ветра (2):

$$H = 8760 * R, \quad (2)$$

где 8760 — количество часов в году.

5. Пересчитывает скорость ветра на высоту 30 метров:

Используется эмпирическая формула (3) [5, 6]:

$$V_{30} = (V + 0,5) * h^x, \quad (3)$$

где V_{30} — скорость ветра на высоте 30 метров, V — измеренная скорость ветра на высоте флюгера (10 м), $h = 3$ — коэффициент пересчета, $x = 0,2$ — показатель степени,

6. Рассчитывает объем вырабатываемой электрической энергии:

Объем выработки электрической энергии рассчитывается по формуле (4) [5, 6]:

$$E = 4,81 * 10^{-4} * D^2 * V_{30}^2 * 0,45 * 0,85 * 0,45, \quad (4)$$

где D^2 — диаметр лопастей ветрогенератора,

7. Расчет общей выработки энергии:

Общая выработка определяется как произведение выработки на количество часов (5):

$$E_{\text{общ}} = E * H, \quad (5)$$

Результаты и обсуждение: программа была протестирована на реальных данных о скорости ветра, полученных в городе Никель, Россия за 2022 год [1]. В таблице 1 представлены результаты расчетов для различных скоростей ветра, включая повторяемость, количество часов работы, скорость ветра на высоте 30 метров, выработку энергии и общую выработку электроэнергии.

Из таблицы 1 видно, что наибольший вклад в общую выработку электроэнергии вносят скорости ветра в диапазоне от 5 до 10 м/с.

При этом максимальная выработка электроэнергии наблюдается при скоростях ветра выше 10 м/с, что связано с увеличением мощности ветрового потока на высоте 30 метров и согласно техническим характеристикам данного ветрогенератора, номинальная скорость ветра равна 11 м/сек. Однако, несмотря на

высокую выработку электрической энергии при этих скоростях, их повторяемость относительно невелика (не более 1%, при годовой продолжительности не более 159 часов), что ограничивает общий вклад в годовую выработку.

Таблица 1 – Результаты расчетов энергетических характеристик ветра

Скорость ветра (м/с)	Количество сроков	Повторяемость	Часы (в год)	Скорость ветра (+0.5)	Скорость ветра на 30 м (м/с)	Выработка (кВт)	Общая выработка (кВт·ч)
0	217	0.07	651	0.5	0.62	0	0
1	379	0.13	1137	1.5	1.87	0	0
2	431	0.15	1293	2.5	3.11	0	0
3	452	0.15	1356	3.5	4.36	0.69	930.52
4	411	0.14	1233	4.5	5.61	1.46	1798.30
5	425	0.15	1275	5.5	6.85	2.66	3395.16
6	258	0.09	774	6.5	8.10	4.40	3402.07
7	153	0.05	459	7.5	9.34	6.75	3099.26
8	88	0.03	264	8.5	10.59	9.83	2594.91
9	53	0.02	159	9.5	11.83	13.72	2181.87
10	28	0.01	84	10.5	13.08	18.53	1556.36
11	13	0.00	39	11.5	14.33	24.34	949.34
12	5	0.00	15	12.5	15.57	31.26	468.90
13	3	0.00	9	13.5	16.82	39.38	354.41
14	2	0.00	6	14.5	18.06	48.79	292.76
16	2	0.00	6	16.5	20.55	71.90	431.38
ИТОГО	2920	1,00	8760				21455,25 кВт·ч

Скорости ветра ниже 2,5 м/с не обеспечивают выработку энергии, что связано с недостаточной мощностью для запуска ветрогенератора (стартовая скорость 2,5 м/сек).

Заключение и выводы: общая годовая выработка электрической энергии для выбранной модели ветрогенератора составляет **21455,25 кВт**, что является значительным показателем для региона с умеренными ветровыми характеристиками. Данные результаты могут быть использованы для оценки потенциала ветроэнергетики в регионе и планирования размещения ветроэнергетических установок.

Разработка программы для расчета энергетических характеристик ветра позволила автоматизировать и упростить процесс анализа метеорологических данных, что в последующем значительно упростит процесс расчета ветроэнергетических показателей для анализируемого района и выбираемой модели ветрогенератора, с соответствующими техническими характеристиками.

Список использованной литературы

1. База данных с метеорологическими наблюдениями: <https://rp5.ru>
2. Технические характеристики ветрогенератора Yashel FT 20 кВт: <https://enpartner.ru/vetrogenerator-yashel-ft-20-kw>
3. Официальная документация по использованию библиотеки EPPlus. – URL: <https://epplussoftware.com/>
4. Официальная документация по языку программирования C# от Microsoft – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference>
5. Горяев А.А и др. Возобновляемые источники энергии: учебно – методическое пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»/ Горяев А.А., Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Бутаков С.В. – Архангельск: Издательство САФУ, 2015г. –100 с.
6. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Энергетика. – Саратов: Амирит, 2022. – 106 с.

СЕКЦИЯ 4. РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

УДК 502(1-751.2)

ЗАПОВЕДНИКИ И БИОСФЕРНЫЕ РЕЗЕРВАТЫ

Аксенов Алексей Александрович

*ФГБОУ ВО Российской государственный
гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург,
Россия, Aksaksaled0609013@yandex.ru*

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук,
доцент, **Яковлева Татьяна Юрьевна**

Аннотация. В статье освещается заповедное дело, его современный функционал и дальнейшие отделение его от статуса «только охраняемой территории» к научно-исследовательскому биосферному резервату. Статья основывается на исторической справке и данных современных российских заповедников, что даёт понимание их потенциала в нынешнее время.

Ключевые слова: заповедники, биосферный резерват, бобры, экологическая среда.

NATURE RESERVES AND BIOSPHERE RESERVES

Aksenov Alexey Alexandrovich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,
Russia, Aksaksaled0609013@yandex.ru*

Scientific supervisor – candidate of physico-mathematical sciences,
associate professor, **Yakovleva Tatyana Yuryevna**

Abstract. The article highlights the nature reserve business, its modern functionality and its further separation from the status of a "protected area only" to a scientific and research biosphere reserve. The article is based on historical information and data from modern Russian

nature reserves, which gives an understanding of their potential at the present time.

Keywords: Nature reserves, biosphere reserve, beavers, ecological environment.

Основы заповедного дела зарождались ещё в Российской Империи в XIX веке, но имели они вид локальных и малых масштабов, и держались только на инициативе небольших групп учёных или на государственной выгоде (например, контроль за популяцией соболей для получения большего количества меха). По-настоящему первым стал Бургунский заповедник, который был основан 11 января 1917 года, и, таким образом, подобная территория начала восприниматься как объект научного исследования. После Великой Октябрьской социалистической революции стремительно начали создавать новые заповедники, и, вместе с этим, принципы для этих территорий, а именно [1, 2]:

1. Для изучения заповедника было введено полное ограничение вмешательства в среду обитания.
2. Территории должны быть обширными.
3. Заповедник должен быть окольцован населённой полосой.
4. Заповедник получает статус лаборатории
5. Контроль должен соблюдаться только за типичной флорой.

Также, было учтено название отчетности научных исследований – «Летопись природы» (используется до сих пор). Появление этих принципов предполагало эколого-эволюционную последовательность действий, что обязывало соблюдать неприкосновенность этих земель, однако в 30-е годы положение начало меняться: вследствие принятых решений на съездах, был дан указ об использовании этих территорий как ресурсных, но в рамках заповедной политики. Это обязывало местные органы охранять исконную среду и преумножать её богатства, – ожидаемо, подобные требования заповедники не выдержали, отчего к 50-м годам случилась их массовая ликвидация, что откликается по сегодняшний день: весь багаж знаний, накопленный за весь период работы, утратился; полученная информация не была полностью систематизирована. А в практическом виде, уникальные ландшафты разрушили и многие виды животных и растений уничтожили. Эти потери отразились в отставании в нереализованных исследованиях и ограниченном мониторинге

окружающей среды. Из-за этих причин, российские заповедники не смогли создать усовершенствованную предсказательную базу с учётом нынешнего опыта. Но к 70-м годам произошло «потепление» в политике, что дало новый этап заповедному делу – Биосферный (сегодня такие заповедники называют биосферными резерватами) [1, 2].

К 70-м годам техногенное влияние на территории многоократно возросло по сравнению с началом XX века. Вследствие чего биосферная концепция предполагалась выступающей в роли ограничителя, который бы блокировал негативную работу человеческой деятельности – это имело вид того, что обозначалась определённая территория, превышающая радиус городов или поселений, которые рассматривали; и с помощью мониторинга выясняли основные места, где происходило негативное техногенное влияние (к примеру: заводы, фабрики, утилизация мусора в природных зонах). А далее, по биосферной концепции, предполагалось содействовать сохранению прилегающих территорий во круг поселений и создавать заповедники для того, чтобы экологическая система среды этих мест выступала в роли «фильтра» от техногенных последствий. Это предполагало не только восстановление воздуха от вредных выбросов, но и сохранить аграрную способность почвы. Таким образом, планировалось моделировать «поврежденный» радиус, для которого высчитывали необходимый пространственный минимум чистой природы для «очистки» [1].

Но для реализации этой концепции, необходимо было иметь научную базу знаний и результаты полевых исследований, именно поэтому потребовалось создание биосферных резерватов в статусе лабораторий, для чего разработали ключевые нововведения в их систему:

1. Началась охранная деятельность конкретно генетического ресурса, потому что это зависело от того, какая будет экологическая среда.

2. Создание международной сети для появления общей базы исследований и мониторинга за флорой и фауной.

3. Организация международных встреч и консилиумов для решения дальнейшей судьбы этих территорий [3, 4].

Вместе с этим, также была разработана новая научная модель исследовательского заповедника: она представляла из себя территорию, поделенную на три уровня (Рисунок 1):

1. Ядро – особо охраняемая часть резервата, в которой должна быть сохранена среда обитания. Здесь происходит основной мониторинг.

2. Буферная зона – это территория, которая окружает ядро для блокирования воздействия антропогенного влияния. В этой зоне располагаются научные станции.

3. Переходная – это земли, на которых живет и развивается местное общество [3, 4].



Рисунок 1 – Модель исследовательского заповедника

Но трудности возникли и с этой моделью: внутренняя и международная сети мониторинга пошли в работу, но хорошая идеальная составляющая отличалась от реальности тем, что система информированности была плохо отрегулирована. Биосферные резерваты не имели полного понимания, как распределять знания друг друга, а также отличалась и классификационная система, потому что, помимо различия стран, была разность в самой экологической среде, которая не была однотипна для каждого ландшафта. Данная путаница дополнялась вопросами юрисдикции, так как стоял международный вопрос. Но кроме этих проблем, был и «научный парадокс» – из-за того, что биосферный заповедник значился лабораторией, то соответственно в нём должны проводиться должные исследования, но закрытый статус этих ландшафтов запрещал это делать. Что и послужило причиной делений на «ядро», где полная неприкасаемость территорий (за исключением мониторинга) и «буферную зону», где проводится научная работа. Поэтому эта «идеальная концепция» не может быть так реализована, но работу это не остановило, а наоборот дало стимул к её развитию. На данный момент времени, все

указанные проблемы полностью не устранили, но учёные и руководство смогли частично уменьшить их степень.

Таким образом, к настоящему времени биосферные резерваты получили большое развитие. Имея и сегодня недостатки в своей работе, всё равно по международному стандарту эти типы заповедников являются лучшим образцом научной деятельности в этой сфере, отчего продолжают активно развиваться [3,4]. Сегодня в России научная работа в резерватах продолжает увеличение количества исследовательских заключений и разработку новых экологических стратегий. К 2024 году уже насчитывалось 41 территориальный объект изучения (Рисунок 2). Для понимания хода работы резерватов рассмотрим только «Воронежский заповедник им. В. М. Пескова».



Рисунок 2 – Карта с биосферными резерватами на территории России

Любой резерват ведёт исследования обо всей своей флоре и фауне, но также он имеет своё направление в изучении определённых живых существ, которое зависит от сложившегося в заповеднике доминирующего, вымирающего или искусственно поддерживаемого видов. Таким главным объектом наблюдения в Воронежском резервате стал бобр обыкновенный. Это связано с тем, что в 1930-х годах хищники поставили этих животных на грань вымирания, а так как бобры были важны для сохранения русла рек, местные учёные и егеря начали активно противодействовать их вымиранию. Так, поэтапно на всей

заповедной территории и в ходе человеческого вмешательства в экологию среды, на сегодняшнее время приемлемое количество популяций во всей природной зоне было восстановлено. Эти действия определили развитие стратегии научной деятельности Воронежского резервата [5].

Для оценивания работы ученых были взяты материалы из собственного журнала заповедника за 2023 год. В нем представлены исследования о формировании поселений бобров на реке Усмань – это связано с тем, что бобры редко создают поселения около малых рек в лесной степи, и поэтому этот частный случай является важным объектом изучения.

Ход работы:

Изучали участки протяженностью в 19,3 км лесной части у реки Усмань, на которых было найдено 16 участков с поселением бобра и в 16,8 км в полевой части у реки Усмань, где было обнаружено 12 мест их обитания (Рисунок 3).

Населённость данных мест определялась следами деятельности бобров: погрызов, свежих построек и запасов в жилищах. Степени развития поселений основываются на данных природной летописи. Для фиксации данных было использовано приложение «NextGIS mobile».

Итоги:

Площадь распространения бобров увеличивается. Дальность расстояний между поселениями зависит от сезонного периода: зимой протяжённость жилищ сужается, так у бобров улучшается мобильность, что способствует выживанию в суровых условиях. Выбирают бобры место обитания по критериям наличия тростников и степени болотистости территории – все пригодные места обитания в этих районах заселены. Вызывает обеспокоенность вопрос небольшого зафиксированного следа молодняка: малочисленность выражена в точках густонаселённых пунктов и мест малого кормового потенциала. Выводы по изученным участкам стремятся к тому, что численность бобров и площадь их распространения увеличиваются, однако внешний человеческий фактор даёт своё негативное влияние (научная работа в этой области продолжалась в 2024 году) [5].

Но уже эти данные дают понимание того, как деятельность бобров влияет на средообразование. Они, сохраняя малые водотоки и реки, способствуют развитию местной биоэкологии и обогащению почв полезными компонентами возле населённых

пунктов. Таким образом, работа Воронежского биосферного резервата с исторических истоков до настоящего времени демонстрирует тенденции роста научного дела. Благодаря человеческому контролю над территорией, получилось, хоть и в малом и локальном масштабах, скорректировать экологическую систему для пользы человека [5].

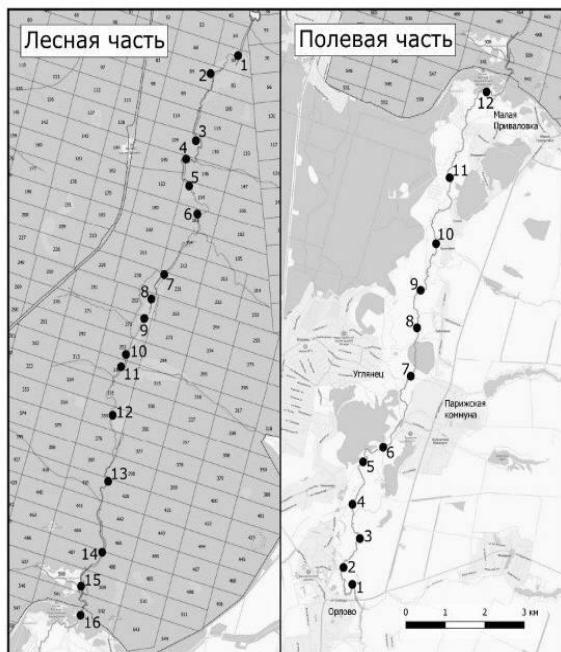


Рисунок 3 – Участки лесной и полевой части у реки Усмань, на которых обнаружены места обитания бобров

В настоящее время разными странами продолжают развиваться устройство резерватов и решается какую пользу они могут дать. Но мы рассмотрим глобальную программу для лучшего понимания – «Биосфера-геосфера: глобальные изменения». Эта модель представляет собой идею организации объединённой мировой базы, которая будет исследовать экологические проблемы, и, благодаря информационной сцепленности и вычислительным технологиям, проблемная зона будет воссоздана, после чего будет идти процесс устранения проблемы – то есть, биосферный заповедник должен стать центром решения экологических вопросов и одновременно являться частью таких же резерватов на мировом уровне. Именно подобный тип

системы может стать ключом к реализации той самой биосферной концепции, в которой человек сумеет контролировать природу, её явления и перенаправлять изменения резерватов в свою пользу [3].

Образование СССР спровоцировало развитие научной дисциплины «Заповедное дело» и понимание учеными возможности небольшой корректировки природы для перенаправления хода процессов экологической системы. Это на современном примере продемонстрировано Воронежским резерватом, где, после контроля над популяцией бобров, реки и прилегающие земли от их деятельности стали более полезной средой для человека, и при этом не пострадала экосистема. По сей день идет изучение возможности «управления» над экологией среды, о чем свидетельствует ландшафтное расширение многих резерватов, увеличение государственного финансирования и появления новых научных исследований в летописях природы. Но из-за огромного объема территорий, разных климатических условий всех биосферных заповедников и малого, относительно, периода изучений, в практическом смысле до реализации этой концепции еще далеко, но, благодаря активно продолжающейся работе резерватов, можно дать оценку, что у человечества большой потенциал продолжать технически развивать общество и жить в согласии с природой, не разрушая её.

Список использованной литературы

1. Калуцкова Н.Н. Теория и практика заповедного дела // учебное пособие. МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва: Географический фак. МГУ, 2011. – 146 с.
2. Вайнер Д. Экология в Советской России //М.: «Прогресс». – 1991 – 397 с.
3. Соколов В.Е. «Биосферные заповедники: цели и проблемы // Лекции лауреатов Демидовской премии (1993-2004). – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2006. – С. 165-178.
4. Соловьев А.Н. Заповедание территорий в аспекте природопользования// М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2020. – 250с.
5. Мишин А.С., Путилин И.С. Бобры (*Castor fiber*) на реке Усмань: сравнительная характеристика поселений на лесной и полевой части // Труды Воронежского государственного заповедника. 2023. – Выпуск XXXI – С. 92-103.

**ПРИМЕНИМА ЛИ ТЕОРИЯ К. ХАССЕЛЬМАННА ДЛЯ
ОПИСАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
КОМПОНЕНТОВ ГЛОБАЛЬНОГО ВОДООБМЕНА?**

*Добровольский Сергей Гаврилович¹,
Юшков Владислав Пролетарьевич^{1,2},
Соломонова Ирина Владимировна¹*

¹*ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук
(ИВП РАН)», г. Москва, Россия, sgdo@bk.ru*
²*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.
В. Ломоносова», г. Москва, Россия*

Аннотация. Проведен анализ многолетних изменений дисперсий случайных процессов, моделирующих составляющие глобального водообмена (испарения с поверхности океана, осадков над океаном, «эффективного» испарения с океана, осадков над сушей, испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши, «эффективных» осадков над сушей, речного стока), при помощи глобальных моделей климатической системы проекта CMIP-6. Показано наличие в этих процессах эффекта «погодного возбуждения» по К. Хассельманну. Наиболее значительно указанный эффект проявляется в изменениях испарения с океана и в меньшей степени (но, все же, статистически значимо) в изменениях других звеньев глобального водообмена, в том числе речного стока.

Ключевые слова: диагностика изменения климата, глобальный гидрологический цикл, модели CMIP-6.

**IS K. HASSELMANN'S THEORY APPLICABLE TO
DESCRIBE NATURAL CHANGES IN THE COMPONENTS OF
THE GLOBAL WATER EXCHANGE?**

*Dobrovolski Sergey Gavriilovich¹, Yushkov Vladislav
Proletaryevich^{1,2}, Solomonova Irina Vladimirovna¹*

¹*FSBIS Water Problems Institute Russian Academy of Sciences (WPI
RAS), Moscow, Russia, sgdo@bk.ru*

²*Moscow State University M.V. Lomonosov, Faculty of Physics,
Moscow, Russia*

Abstract. In this study, we analyzed long-term changes in the variances of random processes that model components of global water exchange (such as evaporation from the ocean surface, precipitation over the ocean, "effective" evaporation from the ocean, precipitation over land, evaporation (evapotranspiration) from the land surface, "effective" precipitation over land, and river runoff) using global models within the CMIP-6 climate system project. These processes exhibit the "weather forcing" effect, as described by K. Hasselman. This effect is most significant in changes observed in evaporation from the ocean, with statistically significant albeit lesser impacts observed in other components of global water exchange, including river runoff.

Keywords: Climate change diagnosis, Global hydrological cycle, CMIP-6 models.

Введение

Нобелевский лауреат К. Хассельманн в 70х годах прошлого века разработал стохастическую теорию изменения климата, связывающую воедино локальную погоду и глобальный климат [1, 2]. Она описывает естественные изменения в климатической системе в широком диапазоне периодов колебаний – от месяцев до тысяч лет. К. Хассельманн показал, что климатические модели могут быть надежными, несмотря на то, что погода изменчива и хаотична. Идея Хассельманна заключалась в том, что процессы синоптического типа, имеющие максимум энергии на частотах один цикл/несколько дней, несут энергию также и на более низких, климатических частотах, принимая вид «белого шума» (некоррелированных по времени одинаково распределенных стационарных случайных процессов). Этот «погодный шум» на климатических частотах воздействует на более инерционные, чем атмосфера, компоненты климатической системы – океан, ледники, поверхность суши, порождая ответ в виде «случайных блужданий».

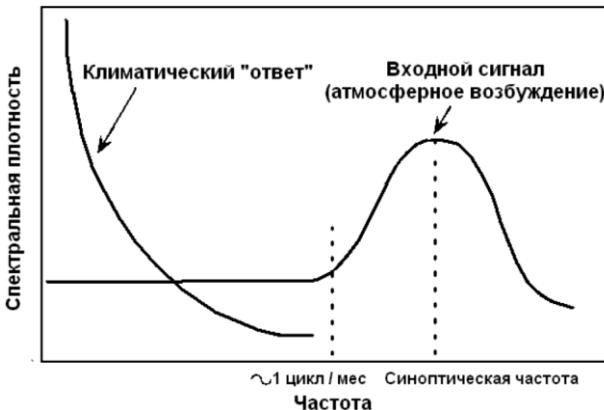


Рисунок 1 – Схема Хассельманна входных и ответных спектральных плотностей стохастически возбужденной климатической модели без обратной связи по [1].

Гипотеза Хассельманна была проверена на данных об изменениях глобальной температуры, температуры поверхности океана, эвстатических изменений уровня океана (см. обзор в монографии [3]). Однако, вплоть до настоящего времени, теория Хассельманна не была проверена на данных по изменениям составляющих глобального водообмена. В настоящей работе авторы сделали попытку применить эту теорию для анализа многолетних изменений в основных звеньях глобального гидрологического цикла при помощи глобальных моделей климатической системы проекта CMIP-6 (Coupled Models Intercomparison Project).

В качестве модели, для описания естественных климатических изменений глобальной температуры воздуха в масштабах времени от так называемого «промежуточного» климатического масштаба (порядка одного месяца) вплоть до тысяч лет, в первом приближении, К. Хассельманном был принят дискретный винеровский процесс (дискретный вариант случайного блуждания). В свою очередь, дискретный винеровский процесс, при фиксировании его начального значения, характеризуется линейным ростом дисперсии со временем. Теоретически можно было бы ожидать проявления аналогичной закономерности и в отношении изменения компонентов глобального водообмена. Для проверки этого предположения авторы рассчитали временные изменения дисперсий случайных

процессов, описывающих поведение основных компонентов глобального гидрологического цикла.

Вариации гидрометеорологических характеристик в климатических масштабах времени являются реализациями случайных функций. Анализу межгодовых и многолетних изменений глобального гидрологического цикла при таком подходе препятствует отсутствие теоретически бесконечного числа реализаций. Для каждого параметра процессов имеется в лучшем случае один ряд наблюденных значений или реанализа. В отдельных случаях оценка параметров случайного процесса возможна и на основе единственной реализации процесса, если он стационарен и его автокоррелированность по времени невелика – в таком варианте применимы теоремы об эргодичности. Другой вариант оценки параметров процесса по единственной реализации (в случае нестационарного, но «стационаризуемого» процесса) является дискретный винеровский процесс, при котором первое приращение процесса является белым шумом (последовательностью одинаково распределенных независимых случайных величин с нулевым математическим ожиданием).

Однако, уже предварительное рассмотрение изменений в глобальном гидрологическом цикле – в том числе, осуществленном в предыдущих работах авторов [3, 4, 5], показывает, что изменения составляющих водообмена не описываются двумя указанными выше типами моделей. Принципиальное препятствие при оценке параметров процессов в этом случае – отсутствие большого числа реализаций – обходится в настоящей работе с помощью использования моделей климатической системы проекта СМПР-6. Появление за последние десятилетия большого количества похожих, но все же разных моделей со множеством различных параметризаций позволяет отойти от нереалистичного для каждой модели временного ряда принципа эргодичности. Известно, что процессы накопления в климатической системе являются нестационарными случайными процессами, а значит, их среднее по времени не равно среднему по ансамблю реализаций. Стационаризация отдельных временных рядов путем принятия временного приращения также не приводит к описанию климатической системы как стационарного процесса. Поэтому единственным практическим способом оценки параметров случайного процесса, описывающего эволюцию климатической системы, является рассмотрение прогонов

различных моделей, прежде всего, для расчета изменений наиболее важных параметров, математического ожидания и дисперсии. Оценку дисперсии модельных траекторий как статистическую оценку различия между всеми возможными парами моделей можно осуществить путем искусственного устранения систематических ошибок модельных рядов при помощи выравнивания начальных значений моделируемых параметров за первый год.

Материалы и методы

Общие закономерности изменений компонентов глобального водообмена могут быть получены при помощи трактовки результатов расчетов на детальных гидродинамических моделях климатической системы («coupled models» или «климатические модели общей циркуляции атмосферы», КМОЦ), описывающих большое количество процессов в атмосфере, океане и на поверхности суши. Как известно, они не воспроизводят реальные фазы процессов синоптических масштабов в атмосфере. Из-за этого, даже будучи интегрируемы при абсолютно одинаковых начальных и граничных условиях, траектории различных моделей климата быстро «расходятся». Набор большого числа таких, существенно отличающихся друг от друга, траекторий можно, в первом приближении, считать набором реализаций того случайного процесса, который описывает поведение составляющих глобального водообмена. Указанный подход позволяет решить несколько важнейших проблем исследования глобального гидрологического цикла. Осреднение большого количества таких реализаций позволяет отфильтровать составляющие типа «погодного возбуждения» климатической системы по К. Хассельманну, приводящие к колебаниям типа случайного блуждания и отфильтровать ряд других, внутренних по отношению к климатической системе, «шумов». А оценка второго момента (дисперсии) случайного процесса – изучить степень влияния механизма «погодного возбуждения» на различные звенья гидрологического цикла, а также соотношение указанного механизма и «шумов» другого происхождения во времени. Преимущество экспериментов СМИР перед инструментальными наблюдениями и данными реанализа заключается в воспроизведстве ансамблем моделей большого количества различных «реализаций» эволюции климатической системы.

Проанализированы многолетние ряды (1850–2014 гг., 165 лет) глобально осредненных величин температуры воздуха, а также основных составляющих глобального водообмена: испарения с поверхности океана, осадков над океаном, «эффективного» испарения с океана (разности «испарение минус осадки», равной конечному потоку влаги с океана на сушу), осадков над сушей, испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши, «эффективных» осадков над сушей (разности «осадки минус испарение» или «климатического стока»), речного стока, полученные в результате «исторических» экспериментов на 41 модели проекта CMIP-6 [6]. Чтобы сопоставить используемые модели между собой была проведена интерполяция различных модельных глобальных полей на единую гауссову сетку T62 с треугольным усечением и разрешением 2×1.7 градуса. Для интерполяции, выборки, интегрирования по поверхностям суши и океана использовался пакет программ CDO Немецкого метеорологического института им. Макса Планка [7]. Для расчетов среднего стока использовались результаты моделирования с месячным осреднением, которые загружались с сайта PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Interpretation) [8]. Оценка дисперсий осуществлялась устранением смещенностей моделей, т.е. искусственным уравниванием начальных значений (в нашем случае 1850 г.) траекторий процесса для различных моделей и оценки для каждого последующего года дисперсий отклонений траекторий от среднего значения (от математического ожидания).

Результаты и дискуссия

Необходимой частью исследования была проверка справедливости теории Хассельманна на материале инструментальных наблюдений над глобальной температурой. Для этой цели был использован ряд глобально осредненных температур с 1880 по 2023 г. из [9]. Процедура анализа состояла в следующем.

1. Была построена стохастическая модель всего ряда при помощи модели авторегрессии конечного порядка. Порядок авторегрессии определялся при помощи семи различных критериев, в итоге были выбраны критерии Акаике (модифицированного авторами – см. [3] – и критерий ВIC. Оба критерия указывали на модель первого порядка.

2. Методом Наибольшей Энтропии была построена спектральная плотность всего ряда глобальных температур.

Показано, что в билогарифмических шкалах график близок к прямой с тангенсом угла наклона -2, что соответствует теории Хассельманна.

3. Было решено характеристическое уравнение авторегрессии. Продемонстрировано, что единственный корень уравнения находится близко к единичной окружности на комплексной плоскости. Это означает, что первые приращения ряда теоретически могут описываться моделью стационарной случайной последовательности, так называемым «белым шумом». Соответственно, оптимальной моделью для описания всего исходного ряда является модель дискретного винеровского процесса.

4. Для окончательно проверки этого предположения был проанализирован ряд первых приращений глобальной температуры способами, описанными в п. 1 и 2. Анализ для 1880-2023 гг. действительно привел к модели белого шума, в целом подтвердив гипотезу Хассельманна.

5. Вместе с тем, полученные выше результаты и модели, справедливые в целом для полного ряда температур за 144 года, могут «не работать» для отдельно взятых сегментов ряда, в особенности для последних десятилетий, характеризующихся интенсивным глобальным потеплением вследствие, предположительно, парникового эффекта. В связи с этим были проанализированы последовательно сегменты длительностью 40 лет с шагом по времени 5 лет. Анализ показал, что примерно до 1980-х годов в первом приближении работают модели и концепции, описанные выше и справедливые для ряда температур в среднем. Однако, в последние, примерно четыре, десятилетия основное отличие от «глобальной модели» заключается в том, что последовательность первых приращений годовых температур не описывается моделью *некоррелированных* по времени стационарных случайных величин. Однако, можно предположить, что и на протяжении последних десятилетий составляющая типа винеровского процесса (случайного блуждания) присутствует в качестве естественной компоненты наблюдаемых изменений.

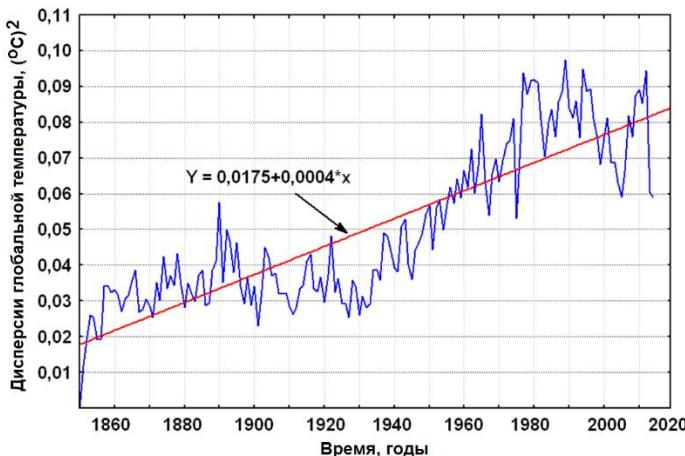


Рисунок 2 – Временные изменения дисперсий средних глобальных температур, рассчитанные по результатам «исторических» экспериментов на моделях проекта СМИР-6.

Основной характерной чертой глобальных климатических процессов «по Хассельманну» – как термических, так и водообменных, предположительно, является рост дисперсий со временем (в принципе свойственный процессам типа случайных блужданий). Для проверки этого обстоятельства применительно к основным составляющим глобального водообмена, были рассчитаны и построены графики зависимостей соответствующих дисперсий от времени.

Было показано, что как для глобальных температур (рис. 2), так и для всех основных составляющих глобального водообмена действительно характерно увеличение дисперсий со временем. Для большинства процессов линейная зависимость является хорошим первым приближением. Для средних глобальных температур испарения с поверхности океана ход дисперсий во времени несколько отличается от линейного, однако для целей единобразия, в первом приближении, линейное представление принято и для этого процесса. В идеальном «классическом» виде линейная аппроксимация применима и к изменениям дисперсий испарения (эвапотранспирации) с поверхности суши (рис.3).

Для того чтобы графики изменений дисперсий различных процессов были сопоставимы друг с другом, целесообразно нормировать их на величину дисперсии в начальный момент. На практике это было осуществлено путем нормирования величин на

значение линейной аппроксимации для «нулевого», 1850 года (рис. 3).

Рис. 3 показывает, что механизм «погодного возбуждения» по К. Хассельманну в климатических временных масштабах может значительно увеличить неопределенность оценок. Межмодельная дисперсия испарения с поверхности океана за рассматриваемый период увеличилась более чем в 4 раза. Роль этого механизма существенна и для аналогичного процесса испарения с поверхности суши – дисперсия процесса увеличивается примерно в 2.3 раза. Межмодельные дисперсии осадков над океаном и сушей вырастают в 1.5–2.0 раза. В наименьшей степени рассматриваемый механизм проявляется для более стационарных процессов – эффективного испарения с океана, эффективных осадков над сушей («климатический сток») и речного стока. В последнем случае коэффициент роста дисперсии за 150 лет составляет всего 1.2.

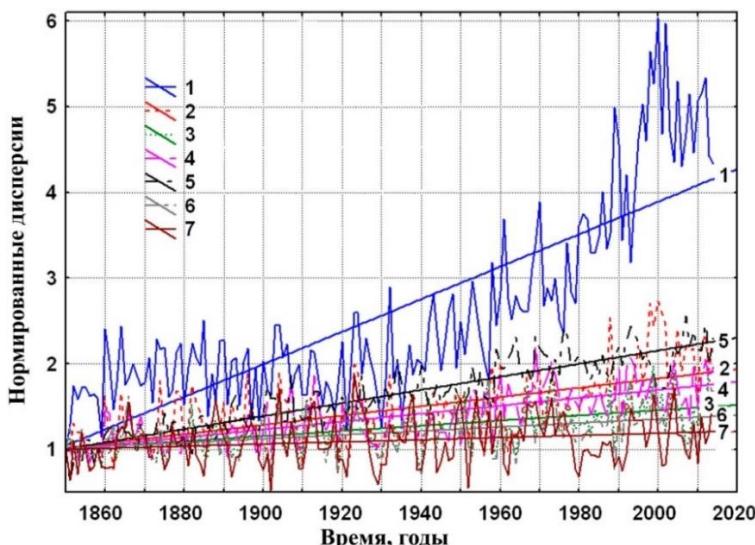


Рисунок 3 – Нормированные графики изменений во времени дисперсий, составляющих глобального водообмена (1 – испарение с океана, 2 – осадки над океаном, 3 – эффективное испарение с океана, 4 – осадки над сушей, 5 – испарение (эвапотранспирация) с поверхности суши, 6 – эффектививнее осадки над сушей, 7 – речной сток)

Необходимо отметить, что эти цифры относятся к средним глобальным величинам слоя речного стока. Как известно, сток рек

северо-западной части Евразии и севера Северной Америки в гораздо большей степени связан с изменениями средней глобальной температуры. Для этих рек, следовательно, можно ожидать, что накапливающийся эффект «погодного возбуждения» глобальной температуры будет намного больше, чем в среднем для стока рек мира (рис. 4).

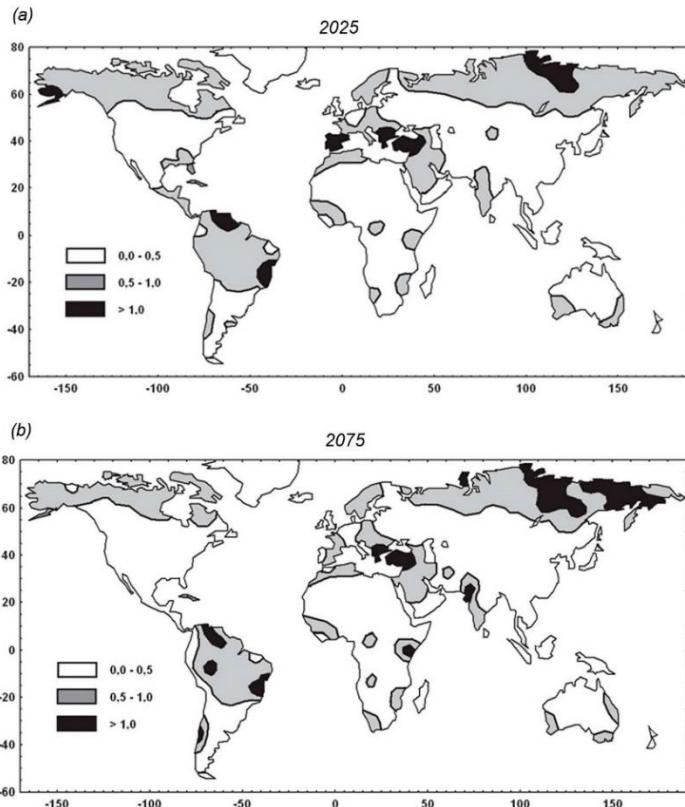


Рисунок 4 – Области речного стока, более чувствительные к «эффекту Хассельмана». Отношение R стандарта ошибки прогноза слоя годового речного стока из-за возможных изменений глобального климата к стандарту соответствующей ошибки вследствие всех остальных факторов неопределенности прогноза. Области, для которых $R < 0,5$, закрашены белым; светло-серым $R = 0,5-1$; темно-серым $R > 1$. Сценарии МГЭИК на 2025 г. (а), на 2075 г. (б) по [3].

Резюмируя, можно попытаться предложить очень грубую, но улавливающую, с нашей точки зрения, основные закономерности процессов модель для описания изменений составляющих глобального водообмена в климатических масштабах времени за рассматриваемый период времени:

$$X(t) = ER(t) + GR(t) + a_1(t) + W(t), \quad (1)$$

где $X(t)$ – значение рассматриваемой составляющей глобального водообмена (случайная величина), t – дискретное время в безразмерных годах, $ER(t)$ – детерминированная величина, зависящая от интенсивности взрывных вулканических извержений в год t и в предыдущие годы, $GR(t)$ – детерминированная величина, зависящая от интенсивности эмиссии парниковых газов в атмосферу в год t и в предыдущие годы, $a_1(t)$ – случайная величина, близкая к гауссовскому белому шуму (последовательности одинаково и нормально распределенных случайных величин), $W(t)$ – дискретный винеровский процесс: $W(t) = W(t-1) + a_2(t)$. В последнем выражении $a_2(t)$ – «второй белый шум», не коррелированный с $a_1(t)$. Соотношение дисперсий $\sigma(a_2)/\sigma(a_1)$ определяется, как значение соответствующей линейной аппроксимации на рис. 2 для 2014 года, деленное на длину ряда (165 лет). Очевидно, что дисперсия $\sigma(a_2)$ составляет лишь малую часть дисперсии $\sigma(a_1)$, однако второй белый шум отличается от первого тем, что он накапливается со временем – и, как было отмечено выше, его аналогичное значение для ряда региональных процессов, например, для стока северных рек, может быть очень существенным.

Заметим также, что в случае, если мы от исторических экспериментов перейдем к прогнозу, величины ER перейдут из разряда детерминированных в разряд случайных, так как прогноз вулканических извержений с климатической заблаговременностью невозможен. Их вклад, по-видимому, будет описываться слабо коррелированными по времени и асимметричными случайными величинами, которые также будут накапливаться со временем.

Заключение

Анализ изменений во времени дисперсий гипотетических случайных процессов, порождающих в виде реализаций наблюдаемые изменения глобального гидрологического цикла, указывают на заметную роль в этих изменениях эффекта накапливающегося «погодного возбуждения», описываемого

теорией стохастических моделей климата К. Хассельманна. На важную роль этих процессов в климатических временных масштабах указывает расхождение временных рядов гидрологических характеристик в разных моделях. В наибольшей степени указанный эффект проявляется в изменениях первичного процесса глобального водообмена – испарения с поверхности океана, в наименьшей (но все же, статистически значимо) в изменениях среднего глобального «климатического» и актуального речного стока. В то же время, можно предположить, что в региональных пространственных масштабах – прежде всего, в изменениях стока в пределах бассейнов северных рек, наиболее чувствительных к вариациям глобальной температуры – рассматриваемый эффект более значим, чем в глобальном масштабе.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы № FMWZ-2025-0001 Государственного задания ИВП РАН.

Список использованной литературы

1. Hasselmann, K (1976) Stochastic climate models. Part I. Theory / K. Hasselmann // Tellus. - 1976. - Vol. 28. – P. 473-485.
2. Hasselmann, K Construction and verification of stochastic climate models. Climatic Variations and Variability: Facts and Theories / K. Hasselmann // NATO Advanced Study Institutes Series. - 1981. - Vol. 72. - P. 481-497.
3. Добровольский, С. Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы / С. Г. Добровольский. - М.: Геос, 2017. - 526 с.
4. Dobrovolski, S. G. Statistical Modeling of the Global River Runoff Using GCMs: Comparison with the Observational Data and Reanalysis Results / S. G. Dobrovolski, V. P. Yushkov, M. N. Istomina // Water Resources. - 2019. - Vol. 46, no. 2. - P. S17-S24.
5. Dobrovolskii, S. G. Changes in the Global Water Exchange by the Results of Historical Experiments on Climate Models under CMIP-6 Project / S. G. Dobrovolskii, V. P. Yushkov, I. V. Solomonova // Water Resources. - 2023. - Vol. 50, no 6. - P. 975-989.
6. World Climate Research Programme (WCRP): сайт. - World Meteorological Organization, Geneva, 2024. - URL: <https://www.wcrp-climate.org/wgcmcmip/wgcm-cmip6> (дата обращения: 15.09.2024).
7. Climate Data Operators (CDO): сайт. - Max Planck Institute fur Meteorology (MPI-M), Hamburg, 2024. - URL:

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo> (дата обращения: 15.09.2024).

8. PCMDI: Program for Climate Model Diagnosis and Interpretation: сайт. (2023) Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, 2023. - URL: <https://pcmdi.llnl.gov> (дата обращения: 15.09.2024).

9. Global Temperature: сайт. - NASA's Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, Pasadena, 2024. - URL: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=12> (дата обращения: 15.09.2024).

УДК 551.582.1(470.12)

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛЫХ СЕЗОНОВ ГОРОДА ЧЕРЕПОВЦА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ламанов Павел Денисович

*ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург,
Россия, lamanovpav@yandex.ru*

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук,
доцент, *Анискина Ольга Георгиевна*

Аннотация. В статье представлены результаты наблюдений летних климатических характеристик для города Череповца Вологодской области за период с 2015 г. по 2023 г. Даны их сравнительная характеристика с учетом официальных данных.

Ключевые слова: климат, погода, анализ, мониторинг, температура, расчет, региональные изменения.

CHARACTERISTICS OF THE WARM SEASONS OF THE CITY OF CHEREPOVETS, VOLOGDA REGION

Lamanov Pavel Denisovich

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia,
lamanovpav@yandex.ru*

Scientific supervisor – candidate of physico-mathematical sciences,
associate professor, *Aniskina Olga Georgievna*

Abstract. The article presents the results of observations of summer climatic characteristics for the city of Cherepovets, Vologda region, for the period from 2015 to 2023. Their comparative characteristics are given, taking into account official data.

Keywords: climate, weather, analysis, monitoring, temperature, calculation, international changes.

Климат является одним из ключевых факторов, определяющих условия жизни и деятельности человека. Он влияет на множество аспектов, включая сельское хозяйство, туризм, здоровье населения и даже экономическое развитие региона.

На сегодняшний день на основе анализа научной литературы можно выделить ряд наиболее важных вопросов, которые были исследованы в отношении регионального изменения климата и его влияния на строительство, транспорт, водное хозяйство, сельское хозяйство, туризм и здоровье человека. Красной линией показаны вопросы потепления на всей территории России в течение года, во все сезоны, кроме зимы, аномалии температуры и тенденции изменения температурного режима, закономерности и тенденции изменения режима осадков, аномалии осадков, закономерности и тенденции в проявлении в том числе опасных природных явлений [2, 5, 6, 8].

В этом контексте особое внимание заслуживает изучение климатических характеристик теплых сезонов (к теплым сезонам относится период, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$ – середина мая и до конца августа), которые играют важную роль в жизни городов и населенных пунктов. Одним из таких городов является Череповец, расположенный в Вологодской области России.

Данная работа посвящена исследованию характеристик теплых сезонов в Череповце. Согласно предварительным исследованиям, наиболее высокие значения температуры воздуха и активное развитие природных процессов наблюдается в период с

20 мая по 30 августа. Этот период выбран для проведения исследований. Анализ произведён на основе собственных наблюдений и официальных данных метеонаблюдений Гидрометцентра РФ.

Актуальность исследования климатических особенностей города Череповца Вологодской области обусловлена не только его географическим положением, но и значением, которое теплые сезоны имеют для местного населения и экономики региона. В условиях глобальных климатических изменений, понимание местных климатических условий становится особенно важным для планирования различных видов деятельности, включая сельское хозяйство, туризм и т.п.

Климат Череповца формируется под воздействием различных факторов, включая географическое положение, рельеф и влияние ближайших водоемов. Город находится в умеренно-континентальной климатической зоне с холодной зимой и тёплым летом. Физико-географические особенности региона также играют свою роль в развитии города. Череповец расположен на северо-восточных склонах Валдайской возвышенности на высоте около 120 метров над уровнем моря. Средняя температура воздуха января составляет около $-10,0^{\circ}\text{C}$, в то время как в июле она может достигать $+20,0^{\circ}\text{C}$. Осадки распределены относительно равномерно в течение года, но летние месяцы, как правило, более дождливые [1, 7]. По официальным данным Гидрометцентра РФ и по Вологодской области в теплые сезоны в период с 2015 г. по 2023 г. в Череповце температура воздуха колеблется в пределах $+10,0^{\circ}\text{C}$ до $+30,0^{\circ}\text{C}$, если рассматривать по средним значениям, то в пределах от $+19,5^{\circ}\text{C}$ до $+23,3^{\circ}\text{C}$. Весна обычно начинается в апреле, и месячные температуры воздуха постепенно повышаются. Лето (с июня по август) – наиболее жаркий период, когда температура воздуха может достигать $25,0 - 30,0^{\circ}\text{C}$ тепла [3, 4].

Метеорологические наблюдения показывают, что погода в Череповце очень разнообразна. Относительно высокая влажность в сочетании с переменчивыми температурными условиями зимой и летом вносит разнообразие в круговорот природы и делает Череповец довольно сложным для климатического анализа. К тому же из-за близости к водоемам и лесным массивам, погодные

условия нередко влияют на местные экосистемы и сельское хозяйство [3, 4].

По результатам наблюдений среднегодовая температура воздуха в Череповце за период с 2015 по 2023 г.г. составила $7,4^{\circ}\text{C}$, среднее отклонение за этот период составляют $4,5^{\circ}\text{C}$. Летние месяцы характеризуются средними температурами воздуха в пределах $+18,0^{\circ}\text{C}$ до $+24,0^{\circ}\text{C}$. Самый теплый летний месяц был в августе 2022 г., средняя температура воздуха составила $+25,0^{\circ}\text{C}$. Самый холодный летний месяц был июнь 2017 г., средняя температура воздуха была $+15,6^{\circ}\text{C}$. Из анализа длительности теплого и холодного периодов следует, что самый длинный теплый период был в 2020 г. – 271 день, а короткий теплый период был в 2018 г. – 223 дня. Из анализа дат перехода температуры воздуха через $0,0^{\circ}\text{C}$ выявили: ранний переход температуры воздуха к отрицательным значениям был 30.10.2016 г.; ранний переход к положительным значениям – 01.03.2020 г.; поздний переход к отрицательным значениям был 27.11.2020 г.; поздний переход к положительным значениям – 01.04. 2018 г.

Датой устойчивых переходов температуры воздуха к теплому сезону принимается первый день периода, сумма положительных отклонений от нормы которого превышает сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов с отрицательными отклонениями [9].

Количество осадков в теплое время года также значительно варьируется. В среднем по официальным данным Череповец получает около 600–700 мм осадков в год, большая их часть выпадает в летние месяцы. Среднее количество осадков за летний период достигает 256,6 мм. Среднее количество дождливых дней составляет около 12 дней в месяц. С учетом того, что общее количество осадков за лето в среднем достигает 256,6 мм, можно предположить, что дождливая погода сосредоточена на относительно небольшом количестве дней. Существует также риск внезапных ливней, которые могут периодически нарушать планируемые мероприятия. По данным метеорологических исследований, такие дожди могут доставить неудобства, но их длительность обычно невелика [3, 4]. Эта характеристика летнего

климата делает его интересным объектом для изучения, т.к. каждый год поведение погодных систем может значительно варьироваться.

По результатам наблюдений за осадками в Череповце за период с 2015 по 2023 годы можно выделить следующие особенности: лето 2016, 2017 и 2020 годов в Череповце характеризуется наиболее высокой дождливостью за этот период. Непрерывные дожди и грозы сопровождали жителей города от 8 и более дней в каждый летний месяц. Уровень осадков значительно превысил среднюю климатическую норму для летнего периода, что привело к подтоплениям улиц, повреждениям инфраструктуры и ухудшению дорожного покрытия. Ливни вызывали задержки в общественном транспорте и создавали неудобства для горожан.

За этот период количество солнечных дней варьируется от 12 до 21 каждого месяца, что делает летний отдых в Череповце привлекательным и комфортным при отсутствии частых осадков.

На особенности климата города Череповца оказывают внешние факторы: плоские заболоченные равнины и верховые болота, которые более холодные, т.к. больше тепла тратится на испарение избыточной влаги; влияние Рыбинского водохранилища и промышленная зона весьма ощутимо влияют на микроклимат города Череповца. Запыленность атмосферы уменьшает приход солнечной радиации, а загазованность усиливает «парниковый» эффект. Температура воздуха летом в дневное время в городе выше, чем в пригородах, зимой эти контрасты могут достигать 10 и более градусов. Влажность воздуха в городе и в пригородных зонах может быть различной (разница 20-25%), поскольку запыленность воздуха способствует увеличению облачности.

Анализ проведенных метеорологических данных может позволить не только лучше понять климатические особенности Череповца, но и служить основой для дальнейших исследований. Изучение климатических изменений в регионе может помочь в разработке стратегий по адаптации к новым условиям, что особенно актуально в свете глобальных климатических изменений.

Результаты наблюдений могут быть использованы для ведения долгосрочных исследований в области климата, а также

могут быть полезными при изучении физической метеорологии и особенностей экологии данного региона. Кроме того, представленные данные возможно использовать в рекреационной деятельности, например, в сельском хозяйстве для определения взаимосвязи между культурами и их сроками созревания.

Список использованной литературы

1. Воробьев Г.А., Гаркуша В.И., Семенов Д.Ф., Уханов В.П., Шевелев Н.Н., Шестакова Л.Г. Природа родного края: очерки природы Череповецкого района. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/2ch/ere/pov/ets/30.htm> (дата обращения: 24.12.2024).
2. Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3-5 октября 2019 г.) / Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. – Том 1. – 532 с.
3. Гидрометцентр России. Климатические данные по регионам страны. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения: 30.12.2024).
4. Гидрометцентр Вологодской области. [Электронный ресурс]. URL: <http://vcgms.ru/> (дата обращения: 30.12.2024).
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. – Москва, 2020. – 97 с.
6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. – Москва, 2022. – 104 с.
7. Недосека Е. В., Карбанинов Н. И. «Умирание» или «новая жизнь» моногородов (на примере социально-экономической адаптации жителей монопрофильных поселений Северо-Запада России) [Электронный ресурс] // Арктика и Север. – 2020. – №. 41. – С. 163-181. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umiranie-ili-novaya-zhizn-monogorodov-na-primere-sotsialno-ekonomicheskoy-adaptatsii-zhiteley-monoprofilnyh-poseleniy-severo-zapada> (дата обращения: 24.12.2024).
8. Результаты исследований изменений климата для стратегий устойчивого развития Российской Федерации. – Росгидромет, 2005. – 180 с.

9. Скрыник О.Я., Скрыник О.А. Климатологический метод определения даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через заданное пороговое значение // Метеорология и гидрология. 2009. № 10. С. 90–99.

УДК 551.58:51-7

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

*Лобанов Владимир Алексеевич, Нзамбимана Энок,
Аль-Сибахи Джасфар, Айа Кристиан, Аль Меклафи Ясер
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург,
Россия*

Аннотация. В гидрометеорологии широко распространено построение и применение эмпирических зависимостей между различными переменными. Эти зависимости строятся методами регрессионного анализа и методически включают три основные части: анализ однофакторных зависимостей, построение уравнения множественной регрессии и анализ остатков. В работе подробно рассматривается назначение и содержание каждой из этих частей. Так, в процессе предварительного анализа на основе однофакторных зависимостей следует установить наиболее связанные с откликом факторы, необходимость их функциональных преобразований, оценка взаимосвязи между факторами с целью выявления совместных эффектов, а также анализ отдельных точек, отклоняющихся от зависимостей, которые могут быть обусловлены как локальными причинами или находится за пределами однородного района. На второй стадии формируется предполагаемая структура уравнения и используются различные методы определения его коэффициентов с оценкой их статистической значимости. На заключительной стадии осуществляется анализ остатков уравнения как на зависимом, так и на независимом от расчетов материале с целью как оценки качества полученной эмпирической зависимости, так и для ее корректировки. Приводится пример разработки и анализа

региональной зависимости для определения средних многолетних осадков в Причерноморье от факторов.

Ключевые слова: гидрометеорология, эмпирические зависимости, регрессионный анализ, стадии построения уравнений.

FEATURES OF APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS IN CONSTRUCTING EMPIRICAL DEPENDENCIES IN HYDROMETEOROLOGY

*Lobanov Vladimir Alekseevich, Nzambimana Enok, Al-Sibahi Jafar,
Aya Christian, Al-Mekhlafi Yaser*

Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Abstract. In hydrometeorology, the construction and application of empirical dependencies between different variables is widespread. These dependencies are constructed using regression analysis methods and methodically include three main parts: analysis of single-factor dependencies, construction of a multiple regression equation, and analysis of residuals. The paper examines in detail the purpose and content of each of these parts. Thus, in the process of preliminary analysis based on single-factor dependencies, it is necessary to establish the factors most closely related to the response, the need for their functional transformations, an assessment of the relationship between the factors in order to identify joint effects, as well as an analysis of individual points deviating from the dependencies, which can be caused by both local reasons or located outside the homogeneous region. At the second stage, the assumed structure of the equation is formed and various methods for determining its coefficients with an assessment of their statistical significance are used. At the final stage, the analysis of the equation residuals is carried out both on the dependent and on the independent from the calculations material in order to both assess the quality of the obtained empirical dependence and to correct it. An example of the development and analysis of regional dependence for determining average precipitation over a long period in the Black Sea region from factors is given.

Keywords: hydrometeorology, empirical dependencies, regression analysis, stages of equation construction.

Введение

В гидрометеорологии часто бывает необходимо построить статистическую модель от факторов, формирующих рассматриваемую характеристику и на нее влияющих вида: $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_m)$, где Y – отклик, X_1, X_2, \dots, X_m – факторы. Примеры этих моделей могут быть разнообразные: от построения региональных зависимостей температуры или осадков от высоты местности и других азональных факторов до построения уравнений, связывающих между собой коэффициенты и параметры различных статистических моделей. Для построения таких зависимостей от факторов применяется регрессионный анализ и уравнение множественной или в частном случае одного фактора – простой регрессии. Как правило, применяется линейный регрессионный анализ, когда любые непрямолинейные зависимости отклика от факторов могут быть сведены к прямолинейным за счет функциональных преобразований, например, $Z=\lg(X)$, $Z=e^X$, $Z=X^2$ и других. Построение статистических регрессионных зависимостей от факторов включает три стадии [1].

Стадия 1. Предварительный анализ данных

Эта начальная стадия моделирования применяется для:

- выбора предполагаемых факторов,
- построения и анализа однофакторных зависимостей с целью оценки тесноты связи с рассматриваемым фактором и необходимости функциональных преобразований.

Выбор предполагаемых факторов основан не только на оценке тесноты связи, но и на анализе разброса точек однофакторной зависимости на предмет оценки «лишних точек», отклоняющихся от общей взаимосвязи и поиска причин, которые их обусловили. Примеры анализа однофакторных зависимостей показаны на рис.1. Первый график свидетельствует, что зависимость отклика μ (модуль максимального расхода воды) от фактора f_{o3} (показателя озерности) отсутствует, т.к. коэффициент корреляции $R=0$. Но это не означает, что фактор f_{o3} должен быть сразу исключен из уравнения, его можно оставить, но только при оценке совместных эффектов, т.е. произведения этого фактора с другим. Фактор может быть и не связан с откликом напрямую, но произведение этого фактора с другим фактором может создать эффективный комплекс, который хорошо связан с откликом.

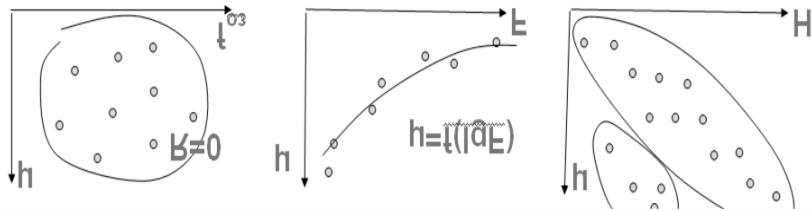


Рисунок 1 – Примеры анализа однофакторных зависимостей отклика μ от факторов f_{03}, F, H

На среднем графике показана не прямолинейная зависимость μ от F (площади водосбора), которая свидетельствует о необходимости выполнить функциональное преобразование и представить этот фактор, например, как $lg(F)$. Последний правый график свидетельствует о том, что в зависимости μ от H (высота водосбора), в ее верхней части есть «лишние» точки, которые уменьшают тесноту связанных и находятся с краю от нее. Поэтому эти отклоняющиеся от зависимости точки надо проанализировать и установить причины их отклонений. Например, одной из причин может быть их расположение на границе района и поэтому они уже могут не принадлежать рассматриваемому однородному району, границы которого надо скорректировать и уменьшить, а затем построение и анализ однофакторных зависимостей повторить.

Стадия 2. Построение регрессионной зависимости

Вторая стадия моделирования связана с:

- формированием общей структуры региональной зависимости,
- определением коэффициентов регрессионной зависимости с учетом их статистической значимости.

Общая структура уравнения множественной регрессии может быть задана или аналитически, в соответствии со структурой известного применяемого уравнения, например, теплового баланса, или подобрана эмпирически из нескольких основных структур:

- аддитивная структура без функциональных преобразований, когда факторы не зависят один от другого:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_0, \quad (1)$$

где b_1, b_2, \dots, b_0 – коэффициенты уравнения, вычисляемые по МНК;

- аддитивная структура с функциональными преобразованиями факторов:

$$Y = b_1 \lg X_1 + b_2 X_2^2 + \dots + b_0; \quad (2)$$

- мультипликативная структура, включающая произведения факторов (совместные эффекты):

$$Y = b_1 X_1 * X_2 + b_2 X_2 * X_3 + \dots + b_0; \quad (3)$$

- комплексная или смешанная структура, включающая аддитивные факторы, функциональные преобразования и совместные эффекты:

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2^2 + b_3 X_1 X_2 + b_4 X_2 X_3 + b_5 X_1 * \lg X_4 \dots + b_0 \quad (4)$$

Коэффициенты уравнений множественной регрессии определяют с помощью линейного МНК с оценкой их статистической значимости, например, с помощь 95%-ного или 2-го доверительно интервала случайной погрешности коэффициентов. Если факторы и структура уравнения являются нелинейными и не могут быть линеаризованы, то для расчета коэффициентов таких уравнений применяются методы нелинейного МНК: симплекс-метод, метод Розенброка, метод креста и т.д. в зависимости от сложности поверхности коэффициентов [2].

Для оптимизации вычислений уравнений сложной структуры применяют также методы получения эффективного по составу факторов уравнения. Для выбора такого «наилучшего» уравнения регрессии обычно применяется два известных метода: метод исключения и шаговая процедура или метод включения [3].

Метод исключения представляет собой усовершенствованный вариант метода «всех регрессий», т.е. полного перебора всех возможных сочетаний факторов. Основные этапы метода исключения следующие:

- рассчитывается регрессионное уравнение, включающее все переменные;

- рассчитывается величина частного F -критерия для каждой из переменных, как будто бы она была последней переменной, введенной в регрессионное уравнение;

- наименьшая величина частного F -критерия, обозначенная, например, через F_L , сравнивается с заранее выбранным уровнем значимости F_0 и

- если $F_L < F_0$, то переменная X_L , связанная с F_L , исключается из рассмотрения и производится пересчет уравнения регрессии с учетом оставшихся переменных и затем осуществляется переход

ко второму шагу и анализируется следующая переменная на предмет исключения из уравнения и т.д.;

- если $F_L > F_0$, то регрессионное уравнение оставляют таким, как оно было получено.

В результате применения этого метода в уравнении остаются только те факторы, исключение каждого из которых приводит к статистически значимому уменьшению дисперсии, объясненной с помощью уравнения.

Второй метод – шаговая процедура является улучшенным вариантом метода включения и содержит следующие шаги.

Шаг 1. Шаговый метод начинается с построения простой корреляционной матрицы и включения в регрессионное уравнение переменной X , наиболее сильно коррелированной с откликом (например, X_1), т.е. с наибольшим коэффициентом парной корреляции R .

Шаг 2. Выбирается следующая переменная (X_2) у которой коэффициент парной корреляции тоже большой, но меньший, чем у X_1 .

Шаг 3. Получают регрессионное уравнение с двумя переменными: $Y=f(X_1, X_2)$ и затем исследуют вклад переменной X_1 , который имел бы место, если бы в модель была введена сначала X_2 , а затем X_1 и если этот вклад статистически значимо увеличивает объясненную уравнением долю неопределенности, то переменную X_1 оставляют в уравнении.

Шаг 4. Далее включают следующую по величине парного коэффициента корреляции переменную X_3 и строят уравнение: $Y=f(X_1, X_2, X_3)$ и затем в него вначале включают переменную X_3 , а затем последовательно X_1 и X_2 , при этом оценивая, увеличивается эффективность уравнения с включением каждой новой переменной или нет и если нет, то переменную не включают.

Шаг 5 и остальные. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все переменные.

Помимо этих двух методов раньше применялся также и ступенчатый регрессионный метод, имеющий простую графическую интерпретацию. В этом методе, также, как и в шаговой процедуре вначале строится однофакторное уравнение с переменной, имеющей наиболее высокий коэффициент парной корреляции $Y=f(X_1)$. Затем находятся разности между фактическими Y_i и рассчитанными по этому уравнению Y'_i , т.е. остатки $Z_i=Y_i-Y'_i$. Эти остатки теперь рассматриваются как

значения нового отклика и строится регрессионная зависимость этого нового отклика со следующим фактором, имеющим наибольшее значение коэффициента парной корреляции. Этот процесс продолжается до любой конечной стадии, например, до тех пор, пока значение коэффициента парной корреляции станет статистически незначимым.

Стадия 3. Анализ остатков уравнения

Третья и последняя стадия моделирования связана с оценкой эффективности построенных региональных зависимостей и имеет самостоятельное название - анализ остатков [3].

Остатки любой эмпирической зависимости определяются как разности между фактическими (наблюденными) и расчетными по этой зависимости значениями:

$$\varepsilon_i = Y_i - Y'_i, \quad (5)$$

где: Y_i - фактическое (наблюденное) значение, Y'_i - рассчитанное по зависимости, ε_i - остаток или погрешность полученной зависимости.

В качестве безразмерной характеристики остатков могут рассматриваться их относительные значения (Δ_i):

$$\Delta_i = (Y_i - Y'_i) / Y_i, \quad (6)$$

которые выражаются в долях единицы или процентах.

Наиболее распространенной обобщенной характеристикой остатков является их среднее квадратическое отклонение (σ_i):

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

или:

$$\sigma_i = \sigma_Y \sqrt{1 - R^2}, \quad (8)$$

где $\bar{\varepsilon}$ - среднее значение остатков, R - коэффициент корреляции полученной зависимости, σ_Y - стандартное (среднее квадратическое) отклонение ряда фактических значений.

Стандартная погрешность дает первичную информацию об эффективности полученной эмпирической зависимости. В качестве обобщенной меры может служить также величина:

$$\Delta' = (1 - R^2) * 100\%, \quad (9)$$

которая характеризует долю исходного рассеивания (в %), не объясненного с помощью построенной зависимости.

Стандартная погрешность остатков, как следует из (8) и (9), связана с коэффициентом корреляции полученного уравнения. Поэтому можно решать и обратную задачу: определить каким должен быть коэффициент корреляции, чтобы уравнение удовлетворяло практической эффективности, например, по заданной стандартной погрешности климатической характеристики, вычисляемой по уравнению (8). Если полученное уравнение имеет эффективность ниже, чем требуемая, то его можно попытаться улучшать путем введения новых факторов, изменения структуры зависимости и т.д. При этом необходимо иметь в виду, что практическая эффективность должна быть ориентирована на реальные возможности, связанные с погрешностями измерений и пространственно-временных обобщений факторов и определяемой климатической характеристики, с ограниченностью объема данных, множеством неучтенных факторов и т.д.

Всесторонний анализ остатков включает в себя оценивание:

- резко отклоняющихся экстремальных значений;
- смещенности остатков;
- случайности остатков на основе хронологического графика;
- случайности остатков в зависимости от каждого фактора, входящего в уравнение;
- случайности остатков в зависимости от расчетных значений.

Наличие смещенности остатков определяется тем, что среднее их значение не равно нулю или статистически значимо отличается от нуля. В уравнениях регрессии, коэффициенты которых определены по методу наименьших квадратов (МНК) или другими методами (единственное решение, ортогональная регрессия), смещенность остатков отсутствует. Как правило, наличие смещенности может иметь место для уравнений балансового вида (уравнение теплового, водного и других видов баланса), где невязки уравнений характеризуют как неучтенные факторы, так и все систематические погрешности составляющих. Смещенность остатков необходимо исключать или путем корректировки свободного члена уравнения или тех коэффициентов и факторов, которые ее обусловили.

Так как много зависимостей в климатологии строится по многолетним рядам климатических характеристик и факторов (восстановление по аналогам, восстановление по рядам формирующих факторов и т.д.), необходим анализ случайности остатков в зависимости от времени, который может осуществляться двумя путями:

- применение известных статистических критериев оценки случайности и стационарности (критерии Стьюдента, Фишера и другие) [4-6];

- применение графического анализа остатков в зависимости от времени.

При случайном характере остатков от времени будет иметь место полоса рассеивания параллельная оси времени (рис.2). При неслучайном характере возможны следующие основные варианты, как показано цифрами на рис.2:

(1) полоса разброса остатков сужается или расширяется, что связано с непостоянством дисперсии остатков во времени;

(2), (3) полоса остатков имеет одинаковую ширину, но изменяется (линейно или нелинейно) в зависимости от времени, что свидетельствует о нестационарности средних значений остатков.

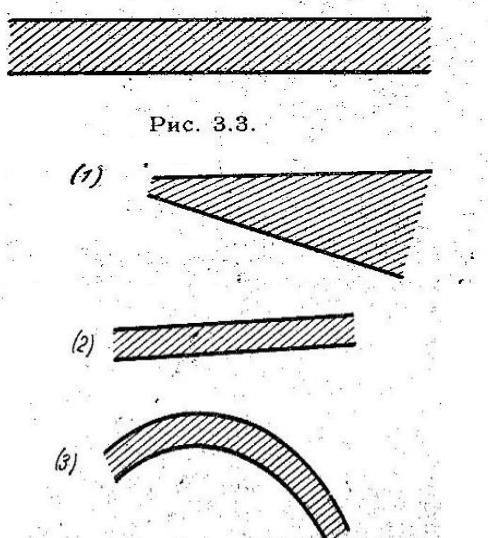


Рисунок 2 – Возможные виды полосы рассеяния для случайных и неслучайных остатков регрессионного уравнения

Установленная зависимость остатков от времени, как правило, обусловлена аналогичной зависимостью в одной или нескольких переменных уравнения. В этом случае необходимо искать причину нестационарности, ее исключать (привести к стационарному виду) или учитывать.

Графики погрешностей строятся в зависимости от каждого фактора (X_i), входящего в уравнение. При этом возможны следующие ситуации, как и в зависимости остатков от времени (рис.2):

- зависимость отсутствует и полоса остатков горизонтальна и симметрична относительно нулевого значения, что свидетельствует о случайности погрешностей;
- зависимость представлена сужающейся или расширяющейся полосой остатков от фактора, что свидетельствует о неоднородности дисперсии остатков, которую надо учитывать взвешенным МНК или предварительным преобразованием Y_i ;
- линейная зависимость остатков от фактора свидетельствует о том, что линейный эффект данного фактора в уравнении исключен неверно;
- нелинейная зависимость остатков от фактора свидетельствует о том, что в уравнение необходимо ввести нелинейные члены от X_i или произвести преобразование Y_i .

При построении зависимости остатков от расчетного значения \hat{Y}_i возможны те же ситуации в полосах рассеивания, что при исследовании остатков от факторов.

Наиболее эффективной является проверка построенного эмпирического уравнения на независимом от расчета материале наблюдений. В этом случае условия проверки соответствуют практическому применению установленных зависимостей. Для независимой проверки часть исходной информации не включается в построение уравнения и используется в качестве «эталона» для сравнения с расчетом. Анализ остатков в случае независимой проверки осуществляется теми же способами: на резко отклоняющиеся экстремумы, в зависимости от времени, факторов и расчетного значения. Необходимо отметить, что должен иметь место оптимум между количеством информации, используемой для построения зависимости и для ее независимой проверки.

Пример построения зависимостей

В качестве примера построения статистических регрессионных моделей рассмотрим построение региональных

интерполяционных зависимостей норм годовых сумм осадков (ХГОД) от факторов для территории Черноморского побережья Кавказа по данным 21 метеостанции. В качестве факторов выбраны: широта (ϕ), долгота (λ) и высота (H) метеостанций. Для построения зависимости $X_{ГОД}=f(\phi, \lambda, H)$ был проведен количественный анализ эффективности функциональных преобразований факторов и отклика. Помимо линейной зависимости рассматривались также функциональные преобразования в десятичные логарифмы. В результате были выбраны следующие четыре структуры:

$$X_{ГОД}=f(\phi, \lambda, H), \quad (10)$$

$$X_{ГОД}=f(\lg\phi, \lg\lambda, \lg H), \quad (11)$$

$$\lg X_{ГОД}=f(\lg\phi, \lg\lambda, \lg H), \quad (12)$$

$$\lg X_{ГОД}=f(\phi, \lambda, H) \quad (13)$$

Для оценки эффективности функциональных преобразований и выбора наиболее эффективной структуры пространственной зависимости все коэффициенты парной корреляции были сведены в одну таблицу 1, где: (1) – факторы без преобразования, \lg - преобразование фактора в логарифм, $\lg X_{ГОД}$ – преобразование осадков в логарифм. В этой же таблице приведены средние значения коэффициентов парной корреляции (по модулю) для каждого вида функциональных преобразований. Из анализа данных табл.1 следует, что для широты и долготы парная связанность увеличивается, если осуществить преобразование сумм осадков в логарифмы, при этом сами факторы в логарифмы можно и не переводить. Для высоты местности коэффициент парной корреляции возрастает, если для нее осуществить логарифмические преобразования. В результате, если в уравнение будут входить все три фактора, то наибольший средний коэффициент парной корреляции $r=0.67$ имеет место только при логарифмическом преобразовании факторов, т.е. при структуре уравнения (13).

Таблица 1 – Коэффициенты парной корреляции (r) при функциональных преобразованиях

Вид преобразования	Факторы			Среднее
	φ	λ	H	
(1)	-0.44	-0.73	0.67	0.61
\lg	-0.45	-0.73	0.72	0.63
$(1) \lg X_{год}$	-0.54	0.82	0.65	0.67
$\lg, \lg X_{год}$	-0.55	0.82	0.53	0.63

Полученное уравнение со статистически значимыми коэффициентами имеет следующий вид:

$\lg X_{год} = 0.258\varphi + 0.340\lambda - 21.520$ при $R=0.89$ (14)
с вкладами факторов: φ - 85.6% и λ - 14.4%.

Если помимо аддитивных слагаемых в уравнение включить еще произведения факторов, то получены следующие два статистически значимых уравнения:

$\lg X_{год} = 0.008234\varphi * \lambda - 11.0703$ при $R=0.89$ (15)
и с включением высоты:

$\lg X_{год} = -0.3790\varphi - 0.0491H + 0.001126\varphi * H + 19.795$ при $R=0.90$ (16)

с вкладами факторов: φ - 36.2%, H - 39.7% и $\varphi * H$ - 24.1%.

Все остальные структуры уравнений дают меньшие коэффициенты множественной корреляции. Например, если выбрать комбинированную структуру $X_{год}=f(\varphi, \lambda, \lg H)$, то полученные уравнения имеют вид:

$X_{год} = 389.8\lambda + 377.1\lg H - 14367$ при $R=0.83$ (17)
с вкладами факторов: λ - 78.2% и $\lg H$ - 21.8%.

и с включением произведений факторов:

$X_{год} = 25.148\varphi * \lambda - 41881$ при $R=0.82$. (18)

Список использованной литературы

- Лобанов В.А., Никитин В.Н. Региональные модели определения характеристик максимального стока в зависимости от гидрографических факторов. Метеорология и гидрология, № 11, 2006, с.60-69.
- Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975. - 534 с.
- Н.Дрейпер, Г.Смит Прикладной регрессионный анализ. М., Статистика, 1973. – 392 с.

4. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 598 с.
5. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. / В.Н. Малинин. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.
6. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами - М.: Мир, 1973. - 957 с.

УДК 621.396.96

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛАКА

*Полянский Владимир Александрович¹,
Зубакин Игорь Александрович²*

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации», Санкт-Петербург, Россия,
polyanskij.vladimir@inbox.ru¹, zubakin_@mail.ru²*

Аннотация. В статье сформулирована статистическая задача обнаружения специфической радиолокационной цели – радиоактивного облака. Предложено осуществлять классификацию метеоявлений с учётом обнаружения радиоактивных облаков и определения их уровня активности. В интересах авиации важно не только обходить очаги грозообразований, но и очаги радиационных загрязнений в атмосфере.

Ключевые слова: радиолокатор, радиоактивное облако, эффективная площадь рассеяния.

STATISTICAL TASK OF RADAR DETECTION RADIOACTIVE CLOUD

*Polyansky Vladimir Alexandrovich¹, Zubakin Igor Alexandrovich²
SPbUCA, St. Petersburg, Russia, polyanskij.vladimir@inbox.ru¹,
zubakin_@mail.ru²*

Abstract. The article formulated the statistical task of detecting a specific radar target - a radioactive cloud. It is proposed to classify

meteorological phenomena taking into account the detection of radioactive clouds and determining their level of activity. In the interests of aviation, it is important not only to bypass the foci of lightning, but also the foci of radiation pollution in the atmosphere.

Keywords: radar, radioactive cloud, effective scattering area.

В авиации одним из важнейших видов информации является метеоинформация [1]. В метеорологии оценку состояния атмосферы в воздушном пространстве можно осуществлять, например, по данным метеорологического радиолокатора, при этом в ходе дальнейшей цифровой обработки сигналов раскрашивают в условные цвета различные метеообразования для повышения дешифрируемости [2] различных видов облачности, осадков, ливней, гроз и градов. Использование данной информации экипажами воздушных судов и диспетчерами служб управления воздушным движением повышает безопасность полётов за счёт обхода опасных участков воздушного пространства. Для обхода радиоактивных облаков с целью исключения воздействия радиации на корпус воздушного судна и пассажиров в нём необходимо решить задачу обнаружения таких образований и дополнить существующую классификацию [1], что повысит срок службы воздушных судов и безопасность пассажиров, так как потребуется обходить не только очаги грозовых образований, но и очаги радиационных.

Известный способ решения задачи идентификации радиоактивного облака опирается на предварительно измеренные параметры воздушной среды: температуры, давления, влажности и др. Измерение данных параметров происходит непосредственно в зоне нахождения радиоактивного облака, что является недостатком данного метода. Дистанционное определение параметров атмосферы опирается на принципы радиолокации. Радиолокационное наблюдение в интересах метеорологии развивается не один десяток лет в направлениях [3]: наблюдение метеообразований, обнаружение и опознавание грозовых и градовых облаков, измерение влажности воздуха, атмосферных осадков и водности облаков. Актуальной задачей является обнаружение радиоактивного облака радиолокационными методами и его дезактивация.

В работе [4] В.А. Полянским была предложена трековая модель рассеяния электромагнитной волны на радиоактивном

облаке, состоящем из множества треков. Трек – это совокупность дискретных упорядоченных структур, возникающих в окрестности траектории движения альфа-частицы, включающая первичные и вторичные электроны, образованные под воздействием на молекулы воздуха альфа-частиц. Рассматривая треки как проводящие цилиндры, которые могут быть охарактеризованы эффективной площадью рассеяния (ЭПР), с учётом времени их жизни, было получено значение, связывающее ЭПР с радиоактивностью облака и ЭПР цилиндрической поверхности. Для типового значения длины волны радиолокатора $\lambda = 10$ см при активности облака 10^{-3} Кюри было получено значение ЭПР, равное $3 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ [4]. Полагая, что объём выброса не меньше, чем элемент разрешения радиолокатора, такое облако может быть обнаружено обычным метеорологическим радиолокатором.

Для повышения чувствительности приёма при решении задачи обнаружения сигнала, отражённого от облака, используется резонансный метод. Сигнал, принятый взаимной антенной от естественного, не радиоактивного, облака, будет при этом равен нулю [5]. В патенте [6] и статье [7] был предложен способ дистанционной идентификации радиоактивного облака резонансным методом на основе облучения окружающего пространства электромагнитной волной с круговой поляризацией, длина волны которой равна удвоенной длине трека альфа-излучения. По наличию в отражённом сигнале сигнала с частотой, равной частоте модуляции, принимают решение о наличии радиоактивного облака в исследуемой области воздушного пространства. В патенте [8] предложен способ дистанционного измерения уровня радиоактивности облака. Обзор исследований в области радиолокационного мониторинга радиоактивных атмосферных неоднородностей техногенного происхождения выполнен в статье [9].

Задача обнаружения отражённого сигнала сформулирована в статистической теории оптимального приёма и сводится к сравнению отношения правдоподобия, полученного по двум разным гипотезам, с порогом, определяемым критерием качества выделения сигнала на фоне помех. Спецификой данной задачи является цель – радиоактивное облако, ЭПР которого отличается от ЭПР обычных облаков. В качестве модели шума выступает аддитивный белый гауссовский шум со спектральной плотностью мощности $N_0/2$. Полученные в статистической теории формулы

для вероятностей ложной тревоги $p_{л.т.}$ и пропуска сигнала $p_{п.с.}$ зависят от энергетического отношения сигнал/шум и не зависят от структуры сигнала, который может быть простым или сложным, одиночным или представлять собой группу импульсов (пакет). Отличие данной задачи от классической связано со значением статистики (корреляционного интеграла) по нулевой гипотезе: при истинности нулевой гипотезы значение корреляционного интеграла отлично от нуля. В связи с этим обе условные плотности вероятностей будут смещены относительно начала координат. Выбирая нормированный порог h , можно получить требуемые значения двух вероятностей. На рис. 1 показаны два распределения для случая обнаружения сигнала со случайной амплитудой, распределённой по закону Релея.

Величина коэффициента подавления эхо-сигналов от гидрометеоров (облаков и осадков) в зависимости от поляризационных параметров отражённой волны определяется по формуле [5]

$$n(r, \beta) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1+r}{1-r} - \sin(2\beta)}} ,$$

где r и β – коэффициент эллиптичности и угол наклона эллипса поляризации волны соответственно. Зависимость коэффициента подавления n от параметра r эхо-сигналов гидрометеоров показана на рис. 2 для различных значений угла наклона эллипса поляризации волны ($\pi/2, \pi/4, \pi/6$), а на рис. 3 показаны характеристики обнаружения, т. е. зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/шум, при различных значениях вероятности ложной тревоги: 0,1; 0,01; 0,001.

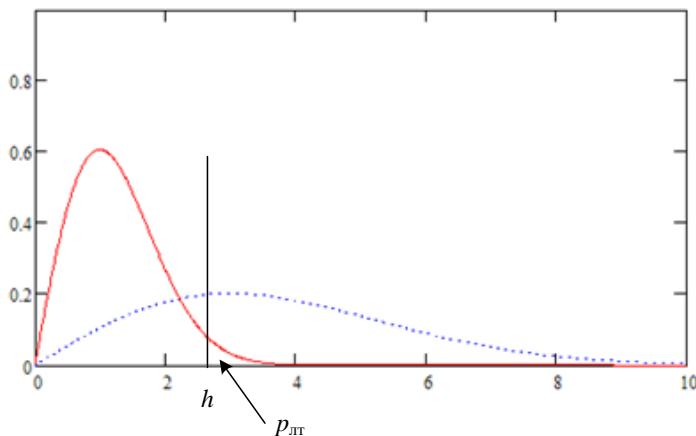


Рисунок 1 – Плотности вероятностей для распределения Релея

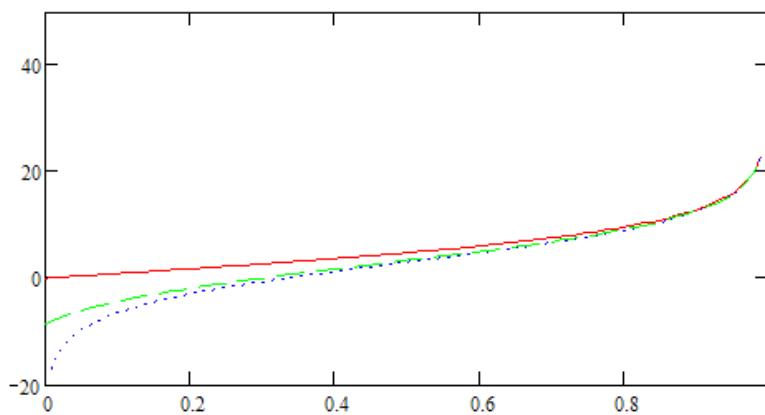


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента подавления n от параметра r при различных β : $\pi/2$ (сплошной график), $\pi/4$ (точечный график), $\pi/6$ (пунктирный график)

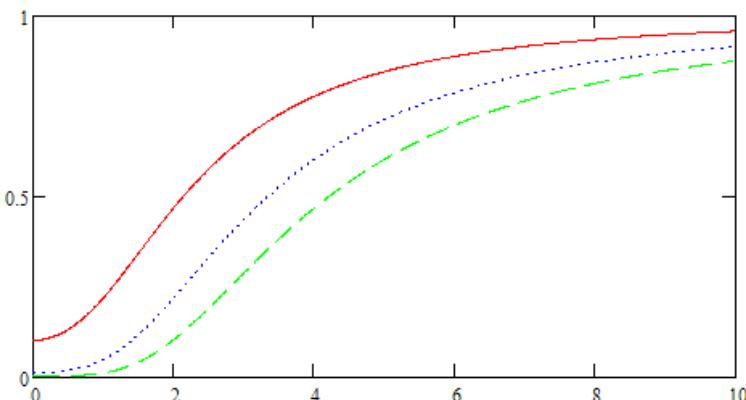


Рисунок 3 – Характеристики обнаружения при различных значениях вероятностей ложной тревоги (0,1 (сплошной график), 0,01 (точечный график), 0,001 (пунктирный график))

Из-за незначительных значений ЭПР техногенных метеообразований даже при аварийных выбросах возникают трудности, связанные с обнаружением слабых сигналов, несущих полезную информацию, на фоне шумов и помех [9]. Особенностью рассмотренной здесь статистической задачи является случайный характер среднего значения амплитуды принятого сигнала, зависящий от степени сферичности капель осадков в облаке. При отклонении капель осадков от идеальной сферической формы, отражённый сигнал будет поляризован эллиптически, поэтому в приёмный тракт пройдёт мощность отраженного сигнала [5]. При отражении электромагнитной волны с круговой поляризацией от сферических капель принятый на взаимную антенну сигнал будет равен нулю.

Заключение

1. Сформулирована статистическая задача обнаружения радиоактивного облака, основанная на трековой физической модели, и построены характеристики обнаружения (зависимости вероятностей правильного обнаружения от вероятностей ложной тревоги при различных отношениях сигнал/шум).

2. Предложено дополнить существующую классификацию метеообразований с учётом радиационной составляющей, выделив несколько градаций уровня радиации в радиоактивном облаке (сильная, умеренная и слабая).

3. Для верификации и развития существующих моделей отражения сигнала от радиоактивного облака и разрабатываемых алгоритмов по-прежнему актуально проведение натурных исследований.

Список использованной литературы

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учебное пособие / Р. М. Ахмедов, А. А. Бибутов, А. В. Васильев и др.; Под ред. С. Г. Пятко и А. И. Красова. – СПб.: Политехника, 2004. – 446 с.: ил.
2. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р. Дуда, П. Харт; Пер. с англ. Г. Г. Вайнштейна и А. М. Васьковского; Под ред. В. Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1976. – 511 с.: ил.
3. Радиолокационные методы исследования Земли. Ю. А. Мельник, С. Г. Зубкович, В. Д. Степаненко и др. Под ред. Ю. А. Мельника. М.: Советское радио, 1980. – 264 с., ил.
4. Обратное рассеяние электромагнитной волны на облаке радиоактивных элементов в воздухе, испускающих альфа-частицы. В. А. Полянский. Журнал технической физики, 2000, т. 70, вып. 2, с. 133–135.
2. Поляризация радиолокационных сигналов. Д. Б. Канарайкин, Н. Ф. Павлов, В. А. Потехин. Под редакцией В. Е. Дулевича. М.: Советское радио, 1966, – 440 с.
10. Патент RU 2758799 C1. Способ дистанционной идентификации радиоактивного облака в атмосфере. Опубл. 02.11.2021 / Полянский В. А., Грунина Н. А.; заявитель Полянский В. А. – 9 с.
11. Grunina N. A., Polyanskii V. A. Determination of the Radioactive Status of Clouds in the Lower Atmospheric Layer. Russian Meteorology and Hydrology, 2025, vol. 50, № 1, p. 83–85.
12. Патент RU 2797041 C1. Способ дистанционной оценки уровня активности радиоактивного облака в атмосфере. Опубл. 31.05.2023 / Полянский В. А., Грунина Н. А.; заявитель Полянский В. А. – 9 с.
13. Дистанционный радиолокационный контроль радиоактивных выбросов в атмосферу. В. И. Веремьев, О. А. Маркелов. Доклады БГУИР № 7(93), 2015, с. 77–82.

**ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО
МИКРОПЛАСТИКА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ
СИБИРИ В 2021-2023 ГОДАХ**

Реднин Алексей Романович, Франк Юлия Александровна
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
государственный университет», г. Томск, Россия,
alexredninin@yandex.ru

Аннотация. Данное исследование посвящено качественной оценке загрязнения окружающей среды атмосферным микропластиком на территории Западной Сибири. В ходе работы были отобраны пробы снежного покрова в 22 точках. Самая южная точка – город Белокуриха (Алтайский край), самая северная – посёлок Тазовский (Ямало-Ненецкий автономный округ). Отбор проб проводился в период максимального снегонакопления в конце февраля – начале марта ежегодно с 2021 по 2023 гг. Для идентификации извлечённых частиц использовалась микроскопия, совмешённая со спектроскопией комбинационного рассеяния (микро-Раман), и электронные библиотеки спектров – Open Specy и Spectra Base. В результате анализа было выявлено, что преобладающим полимером, составляющим микропластик в сугробах Западной Сибири, является PET (полиэтилентерефталат), который применяется для производства упаковки и синтетического текстиля, реже встречались PP (полипропилен), PE (полиэтилен) и PS (полистирол). В ходе предварительного сравнения данных, полученных с использованием двух электронных библиотек – Open Specy и Public Spectra, было установлено, что Open Specy позволяет более точно идентифицировать «зашумлённые» спектры PET и PP. Результаты данного исследования применимы для становления мониторинговой сети микропластикового загрязнения окружающей среды, моделирования распространения частиц и разработки нормативно-правовых актов в области использования пластиковых изделий.

Ключевые слова: микропластик, микро-Раман, спектроскопия, Западная Сибирь, снег, загрязнение атмосферы, Open Specy, Spectra Base.

POLYMER COMPOSITION OF ATMOSPHERIC MICROPLASTICS IN WESTERN SIBERIA IN 2021-2023

Rednikin Alexey Romanovich, Frank Yulia Alexandrovna
Tomsk State University, Tomsk, Russia, alexrednikin@yandex.ru

Abstract. This study is aimed to the qualitative assessment of environmental pollution by atmospheric microplastics on the territory of Western Siberia. In the course of the work, snow cover samples were collected at 22 locations. The southernmost point is the city of Belokurikha (Altai region), the northernmost is Tazovskij (Yamalo-Nenets autonomous region). Sampling was carried out during the period of maximum snow accumulation in late February to early March each year from 2021-2023. Microscopy combined with Raman spectroscopy (micro-Raman) and electronic spectra libraries - Open Specy and Spectra Base - were used to identify the extracted polymers. As a result of the analysis, it was revealed that the predominant polymer on the territory of Western Siberia is PET (polyethylene terephthalate), which is used in synthetic textiles and packaging materials, to a lesser extent PP (polypropylene), PE (polyethylene) and PS (polystyrene) were detected. A preliminary comparison of data from two digital libraries, Open Specy and Public Spectra, showed that Open Specy was more accurate in identifying the "noisy" spectra of PET and PP. The results of this study are applicable to the establishment of an environmental microplastic pollution monitoring network, the modelling of plastic particle distribution, and the development of regulations on the use of plastic products.

Keywords: Microplastics, micro-Raman, spectroscopy, Western Siberia, snow, air pollution, Open Specy, Spectra Base

В 2023 году мировое производство пластика превысило 400 млн тонн [14], при этом доля утилизации пластиковых изделий не превышает 20 % [17]. Нахождение пластиковых отходов на свалках, в том числе несанкционированных, под влиянием физических, механических, биологических и химических факторов приводит к образованию атмосферного микропластика (МП) – частиц пластика размером до 5 мм по наибольшей оси, которые распространяются в атмосферной среде [8]. Важным источником атмосферного МП в виде волокон служит

синтетический текстиль [10, 16, 20]. Вдыхание таких микрочастиц пластика потенциально может привести к различным негативным физиологическим изменениям в организме человека, например, к хроническим воспалениям и окислительному стрессу [4, 7, 21]. Для принятия верных управлеченческих решений в области производства, использования и утилизации пластика, необходимо проводить оценку содержания МП в окружающей среде и выявлять его источники.

Для реализации данной цели был проведён мониторинг атмосферного МП в сугробном покрове на территории Западной Сибири. Отбор проб осуществлялся в период максимального снегонакопления – в конце февраля и начале марта, ежегодно с 2021 по 2023 гг. Керны снега отбирали с помощью металлического пробоотборника длиной 1 м и площадью сечения 78,5 см² в 22 точках на расстоянии 300-400 км друг от друга в Томской, Новосибирской, Омской, Тюменской, Кемеровской областях, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском автономных округах и Алтайском крае. Исследуемая территория включала в себя неурбанизированные местности вблизи городов (в том числе с населением свыше 1 млн), сельскохозяйственные угодья и удаленные участки (автозимник и линия полярного круга). Дистанция точки отбора проб до автомобильной трассы с твёрдым покрытием составляла от 50 до 800 м. Транспортировка и хранение проб велась при отрицательной температуре воздуха в плотных полиэтиленовых пакетах.

Извлечение частиц микропластика из проб велось согласно способу, предложенному ранее [1]. В пробы талого снега добавлялась химически чистая соль NaCl для увеличения плотности раствора до 1,2 г/см³ и проводилась разделение частиц по плотности в течение 24 часов. В верхнюю фазу (1/2) раствора добавляли 36 % H₂O₂ для окисления органических остатков и оставляли пробу еще на 24 часа. На следующем этапе проводилась фильтрация проб с помощью вакуумного насоса для сбора МП на подложке. В качестве подложки использовались стекловолоконные фильтры с диаметром пор 1 мкм. Все фильтры с частицами были перемещены в чашки Петри, где хранились до последующих манипуляций. В ходе лабораторной обработки проб использовались металлические инструменты и стеклянная посуда для предотвращения контаминации проб. Контроль качества исследования осуществлялся проведением тех же манипуляций в

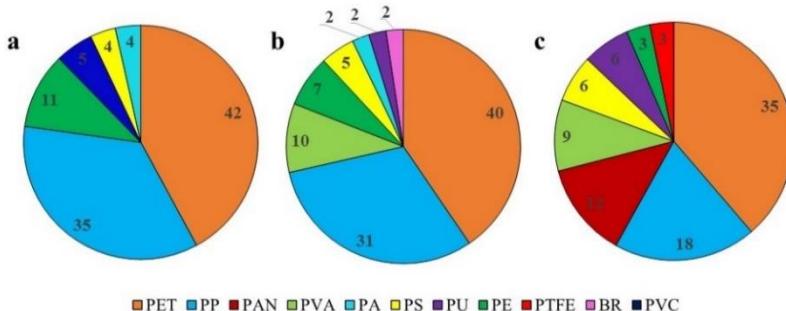
контрольных пробах. Новые полиэтиленовые мешки, аналогичные тем, что использовались в качестве тары для проб, споласкивали дистиллированной водой и использовали слив вместо талого снега в контрольных пробах.

Определение полимерного состава извлечённых частиц МП велось с использованием микроскопии, совмешённой со спектроскопией комбинационного рассеяния (микро-Раман) на конфокальном рамановском дисперсионном спектрометре InVia Basic (Renishaw, Великобритания), оснащенным микроскопом DM 2500 M (Leica, Германия) с объективами 5x, 20x и 50x, как ранее описано [5]. Данный метод имеет ряд преимуществ: сохраняет целостность извлечённых частиц, анализирует частицы размером от 1 мкм и не требует предварительной калибровки с эталонными материалами [11]. Анализ полученных спектров проводился с помощью автоматической электронной библиотеки OpenSpecy [13]. Для анализа спектров по указанным базе данных использовали автоматический поиск, загружая файлы с расширением .cvs. Автоматически идентифицированные спектры учитывались, если их значения коэффициента корреляции Пирсона с данными из библиотеки превышали 0,8. В случаях, когда автоматическая идентификация показывала два и более спектра с коэффициентом корреляции Пирсона больше 0,8, использовалась электронная база данных Spectra Base [19] для визуального сравнения спектров с эталонными данными.

Всего было проанализировано 42 пробы 2021 года, 22 пробы 2022 года и 24 пробы 2023 года. На сегодняшний день продолжается работа по идентификации полимерного состава микропластика в пробах 2022-2023 гг. Результаты качественного анализа извлечённых и уже идентифицированных частиц микропластика представлены на Рисунке 1. Структура идентифицированных полимеров из проб 2021 года позволяет сравнить возможности двух электронных библиотек спектров – Open Specy (Рисунок 1а) и Public Spectra [15], которая использовалась ранее [6]. Соотношение полимеров, идентифицированных с использованием доступной на сегодняшний день базы Open Specy и составляющих МП в пробах 2022 и 2023 года, представлены на Рисунке 1б и 1с.

Полиэтилентерефталат (PET) составлял наибольшую долю (более 30 %) среди всех идентифицированных полимеров за все годы. Также, с меньшими долями регистрировались во все

периоды полипропилен (PP), полиэтилен (PE) и полистирол (PS). Анализ спектров с использованием Open Specy показал, что помимо PET, большую долю в полимерном составе МП имеет и PP (более 15 %), однако при использовании Public Spectra доля PP составляла 10 % [6]. Обе электронные библиотеки с сравнительно схожей долей идентифицировали PE (11 %) и PS (4-6 %). Стоит отметить, что доля PS оставалась стабильной на протяжении всех исследуемых временных периодов (4-6 % от всех идентифицированных полимеров).



Обозначения: PET – полиэтилентерефталат, PP – полипропилен, PAN – поликарилонитрил, PVA – поливиниловый спирт, PA – полиамид, PS – полистирол, PU – полиуретан, PE – полиэтилен, PTFE – политетрафторэтилен, BR – бутадиеновый каучук, PVC – поливинилхлорид

Рисунок 1 – Структура идентифицированных полимеров по годам, в % (а – 2021, б – 2022, в – 2023)

Таким образом, судя по данным спектроскопии, основными полимерами, составляющими атмосферный МП на территории Западной Сибири, являются: PET и PP. Также заметные доли в структуре загрязнения принадлежат PE, PVA, PS и (в пробах 2023 года) PAN. Среди потенциальных источников загрязнения можно выделить синтетический текстиль, производимый из PET, PP, PAN и PA [9], а также различные упаковочные материалы и изделия, изготавливаемые из PP, PE, PVA и PS [2, 18]. Доминирующее положение PET-волокон в структуре микропластикового загрязнения выявлено также в Альпийских снегах Австрии [12] и

снеговом покрове Антарктиды [3]. Сравнение данных, полученных с помощью двух электронных библиотек спектров с автоматическим поиском, показало, что Open Specy более точно позволяет идентифицировать «зашумлённые» спектры распространенных полимеров, например, PET и PP, а Public Spectra имеет более широкую базу эталонных спектров и помогает выявить миорные полимеры, однако с низкой степенью сходства. Данные библиотеки также имеют различный тип доступа – бесплатный (Open Specy) и условно бесплатный (Public Spectra).

Результаты данного исследования применимы для моделирования распространения микрочастиц пластика с целью понимания механизма их транспорта и выявления источников загрязнения, так как знание полимерного состава частиц необходимо для расчётов траектории движения пластиковых частиц не только с учетом их формы и размеров, но и плотности. Перспективы развития исследований заключаются в необходимости становления глобальных и региональных мониторинговых сетей для контроля микропластикового загрязнения окружающей среды. Данные о полимерном составе МП и инструментах для его идентификации позволят разрабатывать научно обоснованные нормативно-правовые акты, направленные на контроль за производством, использованием и утилизацией пластиковой продукции, а также проектировать и эксплуатировать технологии для очистки компонентов окружающей среды от МП.

Список использованной литературы

1. Патент № 2815791 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/28. Способ обработки проб снежного покрова для анализа на микропластик: № 2023125164: заявлено: 02.10.2023: опубликовано: 21.03.2024 / Воробьев Д. С., Франк Ю. А., Редникин А. Р.; патентообладатель: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – 7 с.
2. Andrade, A.L. The plastic in microplastics: A review // Mar. Pollut. Bull. 2017. Vol. 119. P. 12–22.
3. Aves, A.R., Revell, L.E., Gaw, S., Ruffell, H., Schuddeboom, A., Wotherspoon, N.E., LaRue, M., McDonald, A.J. First evidence of microplastics in Antarctic snow // Cryosphere. 2022. Vol. 16. P. 2127–2145.

4. Dong, C.-D., Chen, C.-W., Chen, Y.-C., Chen, H.-H., Lee, J.-S., Lin, C.-H. Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment // *J. Hazard. Mater.* 2020. Vol. 385. Art. 121575.
5. Frank, Y., Khusanov, A., Yuldashev, M., Vorobiev, E., Rakhmatullina, S., Rednikin, A., Tashbaev, S., Mamatkarimova, S., Ruchkina, K., Namozov, S. et al. Microplastics in the Syr Darya River Tributaries, Uzbekistan // *Water.* 2023. Vol. 15. Art. 3698. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15203698>
6. Frank, Y.A., Tatsii, D., Rednikin, A.R., Plach, A., Rakhmatullina, S.N., Vorobiev, D.S., Stohl, A. It is snowing microplastics in Western Siberia // *Environmental Pollution.* 2025. Vol. 364, № 1. P. 125293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125293>.
7. Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B. Microplastics in air: Are we breathing it in? // *Curr. Opin. Environ. Sci. Health.* 2018. Vol. 1. P. 1–5.
8. Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made // *Sci. Adv.* 2017. Vol. 3. Art. e1700782.
9. Jia, Q., Duan, Y., Han, X., Sun, X., Munyaneza, J., Ma, J., Xiu, G. Atmospheric deposition of microplastics in the megalopolis (Shanghai) during rainy season: Characteristics, influence factors, and source // *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 847. Art. 157609.
14. Li, Y., Shao, L., Wang, W., Zhang, M., Feng, X., Li, W., Zhang, D. Airborne fiber particles: Types, size and concentration observed in Beijing // *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 705. P. 135967.
15. Ly, N.H., Kim, M.-K., Lee, H., Lee, C., Son, S.J., Zoh, K.-D., Vasseghian, Y., Joo, S.-W. Advanced microplastic monitoring using Raman spectroscopy with a combination of nanostructure-based substrates // *J. Nanostructure Chem.* 2022. Vol. 12. P. 865–888.
16. Materić, D., Kasper-Giebl, A., Kau, D., Anten, M., Greilinger, M., Ludewig, E., Van Sebille, E., Röckmann, T., Holzinger, R. Micro- and Nanoplastics in Alpine Snow: A New Method for Chemical Identification and (Semi)Quantification in the Nanogram Range // *Environ. Sci. Technol.* 2020. Vol. 54. P. 2353–2359.
17. OpenSpecy // Open Analysis: Electronic Spectra Base. URL: <https://www.openanalysis.org/openspecy/> (дата обращения: 01.03.2025).
18. Plastics – the Facts 2023 / Plastics Europe. 2023. URL: <https://plasticseurope.org/changingplasticsforgood/the-plastics-transition/> (дата обращения: 11.03.2025).

19. PublicSpectra: Spectral search. 2024. URL: <https://publicspectra.com/SpectralSearch> (дата обращения: 17.06.2024).
20. Rednikin, A.R., Frank, Y.A., Rozhin, A.O., Vorobiev, D.S., Fakhrullin, R.F. Airborne microplastics: challenges, prospects, and experimental approaches // Atmosphere. 2024. Vol. 15. P. 1380. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos15111380>
21. ReShaping Plastics: Pathways to a Circular, Climate Neutral Plastics System in Europe / SYSTEMIQ. 2022. 95 p.
22. Song, X.-C., Lin, Q.-B., Zhang, Y.-C., Li, Z., Zeng, Y., Chen, Z.-F. Rapid classification of virgin and recycled EPS containers by Fourier transform infrared spectroscopy and chemometrics // Food Addit. Contam. Part A. 2018. Vol. 35. P. 2220–2229.
23. SpectraBase: Online spectral database. 2024. URL: <https://spectrabase.com/> (дата обращения: 01.03.2025).
24. Syafina, P.R., Yudison, A.P., Sembiring, E., Irsyad, M., Tomo, H.S. Identification of fibrous suspended atmospheric microplastics in Bandung Metropolitan Area, Indonesia // Chemosphere. 2022. Vol. 308. P. 136194.
25. Wright, S.L., Kelly, F.J. Plastic and Human Health: A Micro Issue? // Environ. Sci. Technol. 2017. Vol. 51. P. 6634–6647.

УДК: 502.131.1:[551.46+551.5+556]

**РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И ЭКОЛОГИИ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ
УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ
РЕСУРСАМИ**

Розыкулыев Базарбай

*Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Даиогуз,
Туркменистан*

Научный руководитель – Балтаева Саяра Алтыбаевна

Аннотация. В статье рассматривается развитие гидрометеорологических и экологических исследований в контексте изменения климата, устойчивого управления

природными ресурсами и защиты окружающей среды. Особое внимание уделяется новейшим достижениям в области мониторинга погодных и климатических явлений, а также экологических процессов, включая методы математического моделирования и мониторинга с использованием спутниковых технологий. Обсуждаются вызовы и перспективы этих исследований, а также их значение для предотвращения экологических катастроф и формирования устойчивых стратегий управления природными системами.

Ключевые слова: гидрометеорология, изменение климата, глобальное потепление, дистанционное зондирование земли, управление природными ресурсами

DEVELOPMENT OF RESEARCH IN HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY: CHALLENGES AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES

Rozykulyyev Bazarbay

Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan

Scientific supervisor – *Baltaeva Sayara Altybaevna*

Abstract. The article examines the development of hydrometeorological and ecological research in the context of climate change, sustainable management of natural resources and environmental protection. Particular attention is paid to the latest achievements in the field of monitoring weather and climate phenomena, as well as ecological processes, including methods of mathematical modeling and monitoring using satellite technologies. The challenges and prospects of these studies, as well as their importance for preventing environmental disasters and developing sustainable strategies for managing natural systems are discussed.

Keywords: hydrometeorology, climate change, global warming, remote sensing, natural resource management

Гидрометеорология и экология являются важнейшими областями науки, которые напрямую связаны с изменениями окружающей среды и климатическими процессами. В последние десятилетия исследования в этих областях приобрели особую

значимость в связи с глобальными вызовами, такими как изменение климата, загрязнение водных ресурсов, утрата биологического разнообразия и необходимость адаптации к новому климатическому режиму.

Целью этой статьи является обзор современных достижений и тенденций в гидрометеорологии и экологии, а также предложение направлений для дальнейших исследований, которые могут способствовать более эффективному управлению природными ресурсами и минимизации воздействия антропогенных факторов на экосистемы.

Развитие гидрометеорологических исследований

История и эволюция гидрометеорологии.

Гидрометеорология как наука начала развиваться в конце XIX — начале XX века, когда были установлены первые системы наблюдений за атмосферными явлениями и осадками. Первые погодные станции появились в разных странах, начиная с конца 1700-х годов. Однако настоящий расцвет гидрометеорологии начался в 20 веке с развитием технологий наблюдений, включая установку барометров, термометров и анемометров. В 1950-х годах с развитием вычислительной техники появились первые компьютерные модели для прогнозирования погоды. В XX веке с развитием технологий, таких как радиозонды, метеорологические спутники и системы наблюдения, стало возможным не только улучшить точность прогнозов, но и начать изучение долгосрочных климатических изменений. Современное гидрометеорологическое исследование уже невозможно без использования спутниковых данных, которые дают более точные данные о состоянии атмосферы и водоемов в реальном времени.

Прогнозирование погоды и изучение климатических изменений связано с нарастающим интересом к моделированию климатических процессов и их взаимодействию с экосистемами. Одним из основоположников современных методов математического моделирования гидрометеорологических процессов является работа Manabe et al. (1967) (Manabe et al., 1967), которая заложила основы для разработки климатических моделей, предсказывающих глобальные изменения.

1. *Развитие международного сотрудничества:* Важным этапом в развитии гидрометеорологии стало международное

сотрудничество. Создание Всемирной метеорологической организации (ВМО) в 1950 году сыграло ключевую роль в стандартизации методов наблюдения, обмене данными между странами и развитии глобальных прогнозов. ВМО также координирует работу по сбору и обмену гидрометеорологическими данными через глобальную сеть станций.

2. *Ключевые достижения:* Примером важного достижения является запуск спутников серии «Терра» и «Аqua» NASA, которые предоставляют данные о глобальных изменениях, таких как таяние ледников, повышение уровня моря и изменении паттернов осадков.

Современные методы гидрометеорологии

Современные технологии в гидрометеорологии включают использование компьютерных моделей, спутниковых технологий и дистанционного зондирования Земли для наблюдения за атмосферными и водными ресурсами. Методы численного моделирования позволяют более точно прогнозировать экстремальные погодные явления и климатические катастрофы. Например, последние исследования показывают, как модели климатического изменения, такие как CMIP6 (CMIP6, 2021), позволяют оценивать влияние антропогенных факторов на глобальное потепление, а также предсказать возможные сценарии повышения температуры на планете, изменения уровней осадков и экстремальных погодных явлений.

Примером применения современных методов в Центральной Азии является использование спутниковых данных для прогнозирования засух и поддержания водных ресурсов в Казахстане, Туркменистане где острая проблема водоснабжения требует точных моделей для планирования ирригации и управления водными ресурсами (Zhanibekov et al., 2019).

1. *Индивидуальные модели для экосистем и водных ресурсов:* Современные гидрометеорологические модели не только фокусируются на прогнозах погоды, но и включают анализ экосистем и водных ресурсов. Например, в регионах, подверженных засухам, модели могут предсказывать не только дефицит осадков, но и влияние на водоснабжение и сельское хозяйство.

2. *Большие данные и машинное обучение:* В последние годы активно используется анализ больших данных и машинное обучение для улучшения прогнозов. С помощью алгоритмов ИИ можно анализировать обширные данные о прошлом климате и погодных явлениях для создания более точных прогнозов.

Прогнозирование экстремальных погодных явлений. Глобальное изменение климата ведет к увеличению частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. По данным Межправительственной панели по изменению климата (IPCC), такие явления, как ураганы, засухи и наводнения, уже становятся более частыми и разрушительными. Спутниковые данные и метеорологические модели сегодня играют ключевую роль в прогнозировании и смягчении последствий этих катастроф IPCC, 2021.

В Центральной Азии, особенно в Таджикистане и Киргизии, увеличение числа экстремальных погодных событий, таких как паводки и сухие периоды, требует применения новых методов прогнозирования и управления рисками, которые активно разрабатываются в рамках региональных климатических программ (MIRG, 2017).

1. *Изменение частоты и интенсивности экстремальных событий:* Климатические изменения, вызванные антропогенными факторами, уже приводят к увеличению частоты экстремальных погодных явлений. Например, исследования показывают, что ураганы становятся более интенсивными, а засухи — более продолжительными. Для таких явлений, как наводнения, важно учитывать не только погодные условия, но и динамику состояния водоемов.

2. *Технологии раннего предупреждения:* Развитие спутниковых технологий и передовых систем мониторинга позволяет создавать более точные системы раннего предупреждения для населения. Например, в некоторых странах используются системы мониторинга с использованием «умных» датчиков для оценки состояния водоемов, что помогает избежать затоплений.

Использование спутниковых технологий

Современные спутниковые технологии, такие как данные Landsat и MODIS, активно используются для мониторинга состояния экосистем Центральной Азии. В Узбекистане, например, с помощью спутниковых данных отслеживают

изменения в площади орошаемых земель и используют эту информацию для оптимизации водных ресурсов (Akhmedov et al., 2021).

Современные спутники «Гоец-16» и «Суоми НРР», активно используются для мониторинга не только погоды, но и состояния экосистем. Эти спутники способны в реальном времени отслеживать изменения в атмосфере, водоемах, а также в растительности и водных ресурсах. Например, спутники NASA и ESA используют технологии дистанционного зондирования для наблюдения за состоянием ледников, уровнями воды в реках и озерах, а также за состоянием лесов, что позволяет оперативно реагировать на изменения, связанные с климатом.

1. *Прогнозирование уровня воды и контроля за водными ресурсами:* Современные спутники, такие как «Sentinel-1» и «Sentinel-2» от Европейского космического агентства, используются для мониторинга уровня воды в реках и озерах, что имеет важное значение для предотвращения наводнений и засух.

2. *Точное картографирование экосистем:* Спутниковые данные играют ключевую роль в мониторинге состояния экосистем. Например, данные о вырубке лесов и загрязнении атмосферы помогают прогнозировать последствия этих процессов для локальных и глобальных экосистем.

Современные подходы в экологии

Экологический мониторинг и устойчивое управление природными ресурсами. Экологический мониторинг стал неотъемлемой частью устойчивого управления природными ресурсами. В последние десятилетия ученые разрабатывают новые методы для более точной оценки состояния экосистем, включая использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия, оценки качества воды и загрязнения атмосферных и водных ресурсов (Nagendra et al., 2021).

Центральная Азия сталкивается с уникальными экологическими проблемами, такими как опустынивание и потеря биоразнообразия в районах, подверженных интенсивному сельскому хозяйству. В Узбекистане, например, разработаны инициативы по восстановлению биоразнообразия в прикаспийской области, используя данные экологического мониторинга для защиты местных экосистем UNDP, 2020 (UNDP, 2020).

Влияние изменения климата на экосистемы. Климатические изменения оказывают глубокое влияние на экосистемы и биоразнообразие. Например, изменение температурных режимов и режимов осадков влечет за собой изменения в экосистемных услугах, таких как регулирование водных ресурсов и продуктивности сельского хозяйства. Влияние изменения климата на флору и фауну Центральной Азии также требует внимательного анализа, поскольку засухи, повышение температуры и изменение состава осадков существенно влияют на сельское хозяйство и водные ресурсы региона.

Взаимодействие экологии и гидрометеорологии. Изменение климата влияет на водные ресурсы, водоемы и экосистемы суши. Повышение температуры увеличивает испарение воды, что в свою очередь влияет на водные ресурсы, а также на экосистемы, зависимые от водоемов. Исследования показывают, что изменение климата может привести к увеличению дефицита воды в разных регионах мира, что влечет за собой последствия для сельского хозяйства и водоснабжения Huntington et al. (2016) (Huntington et al., 2016).

Совместные исследования в гидрометеорологии и экологии

Интеграция данных гидрометеорологии и экологии для устойчивого развития. Совместные исследования в области гидрометеорологии и экологии являются важным шагом на пути к разработке комплексных моделей для устойчивого развития. Интеграция данных, полученных с помощью спутников и метеорологических станций, позволяет создавать более точные и эффективные прогнозы для управления природными ресурсами, предотвращения экокатастроф и разработки стратегий адаптации к изменениям климата.

Применение данных для практического управления. Использование данных для создания практических стратегий управления природными ресурсами и минимизации воздействия изменения климата является важной частью современной научной работы. Примеры успешного применения таких методов можно найти в международных проектах по сохранению лесов Амазонии и защите водных ресурсов в Африке, а также в Центральной Азии. Например, в Казахстане внедрение методов управления водными ресурсами с использованием спутниковых данных помогает

улучшить планирование водоснабжения и мониторинг экосистем (Khamzina et al., 2019).

Будущее исследований и перспективы развития

Перспективы применения искусственного интеллекта и машинного обучения. Современные исследования в области экологии и гидрометеорологии активно используют искусственный интеллект для анализа больших данных и предсказания экологических изменений. ИИ может помочь в создании более точных моделей изменения климата, а также в автоматизации мониторинга изменений, что позволит ученым и политикам быстрее реагировать на возникающие угрозы (Teng et al., 2023).

Использование ИИ для прогнозирования: По данным исследования, проведенного в 2023 году компанией IBM, системы на основе искусственного интеллекта способны повысить точность прогноза погоды на 30%. Например, ИИ использовался для прогнозирования ураганов на Карибах, что позволило уменьшить количество жертв и ущерб. Также, алгоритмы ИИ успешно применяются в прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур, основываясь на метеорологических данных.

Прогнозирование экстремальных погодных явлений: Примером использования ИИ является программа NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований США), которая применяет машинное обучение для более точных прогнозов тропических циклонов. Это позволило снизить количество ложных тревог на 15%, что улучшило подготовку местных властей и снизило экономические потери.

Новые методы дистанционного зондирования. Развитие спутниковых технологий и улучшение разрешающих способностей снимков позволяют проводить более точный и долгосрочный мониторинг изменений экосистем. Это дает возможность более точно оценить влияние изменения климата на природу, а также разрабатывать более эффективные методы защиты экосистем. В Центральной Азии такие технологии активно применяются для мониторинга состояния экосистем Сары-Арки в Казахстане и Джунгарии в Китае (Zhao et al., 2018).

1. *Разрешение спутниковых снимков:* Прогресс в спутниковых технологиях позволяет получать снимки с разрешением до 30 см на пиксель. Спутники серии «Sentinel-2» от

Европейского космического агентства (ESA) предоставляют данные, которые используются для мониторинга изменений в экосистемах, уровня воды в реках и оценки качества почвы. Снимки с таких спутников имеют ключевое значение для мониторинга лесных пожаров и следят за изменениями в экосистемах после экстремальных погодных событий, например, после наводнений или ураганов.

2. *Использование дронов:* В 2024 году исследование, проведенное NASA, продемонстрировало успешное использование дронов для мониторинга воздействия изменения климата на арктические экосистемы. Дроны использовались для сбора данных о состоянии ледников и таянии снега в реальном времени, что улучшило прогнозы о возможных последствиях повышения уровня моря.

Междисциплинарные подходы в исследованиях. Для эффективного решения глобальных экологических проблем важно развивать междисциплинарные исследования, объединяя специалистов из различных областей. Международные организации, такие как ООН и Всемирная метеорологическая организация, играют ключевую роль в координации усилий и реализации экологически устойчивых проектов по всему миру (UNEP, 2021) (UNEP, 2021).

Климатическое воздействие на сельское хозяйство: В Центральной Азии изменение климата имеет прямое воздействие на сельское хозяйство, особенно на производство хлопка, риса и пшеницы. Междисциплинарные исследования, которые объединяют климатологов, экологов и агрономов, активно применяются для разработки устойчивых сельскохозяйственных практик. Например, проект "Устойчивое сельское хозяйство в Узбекистане" использует данные о климате и водных ресурсах для разработки адаптивных методов сельского хозяйства, таких как внедрение засухоустойчивых сортов растений.

Исследования водных ресурсов: Вопросы управления водными ресурсами становятся все более актуальными в Центральной Азии, особенно в условиях роста населения и изменения климата. Примером может служить проект "Transboundary Water Management", который объединяет ученых из Казахстана, Киргизстана и Таджикистана для разработки устойчивых решений по совместному использованию трансграничных водных ресурсов рек Амударья и Сирдарья.

Роль международных организаций в исследованиях

Глобальные инициативы по климату: В 2021 году более 190 стран подписали обновленную версию Парижского соглашения, в которой обязательства по снижению выбросов углекислого газа были пересмотрены с учетом новых научных данных о том, как климат меняется быстрее, чем ожидалось. Мировые организации, такие как ООН, будут координировать усилия по реализации национальных и международных климатических планов.

Пример глобального мониторинга: Проект "GEO" (Global Earth Observation), поддерживаемый 105 странами, представляет собой крупнейшую в мире инициативу по мониторингу экосистем с помощью дистанционного зондирования. В 2022 году GEO расширил свою сеть для мониторинга океанов, что позволило более точно отслеживать изменения в экосистемах морей и океанов, таких как повышение уровня кислотности воды.

Роль Всемирного банка: Всемирный банк в 2022 году вложил 1 миллиард долларов в проекты устойчивого водоснабжения и экосистемных исследований в Африке, направленные на адаптацию к изменению климата. Это включает в себя использование спутниковых данных и местных исследований для улучшения управления водными ресурсами.

Проект Всемирного банка по водным ресурсам в Центральной Азии: Всемирный банк в 2020 году выделил 2,5 миллиона долларов на проект по устойчивому управлению водными ресурсами в Центральной Азии. Проект фокусируется на улучшении мониторинга водных ресурсов с использованием спутников и геоинформационных систем (ГИС) для оценки водообеспечения и предотвращения конфликтов на границе между странами региона.

Инициативы ООН по адаптации к изменениям климата: В 2021 году ООН запустила проект по адаптации к изменениям климата в Центральной Азии, направленный на поддержку стран региона в их усилиях по смягчению последствий изменения климата для сельского хозяйства, экосистем и водных ресурсов. В рамках этого проекта ООН использует спутниковые технологии для мониторинга уровня воды в реках, а также разрабатывает планы по улучшению сельского хозяйства и водопользования.

Климатическая инициатива ЕС в Центральной Азии: Европейский Союз с 2020 года работает над инициативой по улучшению управления водными ресурсами в Центральной Азии,

используя данные спутников для мониторинга и прогнозирования водных потоков в реках региона. Важной частью этой программы является создание базы данных о водных ресурсах, доступной для всех стран Центральной Азии, что способствует более эффективному сотрудничеству между государствами региона.

Список использованной литературы

1. Manabe, S., & Wetherald, R. T. (1967). Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 24(3), 241–259. [https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0442\(1967\)080%3C1075:TTCOSF%3E2.0.CO;2](https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0442(1967)080%3C1075:TTCOSF%3E2.0.CO;2)
2. CMIP6 (2021). *The Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)*. World Climate Research Programme. <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>.
3. IPCC (2021). *Sixth Assessment Report (AR6)*, Working Group I: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
4. Zhanibekov, M., Khamzina, A., & Imangazina, S. (2019). Remote sensing-based modeling of land use and water resources in Kazakhstan. *Science of The Total Environment*, 684, 579–591.
5. MIRG (2017). *The Ministry of Emergency Situations of the Republic of Tajikistan*, Annual report. <http://www.mirg.tj/en/>
6. Akhmedov, T., Shirinov, I., & Usmanov, A. (2021). Sustainable water resource management in Uzbekistan using remote sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 730.
7. UNDP (2020). *Sustainable Land and Ecosystem Management in Central Asia*. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/countries/uzbekistan>.
8. Huntington, T. G., et al. (2016). Climate change impacts on water resources in Central Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(35), 11243-11252. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1605308113>.
9. Khamzina, A., et al. (2019). Remote sensing applications for monitoring ecosystem health and sustainable land use in Kazakhstan. *Land Degradation & Development*, 30(6), 696–708.
10. Zhao, L., et al. (2018). Satellite monitoring of land use and ecological changes in the Junggar Basin, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), 226.

11. Teng, J., Zhang, X., & Li, X. (2023). Application of artificial intelligence and machine learning in environmental monitoring and climate prediction. *Environmental Modelling & Software*, 167, 105346.
12. Nagendra, H., et al. (2021). Ecosystem monitoring and biodiversity conservation: Satellite-based monitoring and analysis. *Nature Sustainability*, 4(7), 529-538.
13. UNEP (2021). *Global Environmental Outlook - GEO-6 Regional Assessments*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/keystone-report-global-environmental-outlook-2021>.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	4
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ	
Астафьева Екатерина Игоревна, Зайцева Ирина Владимировна.....	4
МАТЕМАТИКА И ЕЁ ИСТОРИЯ В ОБРАЗОВАНИИ СТУДЕНТОВ	
Беликова Галина Иосифовна, Бровкина Екатерина Анатольевна, Зайцева Ирина Владимировна.....	18
О МЕТОДИЧЕСКОМ ЕДИНСТВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ В ГРАФИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	
Гроховский Игорь Владимирович, Завгородний Владимир Николаевич	28
ИННОВАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ	
Зайцева Ирина Владимировна, Исманалиев Курманбек Искандарович, Токошева Жазгул Аскербековна.....	35
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	
Зайцева Ирина Владимировна, Славиогло Карина Вадимовна, Фадеев Сергей Николаевич.....	43
МОДЕЛИРОВАНИЕ АУКЦИОНОВ С ОБЩЕЙ КОМПОНЕНТОЙ ЦЕННОСТИ	
Малафеев Олег Алексеевич, Хоменко Ирина Евгеньевна, Шлаев Дмитрий Валерьевич, Филимонов Александр Алексеевич, Скворцова Ольга Ивановна.....	53
ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОИСКА И ПРЕСЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Малафеев Олег Алексеевич, Чжан Кунь, Шлаев Дмитрий Валерьевич, Филимонов Александр Алексеевич, Скворцова Ольга Ивановна.....	61
ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ К ПРЕДМЕТНЫМ ОЛИМПИАДАМ ПО ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ	
Мамиев Аннаназар Хумметназарович, Галандарова Шемшат Оразбаевна, Реджепов Бегназар Атабаевич, Аразов Аллаберди, Мандарова Огулсурай	69
ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ	
Пичугина Ника Юрьевна, Пичугин Юрий Александрович	75

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОВЗРЫВНОГО УПЛОТНЕНИЯ ЛЁССОВ УДЛИНЁННЫМИ ЗАРЯДАМИ	
Тарасенко Елена Олеговна, Тарасенко Галина Васильевна.....	84
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ППР MS EXCEL ПРИ АНАЛИЗЕ УСЛОВИЙ КРЕДИТА	
Токошева Жазгүл Аскарбековна, Баатырбекова Аяна Чынгызовна	92
ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ СИММЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ	
Чандыров Оразмырат, Мосanova Дурсун Гулмырадовна, Арбапов Сердар Мурагбаевич, Оразгелдиев Вепа, Гараева Бегсона Чашем гызы.....	97
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕПНЫХ ПОДСТАНОВОК В ФАКТОРНОМ АНАЛИЗЕ ПРИБЫЛИ КОМПАНИИ «ЛУКОЙЛ-СЕВЕРО-ЗАПАДНЕФТЕПРОДУКТ»	
Шебукова Анна Сергеевна, Терентьева Полина Дмитриевна.....	102
СЕКЦИЯ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	108
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА	
Борбовский Анатолий Петрович, Михтеева Елена Юрьевна, Потапова Вероника Ростиславовна, Потапова Ирина Александровна, Скобликова Анна Львовна.....	108
РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ	
Волкова Надежда Александровна, Голубков Андрей Максимович	115
ВЛИЯНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ЛЁД Воробьева Юлия Алексеевна, Уварова Елизавета Алексеевна.....	124
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАБОЛИЧЕСКИХ СТЕРОИДОВ В ДОПИНГ-КОНТРОЛЕ	
Гасанов Рустам Ильяс оглы, Яковлева Татьяна Юрьевна.....	132
ТРАНСПОЛЯРНЫЙ ПЕРЕНОС ЗАГРЯЗНЕНИЙ, ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ АРКТИКИ	
Ковригин Даниил Дмитриевич, Потапова Ирина Александровна.....	139
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПО СЕКЦИЯМ ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ В ТРУБЕ С ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ПОТОКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ	
Лобанов Игорь Евгеньевич.....	148
ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛЛОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В УСЛОВИЯХ ПЫЛЕВОГО ВЫНОСА НА АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	

Малиновская Елена Александровна, Козлов Никита Олегович, Калинин Савелий Дмитриевич, Чхетиани Отто Гурамович, Максименков Леонид Олегович.....	156
ТРАЕКТОРИИ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ	
Петрова Вера Валерьевна.....	167
АДЕКВАТНОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ДАННЫХ: ОТ МОДЕЛИ РАССЕИВАЮЩЕЙ ЧАСТИЦЫ ДО ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА	
Потапова Ирина Александровна, Потапова Вероника Ростиславовна, Ржонсницкая Юлия Борисовна, Скобликова Анна Львовна, Яковлева Татьяна Юрьевна	176
КРИОТЕРАПИЯ – ЛЕЧЕНИЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА КЛЕТКИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА	
Пронова Екатерина Викторовна, Бармасова Анна Михайловна, Бармасов Александр Викторович, Яковлева Татьяна Юрьевна.....	183
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ	
Ружицкая Ева Витальевна, Михтеева Елена Юрьевна.....	189
ПОЛЬЗА И ВРЕД УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА	
Смирнов Илья Олегович, Бармасова Анна Михайловна, Бармасов Александр Викторович, Яковлева Татьяна Юрьевна.....	196
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТИТИКАКА-ДЕЗАГУАДЕРО-ПООПО	
Соломонова Ирина Владимировна, Гречушникова Мария Георгиевна, Фролов Анатолий Васильевич.....	203
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	
Уварова Елизавета Алексеевна, Воробьева Юлия Алексеевна, Зайцева Ирина Владимировна, Дьяченко Наталия Владимировна, Михтеева Елена Юрьевна.....	213
СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	
	220
СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА И АНАЛИЗА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ БРАКА	
Аветисян Артур Сергеевич.....	220
ПРИКЛАДНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО	

МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУРГУТСКОГО МОСТА	
Багровская Елена Николаевна, Гимгин Егор Николаевич,	
Петров Юрий Владимирович.....	226
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ АПК И СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ	
Велкакаев Тахыр Арзудурдыевич.....	231
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ QGIS В ЭЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СУДОХОДСТВА НА СЕВЕРНОМ МОРСКОМ ПУТИ	
Гаврилов Даниил Игоревич, Ярошенко Анатолий Вячеславович,	
Сикарев Игорь Александрович	236
РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ	
Гробылев Матвей Евгеньевич, Дербенев Илья Владиславович,	
Анисько Тимур Сергеевич, Сикарев Игорь Александрович.....	241
АРХИТЕКТУРА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ	
Гусев Сергей Игоревич, Колесенков Александр Николаевич.....	249
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА	
Петров Юрий Владимирович.....	255
ЦИФРОВИЗАЦИЯ В КЫРГЫЗСТАНЕ: ВЫЗОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И РОЛЬ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ	
Золотарёва Татьяна Анатольевна, Абдыкадыров Санжар Кубатович...	261
ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ ЭКНИС В СУДОХОДСТВЕ	
Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич,	
Решетников Александр Константинович.....	277
ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС	
Зотов Владислав Денисович, Степанов Лев Алексеевич,	
Решетников Александр Константинович.....	285
ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ВЕЛИЧИНЫ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИЗДЕРЖЕК НА ПЕРЕВОЗКИ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ	
Клюшина Элина Сергеевна, Мартын Ирма Андреевна.....	291
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ: КЛЮЧЕВЫЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	
Ковригин Даниил Дмитриевич, Завгородний Владимир Николаевич...	296
СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОЧВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
Кондратьева Ангелина Феликовна, Яковлева Татьяна Юрьевна.....	308
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ИССЛЕДОВАНИИ И АНАЛИЗЕ СПЛАВОВ И МЕТАЛЛОВ	

Поляков Даниил Дмитриевич, Яковleva Татьяна Юрьевна, Михеева Елена Юрьевна, Хлябич Петр Петрович	314
КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИГОДНОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА	
Щукин Антон Александрович.....	317
ОРГАНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «МОРСКОЕ ДВИЖЕНИЕ» И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СУДОВ.	
Ярошенко Анатолий Вячеславович, Гаврилов Даниил Игоревич, Сикарев Игорь Александрович.....	325
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКОРОСТИ ВЕТРА	
Ятченко Андрей Сергеевич, Абанников Виктор Николаевич.....	333
СЕКЦИЯ 4. РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ.....338	
ЗАПОВЕДНИКИ И БИОСФЕРНЫЕ РЕЗЕРВАТЫ	
Аксенов Алексей Александрович.....	338
ПРИМЕНИМА ЛИ ТЕОРИЯ К. ХАССЕЛЬМАННА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ ГЛОБАЛЬНОГО ВОДООБМЕНА?	
Добровольский Сергей Гаврилович, Юшков Владислав Пролетарьевич, Соломонова Ирина Владимировна.....	346
ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛЫХ СЕЗОНОВ ГОРОДА ЧЕРЕПОВЦА ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	
Ламанов Павел Денисович.....	358
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ	
Лобанов Владимир Алексеевич, Нзамбимана Энок, Аль-Сибахи Джраф, Айа Кристиан, Аль Меклафи Ясер.....	364
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛАКА	
Полянский Владимир Александрович, Зубакин Игорь Александрович.....	376
ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО МИКРОПЛАСТИКА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В 2021-2023 ГОДАХ	
Редникин Алексей Романович, Франк Юлия Александровна.....	383
РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ	
Розыкулыев Базарбай.....	390

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
МАТЕМАТИКИ И ФИЗИКИ
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Сборник трудов
Международной научно-практической конференции

4 апреля 2025 года

Подписано в печать 15.07.2025. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25,5. Тираж 19. Заказ 3397.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного ответственным редактором,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.