

*Or that his hallowed relics should be hid  
Under a star y-pointing pyramid?*

*Fear son of  
What ne*

**МОЛОДОЙ**

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

POETICAL  
WORKS  
OF  
JOHN MILTON  
With NOTES of various  
By THOMAS NELSON  
IN THREE  
VOLUMES  
Printed for J.

*Arms,  
Whose chance on the  
deed of honour did thee  
and him within protect from harms.*



Paradise lost.  
A  
POEM  
IN  
TEN BOOKS.  
The Author J. M.

*New Presbyter is but Old  
None can love freedom heartily, but good men; the rest  
love not freedom, but license.*

*No man who knows aught, can be so stupid to deny that all men naturally were born free*

**19**  
2014  
Часть I

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 19 (78) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

*На обложке изображен Джон Мильтон (1608–1674) — английский поэт, политический деятель и мыслитель.*

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

**Учредитель и издатель:** ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.**

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

**Международный редакционный совет:**

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)

Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)

Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

**Художник:** Евгений Шишков

**Верстка:** Максим Голубцов

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

- Нестерова Л. Ю., Феклисов С. В.**  
Китайская теорема об остатках в области главных идеалов ..... 1
- Рустамов М. Ж., Эрназарова Н. Х., Жабборов Х. Х.**  
К задаче наблюдения процесса нагрева тел ..... 4

### ФИЗИКА

- Данилов О. Е.**  
Сочетание натурального и вычислительного экспериментов в обучении физике ..... 10
- Емельянов А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Боброва С. Д., Андреева Е. Д., Карлова М. В.**  
Моделирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ( $Z_1 = 12$ ) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом ..... 12
- Ионин С. А.**  
Синтез магнитных наночастиц с иммобилизацией на фрактальных агрегатах кремнезема ..... 39
- Кревчик В. Д., Калинин В. Н., Калинин Е. Н.**  
Влияние магнитного поля на подвижность электронов в квантовой проволоке с краевой дислокацией ..... 43
- Яргин С. В.**  
On the mathematical modeling of radiation-related abnormalities in humans ..... 46

### ХИМИЯ

- Абдрахманова Г. А.**  
Исследование возможности замены синтетических индикаторов натуральными ..... 49
- Ананьева М. В., Каленский А. В.**  
Инициирование взрывного разложения микрокристаллов азида серебра ..... 52
- Банкина А. Н., Чухно А. С., Гурина С. В., Ананьева Е. П., Бриллиантова Е. Ю.**  
Исследование адсорбционных свойств мицелля базидиомицета *Abortiporus biennis* ..... 56
- Лобанова Н. С., Бахолдина Л. А., Чухно А. С.**  
Изучение иогенных поверхностно активных веществ (ПАВ) методом термического анализа ..... 60
- Роик Б. О.**  
Разработка пооперационной схемы получения металлического порошка из быстрорежущей стали в дистиллированной воде электроэрозионным диспергированием и оценка производительности данного процесса ..... 63
- Уйманова В. А., Селиванова Е. А.**  
Клинико-фармакологические свойства химиотерапевтических препаратов, нарушающих внутриклеточный синтез белка ..... 67
- Шаяхметов А. И.**  
Методы получения терефталоилхлорида и пути совершенствования технологии ..... 69
- Яхшиева З. З., Яхшиева М. Ш., Эшонкулов Э. С.**  
Титрование  $\text{Bi(III)}$ ,  $\text{Au(III)}$  и  $\text{Pd(II)}$  растворами  $\text{ДДТКNa}$  и  $\text{(ДДТК)2Pb}$  ..... 76

## БИОЛОГИЯ

- Косяк А. В.**  
Весенняя миграция птиц семейства Утиные (Anatidae) на восточной Чукотке.....83
- Мавлонова С. Х., Адилов С. У.**  
Рост, развитие и урожайность сахарного сорго в условиях Джизакского района.....93
- Хляпова Н. Г., Дупленко А. Г.**  
Особенности произрастания грецкого ореха в Калининградской области: наиболее распространенные заболевания и способы борьбы с ними .....95
- Черетаев И. В.**  
Влияние сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола на поведение крыс в тесте Порсолта в норме и на фоне активации дофаминергической системы юмексом ..... 100

## МЕДИЦИНА

- Валиханова А. М., Валиханов А. А., Хайдарова Г. Б.**  
Магнитно-резонансная томография в диагностике атрофии головного мозга ..... 105
- Жилякова Е. Т., Наплеков Д. К.**  
Изучение возможности создания комбинированного лекарственного средства для лечения глаукомы, осложненной миопией..... 107
- Китаева В. О., Гершкорн Ф. А.**  
Эстрадиол и кислотная резистентность эритроцитов при ишемической болезни сердца и хроническом панкреатите..... 109

- Нестеренко С. П.**  
Оценка полиорганной недостаточности при остром панкреатите..... 112
- Пономаренко В. О., Силенко Ю. И., Шульженко А. Ю.**  
Показатели электромиографии в разные сроки пользования полными условно несъемными протезами с применением различных систем абатментов..... 115

## ГЕОЛОГИЯ

- Камкичева О. Н.**  
Петрологические особенности кальцифиров месторождения Ормизан (Киргизия) ..... 122

## ЭКОЛОГИЯ

- Кулиев Д. А.**  
Определение ЛД50 некоторых тяжелых металлов на гидробионтах Каспийского моря..... 129
- Попельников А. И.**  
Взаимодействие экологии и экономики на территории Тюменской области ..... 133
- Ручин А. Б., Алексеев С. К., Артаев О. Н.**  
Сезонная динамика численности жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесных биоценозов Мордовского заповедника. Сообщение 1. Род Carabus ..... 135
- Садыхова Л. Р., Аминбеков А. Ф.**  
Углеводороды в поверхностных донных отложениях Каспийского моря вблизи Апшеронского полуострова ..... 138



# МАТЕМАТИКА

## Китайская теорема об остатках в области главных идеалов

Нестерова Лариса Юрьевна, кандидат педагогических наук, доцент;  
Феклистов Сергей Викторович, студент  
Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского

*В данной статье рассматривается китайская теорема об остатках и ее следствия. Особое внимание уделяется задаче о построении изоморфизма в кольце многочленов и некоторым задачам теории делимости в кольце целых чисел.*

**Ключевые слова:** китайская теорема об остатках, система сравнений, алгоритм Гарнера, кольцо многочленов, кольцо целых чисел, изоморфизм колец

## Chinese remainder theorem for principal ideal

Nesterova Larisa Yurievna, Candidate of Pedagogic Sciences, Assistant Professor  
Feklistov Sergey Viktorovich, student  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (Arzamas Branch)

*This article discusses the Chinese remainder theorem and its consequences. Particular attention is paid to the problem of constructing an isomorphism of the ring of polynomials and some problems of the theory of divisibility in the ring of integers.*

**Keywords:** Chinese Remainder Theorem, the system comparisons, Garner algorithm, polynomial ring, ring of integers, the ring isomorphism

В фундаментальной математике китайская теорема об остатках применяется для упрощения выражений, при доказательстве тождеств, теорем, например в теории чисел [1, с. 51]; для построения изоморфизмов колец и т. д. В дальнейшем будут представлены задачи, касающиеся различных областей главных идеалов, которые решаются или упрощаются при помощи данной теоремы. А также будет построена интерпретация данной теоремы с точки зрения теории колец.

Китайская теорема об остатках в арифметической формулировке впервые была упомянута в трактате китайского математика Сунь Цзы предположительно в третьем веке н. э. [2, с. 36]. Данная теорема помогает свести некоторое сравнение по модулю к системе более простых сравнений, и наоборот, свести систему сравнений к одному сравнению.

Сформулируем теорему для области главных идеалов.

**Теорема 1 (китайская теорема об остатках):** Рассмотрим область главных идеалов  $R$ . Предположим, что  $m = m_1 m_2 \dots m_k$  и что  $\text{НОД}(m_i, m_j) = 1$  при  $i \neq j$ . Пусть  $b_1, b_2, \dots, b_k \in R$ , и рассмотрим систему

сравнений 
$$\begin{cases} x \equiv b_1 \pmod{m_1} \\ x \equiv b_2 \pmod{m_2} \\ \dots \dots \dots \\ x \equiv b_k \pmod{m_k} \end{cases}$$
. Эта система всегда имеет решение, и любые два решения отличаются на кратное

элемента  $m$  [1, с. 50].

**Следствие 1:** Решение системы сравнений определяется по следующей формуле:  $x \equiv \left\{ \sum_{i=1}^k b_i n_i s_i \right\} \pmod{m}$ , где  $n_i = \frac{m}{m_i}$ ,  $s_i n_i \equiv 1 \pmod{m_i}$  [2, с. 36].

Что бы найти обратный элемент  $s_i$  для элемента  $n_i$ , в некоторых случаях удобно использовать следующую теорему:

**Теорема 2:** Пусть  $\text{НОД}(a, m) = 1$  и  $P_{n-1}$  — числитель предпоследней подходящей дроби для числа  $\frac{m}{a}$ . Тогда  $a(-1)^{n-1}P_{n-1} \equiv 1 \pmod{m}$ , то есть число  $(-1)^{n-1}P_{n-1}$  является обратным к элементу  $a$  по модулю  $m$  [3, с. 405].

**Следствие 2:** Рассмотрим сравнение  $a \equiv b \pmod{m_1 m_2 \dots m_k}$ , при этом  $\text{НОД}(m_i, m_j) = 1$  при  $i \neq j$ . Оно

равносильно системе сравнений (\*) 
$$\begin{cases} a \equiv b \pmod{m_1} \\ a \equiv b \pmod{m_2} \\ \dots \dots \dots \\ a \equiv b \pmod{m_k} \end{cases}$$

Существует также специальный алгоритм для нахождения корня  $x$ , названный как алгоритм Гарнера. Суть его в следующем:

Рассмотрим систему сравнений 
$$\begin{cases} x \equiv b_1 \pmod{m_1} \\ x \equiv b_2 \pmod{m_2} \\ \dots \dots \dots \\ x \equiv b_k \pmod{m_k} \end{cases}$$
. Корень  $x$  можно вычислить как  $k$  — й член

последовательности  $\{x_i\}$ . Последовательности  $\{x_i\}, \{y_i\}$  строятся по следующим формулам:

$$\begin{cases} y_1 = x_1 = b_1 \\ y_{i+1} \equiv \frac{b_{i+1} - x_i}{m_1 m_2 \dots m_i} \pmod{m_{i+1}} \\ x_{i+1} = x_i + y_{i+1} m_1 m_2 \dots m_i \end{cases}$$

Достоинство этого алгоритма заключается в том, что для вычисления каждой последующей пары  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  используется только одно предыдущее значение  $(x_i, y_i)$ , что позволяет последовательно уточнять значения корня  $x$  [2, с. 37].

Можно также рассматривать не только кольцо целых чисел, но и любые другие области главных идеалов, например, кольцо гауссовых целых чисел  $\mathbb{Z}[i]$ , кольцо целых чисел Эйзенштейна  $\mathbb{Z}\left[\frac{1}{2}(-1 + i\sqrt{3})\right]$ , кольцо многочленов  $K[x]$  над полем  $K$ , кольцо формальных степенных рядов. Отметим, что для многочленов теорема будет иметь следующий вид:

**Теорема 3:** Предположим, что  $m(x) = m_1(x)m_2(x)\dots m_k(x)$  и что  $\text{НОД}(m_i(x), m_j(x)) = c \neq 0$  при  $i \neq j$ . Пусть  $b_1(x), b_2(x), \dots, b_k(x) \in K[x]$ , и рассмотрим систему

сравнений 
$$\begin{cases} p(x) \equiv b_1(x) \pmod{m_1(x)} \\ p(x) \equiv b_2(x) \pmod{m_2(x)} \\ \dots \dots \dots \\ p(x) \equiv b_k(x) \pmod{m_k(x)} \end{cases}$$
. Эта система всегда имеет решение, и любые два решения отличаются на

кратное многочлена  $m(x)$ , причем  $\deg(p(x)) < \sum_{i=1}^k \deg(m_i(x))$ .

Указав основные теоретические аспекты, рассмотрим решения некоторых задач.

**Задача 1:** Определить все целые числа  $x$ , при условии, что  $(x^2 - x)$  делится на  $10^n$ , где  $n$  — натуральное число (к данной задаче относятся также все ребусы типа «ЛИК · ЛИК = БУБЛИК», где вместо букв нужно поставить определенные цифры).

**Решение:** Рассмотрим сравнение в кольце целых чисел  $(x^2 - x) \equiv 0 \pmod{10^n}$ ; Очевидно, что два класса решений оно точно имеет:  $x_1 \equiv 0 \pmod{10^n}$  и  $x_2 \equiv 1 \pmod{10^n}$ ; Посмотрим, есть ли еще какие либо решения.

Применяя китайскую теорему об остатках, получим:

$$\begin{cases} (x^2 - x) \equiv 0 \pmod{5^n} \\ (x^2 - x) \equiv 0 \pmod{2^n} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x \equiv 0 \pmod{5^n} \vee x \equiv 1 \pmod{5^n} \\ x \equiv 0 \pmod{2^n} \vee x \equiv 1 \pmod{2^n} \end{cases}$$
. Составляя всевозможные комбинации сравнений по модулям дающих в произведении  $10^n$ , получим следующие системы:

(1)  $\begin{cases} x \equiv 0 \pmod{2^n} \\ x \equiv 0 \pmod{5^n} \end{cases}$ ; (2)  $\begin{cases} x \equiv 1 \pmod{2^n} \\ x \equiv 1 \pmod{5^n} \end{cases}$ ; (3)  $\begin{cases} x \equiv 0 \pmod{2^n} \\ x \equiv 1 \pmod{5^n} \end{cases}$ ; (4)  $\begin{cases} x \equiv 1 \pmod{2^n} \\ x \equiv 0 \pmod{5^n} \end{cases}$ ;



Решение каждой системы находим, применяя следствия теоремы 1 или алгоритм Гарнера. Применяя следствие 1, получим соответственно для систем (3) и (4):  $x_3 \equiv 2^n((2^n)^{-1} \pmod{5^n}) \pmod{10^n}$ ,  $x_4 \equiv 5^n((5^n)^{-1} \pmod{2^n}) \pmod{10^n}$ , где  $(2^n)^{-1}$  — обратный элемент к  $2^n$  по модулю  $5^n$ , а  $(5^n)^{-1}$  — обратный элемент к  $5^n$  по модулю  $2^n$ . По следствию 2, системе (1) соответствует  $x_1$ , а системе (2) соответствует  $x_2$ .

Таким образом, все искомые целые числа лежат в классах:

$$\begin{aligned} x_1 &\equiv 0 \pmod{10^n}; & x_2 &\equiv 1 \pmod{10^n}; & x_3 &\equiv 2^n((2^n)^{-1} \pmod{5^n}) \pmod{10^n}; \\ x_4 &\equiv 5^n((5^n)^{-1} \pmod{2^n}) \pmod{10^n}. \end{aligned}$$

Рассмотрим частный случай общего решения задачи 1. Например, при  $n = 3$ , получим  $x_3 \equiv 8((8)^{-1} \pmod{125}) \pmod{1000}$ , тогда после упрощения получим  $x_3 \equiv 8 \cdot (-78) \equiv 376 \pmod{1000}$ . Аналогично  $x_4 \equiv 125 \cdot 13 \equiv 625 \pmod{1000}$ . Если рассмотреть ребус **ЛИК · ЛИК = БУБЛИК**, то именно данное частное решение соответствует решению данного ребуса. Действительно, произведем следующие преобразования: **ЛИК · ЛИК – ЛИК = БУБЛИК – ЛИК**; **ЛИК · (ЛИК – 1) = БУБ · 10<sup>3</sup>**, обозначая **ЛИК = x**, сведем задачу к решению сравнения  $(x^2 - x) \equiv 0 \pmod{10^3}$ . Решение данного сравнения имеет вид:  $x_3 = 376, x_4 = 625$ , но решением исходной задачи является только  $x_3$ . В самом деле,  $376 \cdot 376 = 141376$ , а  $625 \cdot 625 = 390625$  (цифры в разряде тысяч и в разряде сотни тысяч должны быть одинаковыми).

Приведем интерпретацию теоремы 1 с точки зрения теории колец. Рассмотрим кольца  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . Прямая сумма  $S = R_1 \oplus R_2 \oplus \dots \oplus R_n$  данных колец определяется как множество  $n$  — наборов  $(r_1, r_2, \dots, r_n)$  с  $r_i \in R_i$ . Сложения и умножения в кольце  $S$  определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} (r_1, r_2, \dots, r_n) + (p_1, p_2, \dots, p_n) &= (r_1 + p_1, r_2 + p_2, \dots, r_n + p_n) \\ (r_1, r_2, \dots, r_n) \cdot (p_1, p_2, \dots, p_n) &= (r_1 \cdot p_1, r_2 \cdot p_2, \dots, r_n \cdot p_n) \end{aligned}$$

Нулевым элементов будет элемент  $(0, 0, \dots, 0)$ , единичным элементом —  $(1, 1, \dots, 1)$ . Элемент  $r \in S$ , будет обратимым тогда и только тогда, когда существует  $p \in S$ , такой, что  $rp = 1$ . Если  $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$  и  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , то из  $rp = 1$  следует, что  $r_i p_i = 1$  при  $i = 1, 2, \dots, n$ . Обратно, если  $r_i$  — обратимый для каждого  $i$ , то  $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$  — обратимый [1, с. 50]. Таким образом,  $S$  кольцо.

Итак, имеет место теорема:

**Теорема 4:** Пусть  $m_1, m_2, \dots, m_k$  попарно взаимно простые элементы из кольца  $R$ . Тогда  $R_{m_1 m_2 \dots m_k} \cong R_{m_1} \oplus R_{m_2} \oplus \dots \oplus R_{m_k}$ , где  $R_{m_i}$  — факторкольцо кольца  $R$  по главному идеалу  $(m_i)$  [1, с.51].

Если в качестве области главных идеалов взять кольцо целых чисел и  $m = p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_k^{a_k}$  (это каноническое разложение, где  $\text{НОД}(p_i^{a_i}, p_j^{a_j}) = 1$ ), то получим  $Z_m \cong Z_{p_1^{a_1}} \oplus Z_{p_2^{a_2}} \oplus \dots \oplus Z_{p_k^{a_k}}$ , т.е. каждому классу вычетов факторкольца  $Z_m$  соответствует некоторая система классов вычетов прямой суммы факторколец  $Z_{p_i^{a_i}}$ . Если

$\varphi: Z_m \rightarrow Z_{p_1^{a_1}} \oplus Z_{p_2^{a_2}} \oplus \dots \oplus Z_{p_k^{a_k}}$  данный изоморфизм, то:

$$\varphi \left( \left\{ \sum_{i=1}^k b_i n_i s_i \right\} \pmod{p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_k^{a_k}} \right) = (b_1 \pmod{p_1^{a_1}}, \dots, b_k \pmod{p_k^{a_k}})$$

или

$$x \equiv \left\{ \sum_{i=1}^k b_i n_i s_i \right\} \pmod{p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_k^{a_k}} \Leftrightarrow \begin{cases} x \equiv b_1 \pmod{p_1^{a_1}} \\ x \equiv b_2 \pmod{p_2^{a_2}} \\ \dots \dots \dots \\ x \equiv b_k \pmod{p_k^{a_k}} \end{cases}$$

**Задачи 2:** Рассмотрим классы  $x_1, x_2, x_3, x_4$  из решения задачи 1. Доказать, что  $x_3 \cdot x_4 = x_1, x_3 + x_4 = x_2$ .

**Решение:** Докажем, применяя теорему 4, например, что  $x_3 + x_4 = x_2$ . По теореме 4:  $\varphi: Z_{10^n} \rightarrow Z_5^n \oplus Z_2^n$  — изоморфизм. Тогда из систем (3) и (4), получим:  $\varphi(x_3) = (0 \pmod{5^n}, 1 \pmod{2^n})$ ;

$\varphi(x_4) = (1(\bmod 5^n), 0(\bmod 2^n))$ . В силу сохранения операции при изоморфизме, правила сложения в кольце  $Z_5^n \oplus Z_2^n$  и биекции:

$$\varphi(x_3 + x_4) = \varphi(x_3) + \varphi(x_4) = (0(\bmod 5^n), 1(\bmod 2^n)) + (1(\bmod 5^n), 0(\bmod 2^n)) = (1(\bmod 5^n), 1(\bmod 2^n)) = \varphi(x_2)$$

Так как  $\varphi$  — биекция, то существует обратное отображение  $\varphi^{-1}: Z_5^n \oplus Z_2^n \rightarrow Z_{10^n}$ , откуда следует что,  $\varphi^{-1}(\varphi(x_3 + x_4)) = \varphi^{-1}(\varphi(x_2)) \Rightarrow x_3 + x_4 = x_2$ . Аналогично доказывается второе соотношение. В итоге:

$$2^n((2^n)^{-1}(\bmod 5^n))(\bmod 10^n) + 5^n((5^n)^{-1}(\bmod 2^n))(\bmod 10^n) \equiv 1(\bmod 10^n);$$

$$(2^n((2^n)^{-1}(\bmod 5^n))(\bmod 10^n)) \cdot (5^n((5^n)^{-1}(\bmod 2^n))(\bmod 10^n)) \equiv 0(\bmod 10^n);$$

Задача 3: Пусть  $f(x) = x^2$ ,  $g(x) = x^2 - x + 1$ .

Построить изоморфизм колец  $\mathbb{R}[x]_{f(x)} \oplus \mathbb{R}[x]_{g(x)} \rightarrow \mathbb{R}[x]_{f(x)g(x)}$ .

Решение: Необходимо для любой пары многочленов  $(a(x), b(x)) \in \mathbb{R}[x]_{f(x)} \oplus \mathbb{R}[x]_{g(x)}$ , найти такой многочлен  $h(x) \in \mathbb{R}[x]_{f(x)g(x)}$ , что (по теореме 3):

$$\begin{cases} h(x) \equiv a(x)(\bmod f(x)) \\ h(x) \equiv b(x)(\bmod g(x)) \end{cases}$$

По следствию 1 решение должно выглядеть следующим образом:

$h(x) = a(x)(x^2 - x + 1)s_1(x) + b(x)x^2s_2(x)$ . Найдем  $s_1(x)$  и  $s_2(x)$ :

$s_1(x)(x^2 - x + 1) \equiv 1(\bmod x^2)$ . Произведем замену переменной  $s_1(x) = p(x) + 1$ , тогда  $p(x)(x^2 - x + 1) + x^2 - x \equiv 0(\bmod x^2)$ . Если взять  $p(x) = x$ , то получим многочлен вида  $x^3$ , который делиться на  $x^2$ :  $x^3 - x^2 + x + x^2 - x \equiv x^3 \equiv 0(\bmod x^2)$ . Таким образом,  $s_1(x) = x + 1$ .

$s_2(x)x^2 \equiv 1(\bmod(x^2 - x + 1))$ . Нетрудно заметить, что  $x^2 - x + 1$  есть неполный квадрат суммы кубов. Поэтому  $s_2(x) = -x$ . Действительно,  $-x^3 - 1 \equiv -(x + 1)(x^2 - x + 1) \equiv 0(\bmod(x^2 - x + 1))$ .

Значит, изоморфное отображение  $\mathbb{R}[x]_{f(x)} \oplus \mathbb{R}[x]_{g(x)} \rightarrow \mathbb{R}[x]_{f(x)g(x)}$  задается по следующему правилу:  $h(x) = a(x)(x^2 - x + 1)(x + 1) - b(x)x^3 = a(x)(x^3 + 1) - b(x)x^3$ .

Таким образом, на примерах задач 1, 2, 3 показана ценность китайской теоремы об остатках для фундаментальной математики.

Литература:

1. Айерелэнд, К., Роузен М. Классическое введение в современную теорию чисел: Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 416 с.
2. Ишмухаметов, Ш. Т. Методы факторизации натуральных чисел: учебное пособие. — Казань: Казан. ун., 2011. — 190 с.
3. Куликов, Л. Я. Алгебра и теория чисел: Учебное пособие для педагогических институтов — М.: Высшая школа, 1979. — 559 с.

## К задаче наблюдения процесса нагрева тел

Рустамов Махаммади Жабборович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель;  
 Эрназарова Назира Хакбердиевна, старший преподаватель;  
 Жабборов Хуршид Холикулович, магистрант  
 Джизакский государственный педагогический институт (Узбекистан)

Задача автоматического управления технологическими процессами предполагает широкое использование ЭВМ с целью обработки текущей измерительной информации о состоянии конкретного процесса и выработки оптимальных оперативных управляющих воздействий по этой информации. Поэтому важной составной частью задачи управления является идентификация процессов по принятой модели и наблюдаемой информации. В статье на примере линейной модели управления нагревом массивного тела (I) рассматривается задача восстановления распреде-

ления температуры по телу на основе измерения ее в отдельных точках поверхности тела. Применением принципа дуальности задач управления и наблюдения вопрос сводится к решению задач об условном экстремуме.

**1. Задача об определении распределения температуры в нагреваемом «стержне» по наблюдению изменения температуры в отдельной его точке.**

Рассмотрим нагрев бесконечной однородной пластины конечной толщины  $S = 1$  в предположении, что начальная температура пластины и процесс нагрева проходят идентично по толщине. Тогда достаточно анализировать ход процесса в некотором «стержне», расположенном в пластине ортогонально ее боковой поверхности (1). Пусть распределение температуры по толщине пластины  $X (0 \leq x \leq 1)$  и во времени  $t (0 \leq t \leq \bar{t})$  описывается функцией  $T(x, t)$  определяемой в прямоугольнике  $\Pi = ((0, 1) \times (0, \bar{t}))$ , где  $\bar{t} > 0$  — фиксированное число. Внутри отрезка  $[0, 1]$  и при  $t > 0$  распределение температуры  $T(x, t)$  подчиняется уравнению теплопроводности.

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, (x, t) \in \Pi \tag{1}$$

Здесь  $a$  — коэффициент температуропроводности. На концах «стержня» приняты следующие условия теплопередачи:

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} &= \alpha [U(t) - T(1, t)], t \in [0, \bar{t}] \\ \mu \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} &= 0, t \in [0, \bar{t}] \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\mu$  — коэффициент теплопроводности,  $\alpha$  — коэффициент теплообмена между греющей средой, соответственно с одной стороны, плитой, левый конец пластины  $X = 0$  -теплоизолирован. Температуру греющей среды  $U(t)$  назовем управляющим воздействием или просто управлением. Для того, чтобы решение уравнения (1), (2) было однозначно определено, достаточно еще задать конечное или начальное распределение температуры  $T(x, 0)$  или  $T(x, \bar{t})$ .

Однако, непосредственно приборами такое распределение температуры точно определить можно далеко не всегда. В процессе нагрева имеется возможность измерять изменения температуры в некоторых точках нагреваемого тела  $X = \bar{x}$ . Задача определения распределения температуры «стержня» на данный момент  $\bar{t}$  по известному изменению температуры  $T(\bar{x}, t)$  в точке  $x = \bar{x}$  и законом теплопередачи (1)-(2) составляет предмет задачи идентификации (определения) процесса нагрева, рассматриваемой ниже.

Функцию  $y(t)$ , связанную с распределением температуры  $T(x, t)$  соотношением

$$y(t) = T(\bar{x}, t), t \in [0, \bar{t}] \tag{3}$$

назовем измеряемой величиной процесса нагрева.

Задача 1. По функции  $y(t), t \in [0, \bar{t}]$ , константам  $a, x, \mu$  и соотношениям (1)-(3) определить  $T(x, \bar{t}), x \in [0, 1]$ .

Пусть  $q(x)$  — некоторая заданная функция  $\in C^1(0, 1)$ .

Задача 2. В условиях задачи 1 найти величину (проекцию).

$$Z_q = \int_0^1 q(x) T(x, \bar{t}) dx \tag{4}$$

Понятно, что решение задачи 2 при различных функциях  $q = q_i(x), i = 1, 2, \dots, n, \dots$  составляющих базис пространства  $L_2(0, 1)$ , позволит найти функцию  $T(x, \bar{t})$  по проекциям (4) как элемент  $L_2(0, 1)$ . По этому далее будем рассматривать только задачу 2.

**2. Условия идентифицируемости проекции.**

Будем искать величину (4) в виде

$$Z_q = \int_0^{\bar{t}} [K(t)y(t) + \varphi(t)U(t)] dt \tag{5}$$

где  $K(t)$  и  $\varphi(t)$  искомые функции из  $L_2(0, \bar{t})$ . Следуя известной технике теории наблюдаемости в линейных задачах (2, 3), выберем линейный функционал  $K, \varphi$ , так, чтобы при связи (1)-(3) выполнялось тождество

$$\int_0^1 q(x) T(x, \bar{t}) dx = \int_0^{\bar{t}} [K(t)y(t) + \varphi(t)U(t)] dt \tag{6}$$

На решениях уравнения (1) образуем тождество

$$0 \equiv \int_0^1 \int_0^{\bar{t}} \omega(x, t) \left[ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} - a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \right] dx dt \tag{7}$$

Здесь  $\omega(x, t)$  произвольная функция,  $\Psi_{\omega}(x, t) \in C_{tx}^{1,2}(\Pi)$   $\Pi = \{([0, \bar{x}] \times [0, \bar{t}]) \cup ([\bar{x}, 1] \times [0, \bar{t}])\}$ .

Добавим гипотетическое тождество (6) к соотношению (7) и, пользуясь интегрированием по частям с учетом (2), (3), преобразуем полученное равенство к виду

$$\begin{aligned}
 \int_0^1 q(x)T(x, \bar{t}) dx &= \int_0^{\bar{t}} [K(t)T(\bar{x}, t) + \varphi(t)U(t)] dt + \\
 \int_0^{\bar{x}} (\Psi(x, \bar{t})T(x, \bar{t}) - \Psi(x, 0)T(x, 0)) dx &- \int_0^{\bar{x}} \int_0^{\bar{t}} T(x, t) \times \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} dx dt + \\
 \int_{\bar{x}}^1 \left( (\Psi(x, \bar{t})T(x, \bar{t}) - \Psi(x, 0)T(x, 0)) \right) dx &- \int_{\bar{x}}^1 \int_0^{\bar{t}} T(x, t) \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} dx dt - \\
 a \int_0^{\bar{t}} (\Psi(\bar{x} - 0, t) \frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} dt + \int_0^{\bar{t}} a \left[ \frac{\partial \Psi(\bar{x}-0, t)}{\partial x} T(\bar{x}, t) dt - \int_0^{\bar{t}} \frac{\partial \Psi(0, t)}{\partial x} T(0, t) dt \right] &- \\
 -a \int_0^{\bar{t}} \int_0^{\bar{x}} T(x, t) \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial x^2} dx dt - a \int_0^{\bar{t}} \omega(1, t) \frac{\alpha}{\mu} U(t) dt + \frac{a\alpha}{\mu} \int_0^{\bar{t}} \Psi(1, t) T(1, t) dt + \\
 a \int_0^{\bar{t}} \left( \Psi(\bar{x} + 0, t) \frac{\partial T(\bar{x}, t)}{\partial x} dt + \frac{\partial \Psi(1, t)}{\partial x} T(1, t) - \frac{\partial \Psi(\bar{x} + 0, t)}{\partial x} T(\bar{x}, t) \right) dt - \\
 -a \int_0^1 \int_0^{\bar{t}} T(x, t) \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial x^2} dx dt
 \end{aligned} \tag{8}$$

Теперь в (8) приравняем коэффициенты при  $T(x, t)$  в левой и правой части. Это дает соотношение для  $\Psi(x, t)$ :

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} + a \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = 0, \quad (x, t) \in (0, 1) \times (0, \bar{t}) \tag{9}$$

$$\Psi(x, 0) = 0, \quad x \in [0, 1] \tag{10}$$

$$\frac{\partial \Psi(0, t)}{\partial x} = 0, \quad t \in [0, \bar{t}] \tag{11}$$

$$\frac{\partial \Psi(\bar{x} + 0, t)}{\partial x} - \frac{\partial \Psi(\bar{x} - 0, t)}{\partial x} = \frac{K(t)}{a}, \quad t \in [0, \bar{t}] \tag{12}$$

$$\frac{a\alpha}{\mu} \Psi(1, t) + a \frac{\partial \Psi(1, t)}{\partial x} = 0, \quad t \in [0, \bar{t}] \tag{13}$$

$$\Psi(x, \bar{t}) = q(x), \quad x \in [0, 1] \tag{14}$$

$$\Psi(\bar{x} + 0, t) = \Psi(\bar{x} - 0, t) \tag{14'}$$

Итак, для функции  $\Psi(x, t)$  получена краевая задача (9)-(14'). Пусть она имеет решение при некоторой функции  $\bar{K}(t)$ . Тогда в тождестве (8) остается

$$0 \equiv \int_0^{\bar{t}} U(t) \left[ \varphi(t) - \frac{a\alpha}{\mu} \Psi(1, t) \right] dt$$

Отсюда заключаем: для того, чтобы выполнялось соотношение (6) при связях (1)-(3) и любом управлении  $U(t)$  достаточно

$$\varphi(t) = \frac{a\alpha}{\mu} \Psi(1, t). \tag{1}$$

Итак, установлена теорема:

Для того, чтобы имело место тождество (6) при связях (1)-(3) достаточно, чтобы существовало решение краевой задачи (9)-(14'). При этом функции  $K(t)$  и  $\varphi(t)$  в (6) определяются решением этой задачи по связям (12)-(15).

### 3. Вычислительные аспекты.

Решим задачу (9)-(14') в случае  $\bar{x} = 1$ . Тогда равенства (12) и (13) преобразуются в условие

$$\frac{\partial \Psi(1, t)}{\partial x} + \frac{\alpha}{\mu} \Psi(1, t) = -\frac{K(t)}{a}, \quad t \in [0, \bar{t}] \tag{15}$$

Теперь решим краевую задачу

$$\frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} + a \frac{\partial^2 \Psi(x, t)}{\partial x^2} = 0, \quad (x, t) \in \Pi \tag{9}$$

$$\Psi_{\square}(x, 0) = 0, x \in [0, 1] \tag{10}$$

$$\frac{\partial \Psi_{(0,t)}}{\partial x} = 0, t \in [0, \bar{t}] \tag{11}$$

$$\frac{\partial \Psi_{(1,t)}}{\partial x} + \frac{\alpha}{\mu} \Psi_{(1,t)} = -\frac{\kappa(t)}{a}, t \in [0, \bar{t}] \tag{14}$$

$$\Psi_{\square}(x, \bar{t}) = q(x), x \in [0, 1] \tag{15}$$

Пусть известно, что решение  $T(x, t)$  системы (1), (2) принадлежит множеству  $\mu \in L$ , где  $L$  — линейное множество в  $L_2(\Pi[(0, 1) \times (0, t)])$ . Пусть управление  $U(t)$  — известная функция. Возьмем некоторую функцию  $\widetilde{\psi}(x, t)$  и  $\widetilde{K}(t)$ , приближенно удовлетворяющую условиям граничной задачи (9)-(11), (14), (15), т. е. возможны ненулевые невязки:

$$\begin{aligned} r(x, t) &= \frac{\partial \overline{\Psi}(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial^2 \overline{\Psi}(x, t)}{\partial x^2}, (x, t) \in \Pi \\ r_0(x) &= \overline{\Psi}(x, 0), x \in [0, 1] \\ r^{(0)}(t) &= \frac{\partial \overline{\Psi}_{(0,t)}}{\partial x}, t \in [0, \bar{t}] \end{aligned} \tag{16}$$

$$r^{(1)}(t) = \frac{\partial \overline{\Psi}_{(1,t)}}{\partial x} + \frac{\alpha}{\mu} \overline{\Psi}_{(1,t)} + \frac{\overline{K}(t)}{a}, t \in [0, \bar{t}]$$

$$r_1(x) = \overline{\Psi}(x, \bar{t}) - q(x), x \in [0, 1].$$

При таких  $\widetilde{\psi}(x, t)$ ,  $\widetilde{K}(t)$  формула (6) имеет, согласно (8) погрешность

$$\begin{aligned} R(\widetilde{\psi}, \widetilde{K}, T) &= \iint_{\Pi} r(x, t)T(x, t) dxdt + \int_0^1 r_0(x)T(x, 0) dx - \\ &- \int_0^1 r_1(x)T(x, \bar{t}) dx + \int_0^{\bar{t}} [r^{(0)}(t)T(0, t) + r^{(1)}(t)T(1, t)] dt \end{aligned}$$

и оценку погрешности

$$|R(\overline{\psi}, \overline{K}, T)| \leq \sup_{T \in M} |R(\overline{\psi}, \overline{K}, T)| \equiv R(\overline{\psi}, \overline{K})$$

Таким образом, для повышения точности формулы (6) необходимо минимизировать величину  $R(\overline{\psi}, \overline{K})$  за счет выбора  $\widetilde{\psi}(x, t)$  и  $\widetilde{K}(t)$ . Практический способ минимизации этой оценки можно выбрать в зависимости от множеств  $L$  и  $M$ .

Пусть, например,  $L = L_2(\Pi)$ , а  $M = \{T(x, t): T \sim (17)\}$  — множество непрерывных функций в  $\Pi$ , удовлетворяющими неравенству.

$$\begin{aligned} &\int_0^{\bar{t}} (\rho_1 T^2(0, t) + \rho_2 T^2(1, t)) dt + \int_0^1 (\rho_3 T^2(x, 0) + \rho_4 T^2(x, \bar{t})) dx + \\ &\rho_0 \iint_{\Pi} T^2(x, t) dxdt \leq \widetilde{T}_{cp}^2. \end{aligned} \tag{17}$$

Тогда  $R(\widetilde{\psi}, \widetilde{K}) = \widetilde{T} \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \iint_{\Pi} r^2(x, t) dxdt + \int_0^{\bar{t}} (\frac{1}{\rho_1} r^{(0)2}(t) + \frac{1}{\rho_2} r^{(1)2}(t)) dt + \int_0^1 (\frac{1}{\rho_3} r_0^2(x) + \frac{1}{\rho_4} r_1^2(x)) dx}$

Минимизируем этот функционал по  $\widetilde{\psi}$  и  $\widetilde{K}$ . Поскольку  $\min R(\widetilde{\psi}, \widetilde{K}) \sim \min R^2(\widetilde{\psi}, \widetilde{K})$ , то найдем

$$\min R^2(\widetilde{\psi}, \widetilde{K}) = \widetilde{T}^2 \left( \frac{1}{\rho_0} \iint_{\Pi} r^2(x, t) dxdt + \frac{1}{\rho_1} \int_0^{\bar{t}} r^{(0)2}(t) dt + \right.$$

$$+ \frac{1}{\rho_2} \int_0^{\bar{t}} r^{(1)2}(t) dt + \int_0^1 \left( \frac{1}{\rho_3} r_0^2(x) + \frac{1}{\rho_4} r_1^2(x) \right) dx = \min J \tag{17}$$

Прежде чем минимизировать  $R(\tilde{\psi}, \tilde{K})$ , положим

$$\tilde{K} = K_{(t)}^{(n)} = \sum_{i=1}^m \beta_i K_i(t), \tilde{\psi} = \psi^{(n)}(x, t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i(x, t),$$

где  $K_i(t)$  и  $\psi_i(x, t)$  заданные системы базисных функций и обобщенные полиномы.  $K^{(n)}(t), \psi^{(n)}(x, t)$  в (16), задачу минимума оценки (17) заменим задачей об экстремуме функций  $n + m$  вещественных переменных  $\{\alpha_i, \beta_i\}$ .

$$\min J(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n), J = R(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(m)})$$

следуя методу разделения переменных (метод Фурье) в решении уравнения (9), построим функции

$$\tilde{\psi}_i(x, t) = \tilde{K}_i(t) \eta_i(x) \quad \eta_i(x) = \cos \omega_i x \tag{18}$$

Функции (18) удовлетворяют условиям (9), (11) и будут удовлетворять (12) при

$$\tilde{K}_i(t) = -ag e^{a\omega_i^2 t}, \text{ где } G_i = -\omega_i \sin \omega_i + \frac{a}{\mu} \cos \omega_i \neq 0 \tag{19}$$

Теперь решение задачи (9), (11), (14), (15), в которой искомыми являются  $\tilde{\psi}(x, t)$  и  $\tilde{K}(t)$ , можно строить в виде ряда по функциям (18):

$$\psi_{\square}(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \eta_i(x) K_i(t), \quad K(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i K_i(t) \tag{20}$$

Заметим, что здесь можно выбрать коэффициенты  $\alpha_i$  и частоты  $\omega_i$  при соблюдении условия (19). Для функции (20)

$$r(x, t) \equiv 0, r^{(0)}(t) = r^{(1)}(t) \equiv 0.$$

и оценка (17) принимает вид

$$R^2(\tilde{\psi}, \tilde{K}) = \frac{1}{\beta_3} \int_0^1 (\tilde{\psi}(x, 0))^2 dx + \frac{1}{\beta_4} \int_0^1 (\tilde{\psi}(x, \bar{t}) - q(x))^2 dx$$

Ограничиваясь здесь отрезками  $\tilde{\psi}^{(n)}(x, t), K^{(m)}(t)$  рядов (20) получим

$$R^2(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(m)}, t) = \tilde{T}^2 \left\{ \frac{1}{\beta_3} \int_0^1 \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cos \omega_i x (-ag_i))^2 dx + \frac{1}{\beta_4} \times \right. \\ \left. \times \int_0^1 (q(x) - \sum_{i=1}^n \alpha_i e^{a\omega_i^2 \bar{t}} \cos \omega_i x (-ag_i))^2 dx \right\} \equiv J_n(\alpha_1, \dots, \alpha_n, \omega_1, \dots, \omega_n) \tag{21}$$

Теперь необходимо отыскивать минимум функции (21) по величинам  $\alpha_1, \dots, \alpha_n, \omega_1, \dots, \omega_n$  при условии (19). Найденное значение минимума будет давать оценку погрешности формулы (5).

Считая число  $\omega_i$  фиксированным, обозначим

$$R^2(\tilde{\psi}^{(n)}, K^{(m)}) = J(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$$

Необходимое условие экстремума этой функции  $\frac{\partial J}{\partial \alpha_j} = 0$ , т. е.

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha_j} = -2a \frac{g_j}{\rho_3} \sum_{i=1}^n \alpha_i \int_0^1 \cos \omega_i x (-ag_i) \cos \omega_j x dx - \\ - \frac{2ag}{\rho_4} \left[ \int_0^1 \sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \omega_i x (-ag_i) \gamma_i - q(x) \right] \cos \omega_j x (-ag_j) \gamma_j dx = 0, \\ \gamma_i = e^{a\omega_i^2 \bar{t}} \tag{18}$$

Примем

$$q(x) = \sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i \cos \omega_i x \gamma_i$$

наложим условия

$$\int_0^1 \cos \omega_i x \cos \omega_j x dx = 0, i \neq j,$$

которая очевидно выполняется при  $\omega_i = \frac{\pi}{2} + i\pi$ .

Тогда последнее равенство принимает вид

$$ag_i \alpha_j \left( \frac{1}{\rho_3} + \frac{1}{\rho_4} \gamma_j^2 \right) - \bar{\alpha}_j \frac{1}{\rho_4} \gamma_j^2 = 0,$$

отсюда

$$ag_j \alpha_j \left( \frac{\rho_4}{\rho_3 \gamma_j^2} + 1 \right) = \bar{\alpha}_j.$$

Итак  $\alpha_j = \bar{\alpha}_j \bar{M}_j \frac{1}{ag_j}$ , где  $\bar{M}_j = \left( 1 + \frac{\rho_4}{\rho_3} \gamma_j^{-2} \right)^{-1} = \frac{\rho_3}{\rho_3 + \rho_4 \gamma_j^{-2}}$

Представляя эти  $\alpha_j$  в (20) можем определить  $\tilde{\psi}$  и  $\tilde{K}$  которые

$$\int_0^1 q(x) T(x, \bar{t}) dx \approx \int_0^{\bar{t}} [\tilde{K}(t) y(t) + \tilde{\varphi}(t) U(t)] dt$$

при связях (1)-(3) и функций  $q(x)$  вида (18) обеспечивает приближенное равенство.

$$R^2(\tilde{\psi}^{(n)}, \tilde{K}^{(m)}) = \sum_{j=1}^n \bar{\alpha}_j^2 \left[ \frac{1}{\rho_3} \bar{M}_j^2 + \frac{1}{\rho_4} (\gamma_j^2 - 2\gamma_j^2 \bar{M}_j + \bar{M}_j^2 \gamma_j^2) \right] \|\cos \omega_j x\|_{L^2(0,1)}^2$$

$$\|\cos \omega_j x\|_{L^2(0,1)}^2 = \int_0^1 \cos^2 \omega_j x dx.$$

Таким образом, рассмотрели частный способ построения формулы (6). Если не требовать ортогональность системы  $\{\cos^2 \omega_i x\}$  функции  $\{\cos^2 \omega_i x\}$ , то, как сказано выше, выбор  $\omega_i$  можно направить также как и коэффициент  $\alpha_i$  на минимизацию оценки (21). В этом случае следует ожидать существенно меньшего значения оценки. Такие задачи, подобно задаче построения квадратных формул типа Гаусса, если ограничиться подходящим классом функций  $\{q(x)\}$ . Они, могут решаться численно. Заслуживает также внимания использование идеи метода максимизации проекций (3–5) для решения задачи 1.

Литература:

1. Бутковский, А. Т. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. — М.: Наука, 1965. — 474 с.
2. Красовский, Н. Н. Теория управления движением. — М.: Наука, 1968. — 476 с.
3. Кирич, Н. Е. Методы последовательных оценок в задачах оптимизации управляемых систем. — Л.: изд-во ЛГУ, 1975. — 160 с.
4. Иванов, А. П., Кирич Н. Е. К методам наблюдения линейных возмущаемых систем. Дифференциальные уравнения. — 1974. — 10. — №5. — с. 788–791.
5. Иванов, А. П., Кирич Н. Е. Сопряжение задачи теории управления. — Л.: изд-во ЛГУ, 1988. — 88 с.

## ФИЗИКА

### Сочетание натурального и вычислительного экспериментов в обучении физике

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук, доцент  
Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко (Удмуртская Республика)

*В статье предложена классификация учебного вычислительного эксперимента, построенная на базе классификации учебного физического эксперимента. Кратко рассмотрена методика изучения физических явлений и объектов, построенная на сочетании вычислительного и натурального экспериментов.*

**Ключевые слова:** учебный физический эксперимент, вычислительный эксперимент, учебный вычислительный эксперимент, учебный натуральный эксперимент, обучение физике.

В системе учебного физического эксперимента выделяют следующие его виды [4, с. 188]:

- демонстрационные опыты;
- фронтальные лабораторные работы;
- кратковременные практические работы;
- физические практикумы;
- экспериментальные задачи;
- внеклассные (домашние) экспериментальные работы.

Учитывая то, что вычислительный эксперимент (эксперимент с использованием компьютерных моделей объектов) может заменить в случае необходимости натуральный эксперимент, можно прийти к выводу о том, что все эти виды учебного физического эксперимента можно сопоставить соответствующим типам учебного вычислительного эксперимента, который будет реализован с теми же организационными и учебными целями. Иными словами, преподаватель может осуществлять демонстрации компьютерных моделей для всего класса (демонстрационный вычислительный эксперимент); использовать фронтальную работу, когда каждый учащийся работает с одной и той же компьютерной моделью одновременно (фронтальный вычислительный эксперимент); конкретизировать с помощью таких моделей и развивать полученные учащимися знания (кратковременный вычислительный эксперимент); организовывать самостоятельную работу с моделями (вычислительный практикум); формировать умение решать практические задачи (решение экспериментальных задач с помощью компьютерных моделей); задавать задания для работы с моделями на дом (домашний вычислительный эксперимент).

Учебный вычислительный эксперимент может не только заменять учебный физический эксперимент в тех случаях, когда последний невозможен. Он может сочетаться с ним в тех случаях, когда натурные опыты возможны, дополняя при этом натуральный эксперимент и облегчая задачу объяснения преподавателю с помощью современных вычислительных средств (рис. 1).

Рассмотрим, каким образом может быть организован процесс обучения физике с сочетанием натурального и вычислительного учебных экспериментов. В кибернетике широко применяется такой инструмент исследования как имитационное математическое моделирование [3, с. 18–19]. Выделяют следующие этапы имитационного моделирования [3, с. 19]:



Рис. 1. Связь между вычислительным и натурным экспериментом



— постановка задачи и описание объекта исследования на естественном языке с формулировкой гипотезы, подлежащей проверке;

- сбор исходных данных об объекте исследования;
- построение имитационной математической модели;
- экспериментирование с математической моделью;
- интерпретация полученных результатов и перенесение их на объект исследования.

Таким образом, при использовании математических моделей, запрограммированных с помощью ЭВМ, можно говорить об имитационном эксперименте на ЭВМ [2]. Кроме того, использование таких моделей в обучении требует проведения серии имитационных экспериментов с различным входным воздействием [1]. Например, Н. Винером предложена методика раскрытия так называемого «черного ящика», которую можно представить сле-

дующим образом. Эксперименты проводятся с реальным объектом исследования («черным ящиком») и его моделью («белым ящиком»), для которой полностью известны и изменяемы в широких пределах параметры, характеризующие ее свойства. Эксперименты с объектом и его моделью проводятся таким образом, чтобы удалось добиться приемлемого совпадения результатов опытов. Это осуществляется с помощью подстройки «белого ящика» под поведение «черного ящика» (рис. 2). Если удастся добиться такого результата, то можно говорить о том, что свойства модели в условиях данного вычислительного эксперимента (например, математическое описание закономерностей ее поведения) можно перенести на реальный объект в «аналогичных» (близких к условиям вычислительного эксперимента) условиях натурального эксперимента.

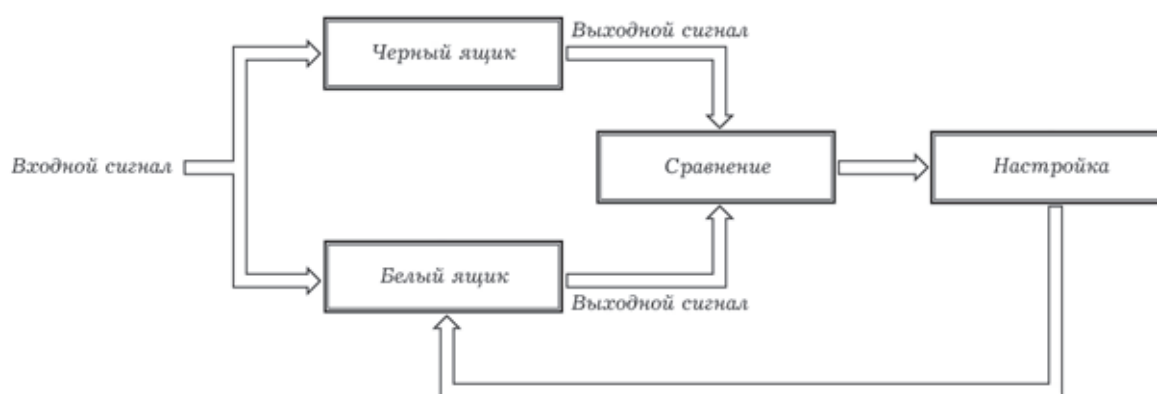


Рис. 2. Раскрытие «черного ящика» путем одновременного проведения имитационного эксперимента с объектом исследования («черным ящиком») и его моделью («белым ящиком»)

Литература:

1. Данилов, О. Е. Изучение интерференции с помощью компьютерного моделирования / О. Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №9. — с. 50–58.
2. Данилов, О. Е. Применение имитационного моделирования механических взаимодействий при обучении физике / О. Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2014. — №5. — с. 97–103.
3. Зарубин, В. С. Моделирование: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / В. С. Зарубин. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 336 с.
4. Смирнов, А. В. Методика применения информационных технологий в обучении физике: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / А. В. Смирнов. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 240 с.

## Моделирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ( $Z_1 = 12$ ) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом

Емельянов Александр Александрович, доцент;  
 Козлов Алексей Максимович, студент;  
 Бесклеткин Виктор Викторович, студент;  
 Авдеев Александр Сергеевич, студент;  
 Киряков Георгий Анатольевич, студент;  
 Чернов Михаил Владимирович, студент;  
 Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;  
 Фуртиков Кирилл Алексеевич, студент;  
 Реутов Александр Янович, студент;  
 Боброва Светлана Дмитриевна, студент;  
 Андреева Екатерина Дмитриевна, студент;  
 Карлова Мария Валерьевна, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В данной работе моделирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя (СНДД) проводилось с помощью магнитных и электрических схем замещения [2], [3]. На рис. 1 показано схематичное изображение СНДД, а на рис. 2 приведена его линейная развертка и магнитная схема замещения. С целью уменьшения пульсаций усилий и искажений токов  $i_A^S, i_C^S, i_B^S$  на начальном участке пуска [1] в данной работе пространственное распределение 1-й гармоники М.Д.С. обмотки возбуждения выразим через скольжение по отношению к бегущему полю потока, созданного статорной обмоткой. После втягивания ротора в синхронизм математические выражения бегущих волн М.Д.С. будут такими же, как и в работе [1].

Запишем основные уравнения для « $n$ »-ого участка схемы замещения.

### Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

$\Phi_{n-1}, \Phi_n, \Phi_{n+1}$  – контурные магнитные потоки;

$R_n, R_{n+1}$  – магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \omega_n^S \cdot i_n^S$  – магнитодвижущая сила, созданная статорным током  $i_n^S$ , протекающим по всем проводникам паза ( $\omega_n^S$ );

$F_n^r = \omega_n^r \cdot i_n^r + \omega_n^r \cdot I_n^f$  – М.Д.С. тока в обмотке ротора;

$F_n^S = 0$  – в шунтирующих зонах.

Баланс М.Д.С. для « $n$ »-ого участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + F_n^r = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n,$$

где  $F_n^r = F_n^r \text{ асинхр.} + F_n^r \text{ синхр.} = \underbrace{\omega_n^r \cdot i_n^r}_{\text{асинхр.}} + \underbrace{\omega_n^r \cdot I_n^f}_{\text{синхр.}}$ .

$$\omega_n^S \cdot i_n^S + \omega_n^r \cdot i_n^r + \omega_n^r \cdot I_n^f = -\Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1}.$$

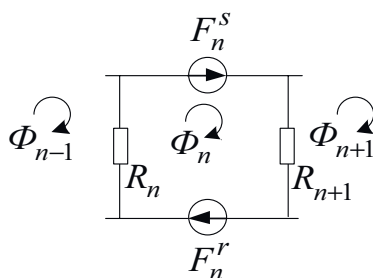


Рис. 1. Магнитная схема замещения « $n$ »-ого участка

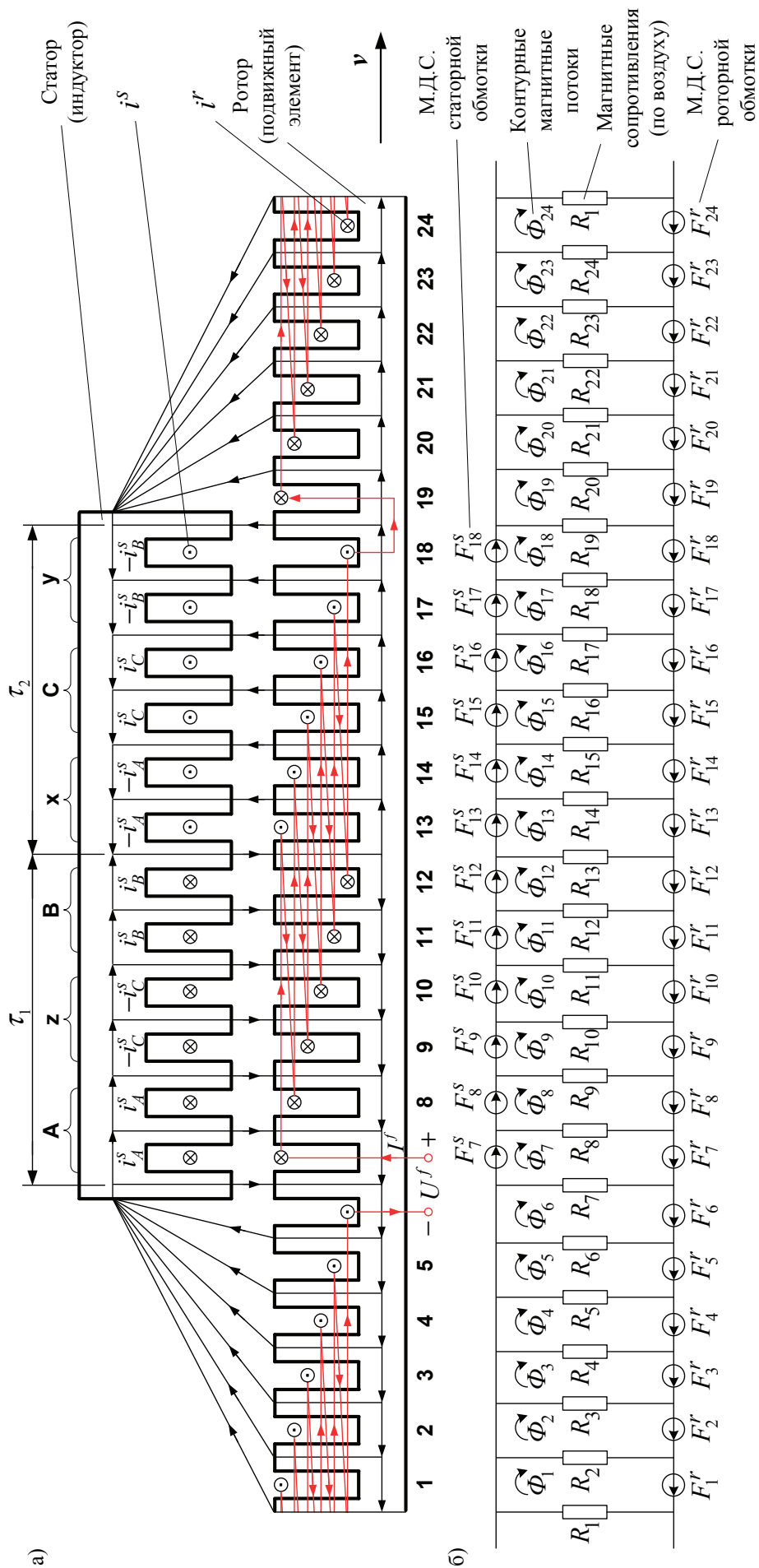


Рис. 2. а) Синхронный невзвешенный дугостаторный двигатель ( $2p = 2, Z_1 = 12$ ); б) магнитная схема замещения

Ток  $i_n^r$  условно назовем асинхронной составляющей полного тока в роторной обмотке. Этот ток создается от Э.Д.С. трансформации, Э.Д.С. движения, от изменяющегося потока во времени или от движущего потока в пространстве. При построении обобщенной математической модели двигателей, исключая вторую составляющую М.Д.С. ( $F_n^f_{\text{синхр.}}$ ) с помощью соответствующих ключей, можно перейти к линейным (дугостаторным) асинхронным двигателям [4], [5], ..., [9].

Вторая составляющая М.Д.С. (условно назовем синхронная составляющая  $F_n^f_{\text{синхр.}}$ ) представляет собой бегущую в пространстве ступенчатую фигуру в соответствии с дискретным расположением роторной обмотки.

В данной работе синхронную составляющую выразим 1-й гармоникой бегущей волны:

$$F_n^f_{\text{синхр.}} = \omega_n^f \cdot I_M^f \cdot \sin \left( (1-s) \cdot \omega \cdot t - \left( \frac{\pi}{\tau} \cdot t_z \cdot n + \omega \cdot 12 \cdot \frac{\pi}{6} \right) \right),$$

где  $\tau = 3 \cdot (2 \cdot t_z)$  - полюсное деление;

$s = \frac{v_s - v_{k-1}}{v_s}$  - скольжение на начальном участке пуска до входа в синхронизм;

$v_s = 2 \cdot \tau \cdot f$  - синхронная скорость бегущего поля.

Отсюда асинхронная составляющая тока в обмотке ротора определится по следующему выражению:

$$i_{n,k}^r = -\frac{\omega_n^s}{\omega_n^r} \cdot i_{n,k}^s - \frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n-1,k} + \frac{R_n + R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n,k} - \frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n+1,k} - I_{n,k}^f. \tag{1}$$

**Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора для асинхронной составляющей тока ротора**

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\omega_n^r \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x}. \tag{2}$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}, \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

где  $n$  – номер зубцового деления;

$k$  – номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) линейную скорость ротора принимаем равной  $v = v_{k-1}$  и в пределах « $k$ » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « $x$ » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}, \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = \\ = -\omega_n^r \cdot \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}. \end{aligned} \tag{3}$$

Исключим из уравнения (3) асинхронную составляющую тока в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} \left[ \omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2 t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \frac{1}{\omega_n^r} \right] \cdot i_{n,k}^s + \left[ -\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2 t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^s + \\ + \left[ R_{n-1} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2 t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \left[ -\frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - \left( \left( \frac{R_n + R_{n-1}}{\omega_n^r} \right) \cdot L^r + \omega_n^r \right) \cdot \frac{v_{k-1}}{\omega_n^r 2 t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[ \left( \frac{R_{n+1} + R_n}{\omega_n^r} \right) \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + \left( \frac{R_n - R_{n+1}}{\omega_n^r} \right) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{\omega_n^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\
 & + \left[ -\frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + \left( \left( \frac{R_{n+2} + R_{n+1}}{\omega_n^r} \right) \cdot L^r + \omega_n^r \right) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[ -\frac{R_{n+2}}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} + \\
 & + \left[ \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot I_{n-1,k}^f + \left[ -\left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot I_{n,k}^f + \left[ -\frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot I_{n+1,k}^f = \\
 & = \left( -\frac{\omega_n^s}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot i_{n,k-1}^s + \left( -\frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left( \frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + (\omega_n^r)^2}{\omega_n^r \cdot \Delta t} \right) \cdot \Phi_{n,k-1} + \\
 & + \left( -\frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \Phi_{n+1,k-1} + \left( -\frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot I_{n,k-1}^f. \tag{4}
 \end{aligned}$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков ( $\Phi$ ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые двадцать четыре элемента матрицы-столбца свободных членов **S** в  $(k-1)$  момент времени. Элементы 25, 26 и 27 строк матрицы **A** и соответствующие элементы  $s_{25}$ ,  $s_{26}$  и  $s_{27}$  будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки.

Наконец, последние элементы матриц **A** и **S** определяются из баланса токов в трехфазной обмотке соединенной в звезду с нулевым проводом. Матрица-столбец **X** сформирована из первых двадцати четырех элементов, соответствующих потокам  $\Phi_1, \dots, \Phi_{24}$ , а остальные – токам статорной обмотки  $i_A^s, i_C^s, i_B^s$  и  $i_0^s$ .

Общий вид матриц при числе полюсов  $2p = 2$  и общем числе пазов индуктора (статора)  $Z_1 = 12$  приведен на рис. 3. Введем следующие обозначения:

$$N1 = \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r \cdot 2t_z}; \quad N2 = \frac{1}{\omega_n^r} \cdot \left( r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right); \quad N3 = \frac{\omega_n^r}{\Delta t}; \quad N4 = \frac{L^r}{\omega_n^r \cdot \Delta t}; \quad N5 = \frac{(\omega_n^r)^2}{L^r}.$$

Магнитные сопротивления в шунтирующих зонах:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{22} = R_{23} = R_{24} = 500 \cdot R_\delta;$$

$$R_5 = R_{21} = 50 \cdot R_\delta;$$

$$R_6 = R_{20} = 5 \cdot R_\delta.$$

Магнитные сопротивления в индукторной зоне:

$$R_7 = R_8 = \dots = R_{19} = R_\delta.$$

Элементы матрицы **A**, перемножаемые на потоки матрицы-столбца **X**:

$$B = 2R_\delta \cdot N2 + N3;$$

$$B_1 = (5R_\delta + R_\delta) \cdot N2 + (R_\delta - 5R_\delta) \cdot N1 + N3 = 6R_\delta \cdot N2 + (-4R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_2 = 55R_\delta \cdot N2 + (-45R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_3 = 550R_\delta \cdot N2 + (-450R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_4 = 1000R_\delta \cdot N2 + N3;$$

$$B_5 = 550R_\delta \cdot N2 + 450R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$B_6 = 55R_\delta \cdot N2 + 45R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$B_7 = 6R_\delta \cdot N2 + 4R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$C = (-R_\delta) \cdot N2 + (2R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_1 = (-R_\delta) \cdot N2 + (6R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_2 = (-5R_\delta) \cdot N2 + (55R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_3 = (-50R_\delta) \cdot N2 + (550R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_4 = (-500R_\delta) \cdot N2 + (1000R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_5 = (-500R_{\sigma}) \cdot N2 + (550R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$C_6 = (-50R_{\sigma}) \cdot N2 + (55R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$C_7 = (-5R_{\sigma}) \cdot N2 + (6R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E = -R_{\sigma} \cdot N2 - (2R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_1 = -5R_{\sigma} \cdot N2 - (6R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_2 = -50R_{\sigma} \cdot N2 - (55R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_3 = -500R_{\sigma} \cdot N2 - (550R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_4 = -500R_{\sigma} \cdot N2 - (1000R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_5 = -50R_{\sigma} \cdot N2 - (550R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_6 = -5R_{\sigma} \cdot N2 - (55R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$E_7 = -R_{\sigma} \cdot N2 - (6R_{\sigma} + N5) \cdot N1;$$

$$D = -R_{\sigma} \cdot N1; \quad D_1 = 5 \cdot D; \quad D_2 = 50 \cdot D; \quad D_3 = 500 \cdot D.$$

Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи матрицы **X**:

$$T = -\omega_n^s \cdot N1;$$

$$Y = -\omega_n^s \cdot N2;$$

$$M = Y + T;$$

$$N = Y - T.$$

Элементы матрицы-столбца свободных членов **S**:

$$W1 = -\omega_n^s \cdot N4;$$

$$P = -R_{\sigma} \cdot N4;$$

$$Q = 2R_{\sigma} \cdot N4 + N3;$$

$$Q_1 = 6R_{\sigma} \cdot N4 + N3; \quad Q_2 = 55R_{\sigma} \cdot N4 + N3;$$

$$Q_3 = 550R_{\sigma} \cdot N4 + N3; \quad Q_4 = 1000R_{\sigma} \cdot N4 + N3;$$

$$I_{n,k}^f = I_{\max}^f \cdot \sin \left( (1-s) \cdot 2\pi \cdot f \cdot (k \cdot dt) - \left( \frac{\pi}{\tau} \cdot t_z \cdot n + w12 \cdot \frac{\pi}{6} \right) \right);$$

$$I_{n,k-1}^f = I_{\max}^f \cdot \sin \left( (1-s) \cdot 2\pi \cdot f \cdot ((k-1) \cdot dt) - \left( \frac{\pi}{\tau} \cdot t_z \cdot n + w12 \cdot \frac{\pi}{6} \right) \right).$$

Уравнение (4) позволит определить для первых двадцати четырех строк элементы матрицы **A** и с первой по двадцать четвертый элементы матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся  $n$ :

$$n = 1.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-D_3]}_{a_{1,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[E_4]}_{a_{1,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[B_4]}_{a_{1,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[C_4]}_{a_{1,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[D_3]}_{a_{1,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} = \\ & = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{1,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{24,k-1} + 500 \cdot \Phi_{2,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot (I_{2,k}^f - I_{24,k}^f) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f)}_{s_1}. \end{aligned}$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,23} = -D_3; \quad a_{1,24} = E_4; \quad a_{1,1} = B_4; \quad a_{1,2} = C_4; \quad a_{1,3} = D_3.$$

В правой части сформирован элемент  $s_1$  матрицы-столбца **S**:

$$s_1 = Q_4 \cdot x_{1,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{24,k-1} + 500 \cdot x_{2,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot (I_{2,k}^f - I_{24,k}^f) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f).$$

*Примечание:* вначале матрица **A** предстанет «пустой» и после каждой операции  $n = \dots$  определяются постепенно элементы для каждой строки и только в конце всех операций матрица **A** предстанет перед читателем в том виде как

она дана на рис. 3. Но эта «пустая» матрица **A** уже должна быть подготовлена. Эта «пустая» форма направляет, выступает «организующим началом» по поиску элементов в каждой строке.

При  $n = 1$ , как было показано выше, определились элементы первой строки. Найденные коэффициенты вписываем в матрицу **A**. В дальнейшем становится понятным алгоритм заполнения матрицы.

$n = 2$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[ \underbrace{-D_3}_{a_{2,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{E_4}_{a_{2,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{B_4}_{a_{2,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{C_4}_{a_{2,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{D_3}_{a_{2,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} \right]}_{s_2} = \\ & = Q_4 \cdot \Phi_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{1,k-1} + 500 \cdot \Phi_{3,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{2,24} = -D_3; \quad a_{2,1} = E_4; \quad a_{2,2} = B_4; \quad a_{2,3} = C_4; \quad a_{2,4} = D_3.$$

$$s_2 = Q_4 \cdot x_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{1,k-1} + 500 \cdot x_{3,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f).$$

$n = 3$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[ \underbrace{-D_3}_{a_{3,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{E_4}_{a_{3,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{B_4}_{a_{3,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{C_5}_{a_{3,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{D_2}_{a_{3,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} \right]}_{s_3} = \\ & = Q_4 \cdot \Phi_{3,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{2,k-1} + 500 \cdot \Phi_{4,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{3,1} = -D_3; \quad a_{3,2} = E_4; \quad a_{3,3} = B_4; \quad a_{3,4} = C_5; \quad a_{3,5} = D_2.$$

$$s_3 = Q_4 \cdot x_{3,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{2,k-1} + 500 \cdot x_{4,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f).$$

$n = 4$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[ \underbrace{-D_3}_{a_{4,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{E_4}_{a_{4,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{B_5}_{a_{4,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{C_6}_{a_{4,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{D_1}_{a_{4,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} \right]}_{s_4} = \\ & = Q_3 \cdot \Phi_{4,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{3,k-1} + 50 \cdot \Phi_{5,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{4,2} = -D_3; \quad a_{4,3} = E_4; \quad a_{4,4} = B_5; \quad a_{4,5} = C_6; \quad a_{4,6} = D_1.$$

$$s_4 = Q_3 \cdot x_{4,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{3,k-1} + 50 \cdot x_{5,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f).$$

$n = 5$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[ \underbrace{-D_3}_{a_{5,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{E_5}_{a_{5,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{B_6}_{a_{5,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{C_7}_{a_{5,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{D}_{a_{5,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} \right]}_{s_5} = \\ & = Q_2 \cdot \Phi_{5,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{4,k-1} + 5 \cdot \Phi_{6,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{5,3} = -D_3; \quad a_{5,4} = E_5; \quad a_{5,5} = B_6; \quad a_{5,6} = C_7; \quad a_{5,7} = D.$$

$$s_5 = Q_2 \cdot x_{5,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{4,k-1} + 5 \cdot x_{6,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f).$$

$n = 6$ .

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[ \underbrace{T}_{a_{6,25}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{25}} + \underbrace{-D_2}_{a_{6,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{E_6}_{a_{6,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{B_7}_{a_{6,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{C}_{a_{6,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{D}_{a_{6,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} \right]}_{s_6} = \\ & = Q_1 \cdot \Phi_{6,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{5,k-1} + \Phi_{7,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{6,4} = -D_2; \quad a_{6,5} = E_6; \quad a_{6,6} = B_7; \quad a_{6,7} = C; \quad a_{6,8} = D; \quad a_{6,25} = T.$$

$$s_6 = Q_1 \cdot x_{6,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{5,k-1} + x_{7,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f).$$

*Примечание:* при подстановке в уравнение (4)  $n = 4$ , мы увидим в соответствии с рис. 2, что войдет ток  $i_C^S$  с отрицательным знаком, в то же время в матрице-столбце  $\mathbf{X}$  нет знака «-», поэтому его необходимо учесть в соответствующем элементе матрицы  $\mathbf{A}$ .

Аналогично для других фаз, в концах обмоток  $x$ ,  $y$ ,  $z$  условно принимаем знак «-» и этот знак вводим в соответствующие элементы матрицы  $\mathbf{A}$ .

$$n = 7.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[M]}_{a_{7,25}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^S}_{x_{25}} + \underbrace{[-D_1]}_{a_{7,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[E_7]}_{a_{7,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[B]}_{a_{7,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[C]}_{a_{7,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[D]}_{a_{7,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} = \\ & \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^S + Q \cdot \Phi_{7,k-1} + P \cdot (\Phi_{6,k-1} + \Phi_{8,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f)}_{s_7}. \end{aligned}$$

$$a_{7,5} = -D_1; \quad a_{7,6} = E_7; \quad a_{7,7} = B; \quad a_{7,8} = C; \quad a_{7,9} = D; \quad a_{7,25} = Y + T = M.$$

$$s_7 = W1 \cdot x_{25,k-1} + Q \cdot x_{7,k-1} + P \cdot (x_{6,k-1} + x_{8,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f).$$

$$n = 8.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[N]}_{a_{8,25}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^S}_{x_{25}} + \underbrace{[-T]}_{a_{8,26}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{26}} + \underbrace{[-D]}_{a_{8,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[E]}_{a_{8,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[B]}_{a_{8,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[C]}_{a_{8,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[D]}_{a_{8,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} = \\ & \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^S + Q \cdot \Phi_{8,k-1} + P \cdot (\Phi_{7,k-1} + \Phi_{9,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f)}_{s_8}. \end{aligned}$$

$$a_{8,6} = -D; \quad a_{8,7} = E; \quad a_{8,8} = B; \quad a_{8,9} = C; \quad a_{8,10} = D;$$

$$a_{8,25} = -T + Y = N; \quad a_{8,26} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_8 = W1 \cdot x_{25,k-1} + Q \cdot x_{8,k-1} + P \cdot (x_7 + x_{9,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f).$$

$$n = 9.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{9,25}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^S}_{x_{25}} + \underbrace{[-M]}_{a_{9,26}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{26}} + \underbrace{[-D]}_{a_{9,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[E]}_{a_{9,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[B]}_{a_{9,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[C]}_{a_{9,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[D]}_{a_{9,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} = \\ & \underbrace{-W1 \cdot i_{C,k-1}^S + Q \cdot \Phi_{9,k-1} + P \cdot (\Phi_{8,k-1} + \Phi_{10,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f)}_{s_9}. \end{aligned}$$

$$a_{9,7} = -D; \quad a_{9,8} = E; \quad a_{9,9} = B; \quad a_{9,10} = C; \quad a_{9,11} = D;$$

$$a_{9,25} = -T; \quad a_{9,26} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$s_9 = -W1 \cdot x_{26,k-1} + Q \cdot x_{9,k-1} + P \cdot (x_{8,k-1} + x_{10,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f).$$

$$n = 10.$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-N]}_{a_{10,26}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{26}} + \underbrace{[T]}_{a_{10,27}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^S}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{10,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[E]}_{a_{10,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[B]}_{a_{10,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[C]}_{a_{10,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[D]}_{a_{10,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = \\ & \underbrace{-W1 \cdot i_{C,k-1}^S + Q \cdot \Phi_{10,k-1} + P \cdot (\Phi_{9,k-1} + \Phi_{11,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f)}_{s_{10}}. \end{aligned}$$

$$a_{10,8} = -D; \quad a_{10,9} = E; \quad a_{10,10} = B; \quad a_{10,11} = C; \quad a_{10,12} = D;$$

$$a_{10,26} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N; \quad a_{10,27} = T.$$

$$s_{10} = -W1 \cdot x_{26,k-1} + Q \cdot x_{10,k-1} + P \cdot (x_{9,k-1} + x_{11,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f).$$

$$n = 11.$$

$$\underbrace{[T]}_{a_{11,26}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{26}} + \underbrace{[M]}_{a_{11,27}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^S}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{11,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[E]}_{a_{11,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[B]}_{a_{11,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[C]}_{a_{11,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[D]}_{a_{11,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} =$$



Матрица А

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$																				$a_{1,23}$	$a_{1,24}$				
2	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$																			$a_{2,23}$	$a_{2,24}$				
3	$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$																							
4	$a_{4,1}$	$a_{4,2}$	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$																						
5	$a_{5,1}$	$a_{5,2}$	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	$a_{5,7}$																					
6	$a_{6,1}$	$a_{6,2}$	$a_{6,3}$	$a_{6,4}$	$a_{6,5}$	$a_{6,6}$	$a_{6,7}$	$a_{6,8}$																				
7	$a_{7,1}$	$a_{7,2}$	$a_{7,3}$	$a_{7,4}$	$a_{7,5}$	$a_{7,6}$	$a_{7,7}$	$a_{7,8}$	$a_{7,9}$																			
8	$a_{8,1}$	$a_{8,2}$	$a_{8,3}$	$a_{8,4}$	$a_{8,5}$	$a_{8,6}$	$a_{8,7}$	$a_{8,8}$	$a_{8,9}$	$a_{8,10}$																		
9	$a_{9,1}$	$a_{9,2}$	$a_{9,3}$	$a_{9,4}$	$a_{9,5}$	$a_{9,6}$	$a_{9,7}$	$a_{9,8}$	$a_{9,9}$	$a_{9,10}$	$a_{9,11}$																	
10	$a_{10,1}$	$a_{10,2}$	$a_{10,3}$	$a_{10,4}$	$a_{10,5}$	$a_{10,6}$	$a_{10,7}$	$a_{10,8}$	$a_{10,9}$	$a_{10,10}$	$a_{10,11}$	$a_{10,12}$																
11	$a_{11,1}$	$a_{11,2}$	$a_{11,3}$	$a_{11,4}$	$a_{11,5}$	$a_{11,6}$	$a_{11,7}$	$a_{11,8}$	$a_{11,9}$	$a_{11,10}$	$a_{11,11}$	$a_{11,12}$	$a_{11,13}$															
12	$a_{12,1}$	$a_{12,2}$	$a_{12,3}$	$a_{12,4}$	$a_{12,5}$	$a_{12,6}$	$a_{12,7}$	$a_{12,8}$	$a_{12,9}$	$a_{12,10}$	$a_{12,11}$	$a_{12,12}$	$a_{12,13}$	$a_{12,14}$														
13	$a_{13,1}$	$a_{13,2}$	$a_{13,3}$	$a_{13,4}$	$a_{13,5}$	$a_{13,6}$	$a_{13,7}$	$a_{13,8}$	$a_{13,9}$	$a_{13,10}$	$a_{13,11}$	$a_{13,12}$	$a_{13,13}$	$a_{13,14}$	$a_{13,15}$													
14	$a_{14,1}$	$a_{14,2}$	$a_{14,3}$	$a_{14,4}$	$a_{14,5}$	$a_{14,6}$	$a_{14,7}$	$a_{14,8}$	$a_{14,9}$	$a_{14,10}$	$a_{14,11}$	$a_{14,12}$	$a_{14,13}$	$a_{14,14}$	$a_{14,15}$	$a_{14,16}$												
15	$a_{15,1}$	$a_{15,2}$	$a_{15,3}$	$a_{15,4}$	$a_{15,5}$	$a_{15,6}$	$a_{15,7}$	$a_{15,8}$	$a_{15,9}$	$a_{15,10}$	$a_{15,11}$	$a_{15,12}$	$a_{15,13}$	$a_{15,14}$	$a_{15,15}$	$a_{15,16}$	$a_{15,17}$											
16	$a_{16,1}$	$a_{16,2}$	$a_{16,3}$	$a_{16,4}$	$a_{16,5}$	$a_{16,6}$	$a_{16,7}$	$a_{16,8}$	$a_{16,9}$	$a_{16,10}$	$a_{16,11}$	$a_{16,12}$	$a_{16,13}$	$a_{16,14}$	$a_{16,15}$	$a_{16,16}$	$a_{16,17}$	$a_{16,18}$										
17	$a_{17,1}$	$a_{17,2}$	$a_{17,3}$	$a_{17,4}$	$a_{17,5}$	$a_{17,6}$	$a_{17,7}$	$a_{17,8}$	$a_{17,9}$	$a_{17,10}$	$a_{17,11}$	$a_{17,12}$	$a_{17,13}$	$a_{17,14}$	$a_{17,15}$	$a_{17,16}$	$a_{17,17}$	$a_{17,18}$	$a_{17,19}$									
18	$a_{18,1}$	$a_{18,2}$	$a_{18,3}$	$a_{18,4}$	$a_{18,5}$	$a_{18,6}$	$a_{18,7}$	$a_{18,8}$	$a_{18,9}$	$a_{18,10}$	$a_{18,11}$	$a_{18,12}$	$a_{18,13}$	$a_{18,14}$	$a_{18,15}$	$a_{18,16}$	$a_{18,17}$	$a_{18,18}$	$a_{18,19}$	$a_{18,20}$								
19	$a_{19,1}$	$a_{19,2}$	$a_{19,3}$	$a_{19,4}$	$a_{19,5}$	$a_{19,6}$	$a_{19,7}$	$a_{19,8}$	$a_{19,9}$	$a_{19,10}$	$a_{19,11}$	$a_{19,12}$	$a_{19,13}$	$a_{19,14}$	$a_{19,15}$	$a_{19,16}$	$a_{19,17}$	$a_{19,18}$	$a_{19,19}$	$a_{19,20}$	$a_{19,21}$							
20	$a_{20,1}$	$a_{20,2}$	$a_{20,3}$	$a_{20,4}$	$a_{20,5}$	$a_{20,6}$	$a_{20,7}$	$a_{20,8}$	$a_{20,9}$	$a_{20,10}$	$a_{20,11}$	$a_{20,12}$	$a_{20,13}$	$a_{20,14}$	$a_{20,15}$	$a_{20,16}$	$a_{20,17}$	$a_{20,18}$	$a_{20,19}$	$a_{20,20}$	$a_{20,21}$	$a_{20,22}$						
21	$a_{21,1}$	$a_{21,2}$	$a_{21,3}$	$a_{21,4}$	$a_{21,5}$	$a_{21,6}$	$a_{21,7}$	$a_{21,8}$	$a_{21,9}$	$a_{21,10}$	$a_{21,11}$	$a_{21,12}$	$a_{21,13}$	$a_{21,14}$	$a_{21,15}$	$a_{21,16}$	$a_{21,17}$	$a_{21,18}$	$a_{21,19}$	$a_{21,20}$	$a_{21,21}$	$a_{21,22}$	$a_{21,23}$					
22	$a_{22,1}$	$a_{22,2}$	$a_{22,3}$	$a_{22,4}$	$a_{22,5}$	$a_{22,6}$	$a_{22,7}$	$a_{22,8}$	$a_{22,9}$	$a_{22,10}$	$a_{22,11}$	$a_{22,12}$	$a_{22,13}$	$a_{22,14}$	$a_{22,15}$	$a_{22,16}$	$a_{22,17}$	$a_{22,18}$	$a_{22,19}$	$a_{22,20}$	$a_{22,21}$	$a_{22,22}$	$a_{22,23}$	$a_{22,24}$				
23	$a_{23,1}$	$a_{23,2}$	$a_{23,3}$	$a_{23,4}$	$a_{23,5}$	$a_{23,6}$	$a_{23,7}$	$a_{23,8}$	$a_{23,9}$	$a_{23,10}$	$a_{23,11}$	$a_{23,12}$	$a_{23,13}$	$a_{23,14}$	$a_{23,15}$	$a_{23,16}$	$a_{23,17}$	$a_{23,18}$	$a_{23,19}$	$a_{23,20}$	$a_{23,21}$	$a_{23,22}$	$a_{23,23}$	$a_{23,24}$				
24	$a_{24,1}$	$a_{24,2}$	$a_{24,3}$	$a_{24,4}$	$a_{24,5}$	$a_{24,6}$	$a_{24,7}$	$a_{24,8}$	$a_{24,9}$	$a_{24,10}$	$a_{24,11}$	$a_{24,12}$	$a_{24,13}$	$a_{24,14}$	$a_{24,15}$	$a_{24,16}$	$a_{24,17}$	$a_{24,18}$	$a_{24,19}$	$a_{24,20}$	$a_{24,21}$	$a_{24,22}$	$a_{24,23}$	$a_{24,24}$				
25	$a_{25,1}$	$a_{25,2}$	$a_{25,3}$	$a_{25,4}$	$a_{25,5}$	$a_{25,6}$	$a_{25,7}$	$a_{25,8}$	$a_{25,9}$	$a_{25,10}$	$a_{25,11}$	$a_{25,12}$	$a_{25,13}$	$a_{25,14}$	$a_{25,15}$	$a_{25,16}$	$a_{25,17}$	$a_{25,18}$	$a_{25,19}$	$a_{25,20}$	$a_{25,21}$	$a_{25,22}$	$a_{25,23}$	$a_{25,24}$	$a_{25,25}$			
26	$a_{26,1}$	$a_{26,2}$	$a_{26,3}$	$a_{26,4}$	$a_{26,5}$	$a_{26,6}$	$a_{26,7}$	$a_{26,8}$	$a_{26,9}$	$a_{26,10}$	$a_{26,11}$	$a_{26,12}$	$a_{26,13}$	$a_{26,14}$	$a_{26,15}$	$a_{26,16}$	$a_{26,17}$	$a_{26,18}$	$a_{26,19}$	$a_{26,20}$	$a_{26,21}$	$a_{26,22}$	$a_{26,23}$	$a_{26,24}$	$a_{26,25}$	$a_{26,26}$		
27	$a_{27,1}$	$a_{27,2}$	$a_{27,3}$	$a_{27,4}$	$a_{27,5}$	$a_{27,6}$	$a_{27,7}$	$a_{27,8}$	$a_{27,9}$	$a_{27,10}$	$a_{27,11}$	$a_{27,12}$	$a_{27,13}$	$a_{27,14}$	$a_{27,15}$	$a_{27,16}$	$a_{27,17}$	$a_{27,18}$	$a_{27,19}$	$a_{27,20}$	$a_{27,21}$	$a_{27,22}$	$a_{27,23}$	$a_{27,24}$	$a_{27,25}$	$a_{27,26}$	$a_{27,27}$	
28	$a_{28,1}$	$a_{28,2}$	$a_{28,3}$	$a_{28,4}$	$a_{28,5}$	$a_{28,6}$	$a_{28,7}$	$a_{28,8}$	$a_{28,9}$	$a_{28,10}$	$a_{28,11}$	$a_{28,12}$	$a_{28,13}$	$a_{28,14}$	$a_{28,15}$	$a_{28,16}$	$a_{28,17}$	$a_{28,18}$	$a_{28,19}$	$a_{28,20}$	$a_{28,21}$	$a_{28,22}$	$a_{28,23}$	$a_{28,24}$	$a_{28,25}$	$a_{28,26}$	$a_{28,27}$	$a_{28,28}$

Рис. 3. Общий вид матриц А, Х и S

$$= \underbrace{W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{11,k-1} + P \cdot (\Phi_{10,k-1} + \Phi_{12,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f)}_{S_{11}}$$

$$a_{11,9} = -D; \quad a_{11,10} = E; \quad a_{11,11} = B; \quad a_{11,12} = C; \quad a_{11,13} = D;$$

$$a_{11,26} = -T \cdot (-1) = T; \quad a_{11,27} = Y + T = M.$$

$$s_{11} = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{11,k-1} + P \cdot (x_{10,k-1} + x_{12,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f).$$

$n = 12.$

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} N \\ a_{12,27} \end{matrix} \right] \cdot i_{B,k}^s + \left[ \begin{matrix} -T \\ a_{12,25} \end{matrix} \right] \cdot i_{A,k}^s + \left[ \begin{matrix} -D \\ a_{12,10} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{10,k} + \left[ \begin{matrix} E \\ a_{12,11} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{11,k} + \left[ \begin{matrix} B \\ a_{12,12} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{12,k} + \left[ \begin{matrix} C \\ a_{12,13} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{13,k} + \left[ \begin{matrix} D \\ a_{12,14} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{14,k} =}_{S_{12}}$$

$$= W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{12,k-1} + P \cdot (\Phi_{11,k-1} + \Phi_{13,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{13,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f).$$

$$a_{12,10} = -D; \quad a_{12,11} = E; \quad a_{12,12} = B; \quad a_{12,13} = C; \quad a_{12,14} = D;$$

$$a_{12,27} = -T + Y = N; \quad a_{12,25} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_{12} = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{12,k-1} + P \cdot (x_{11,k-1} + x_{13,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{13,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f).$$

$n = 13.$

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} -T \\ a_{13,27} \end{matrix} \right] \cdot i_{B,k}^s + \left[ \begin{matrix} -M \\ a_{13,25} \end{matrix} \right] \cdot i_{A,k}^s + \left[ \begin{matrix} -D \\ a_{13,11} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{11,k} + \left[ \begin{matrix} E \\ a_{13,12} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{12,k} + \left[ \begin{matrix} B \\ a_{13,13} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{13,k} + \left[ \begin{matrix} C \\ a_{13,14} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{14,k} + \left[ \begin{matrix} D \\ a_{13,15} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{15,k} =}_{S_{13}}$$

$$= -W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{13,k-1} + P \cdot (\Phi_{12,k-1} + \Phi_{14,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{13,k}^f + N1 \cdot (I_{14,k}^f - I_{12,k}^f) - N4 \cdot I_{13,k-1}^f).$$

$$a_{13,11} = -D; \quad a_{13,12} = E; \quad a_{13,13} = B; \quad a_{13,14} = C; \quad a_{13,15} = D;$$

$$a_{13,27} = -T; \quad a_{13,25} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$s_{13} = -W1 \cdot x_{25,k-1} + Q \cdot x_{13,k-1} + P \cdot (x_{12,k-1} + x_{14,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{13,k}^f + N1 \cdot (I_{14,k}^f - I_{12,k}^f) - N4 \cdot I_{13,k-1}^f).$$

$n = 14.$

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} -N \\ a_{14,25} \end{matrix} \right] \cdot i_{A,k}^s + \left[ \begin{matrix} T \\ a_{14,26} \end{matrix} \right] \cdot i_{C,k}^s + \left[ \begin{matrix} -D \\ a_{14,12} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{12,k} + \left[ \begin{matrix} E \\ a_{14,13} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{13,k} + \left[ \begin{matrix} B \\ a_{14,14} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{14,k} + \left[ \begin{matrix} C \\ a_{14,15} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{15,k} + \left[ \begin{matrix} D \\ a_{14,16} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{16,k} =}_{S_{14}}$$

$$= -W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{14,k-1} + P \cdot (\Phi_{13,k-1} + \Phi_{15,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{14,k}^f + N1 \cdot (I_{15,k}^f - I_{13,k}^f) - N4 \cdot I_{14,k-1}^f).$$

$$a_{14,12} = -D; \quad a_{14,13} = E; \quad a_{14,14} = B; \quad a_{14,15} = C; \quad a_{14,16} = D;$$

$$a_{14,25} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N; \quad a_{14,26} = T.$$

$$s_{14} = -W1 \cdot x_{25,k-1} + Q \cdot x_{14,k-1} + P \cdot (x_{13,k-1} + x_{15,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{14,k}^f + N1 \cdot (I_{15,k}^f - I_{13,k}^f) - N4 \cdot I_{14,k-1}^f).$$

$n = 15.$

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} T \\ a_{15,25} \end{matrix} \right] \cdot i_{A,k}^s + \left[ \begin{matrix} M \\ a_{15,26} \end{matrix} \right] \cdot i_{C,k}^s + \left[ \begin{matrix} -D \\ a_{15,13} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{13,k} + \left[ \begin{matrix} E \\ a_{15,14} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{14,k} + \left[ \begin{matrix} B \\ a_{15,15} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{15,k} + \left[ \begin{matrix} C \\ a_{15,16} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{16,k} + \left[ \begin{matrix} D \\ a_{15,17} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{17,k} =}_{S_{15}}$$

$$= W1 \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{15,k-1} + P \cdot (\Phi_{14,k-1} + \Phi_{16,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{15,k}^f + N1 \cdot (I_{16,k}^f - I_{14,k}^f) - N4 \cdot I_{15,k-1}^f).$$

$$a_{15,13} = -D; \quad a_{15,14} = E; \quad a_{15,15} = B; \quad a_{15,16} = C; \quad a_{15,17} = D;$$

$$a_{15,25} = -T \cdot (-1) = T; \quad a_{15,26} = Y + T = M.$$

$$s_{15} = W1 \cdot x_{26,k-1} + Q \cdot x_{15,k-1} + P \cdot (x_{14,k-1} + x_{16,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{15,k}^f + N1 \cdot (I_{16,k}^f - I_{14,k}^f) - N4 \cdot I_{15,k-1}^f).$$

$n = 16.$

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} N \\ a_{16,26} \end{matrix} \right] \cdot i_{C,k}^s + \left[ \begin{matrix} -T \\ a_{16,27} \end{matrix} \right] \cdot i_{B,k}^s + \left[ \begin{matrix} -D \\ a_{16,14} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{14,k} + \left[ \begin{matrix} E \\ a_{16,15} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{15,k} + \left[ \begin{matrix} B \\ a_{16,16} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{16,k} + \left[ \begin{matrix} C \\ a_{16,17} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{17,k} + \left[ \begin{matrix} D \\ a_{16,18} \end{matrix} \right] \cdot \Phi_{18,k} =}_{S_{16}}$$

$$= W1 \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{16,k-1} + P \cdot (\Phi_{15,k-1} + \Phi_{17,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{16,k}^f + N1 \cdot (I_{17,k}^f - I_{15,k}^f) - N4 \cdot I_{16,k-1}^f).$$

$$a_{16,14} = -D; \quad a_{16,15} = E; \quad a_{16,16} = B; \quad a_{16,17} = C; \quad a_{16,18} = D;$$

$$a_{16,26} = -T + Y = N; \quad a_{16,27} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_{16} = W1 \cdot x_{26,k-1} + Q \cdot x_{16,k-1} + P \cdot (x_{15,k-1} + x_{17,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{16,k}^f + N1 \cdot (I_{17,k}^f - I_{15,k}^f) - N4 \cdot I_{16,k-1}^f).$$

$n = 17.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[-T]}{a_{17,26}} \cdot \frac{i_{C,k}^s}{x_{26}} + \frac{[-M]}{a_{17,27}} \cdot \frac{i_{B,k}^s}{x_{27}} + \frac{[-D]}{a_{17,15}} \cdot \frac{\Phi_{15,k}}{x_{15}} + \frac{[E]}{a_{17,16}} \cdot \frac{\Phi_{16,k}}{x_{16}} + \frac{[B]}{a_{17,17}} \cdot \frac{\Phi_{17,k}}{x_{17}} + \frac{[C]}{a_{17,18}} \cdot \frac{\Phi_{18,k}}{x_{18}} + \frac{[D]}{a_{17,19}} \cdot \frac{\Phi_{19,k}}{x_{19}} \right]}_{S_{17}} = -W1 \cdot \frac{i_{B,k-1}^s}{x_{26,k-1}} + Q \cdot \Phi_{17,k-1} + P \cdot (\Phi_{16,k-1} + \Phi_{18,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{17,k}^f + N1 \cdot (I_{18,k}^f - I_{16,k}^f) - N4 \cdot I_{17,k-1}^f).$$

$$a_{17,15} = -D; \quad a_{17,16} = E; \quad a_{17,17} = B; \quad a_{17,18} = C; \quad a_{17,19} = D;$$

$$a_{17,26} = -T; \quad a_{17,27} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$s_{17} = -W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{17,k-1} + P \cdot (x_{16,k-1} + x_{18,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{17,k}^f + N1 \cdot (I_{18,k}^f - I_{16,k}^f) - N4 \cdot I_{17,k-1}^f).$$

$n = 18.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[-N]}{a_{18,27}} \cdot \frac{i_{B,k}^s}{x_{27}} + \frac{[-D]}{a_{18,16}} \cdot \frac{\Phi_{16,k}}{x_{16}} + \frac{[E]}{a_{18,17}} \cdot \frac{\Phi_{17,k}}{x_{17}} + \frac{[B]}{a_{18,18}} \cdot \frac{\Phi_{18,k}}{x_{18}} + \frac{[C_1]}{a_{18,19}} \cdot \frac{\Phi_{19,k}}{x_{19}} + \frac{[D_1]}{a_{18,20}} \cdot \frac{\Phi_{20,k}}{x_{20}} \right]}_{S_{18}} = -W1 \cdot \frac{i_{B,k-1}^s}{x_{27,k-1}} + Q \cdot \Phi_{18,k-1} + P \cdot (\Phi_{17,k-1} + \Phi_{19,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{18,k}^f + N1 \cdot (I_{19,k}^f - I_{17,k}^f) - N4 \cdot I_{18,k-1}^f).$$

$$a_{18,16} = -D; \quad a_{18,17} = E; \quad a_{18,18} = B; \quad a_{18,19} = C_1; \quad a_{18,20} = D_1;$$

$$a_{18,27} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N.$$

$$s_{18} = -W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{18,k-1} + P \cdot (x_{17,k-1} + x_{19,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{18,k}^f + N1 \cdot (I_{19,k}^f - I_{17,k}^f) - N4 \cdot I_{18,k-1}^f).$$

$n = 19.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[T]}{a_{19,27}} \cdot \frac{i_{B,k}^s}{x_{27}} + \frac{[-D]}{a_{19,17}} \cdot \frac{\Phi_{17,k}}{x_{17}} + \frac{[E]}{a_{19,18}} \cdot \frac{\Phi_{18,k}}{x_{18}} + \frac{[B_1]}{a_{19,19}} \cdot \frac{\Phi_{19,k}}{x_{19}} + \frac{[C_2]}{a_{19,20}} \cdot \frac{\Phi_{20,k}}{x_{20}} + \frac{[D_2]}{a_{19,21}} \cdot \frac{\Phi_{21,k}}{x_{21}} \right]}_{S_{19}} = Q_1 \cdot \Phi_{19,k-1} + P \cdot (\Phi_{18,k-1} + 5 \cdot \Phi_{20,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{19,k}^f + N1 \cdot (I_{20,k}^f - I_{18,k}^f) - N4 \cdot I_{19,k-1}^f).$$

$$a_{19,17} = -D; \quad a_{19,18} = E; \quad a_{19,19} = B_1; \quad a_{19,20} = C_2; \quad a_{19,21} = D_2; \quad a_{19,27} = -T \cdot (-1) = T.$$

$$s_{19} = Q_1 \cdot x_{19,k-1} + P \cdot (x_{18,k-1} + 5 \cdot x_{20,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{19,k}^f + N1 \cdot (I_{20,k}^f - I_{18,k}^f) - N4 \cdot I_{19,k-1}^f).$$

$n = 20.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[-D]}{a_{20,18}} \cdot \frac{\Phi_{18,k}}{x_{18}} + \frac{[E_1]}{a_{20,19}} \cdot \frac{\Phi_{19,k}}{x_{19}} + \frac{[B_2]}{a_{20,20}} \cdot \frac{\Phi_{20,k}}{x_{20}} + \frac{[C_3]}{a_{20,21}} \cdot \frac{\Phi_{21,k}}{x_{21}} + \frac{[D_3]}{a_{20,22}} \cdot \frac{\Phi_{22,k}}{x_{22}} \right]}_{S_{20}} = Q_2 \cdot \Phi_{20,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{19,k-1} + 50 \cdot \Phi_{21,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{20,k}^f + N1 \cdot (I_{21,k}^f - I_{19,k}^f) - N4 \cdot I_{20,k-1}^f).$$

$$a_{20,18} = -D; \quad a_{20,19} = E_1; \quad a_{20,20} = B_2; \quad a_{20,21} = C_3; \quad a_{20,22} = D_3.$$

$$s_{20} = Q_2 \cdot x_{20,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{19,k-1} + 50 \cdot x_{21,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{20,k}^f + N1 \cdot (I_{21,k}^f - I_{19,k}^f) - N4 \cdot I_{20,k-1}^f).$$

$n = 21.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[-D_1]}{a_{21,19}} \cdot \frac{\Phi_{19,k}}{x_{19}} + \frac{[E_2]}{a_{21,20}} \cdot \frac{\Phi_{20,k}}{x_{20}} + \frac{[B_3]}{a_{21,21}} \cdot \frac{\Phi_{21,k}}{x_{21}} + \frac{[C_4]}{a_{21,22}} \cdot \frac{\Phi_{22,k}}{x_{22}} + \frac{[D_3]}{a_{21,23}} \cdot \frac{\Phi_{23,k}}{x_{23}} \right]}_{S_{21}} = Q_3 \cdot \Phi_{21,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{20,k-1} + 500 \cdot \Phi_{22,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{21,k}^f + N1 \cdot (I_{22,k}^f - I_{20,k}^f) - N4 \cdot I_{21,k-1}^f).$$

$$a_{21,19} = -D_1; \quad a_{21,20} = E_2; \quad a_{21,21} = B_3; \quad a_{21,22} = C_4; \quad a_{21,23} = D_3.$$

$$s_{21} = Q_3 \cdot x_{21,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{20,k-1} + 500 \cdot x_{22,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{21,k}^f + N1 \cdot (I_{22,k}^f - I_{20,k}^f) - N4 \cdot I_{21,k-1}^f).$$

$n = 22.$

$$\underbrace{\left[ \frac{[-D_2]}{a_{22,20}} \cdot \frac{\Phi_{20,k}}{x_{20}} + \frac{[E_3]}{a_{22,21}} \cdot \frac{\Phi_{21,k}}{x_{21}} + \frac{[B_4]}{a_{22,22}} \cdot \frac{\Phi_{22,k}}{x_{22}} + \frac{[C_4]}{a_{22,23}} \cdot \frac{\Phi_{23,k}}{x_{23}} + \frac{[D_3]}{a_{22,24}} \cdot \frac{\Phi_{24,k}}{x_{24}} \right]}_{S_{22}} = Q_4 \cdot \Phi_{22,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{21,k-1} + 500 \cdot \Phi_{23,k-1}) + \omega'_n \cdot (N2 \cdot I_{22,k}^f + N1 \cdot (I_{23,k}^f - I_{21,k}^f) - N4 \cdot I_{22,k-1}^f).$$

$$a_{22,20} = -D_2; \quad a_{22,21} = E_3; \quad a_{22,22} = B_4; \quad a_{22,23} = C_4; \quad a_{22,24} = D_3.$$

$$s_{22} = Q_4 \cdot x_{22,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{21,k-1} + 500 \cdot x_{23,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{22,k}^f + N1 \cdot (I_{23,k}^f - I_{21,k}^f) - N4 \cdot I_{22,k-1}^f).$$

$n = 23.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-D_3]}_{a_{23,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[E_4]}_{a_{23,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[B_4]}_{a_{23,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[C_4]}_{a_{23,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[D_3]}_{a_{23,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} = \\ & = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{23,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{22,k-1} + 500 \cdot \Phi_{24,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{23,k}^f + N1 \cdot (I_{24,k}^f - I_{22,k}^f) - N4 \cdot I_{23,k-1}^f)}_{S_{23}}. \end{aligned}$$

$$a_{23,21} = -D_3; \quad a_{23,22} = E_4; \quad a_{23,23} = B_4; \quad a_{23,24} = C_4; \quad a_{23,1} = D_3.$$

$$s_{23} = Q_4 \cdot x_{23,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{22,k-1} + 500 \cdot x_{24,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{23,k}^f + N1 \cdot (I_{24,k}^f - I_{22,k}^f) - N4 \cdot I_{23,k-1}^f).$$

$n = 24.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-D_3]}_{a_{24,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[E_4]}_{a_{24,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[B_4]}_{a_{24,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[C_4]}_{a_{24,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[D_3]}_{a_{24,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} = \\ & = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{24,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{23,k-1} + 500 \cdot \Phi_{1,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{24,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{23,k}^f) - N4 \cdot I_{24,k-1}^f)}_{S_{24}}. \end{aligned}$$

$$a_{24,22} = -D_3; \quad a_{24,23} = E_4; \quad a_{24,24} = B_4; \quad a_{24,1} = C_4; \quad a_{24,2} = D_3.$$

$$s_{24} = Q_4 \cdot x_{24,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{23,k-1} + 500 \cdot x_{1,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{24,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{23,k}^f) - N4 \cdot I_{24,k-1}^f).$$

Элементы строк 25 и 26 и 27 матрицы **A** и соответствующие элементы матрицы-столбца **S** определяются из **баланса электрических напряжений обмоток статора**.

$$\begin{cases} U_A = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_7 + \Phi_8 - \Phi_{13} - \Phi_{14}) + r^s \cdot i_A^s + L_A^s \cdot \frac{di_A^s}{dt}; \\ U_B = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_{11} + \Phi_{12} - \Phi_{17} - \Phi_{18}) + r^s \cdot i_B^s + L_B^s \cdot \frac{di_B^s}{dt}; \\ U_C = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_{15} + \Phi_{16} - \Phi_9 - \Phi_{10}) + r^s \cdot i_C^s + L_C^s \cdot \frac{di_C^s}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $U_A = U_M \cdot \cos \omega t;$

$$U_B = U_M \cdot \cos(\omega t - 2\pi/3); \quad (6)$$

$$U_C = U_M \cdot \cos(\omega t - 4\pi/3).$$

С учетом шага по времени  $\Delta t$  в  $k$ -ый момент времени:

$$\begin{cases} U_{A,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t]; \\ U_{B,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 2\pi/3]; \\ U_{C,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 4\pi/3]. \end{cases} \quad (7)$$

$n = 25.$

Выразим производные тока  $i_A^s$ , потоков  $\Phi_7, \Phi_8, \Phi_{13}$  и  $\Phi_{14}$  через конечные разности:

$$\begin{aligned} \frac{di_A^s}{dt} &= \frac{i_{A,k}^s - i_{A,k-1}^s}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_7}{dt} = \frac{\Phi_{7,k} - \Phi_{7,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_8}{dt} = \frac{\Phi_{8,k} - \Phi_{8,k-1}}{\Delta t}; \\ \frac{d\Phi_{13}}{dt} &= \frac{\Phi_{13,k} - \Phi_{13,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_{14}}{dt} = \frac{\Phi_{14,k} - \Phi_{14,k-1}}{\Delta t}; \\ U_{A,k} &= \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k-1} + \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{8,k} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{8,k-1} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{13,k} + \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{13,k-1} - \\ & - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{14,k} + \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{14,k-1} + r^s \cdot i_{A,k}^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k}^s - \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s. \\ & \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{\left(-\frac{\omega_n^s}{\Delta t}\right)}_{a_{25,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{\left(-\frac{\omega_n^s}{\Delta t}\right)}_{a_{25,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{\left(r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t}\right)}_{a_{25,25}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{25}} = \\ & = \underbrace{\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot (\Phi_{7,k-1} + \Phi_{8,k-1} - \Phi_{13,k-1} - \Phi_{14,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s + U_{A,k}}_{S_{25}}. \end{aligned}$$

Обозначим  $\frac{\omega_n^s}{\Delta t} = U$ ;  $r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} = A_S$ ;

$$a_{25,7} = U; \quad a_{25,8} = U; \quad a_{25,13} = -U; \quad a_{25,14} = -U; \quad a_{25,25} = A_S;$$

$$s_{25} = U \cdot (x_{7,k-1} + x_{8,k-1} - x_{13,k-1} - x_{14,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot x_{25,k-1} + U_{A,k}.$$

Аналогично для строк 26 и 27:

$n = 26$ .

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} U \\ a_{26,11} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{11,k}}{x_{11}} + \left[ \begin{matrix} U \\ a_{26,12} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{12,k}}{x_{12}} + \left[ \begin{matrix} -U \\ a_{26,17} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{17,k}}{x_{17}} + \left[ \begin{matrix} -U \\ a_{26,18} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{18,k}}{x_{18}} + \left( r^s + \frac{L_B^s}{\Delta t} \right) \cdot \frac{i_{B,k}^s}{x_{27}}}_{a_{26,27}} =$$

$$= U \cdot \underbrace{(\Phi_{11,k-1} + \Phi_{12,k-1} - \Phi_{17,k-1} - \Phi_{18,k-1})}_{s_{26}} + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot i_{B,k-1}^s + U_{B,k}.$$

$$a_{26,11} = U; \quad a_{26,12} = U; \quad a_{26,17} = -U; \quad a_{26,18} = -U; \quad a_{26,27} = r^s + \frac{L_B^s}{\Delta t} = B_S;$$

$$s_{26} = U \cdot (x_{11,k-1} + x_{12,k-1} - x_{17,k-1} - x_{18,k-1}) + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot x_{27,k-1} + U_{B,k}.$$

$n = 27$ .

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} U \\ a_{27,15} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{15,k}}{x_{15}} + \left[ \begin{matrix} U \\ a_{27,16} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{16,k}}{x_{16}} + \left[ \begin{matrix} -U \\ a_{27,9} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{9,k}}{x_9} + \left[ \begin{matrix} -U \\ a_{27,10} \end{matrix} \right] \cdot \frac{\Phi_{10,k}}{x_{10}} + \left( r^s + \frac{L_C^s}{\Delta t} \right) \cdot \frac{i_{C,k}^s}{x_{26}}}_{a_{27,26}} =$$

$$= U \cdot \underbrace{(\Phi_{15,k-1} + \Phi_{16,k-1} - \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1})}_{s_{27}} + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot i_{C,k-1}^s + U_{C,k}.$$

$$a_{27,15} = U; \quad a_{27,16} = U; \quad a_{27,9} = -U; \quad a_{27,10} = -U; \quad a_{27,26} = r^s + \frac{L_C^s}{\Delta t} = C_S;$$

$$s_{27} = U \cdot (x_{15,k-1} + x_{16,k-1} - x_{9,k-1} - x_{10,k-1}) + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot x_{26,k-1} + U_{C,k}.$$

$n = 28$ .

Наконец, сумма токов определяет элементы двадцать восьмой строки матрицы **A** и элемент  $s_{28}$  матрицы-столбца **S**.

$$\underbrace{\left[ \begin{matrix} 1 \\ a_{28,25} \end{matrix} \right] \cdot \frac{i_{A,k}^s}{x_{25}} + \left[ \begin{matrix} 1 \\ a_{28,27} \end{matrix} \right] \cdot \frac{i_{B,k}^s}{x_{27}} + \left[ \begin{matrix} 1 \\ a_{28,26} \end{matrix} \right] \cdot \frac{i_{C,k}^s}{x_{26}} + \left[ \begin{matrix} -1 \\ a_{28,28} \end{matrix} \right] \cdot \frac{i_{0,k}^s}{x_{28}}}_{s_{28}} = \mathbf{0}.$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MATLAB (рис. 4):

Неизвестные переменные (потоки и токи в статорной обмотке) в  $k$ -й момент времени определяются в результате следующей операции с матрицами:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{S},$$

Далее, подставляя в уравнение (1)  $n = 1...24$ , определяем суммарные токи (М.Д.С.) в роторе:

$$IR_1 = \left( i_1^r + I_{1,k}^f \right) \cdot \omega_n^r = - \underbrace{\Phi_{24}}_{x_{24}} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot \underbrace{(500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta)}_{1000 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (500 \cdot R_\delta);$$

$$IR_2 = \left( i_2^r + I_{2,k}^f \right) \cdot \omega_n^r = - \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot (500 \cdot R_\delta);$$

$$IR_3 = \left( i_3^r + I_{3,k}^f \right) \cdot \omega_n^r = - \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot (500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot (500 \cdot R_\delta);$$

$$IR_4 = \left( i_4^r + I_{4,k}^f \right) \cdot \omega_n^r = - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot (500 \cdot R_\delta + 50 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_5}_{x_5} \cdot (50 \cdot R_\delta);$$

$$IR_5 = \left( i_5^r + I_{5,k}^f \right) \cdot \omega_n^r = - \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot (50 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_5}_{x_5} \cdot \underbrace{(50 \cdot R_\delta + 5 \cdot R_\delta)}_{55 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_6}_{x_6} \cdot (5 \cdot R_\delta);$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
1	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>																				-D <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>							
2	E <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>																				-D <sub>3</sub>							
3	-D <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	D <sub>2</sub>																										
4		-D <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>																									
5			-D <sub>3</sub>	E <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	D																								
6				-D <sub>2</sub>	E <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	C	D																			T				
7					-D <sub>1</sub>	E <sub>7</sub>	B	C	D																		M				
8						-D	E	B	C	D																	N	-T			
9							-D	E	B	C	D																-T	-M			
10								-D	E	B	C	D																-N	T		
11									-D	E	B	C	D															T	M		
12										-D	E	B	C	D														-T	N		
13											-D	E	B	C	D													-M	-T		
14												-D	E	B	C	D												-N	T		
15													-D	E	B	C	D											T	M		
16														-D	E	B	C	D										N	-T		
17															-D	E	B	C	D									-T	-M		
18																-D	E	B	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>								-N			
19																	-D	E	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>							T			
20																		-D	E <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>									
21																			-D <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>								
22																				-D <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>							
23	D <sub>3</sub>																				-D <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>							
24	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>																				-D <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>							
25							U	U					-U	-U													A <sub>s</sub>				
26										U	U					-U	-U												B <sub>s</sub>		
27									-U	-U					U	U												C <sub>s</sub>			
28																												1	1	1	-1

Рис. 4

$$\begin{aligned}
 IR_6 &= (i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_5}_{x_5} \cdot (5 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_6}_{x_6} \cdot \underbrace{(5 \cdot R_\delta + R_\delta)}_{6 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_7}_{x_7} \cdot R_\delta; \\
 IR_7 &= (i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot \underbrace{i_{25}^s}_{x_{25}} - \underbrace{\Phi_6}_{x_6} \cdot R_\delta + \underbrace{\Phi_7}_{x_7} \cdot (R_\delta + R_\delta) - \underbrace{\Phi_8}_{x_8} \cdot R_\delta = \\
 &= -\omega_n^s \cdot x_{25} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_7 - R_\delta \cdot (x_6 + x_8); \\
 IR_8 &= (i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{25} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_8 - R_\delta \cdot (x_7 + x_9); \\
 IR_9 &= (i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{26} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_9 - R_\delta \cdot (x_8 + x_{10}); \\
 IR_{10} &= (i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{26} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{10} - R_\delta \cdot (x_9 + x_{11}); \\
 IR_{11} &= (i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{11} - R_\delta \cdot (x_{10} + x_{12}); \\
 IR_{12} &= (i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{12} - R_\delta \cdot (x_{11} + x_{13}); \\
 IR_{13} &= (i_{13}^r + I_{13,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{25} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{13} - R_\delta \cdot (x_{12} + x_{14}); \\
 IR_{14} &= (i_{14}^r + I_{14,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{25} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{14} - R_\delta \cdot (x_{13} + x_{15}); \\
 IR_{15} &= (i_{15}^r + I_{15,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{26} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{15} - R_\delta \cdot (x_{14} + x_{16}); \\
 IR_{16} &= (i_{16}^r + I_{16,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{26} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{16} - R_\delta \cdot (x_{15} + x_{17});
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IR_{17} &= (i_{17}^r + I_{17,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{17} - R_\delta \cdot (x_{16} + x_{18}); \\
 IR_{18} &= (i_{18}^r + I_{18,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_{18} - R_\delta \cdot (x_{17} + x_{19}); \\
 IR_{19} &= (i_{19}^r + I_{19,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{18}}_{x_{18}} \cdot R_\delta + \underbrace{\Phi_{19}}_{x_{19}} \cdot \underbrace{(R_\delta + 5 \cdot R_\delta)}_{6 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{20}}_{x_{20}} \cdot (5 \cdot R_\delta); \\
 IR_{20} &= (i_{20}^r + I_{20,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{19}}_{x_{19}} \cdot (5 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{20}}_{x_{20}} \cdot \underbrace{(5 \cdot R_\delta + 50 \cdot R_\delta)}_{55 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{21}}_{x_{21}} \cdot (50 \cdot R_\delta); \\
 IR_{21} &= (i_{21}^r + I_{21,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{20}}_{x_{20}} \cdot (50 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{21}}_{x_{21}} \cdot \underbrace{(50 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta)}_{550 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{22}}_{x_{22}} \cdot (500 \cdot R_\delta); \\
 IR_{22} &= (i_{22}^r + I_{22,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{21}}_{x_{21}} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{22}}_{x_{22}} \cdot \underbrace{(500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta)}_{1000 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{23}}_{x_{23}} \cdot (500 \cdot R_\delta); \\
 IR_{23} &= (i_{23}^r + I_{23,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{22}}_{x_{22}} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{23}}_{x_{23}} \cdot (500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_{24}}_{x_{24}} \cdot (500 \cdot R_\delta); \\
 IR_{24} &= (i_{24}^r + I_{24,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{23}}_{x_{23}} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{24}}_{x_{24}} \cdot (500 \cdot R_\delta + 500 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot (500 \cdot R_\delta);
 \end{aligned}$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{x_2 - x_{24}}{2t_z} \cdot (i_1^r + I_{1,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_2 &= \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot (i_2^r + I_{2,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_3 &= \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot (i_3^r + I_{3,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_4 &= \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot (i_4^r + I_{4,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_5 &= \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot (i_5^r + I_{5,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_6 &= \frac{x_7 - x_5}{2t_z} \cdot (i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_7 &= \frac{x_8 - x_6}{2t_z} \cdot (i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_8 &= \frac{x_9 - x_7}{2t_z} \cdot (i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_9 &= \frac{x_{10} - x_8}{2t_z} \cdot (i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{10} &= \frac{x_{11} - x_9}{2t_z} \cdot (i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{11} &= \frac{x_{12} - x_{10}}{2t_z} \cdot (i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{12} &= \frac{x_{13} - x_{11}}{2t_z} \cdot (i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{13} &= \frac{x_{14} - x_{12}}{2t_z} \cdot (i_{13}^r + I_{13,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{14} &= \frac{x_{15} - x_{13}}{2t_z} \cdot (i_{14}^r + I_{14,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{15} &= \frac{x_{16} - x_{14}}{2t_z} \cdot (i_{15}^r + I_{15,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{16} &= \frac{x_{17} - x_{15}}{2t_z} \cdot (i_{16}^r + I_{16,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{17} &= \frac{x_{18} - x_{16}}{2t_z} \cdot (i_{17}^r + I_{17,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{18} &= \frac{x_{19} - x_{17}}{2t_z} \cdot (i_{18}^r + I_{18,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{19} &= \frac{x_{20} - x_{18}}{2t_z} \cdot (i_{19}^r + I_{19,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{20} &= \frac{x_{21} - x_{19}}{2t_z} \cdot (i_{20}^r + I_{20,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{21} &= \frac{x_{22} - x_{20}}{2t_z} \cdot (i_{21}^r + I_{21,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{22} &= \frac{x_{23} - x_{21}}{2t_z} \cdot (i_{22}^r + I_{22,k}^f) \cdot \omega_n^r; \\
 F_{23} &= \frac{x_{24} - x_{22}}{2t_z} \cdot (i_{23}^r + I_{23,k}^f) \cdot \omega_n^r; & F_{24} &= \frac{x_1 - x_{23}}{2t_z} \cdot (i_{24}^r + I_{24,k}^f) \cdot \omega_n^r.
 \end{aligned}$$

Суммарное усилие:  $F_{\Sigma} = \sum_{n=1}^{24} F_n$ .

Линейная скорость ротора в  $k$ -й момент времени:  $v_k = v_{k-1} + \frac{F_{\Sigma} - F_c}{m} \cdot \Delta t$ .

Математическая модель синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя реализована в программном пакете MATLAB методом Гаусса-Жордана. Ниже приведен пример расчета.

```
%Математическая модель СНДД с укладкой статорной обмотки классическим
%способом (z=12) с нулевым проводом
%function SD_z12_zero
%Исходные данные синхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=3.8;
LsA=0.037;
LsB=0.038;
LsC=0.035;
rr=20.25;
Lr=0.0148;
dt=0.00111;
As=rs+LsA/dt;
Bs=rs+LsB/dt;
Cs=rs+LsC/dt;
tz=9.769*10^-3;
tau=3*2*tz;
m=32.3;
v0=0;
wns=200;
wnr=3000;
UA=wns/dt;
X=zeros(28,1);
F=0;
w12=0;
```



```
mass_Um=0;

mass_f=0;

mass_t=0;

Ukon=350;

Unach=3;

tk=5;

K=input('Длительность цикла k=');

for k=1:(K+1)

    if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= tk))

        fc=k*dt*45/tk;

        vs=2*tau*fc;

        eps=0.4;

        if (vs-v0)>eps

            ss=(vs-v0)/vs;

        else

            ss=0;

        end;

        w=2*pi*fc;

        Um=Unach+((Ukon-Unach)*(k*dt)^1)/((tk)^1);

    end;

    if (k*dt > tk)

        fc=45+5*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;

        vs=2*tau*fc;

        eps=0.4;

        if (vs-v0)>eps

            ss=(vs-v0)/vs;

        else

            ss=0;

        end;

    end;
```

```
w=2*pi*fc;

Um=Ukon+10*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;

end;

if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= 2))

    Ufm=k*dt*5/2;

    Ifm=Ufm/rr;

end;

if (k*dt > 2)

    Ufm=5;

    Ifm=Ufm/rr;

end;

if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= 4))

    Fc=2;

end;

if (k*dt > 4)

    Fc=10;

end;

v(1,k)=v0;           %Создание вектор-строки для графика скорости

f(1,k)=sum(F)-Fc;    %Создание вектор-строки для графика усилия

Ua=Um*cos(w*(k-1)*dt);

Ub=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/3);

Uc=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/3);

i0(1,k)=X(28);

i_a(1,k)=X(25);

i_b(1,k)=X(27);

i_c(1,k)=X(26);

%Формирование матрицы A

A=zeros(28);

N1=Lr*v0/(wnr*2*tz);
```

$$N2 = (rr + Lr / dt) / wnr;$$

$$N3 = wnr / dt;$$

$$N4 = Lr / (wnr * dt);$$

$$N5 = (wnr^2) / Lr;$$

$$B = 2 * Rb * N2 + N3;$$

$$B1 = 6 * Rb * N2 - 4 * Rb * N1 + N3;$$

$$B2 = 55 * Rb * N2 - 45 * Rb * N1 + N3;$$

$$B3 = 550 * Rb * N2 - 450 * Rb * N1 + N3;$$

$$B4 = 1000 * Rb * N2 + N3;$$

$$B5 = 550 * Rb * N2 + 450 * Rb * N1 + N3;$$

$$B6 = 55 * Rb * N2 + 45 * Rb * N1 + N3;$$

$$B7 = 6 * Rb * N2 + 4 * Rb * N1 + N3;$$

$$C = -Rb * N2 + (2 * Rb + N5) * N1;$$

$$C1 = -Rb * N2 + (6 * Rb + N5) * N1;$$

$$C2 = -5 * Rb * N2 + (55 * Rb + N5) * N1;$$

$$C3 = -50 * Rb * N2 + (550 * Rb + N5) * N1;$$

$$C4 = -500 * Rb * N2 + (1000 * Rb + N5) * N1;$$

$$C5 = -500 * Rb * N2 + (550 * Rb + N5) * N1;$$

$$C6 = -50 * Rb * N2 + (55 * Rb + N5) * N1;$$

$$C7 = -5 * Rb * N2 + (6 * Rb + N5) * N1;$$

$$D = -Rb * N1;$$

$$D1 = 5 * D;$$

$$D2 = 50 * D;$$

$$D3 = 500 * D;$$

$$E = -Rb * N2 - (2 * Rb + N5) * N1;$$

$$E1 = -5 * Rb * N2 - (6 * Rb + N5) * N1;$$

$$E2 = -50 * Rb * N2 - (55 * Rb + N5) * N1;$$

$$E3 = -500 * Rb * N2 - (550 * Rb + N5) * N1;$$

$$E4 = -500 * Rb * N2 - (1000 * Rb + N5) * N1;$$

```

E5=-50*Rb*N2-(550*Rb+N5)*N1;

E6=-5*Rb*N2-(55*Rb+N5)*N1;

E7=-Rb*N2-(6*Rb+N5)*N1;

T=-wns*N1;

Y=-wns*N2;

M=Y+T;

N=Y-T;

for n=1:24

    If1(n)=Ifm*sin((1-ss)*w*k*dt+(pi/tau)*n*tz-pi/6+w12*pi/6);

end;

for n=1:24

    If1(n)=Ifm*sin((1-ss)*w*(k-1)*dt+(pi/tau)*n*tz-pi/6+w12*pi/6);

end;

W1=-wns*N4;

P=-Rb*N4;

Q=2*Rb*N4+N3;

Q1=6*Rb*N4+N3;

Q2=55*Rb*N4+N3;

Q3=550*Rb*N4+N3;

Q4=1000*Rb*N4+N3;

for n=1:3

    A(2*n+4,n+24)=(-1)^(n+1)*T;

    A(2*n+5,n+24)=(-1)^(n+1)*M;

    A(2*n+6,n+24)=(-1)^(n+1)*N;

    A(2*n+7,n+24)=(-1)^n*T;

    A(2*n+10,n+24)=(-1)^n*T;

    A(2*n+11,n+24)=(-1)^n*M;

    A(2*n+12,n+24)=(-1)^n*N;

    A(2*n+13,n+24)=(-1)^(n+1)*T;

```

```

end;

for n=1:3
    A(28,n+24)=1;%hh
end;

    A(28,28)=-1;%jgj
for n=1:12

    A(n+6,n+6)=B;

    A(n+7,n+6)=E;

    A(n+5,n+6)=C;

end;

for n=1:3

    A(n,n)=B4;

    A(n+21,n+21)=B4;

    A(n+1,n)=E4;

    A(n+20,n+21)=C4;

    A(n+19,n+21)=D3;

    A(n+2,n)=-D3;

end;

for n=1:2

    A(n+22,n+21)=E4;

    A(n,n+1)=C4;

    A(n,n+2)=D3;

    A(n+22,n)=D3;

    A(n+22,n+20)=-D3;

    A(n,n+22)=-D3;

end;

for n=1:13

    A(n+4,n+6)=D;

    A(n+7,n+5)=-D;

```

end;

$$A(3, 4) = C5;$$

$$A(3, 5) = D2;$$

$$A(4, 4) = B5;$$

$$A(4, 5) = C6;$$

$$A(4, 6) = D1;$$

$$A(5, 4) = E5;$$

$$A(5, 5) = B6;$$

$$A(5, 6) = C7;$$

$$A(6, 4) = -D2;$$

$$A(6, 5) = E6;$$

$$A(6, 6) = B7;$$

$$A(7, 5) = -D1;$$

$$A(7, 6) = E7;$$

$$A(18, 19) = C1;$$

$$A(18, 20) = D1;$$

$$A(19, 19) = B1;$$

$$A(19, 20) = C2;$$

$$A(19, 21) = D2;$$

$$A(20, 19) = E1;$$

$$A(20, 20) = B2;$$

$$A(20, 21) = C3;$$

$$A(21, 19) = -D1;$$

$$A(21, 20) = E2;$$

$$A(21, 21) = B3;$$

$$A(22, 20) = -D2;$$

$$A(22, 21) = E3;$$

$$A(25, 7) = UA;$$

$$A(25, 8) = UA;$$

$$A(26, 11) = UA;$$

$$A(26, 12) = UA;$$

$$A(27, 15) = UA;$$

$$A(27, 16) = UA;$$

$$A(25, 13) = -UA;$$

$$A(25, 14) = -UA;$$

$$A(26, 17) = -UA;$$

$$A(26, 18) = -UA;$$

$$A(27, 9) = -UA;$$

$$A(27, 10) = -UA;$$

$$A(25, 25) = As;$$

$$A(26, 27) = Bs;$$

$$A(27, 26) = Cs;$$

% Матрица свободных членов

```
S=[
    Q4*X(1)+P*(500*X(24)+500*X(2))+wnr*N2*If(1)+wnr*N1*(If(2)-If(24))-
wnr*N4*If1(1); %1
    Q4*X(2)+P*(500*X(1)+500*X(3))+wnr*N2*If(2)+wnr*N1*(If(3)-If(1))-
wnr*N4*If1(2); %2
    Q4*X(3)+P*(500*X(2)+500*X(4))+wnr*N2*If(3)+wnr*N1*(If(4)-If(2))-
wnr*N4*If1(3); %3
    Q3*X(4)+P*(500*X(3)+50*X(5))+wnr*N2*If(4)+wnr*N1*(If(5)-If(3))-
wnr*N4*If1(4); %4
    Q2*X(5)+P*(50*X(4)+5*X(6))+wnr*N2*If(5)+wnr*N1*(If(6)-If(4))-
wnr*N4*If1(5); %5
    Q1*X(6)+P*(5*X(5)+X(7))+wnr*N2*If(6)+wnr*N1*(If(7)-If(5))-
wnr*N4*If1(6); %6

    W1*X(25)+Q*X(7)+P*(X(6)+X(8))+wnr*N2*If(7)+wnr*N1*(If(8)-If(6))-
wnr*N4*If1(7); %7

    W1*X(25)+Q*X(8)+P*(X(7)+X(9))+wnr*N2*If(8)+wnr*N1*(If(9)-If(7))-
wnr*N4*If1(8); %8
```

$$(-1) * W1 * X(26) + Q * X(9) + P * (X(8) + X(10)) + wnr * N2 * If(9) + wnr * N1 * (If(10) - If(8)) - wnr * N4 * If1(9); \quad \%9$$

$$(-1) * W1 * X(26) + Q * X(10) + P * (X(9) + X(11)) + wnr * N2 * If(10) + wnr * N1 * (If(11) - If(9)) - wnr * N4 * If1(10); \quad \%10$$

$$W1 * X(27) + Q * X(11) + P * (X(10) + X(12)) + wnr * N2 * If(11) + wnr * N1 * (If(12) - If(10)) - wnr * N4 * If1(11); \quad \%11$$

$$W1 * X(27) + Q * X(12) + P * (X(11) + X(13)) + wnr * N2 * If(12) + wnr * N1 * (If(13) - If(11)) - wnr * N4 * If1(12); \quad \%12$$

$$(-1) * W1 * X(25) + Q * X(13) + P * (X(12) + X(14)) + wnr * N2 * If(13) + wnr * N1 * (If(14) - If(12)) - wnr * N4 * If1(13); \quad \%13$$

$$(-1) * W1 * X(25) + Q * X(14) + P * (X(13) + X(15)) + wnr * N2 * If(14) + wnr * N1 * (If(15) - If(13)) - wnr * N4 * If1(14); \quad \%14$$

$$W1 * X(26) + Q * X(15) + P * (X(14) + X(16)) + wnr * N2 * If(15) + wnr * N1 * (If(16) - If(14)) - wnr * N4 * If1(15); \quad \%15$$

$$W1 * X(26) + Q * X(16) + P * (X(15) + X(17)) + wnr * N2 * If(16) + wnr * N1 * (If(17) - If(15)) - wnr * N4 * If1(16); \quad \%16$$

$$(-1) * W1 * X(27) + Q * X(17) + P * (X(16) + X(18)) + wnr * N2 * If(17) + wnr * N1 * (If(18) - If(16)) - wnr * N4 * If1(17); \quad \%17$$

$$(-1) * W1 * X(27) + Q * X(18) + P * (X(17) + X(19)) + wnr * N2 * If(18) + wnr * N1 * (If(19) - If(17)) - wnr * N4 * If1(18); \quad \%18$$

$$Q1 * X(19) + P * (X(18) + 5 * X(20)) + wnr * N2 * If(19) + wnr * N1 * (If(20) - If(18)) - wnr * N4 * If1(19); \quad \%19$$

$$Q2 * X(20) + P * (5 * X(19) + 50 * X(21)) + wnr * N2 * If(20) + wnr * N1 * (If(21) - If(19)) - wnr * N4 * If1(20); \quad \%20$$

$$Q3 * X(21) + P * (50 * X(20) + 500 * X(22)) + wnr * N2 * If(21) + wnr * N1 * (If(22) - If(20)) - wnr * N4 * If1(21); \quad \%21$$

$$Q4 * X(22) + P * (500 * X(21) + 500 * X(23)) + wnr * N2 * If(22) + wnr * N1 * (If(23) - If(21)) - wnr * N4 * If1(22); \quad \%22$$

$$Q4 * X(23) + P * (500 * X(22) + 500 * X(24)) + wnr * N2 * If(23) + wnr * N1 * (If(24) - If(22)) - wnr * N4 * If1(23); \quad \%23$$

$$Q4 * X(24) + P * (500 * X(23) + 500 * X(1)) + wnr * N2 * If(24) + wnr * N1 * (If(1) - If(23)) - wnr * N4 * If1(24); \quad \%24$$

$$UA * (X(7) + X(8) - X(13) - X(14)) + (LsA/dt) * X(25) + Ua; \quad \%25$$

$$UA * (X(11) + X(12) - X(17) - X(18)) + (LsB/dt) * X(27) + Ub; \quad \%26$$



```

UA*(X(15)+X(16)-X(9)-X(10))+(LsC/dt)*X(26)+Uc; %27
0]; %28

% Решение методом Гаусса-Жордана
Z=rref([A S]); %Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:28,29:29); %Выделение последнего столбца из матрицы
%Ток в роторе
IR=[
        Rb*(1000*X(1)-500*X(2)-500*X(24)); %1
        Rb*(1000*X(2)-500*X(3)-500*X(1)); %2
        Rb*(1000*X(3)-500*X(4)-500*X(2)); %3
        Rb*(550*X(4)-50*X(5)-500*X(3)); %4
        Rb*(55*X(5)-5*X(6)-50*X(4)); %5
        Rb*(6*X(6)-X(7)-5*X(5)); %6
        (-wns*X(25)+Rb*(2*X(7)-X(8)-X(6))); %7
        (-wns*X(25)+Rb*(2*X(8)-X(9)-X(7))); %8
        ((-1)*(-wns)*X(26)+Rb*(2*X(9)-X(10)-X(8))); %9
        ((-1)*(-wns)*X(26)+Rb*(2*X(10)-X(11)-X(9))); %10
        (-wns*X(27)+Rb*(2*X(11)-X(12)-X(10))); %11
        (-wns*X(27)+Rb*(2*X(12)-X(13)-X(11))); %12
        ((-1)*(-wns)*X(25)+Rb*(2*X(13)-X(14)-X(12))); %13
        ((-1)*(-wns)*X(25)+Rb*(2*X(14)-X(15)-X(13))); %14
        (-wns*X(26)+Rb*(2*X(15)-X(16)-X(14))); %15
        (-wns*X(26)+Rb*(2*X(16)-X(17)-X(15))); %16
        ((-1)*(-wns)*X(27)+Rb*(2*X(17)-X(18)-X(16))); %17
        ((-1)*(-wns)*X(27)+Rb*(2*X(18)-X(19)-X(17))); %18
        Rb*(6*X(19)-5*X(20)-X(18)); %19
        Rb*(55*X(20)-50*X(21)-5*X(19)); %20
        Rb*(550*X(21)-500*X(22)-50*X(20)); %21
        Rb*(1000*X(22)-500*X(23)-500*X(21)); %22
        Rb*(1000*X(23)-500*X(24)-500*X(22)); %23

```

```
Rb*(1000*X(24)-500*X(1)-500*X(23))]; %24

% Электромагнитное усилие

F(1)=(X(2)-X(24))*(IR(1))/(2*tz);

for n=1:22

    F(n+1)=(X(n+2)-X(n))*(IR(n+1))/(2*tz);

end;

F(24)=(X(1)-X(23))*(IR(24))/(2*tz);

% Скорость

v0=v0+((sum(F)-Fc)/m)*dt;

mass_Um(k)=Um;

mass_fc(k)=fc;

mass_t(k)=k*dt;

end;

% Построение графиков

figure(1);

plot(mass_t,mass_Um,'r',mass_t,mass_fc,'b');

grid on;

axis([0 5 0 400]);

figure(2);

k=0:K;

subplot(2,1,1);

plot(k*dt,v);

title('Скорость');

xlabel('t,c');

ylabel('v,м/с');

grid on;

subplot(2,1,2);

plot(k*dt,f);

title('Сила');
```

```
xlabel('t,c');
ylabel('F,H');
grid on;
%end
```

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска представлены на рис. 5 и рис. 6.

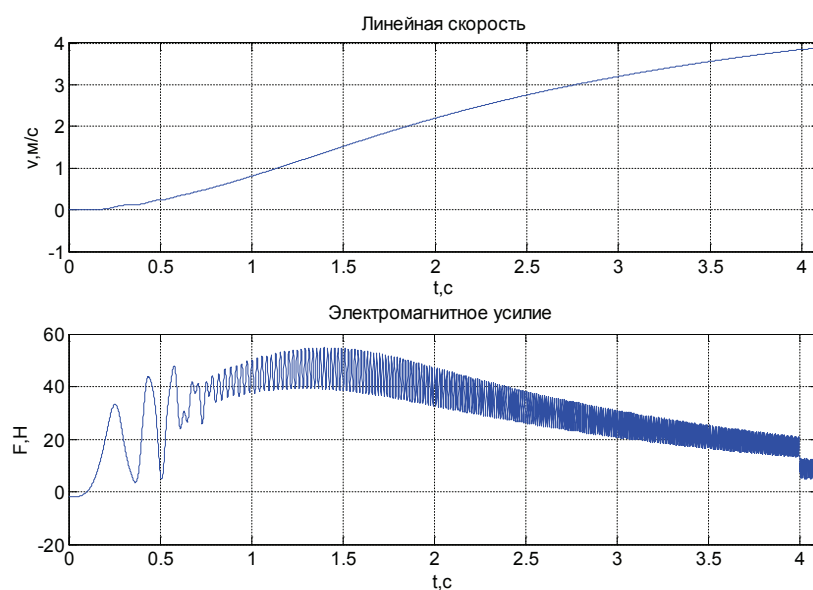


Рис. 5. Результат моделирования синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска с набросом нагрузки при  $t = 4$  с

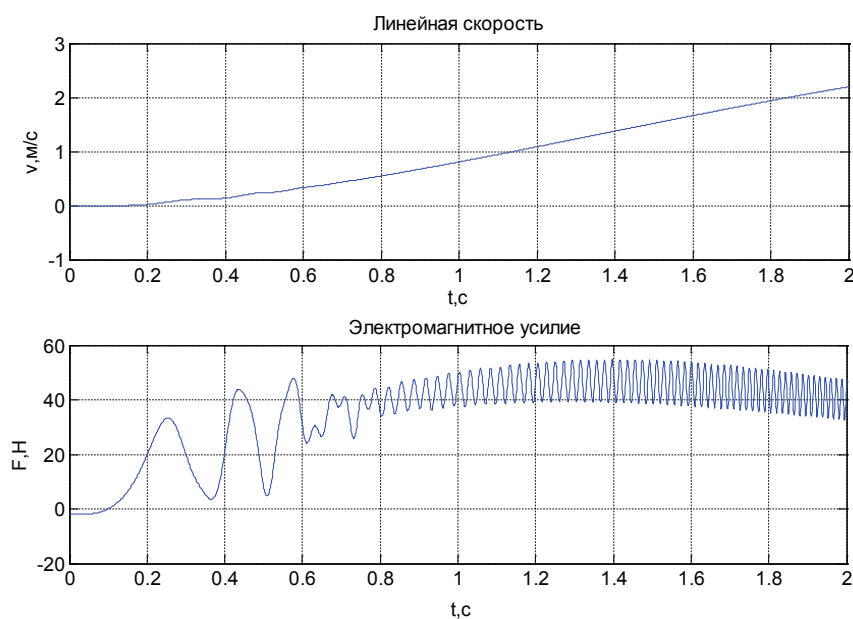


Рис. 6. Результат моделирования синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска

Зависимости токов  $i_A^s$ ,  $i_B^s$ ,  $i_C^s$  и  $i_0^s$  даны на рис. 7.

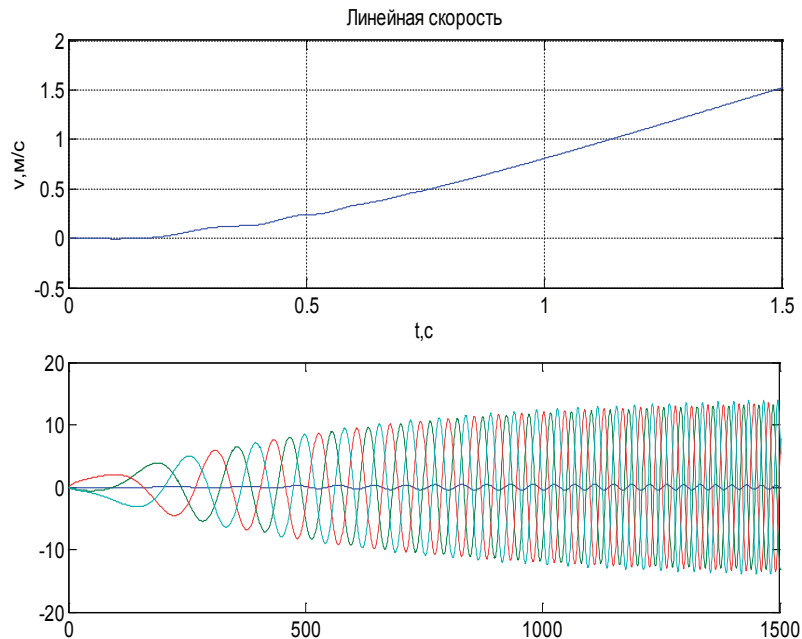


Рис. 7. Временные зависимости  $i_A^s$ ,  $i_B^s$ ,  $i_C^s$  и  $i_0^s$  при  $k = 1500$

Литература:

1. Емельянов А.А., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Фуртиков К.А., Реутов А.Я., Боброва С.Д., Андреева Е.Д. Программирование синхронного двигателя ( $Z1/Z2 = 12/24$ ) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — № 18 (77, ноябрь). — с. 24-47.
2. Веселовский О.Н. и др. Линейные асинхронные двигатели / Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
3. Сарапулов Ф.Н., Емельянов А.А., Иваницкий С.В., Резин М.Г. Исследование электромеханических переходных процессов линейного асинхронного короткозамкнутого двигателя // Электричество. — 1982. — № 10. — с. 54–57.
4. Емельянов А.А., Богатов Е.А., Клишин А.В., Медведев А.В., Симонович В.Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. — 2010. — № 5. — с. 14-22.
5. Емельянов А.А., Медведев А.В., Богатов Е.А., Кобзев А.В., Бочкарев Ю.П. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB // Молодой ученый. — 2013. — № 3. — с. 129-143.
6. Емельянов А. А., Медведев А. В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя с числом пазов в индукторе равно шесть // Молодой ученый. — 2013. — № 10. — с. 23-38.
7. Емельянов А. А., Медведев А. В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ( $Z1=6$ ) через спинку ярма // Молодой ученый. — 2013. — № 10 — с. 39-54.
8. Емельянов А.А., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Бочкарев Ю.П., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Иванин А.Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя ( $Z1 = 6$ ) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — № 2. — с. 36-51.
9. Емельянов А.А., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Киряков Г.А., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф. Математическая модель синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ( $Z1/Z2 = 6/12$ ) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — № 15 (74, сентябрь). — с. 9-30.

## Синтез магнитных наночастиц с иммобилизацией на фрактальных агрегатах кремнезема

Ионин Сергей Анатольевич, студент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

### 1. Введение

Технология для создания магнитных наночастиц по сей день активно развивается в связи с их технологической и фундаментальной научной значимостью. Эти наночастицы часто демонстрируют очень интересные электрические, оптические, магнитные и химические свойства, которые не могут быть достигнуты их объемными аналогами. Синтез отдельных магнитных наночастиц с размерами от 2 до 20 нм и наносистем на их основе, имеет важное значение, потому что они применяются не только в магнитных устройствах хранения данных, но и могут найти различные применения в феррожидкостях, магнитных системах охлаждения, для повышения контрастности в магниторезонансной томографии и в системах адресной доставки лекарственных средств [1]. Таким образом, особый интерес представляют гетеронаносистемы, содержащие магнитные наночастицы [2].

В данной статье перечислены основные химические методы получения магнитных наноструктурированных материалов, представленные в российских и зарубежных литературных источниках, но акцент сделан на нанотехнологиях, развиваемых в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и ИХС РАН [3,4].

Автором в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в ходе работы над магистерской диссертацией получены новые экспериментальные результаты в области золь-гель синтеза композитов, содержащих наноразмерные частицы ферритов со структурой шпинели, являющиеся продолжением работ, обобщенных в [5–8].

### 2. Существующие химические методы синтеза магнитных наночастиц

К наиболее широко распространенным относятся следующие способы химического синтеза магнитных наночастиц:

- химическое соосаждение из растворов прекурсоров;
- золь-гель метод;
- синтез в обращенных мицеллах;
- синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт и адсорбционных слоях;
- восстановление металлосодержащих соединений (для получения металлических наночастиц, которые затем могут быть специальным образом окислены, например, для приготовления коллоидных растворов частиц оксида железа);
- высокотемпературный пиролиз металлоорганических соединений.

Некоторые из этих методов (золь-гель метод, метод Ленгмюра-Блоджетт) позволяют синтезировать стабильные нанокompозиты, а для остальных методов после получения магнитных наночастиц ещё необходима стабилизация в органической или неорганической оболочке [9, 10].

В работе [11] были проведены эксперименты по созданию монослоев из частиц магнетита стабилизированных методом Ленгмюра-Блоджетт. Это наиболее перспективный метод для создания монослойных покрытий из наночастиц, из-за точности регулировки толщины и однородности монослоев. По результатам данной работы были получены и исследованы плёнки на основе  $Fe_3O_4$  наночастиц диаметром 90–150 нм, а по данным, полу-

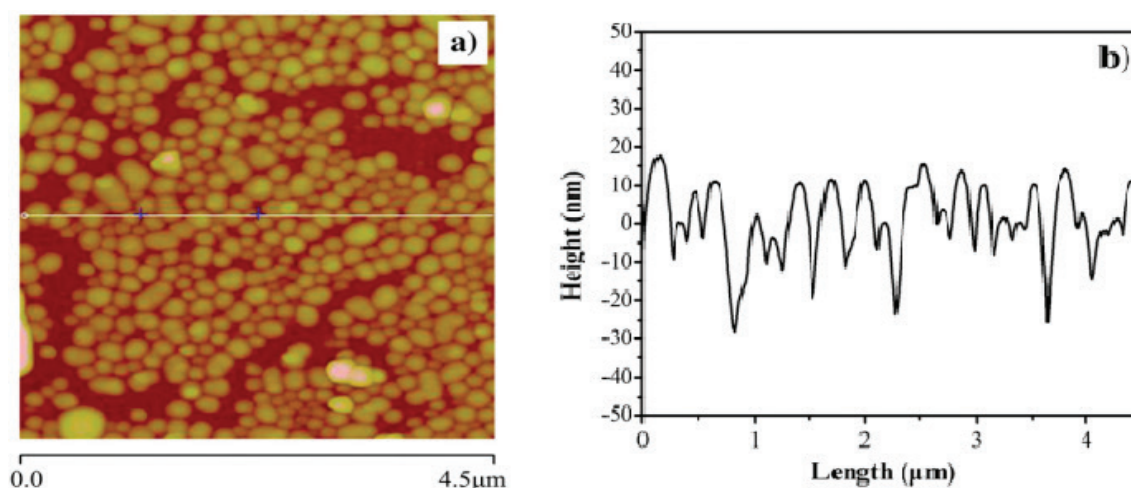


Рис. 1. Атомно-силовое изображение (слева) и профиль рельефа (справа) слоя Ленгмюра-Блоджетт [2]

ченным с помощью атомно-силовой микроскопии видно, что плёнка полученная методом Лэнгмюра-Блоджетт хорошо сжимается в монослой.

Авторами работы [12] были проведены эксперименты по синтезу наноструктур методом термического разложения солей железа. В данной работе было показано, что частицы образуют крупные агрегаты и отличаются большой дисперсией по размерам, так же авторами показано, что с увеличением размера свойства частиц изменяются от суперпарамагнитных до магнитоупорядоченных.

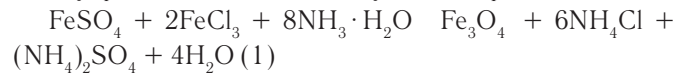
Получение коллоидных растворов наночастиц в работе [13] было выполнено путем соосаждения. Авторам удалось осадить монодисперсные наночастицы размером 10 нм, обладающие выраженными суперпарамагнитными свойствами.

В работе [14] были проведены эксперименты по синтезу наноструктур методом осаждения из водных растворов прекурсоров с использованием золь-гель процесса. В ходе выполнения данной работы авторами были получены и исследованы слои и порошки содержащие магнитные наночастицы.

### 3. Применение золь-гель метода для синтеза магнитных наночастиц

Золь-гель метод может использоваться не только при получении объемных композитов, но и при синтезе коллоидных магнитных частиц. В работах [14–18] синтез композитных наночастиц, состоящих из стабилизированного в пористой матрице диоксида кремния магнетита, производился в два этапа. Раствор тетраэтоксисилана (ТЭОС) в изопропиловом спирте осаждали водным раствором аммиака. После перехода золя ТЭОС в гель образцы сушили при комнатной температуре, затем производили термообработку при 300°C в течение 15 минут. Полученные ксерогели SiO<sub>2</sub> диспергировали в ультразвуковой ванне в водном растворе солей Fe<sup>3+</sup> и Fe<sup>2+</sup> (кристаллогидратов хлорида и сульфата железа, соответственно). На завершающем этапе синтеза в суспензию добавляли водный раствор аммиака для осаждения частиц магнетита

в порах и на поверхности диоксида кремния, а также на поверхности стеклянных подложек. Концентрация магнетита в полученной жидкости составляла 0,6 ммоль/л. Протекающая в порах диоксида кремния реакция может быть упрощенно записана следующим образом:



Для исследования образцов методом атомно-силовой микроскопии приготовленные дисперсии разбавляли до концентрации 0,15 ммоль/л. (Подробно методики атомно-силовой микроскопии описаны в [19]) Получение образцов для микроскопии на стеклянных подложках производилось методом нанесения суспензии наночастиц микролитровым дозатором с последующей сушкой при комнатной температуре. Для приготовления образцов при разной напряженности магнитного поля предварительно была построена зависимость индукции, создаваемой постоянным магнитом NdFeB, от расстояния.

Способность рыхлой структуры диоксида кремния закреплять кристаллиты Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> напрямую связана с удельной площадью поверхности исходного порошка SiO<sub>2</sub>. Для минимизации влияния случайных факторов при приготовлении водных коллоидных растворов и измерении S<sub>уд</sub> была использована одна серия растворов ТЭОС в изопропиловом спирте.

Зависимость удельной площади поверхности образцов от объемного содержания ТЭОС в растворе имеет максимум в области 60–80 об. %. Использование образцов именно с такой концентрацией ТЭОС коррелирует с результатами, полученными измеряя время спин-спиновой релаксации частиц.

Дальнейшее увеличение доли ТЭОС в растворе не приводит к существенному повышению r<sub>2</sub>, однако временная стабильность улучшается. Начальная релаксационная эффективность снижается за 14 дней приблизительно на 40 %, а установившееся значение r<sub>2</sub> составляет около 150 л/ммоль·с. Таким образом, концентрация исходного спиртового раствора ТЭОС оказывает определяющее влияние на функциональные свойства получаемых

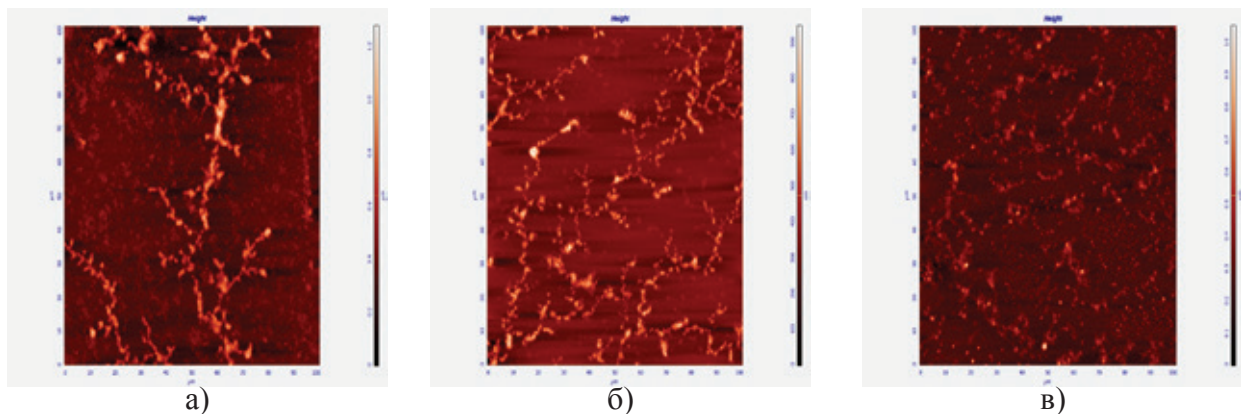


Рис. 2. АСМ-изображение образца, приготовленного при сушке суспензии в поле индукцией: а) 2 мТл; б) 1 мТл, в) без магнитного поля, размер области сканирования 100x100 мкм<sup>2</sup>

коллоидных растворов, что, вероятно, объясняется изменением эффективности абсорбции кристаллитов магнетита на поверхности глобул  $\text{SiO}_2$ .

#### 4. Заключение

Среди используемых сегодня методов синтеза магнитных наночастиц химические составляют отдельную группу. Несмотря на возможность получения коллоидов с узким распределением частиц по размеру, большинство из применяемых методов требует последующей стабилизации поверхностно-активным веществом или покрытия неорганической оболочкой.

Одним из современных технологических подходов является золь-гель процесс, позволяющий синтезировать

магнитные композиты на основе аморфной матрицы кремнезема с фрактальной структурой. Частицы оксида железа осаждаются и иммобилизуются на поверхности кластеров диоксида кремния, морфология которой имеет определяющее значение для функциональных характеристик коллоидных растворов, таких как удельный магнитный момент и контрастирующая способность для магниторезонансной томографии.

В результате проведенного исследования были рассмотрены основные виды химического синтеза магнитных наночастиц. Было показано влияние размера магнитных наночастиц на их магнитные свойства, а также при исследовании водных суспензий  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в матрице высокодисперсного диоксида кремния влияние самого носителя на время спин-спиновой релаксации.

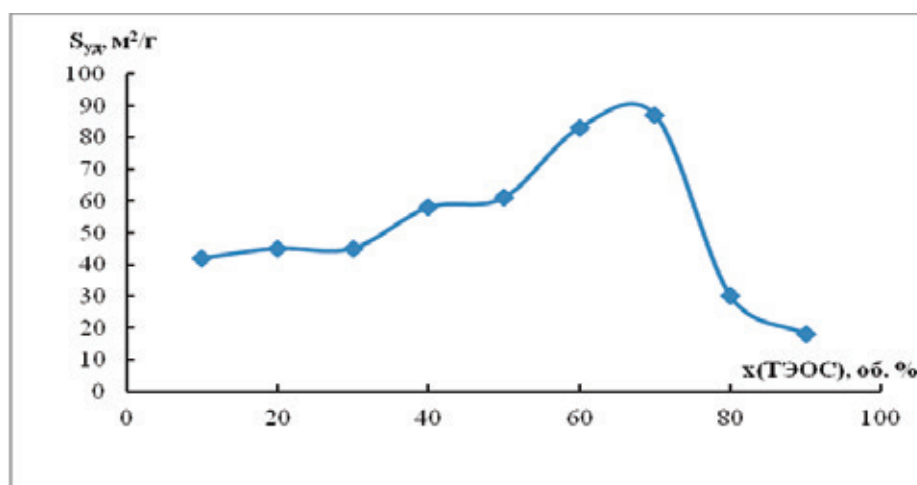


Рис. 3. Зависимость удельной площади поверхности от объемного содержания ТЭОС в растворе изопропилового спирта

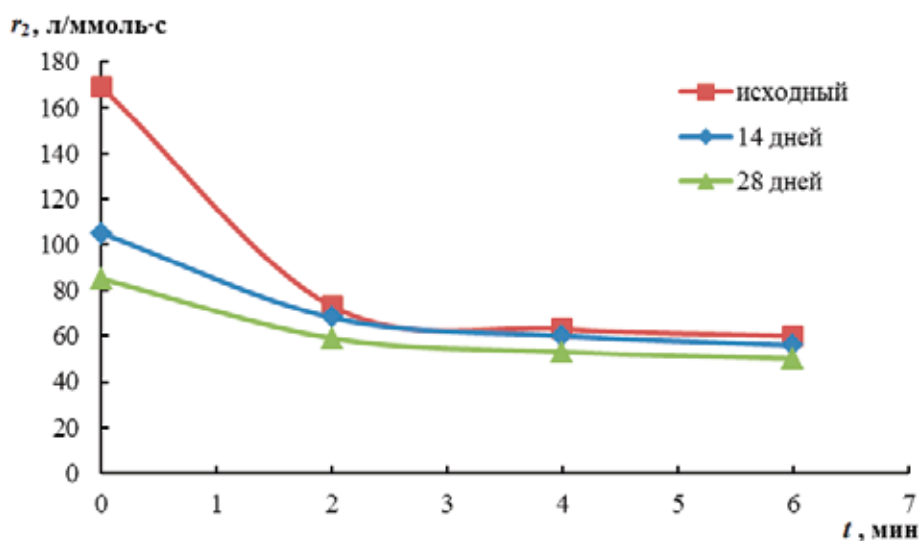


Рис. 4. Зависимости релаксационной эффективности  $r_2$  от времени после начала измерения для образца, приготовленного при сушке образца на основе раствора с 30 об. % ТЭОС, полученные при хранении образца

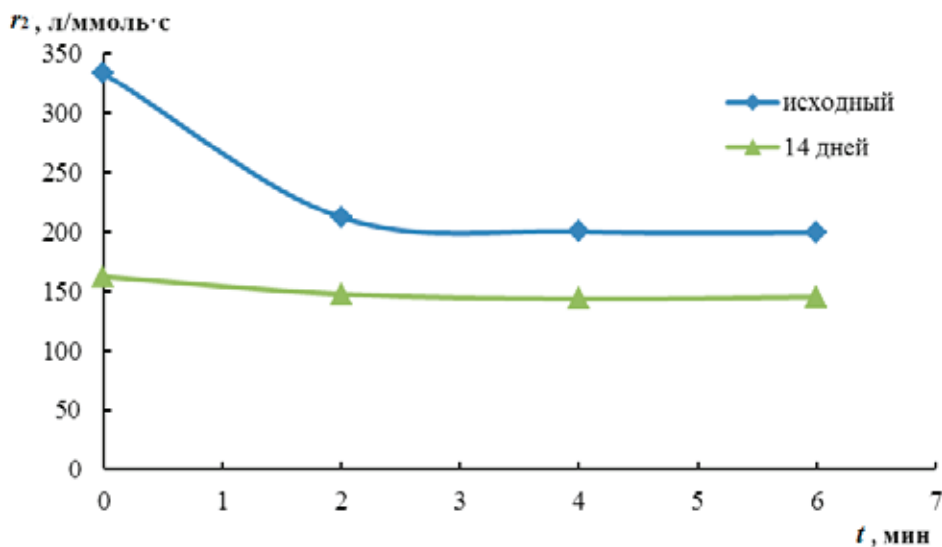


Рис. 5. Зависимости релаксационной эффективности  $g_2$  от времени после начала измерения для образца, приготовленного при сушке образца на основе раствора с 60 об. % ТЭОС, полученные при хранении образца

#### Литература:

1. Hyeon, T. Chemical synthesis of magnetic nanoparticles // Chem. Commun. 2003. P. 927–934.
2. Moshnikov, V. A., Gracheva I. E., Anchkov M. G. et al. Investigating properties of gas-sensitive nanocomposites obtained via hierarchical self-assembly / In: Smart Nanoobjects: Synthesis and Characterization N. Y. Nova Science Publ. — 2013. с. 165–179.
3. Жабрев, В. А., Мошников В. А., Таиров Ю. М. и др. Золь-гель технология Учебное пособие / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». Санкт-Петербург, 2004.
4. Мошников, В. А., Таиров Ю. М., Хамова Т. В., Шилова О. А. Золь-гель технология микро- и нанокompозитов: Учебное пособие. — СПб.: Изд. «Лань», 2013г.
5. Гареев, К. Г., Лучинин В. В., Мошников В. А. Магнитные наноматериалы, получаемые химическими методами // Биотехносфера. 2013. №5 (29). с. 2–13.
6. Gracheva, I. E., Olchowik G., Gareev K. G. et al. Investigations of nanocomposite magnetic materials based on the oxides of iron, nickel, cobalt and silicon dioxide // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2013. Т. 74. №5. с. 656–663.
7. Pronin, I. A., Averin I. A., Yakushova N. D. et al. Theoretical and experimental investigating of ethanol vapour properties of junctions composed from produced by sol-gel technology pure and Fe modified nanostructured ZnO thin films // Sensors and Actuators A: Physical. 2014. Т. 206. с. 88–96.
8. Карпова, С. С., Мошников В. А., Максимов А. И. и др. Исследование влияния кислотно-основных свойств поверхности оксидов ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZNFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> на их газочувствительность по отношению к парам этанола // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. №8. с. 1022–1026.
9. Губин, С. П., Кокшаров Ю. А., Хомутов Г. Б., Юрков Г. Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение, свойства // Успехи химии, 74 (6), 2005, 74 (6), с.539–574
10. Губин, С. П., Юрков Г. Ю., Катаева Н. А. Микрогранулы и наночастицы на их поверхности // Неорганические материалы, 2005, т. 41, №10, с. 1159–1175.
11. Liu, C., Shan Y., Zhu Y., Chen K. Magnetic monolayer film of oleic acid-stabilized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles fabricated via Langmuir-Blodgett technique // Thin Sol. Films. 2009. V. 518. P. 324–327.
12. Суздаев, И. П., Максимов Ю. В., Имшенник В. К. и др. Иерархия строения и магнитные свойства наноструктуры оксидов железа // Российские Нанотехнологии. 2006. Т. 1. №1–2. с. 134–141.
13. El Ghandoor H., Zidan H. M., Khalil M. M. H., Ismail M. I. M. Synthesis and Some Physical Properties of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles // Int. J. Electrochem. Sci. 2012. V. 7. P. 5734–5745.
14. Грачева, И. Е., Гареев К. Г., Мошников В. А., Альмяшев В. И. // Исследование нанокompозиционных материалов с иерархической структурой на основе системы Y-Fe-Si-O / Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3. №5. с. 111–124.



16. Bogachev Yu.V., Chernenco Ju.S., Gareev K. G. et. al. The Study of Aggregation Processes in Colloidal Solutions of Magnetite—Silica Nanoparticles by NMR Relaxometry, AFM, and UV—Vis-Spectroscopy // Appl. Magn. Reson. 2014. Vol. 45. No. 3. P. 329—337.
17. Богачев, Ю. В., Гареев К. Г., Матюшкин Л. Б. и др. Исследование суспензии наночастиц магнетита методами фотометрии и ЯМР-релаксометрии // Физика твердого тела, 2013, том 55, вып. 12. с. 2313—2317.
18. Кононова, И. Е., Гареев К. Г., Мошников В.А Самосборка фрактальных агрегатов системы магнетит—диоксид кремния в постоянном магнитном поле. // Неорганические материалы, 2014, том. 50, № 1, с. 75—81.
19. Альмяшев, В. И., Гареев К. Г., Ионин С. А. и др., Исследование структуры, элементного и фазового состава композитных слоев Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> методами растровой электронной микроскопии, рамановской спектроскопии и тепловой десорбции азота // ФТТ, 2014, том 56, вып. 11. с. 2086—2090.
20. Мошников, В. А., Спивак Ю. М. Атомно-силовая микроскопия для нанотехнологии и диагностики. Учебное пособие. Санкт-Петербургский гос. электротехнический ун-т «ЛЭТИ». СПб.: Изд. СПбГЭТУ, 2009.

## Влияние магнитного поля на подвижность электронов в квантовой проволоке с краевой дислокацией

Кревчик Владимир Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор;  
 Калинин Владимир Николаевич, аспирант;  
 Калинин Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент  
 Пензенский государственный университет

Технология выращивания квантовых проволок может сопровождаться возникновением дефектов упаковки и краевых дислокаций. Последние играют существенную роль в рассеянии носителей заряда при достаточно низких температурах, а следовательно, оказывают значительное влияние на транспортные свойства квантовых проволок. Во внешнем продольном магнитном поле появляются новые возможности для управления подвижностью носителей заряда в квантовой проволоке, что важно для приложений в полупроводниковой наноэлектронике.

Цель работы заключается в теоретическом исследовании влияния краевой дислокации на подвижность электронов в квантовой проволоке во внешнем продольном магнитном поле, а также в сравнении с влиянием другим механизмом рассеяния, рассмотренных ранее в работах [1, 2].

Рассмотрим полупроводниковую квантовую проволоку (КП) находящуюся в продольном по отношению к ее оси магнитном поле. Будем считать, что КП имеет форму круглого цилиндра, радиус основания  $L_x$  которого значительно меньше его длины  $L_z$  ( $L_x \ll L_z$ ). Предположим, что дислокация ориентирована вдоль оси  $y$  в плоскости поперечного сечения КП, а рассеяние электронов происходит в плоскости  $xz$  (рис. 1).

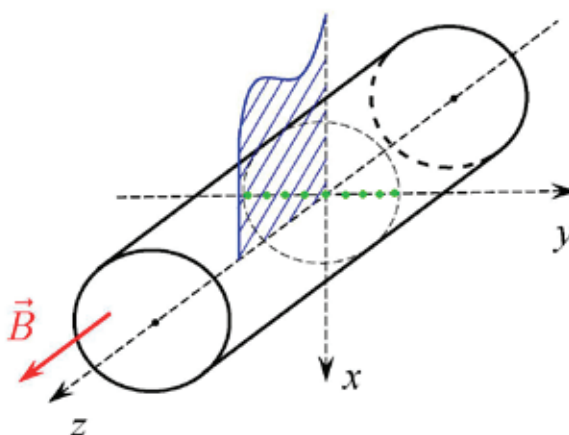


Рис. 1. КП с краевой дислокацией во внешнем магнитном поле

Векторный потенциал магнитного поля  $\vec{A}(\vec{r})$  выберем в симметричной калибровке  $\vec{A} = \frac{1}{2}[\vec{B}, \vec{r}]$ , так что  $\vec{A} = (-yB/2, xB/2, 0)$ ,  $\vec{B} = (0, 0, B)$ .

Потенциал конфинмента КП моделируется потенциалом двумерного гармонического осциллятора:

$$U(\rho) = \frac{m^*}{2} \omega_0^2 \rho^2, \tag{1}$$

где  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \leq L_x$ ;  $\rho, \phi, z$  — цилиндрические координаты;  $m^*$  — эффективная масса электрона;  $\omega_0$  — характерная частота удерживающего потенциала.

Как известно [3], краевые дислокации в полупроводниках с долей ковалентной связи действуют как акцепторные центры, поэтому в кристаллах n-типа дислокационная линия становится отрицательно заряженной и вокруг нее образуется область положительного заряда. Налетающие на дислокацию электроны испытывают с ее стороны отталкивание, приводящее к их рассеянию и тем самым уменьшению подвижности.

Согласно модели Бонч-Бруевича и Когана, экранированный потенциал заряженной дислокации имеет вид [3]

$$U(\rho_1) = \frac{e_0^2 f_0^* K_0 \left( \frac{\rho_1}{\lambda_0} \right)}{2\pi \epsilon \epsilon_0 a_0^*}, \tag{2}$$

где  $f_0^*$  — вероятность заполнения акцепторного центра в дислокационной линии;  $a_0^*$  — расстояние между акцепторными центрами в дислокационной линии;  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость материала КП;  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная;  $K_0(x)$  — функция Макдональда;  $\rho_1 = \sqrt{x^2 + z^2}$ ,  $\lambda_0 = \sqrt{\epsilon \epsilon_0 k_0 T / (e_0^2 n_e)}$  — длина экранирования Дебая,  $k_0$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура,  $n_e$  — концентрация электронов в КП.

Ограничиваясь вкладом основной подзоны размерного квантования для подвижности носителей тока в КП получим [4]

$$\mu = \frac{16|e|\hbar^2 a_d^3 E_d^{1/2} \beta \omega^{-1}}{3\sqrt{\pi} L_x^2 m^{*2} (k_0 T)^{3/2}} sh \left( \frac{E_d}{k_0 T} \beta^{-1} \omega \right)^{1/2} \int_0^{2\alpha^{-1}} k_z^2 \tau(0, 0, k_z) \exp \left( -\frac{E_{0,0,k_z}}{k_0 T} \right) dk_z, \tag{3}$$

где  $\beta = L_x E_d^{1/2} / (2a_d U_0^{1/2})$ ;  $\omega = \sqrt{1 + \beta^2 (a_d / a_B)^4}$ ;  $sh(x)$  — гиперболический синус;  $\tau(0, 0, k_z)$  — время релаксации носителей заряда в КП;  $U_0$  — амплитуда потенциала конфинмента;  $a_B$  — магнитная длина;  $a_d$  и  $E_d$  — эффективный боровский радиус и энергия соответственно;  $k_z$  — проекция квазиволнового вектора электрона в КП на ось Oz.

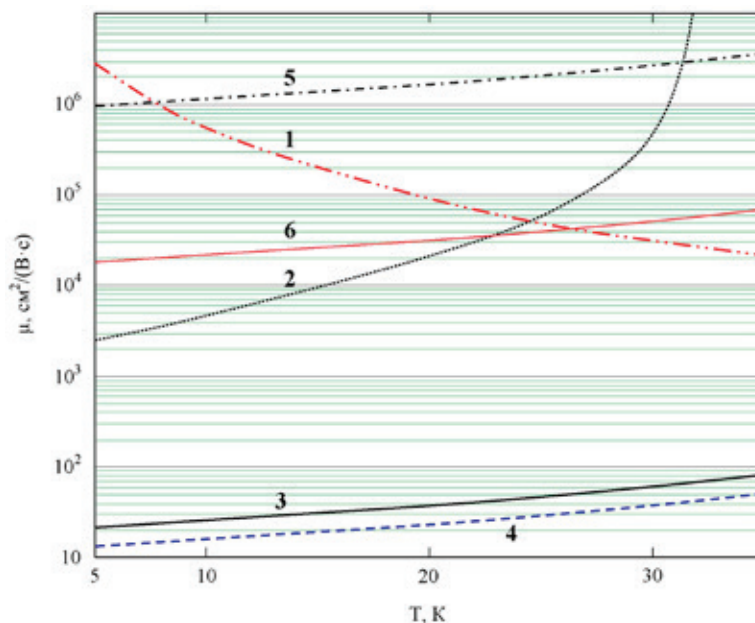


Рис. 2. Температурная зависимость подвижности электронов в GaAs КП при  $n_e = 4.16 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>;  $2LX = 7$  нм;  $LZ = 1$  мкм;  $a_0^* = 0,65$  нм;  $f_0^* = 0,15$ , для различных механизмов рассеяния: 1 — рассеяние на LA-фононах [1]; 2 — рассеяние на флуктуациях толщины КП [2]; 3–6 — рассеяние на краевой дислокации (кривые 1–3, 5–6 построены при  $B = 0$  Тл; кривая 4 при  $B = 2$  Тл, кривая 5 построена при  $f_0^* = 0,06$ , кривая 6 при  $f_0^* = 0,08$ )

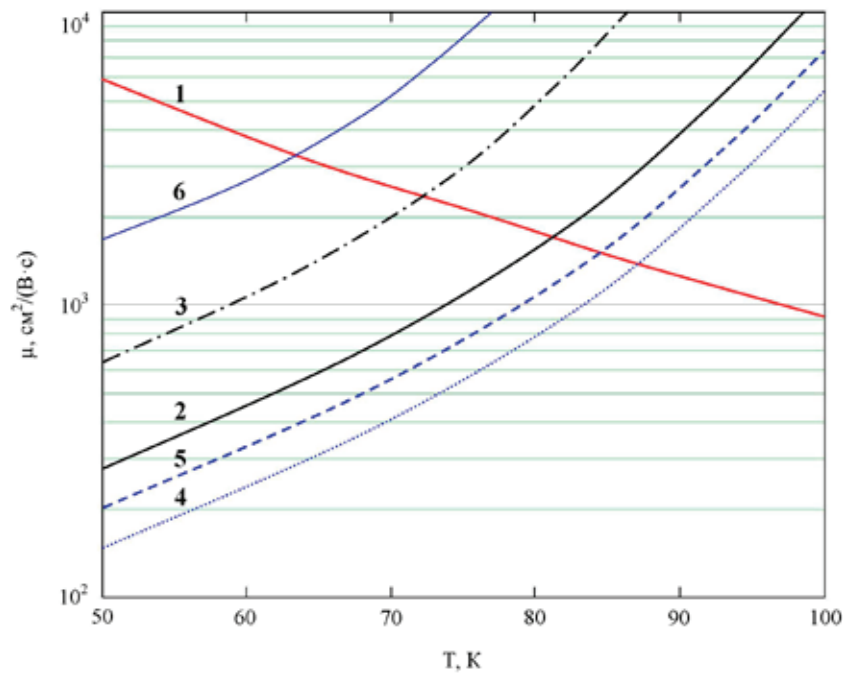


Рис. 3. Температурная зависимость подвижности электронов в GaAs КП при  $n_e = 4.16 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ;  $2LX = 7 \text{ нм}$ ;  $LZ = 1 \text{ мкм}$ : 1 — рассеяние на LA-фононах [1]; 2–6 — рассеяние на краевой дислокации (кривые 1–3, 6 построены при  $B = 0 \text{ Тл}$ ; кривая 5 при  $B = 2 \text{ Тл}$ ) для различных значений параметров дислокационной линии  $a_0^*$  и  $f_0^*$ : 2 —  $a_0^* = 0,65 \text{ нм}$ ;  $f_0^* = 0,15$ ; 3 —  $a_0^* = 0,65 \text{ нм}$ ;  $f_0^* = 0,12$ ; 4 —  $a_0^* = 0,5 \text{ нм}$ ;  $f_0^* = 0,15$ ; 5 —  $a_0^* = 0,65 \text{ нм}$ ;  $f_0^* = 0,15$ ; 6 —  $a_0^* = 0,65 \text{ нм}$ ;  $f_0^* = 0,11$

На рис. 2 представлены температурные зависимости подвижности электронов в GaAs КП при рассеянии на LA-фононах [1] (кривая 1), на флуктуациях толщины КП [2] (кривая 2) и на краевой дислокации согласно (3) для параметров GaAs [2]: плотность  $\rho = 5.3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , продольная скорость звука  $v = 5.2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ , константа деформационного потенциала  $C = 2.2 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ , корреляционный радиус  $\Lambda = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$  [2].

Из рис. 2 следует, что вклад механизма релаксации связанного с рассеянием электронов на краевой дислокации зависит от величины параметра  $f_0^*$  — вероятности заполнения акцепторных центров в дислокационной линии (сравн. кривые 5 и 3). При  $f_0^* \leq 0.08$  данный механизм в области температур от 5 до 30 К может быть существенным в сравнении с рассеянием на акустических фононах и на случайных неровностях границ КП (сравн. кривые 1, 2 и 3). В области температур от 50 до 100 К рассмотренный механизм становится эффективным по сравнению с рассеянием на LA-фононах при  $f_0^* \leq 0.15$  (сравн. кривые 1 и 4 на рис. 3). В магнитном поле подвижность электронов уменьшается за счёт сжатия электронной волновой функции в радиальной плоскости КП (сравн. кривые 3 и 4 на рис. 2 и кривые 5 и 4 на рис. 2).

Литература:

1. Поклонский, Н. А. О температурной зависимости статической электропроводности полупроводниковой квантовой проволоки в изоляторе. / Н. А. Поклонский, Е. Ф. Кисляков, С. А. Вyrко // ФТП. — 2003. — Т. 37. — Вып. 6. — с. 735
2. Рувинский, М. А. О влиянии флуктуаций толщины на статическую электропроводность квантовой полупроводниковой проволоки. / М. А. Рувинский, Б. М. Рувинский // ФТП. — 2005. — Т. 39. — Вып. 2. — с. 247.
3. Бонч-Бруевич, В. Л. К теории электронной плазмы в полупроводниках. / В. Л. Бонч-Бруевич, С. М. Коган // ФТТ. — 1959. — Т.1 — Вып. 8. — с. 1221.
4. Кревчик, В. Д. Подвижность электронов в квантовой проволоке с краевой дислокацией во внешнем магнитном поле. / В. Д. Кревчик, В. Н. Калинин, Е. Н. Калинин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2014. — №1 (29). — с. 70–84.

## On the mathematical modeling of radiation-related abnormalities in humans

Яргин Сергей Вадимович, кандидат технических наук, доцент  
Российский университет дружбы народов (г. Москва)

Mathematical models (MM) describe relationships between numerical values. One of the reasons for the modeling is that it helps to formalize ideas and facts known about the system under investigation [1]. Adequate MM can make testable predictions as to how a system would evolve under certain conditions [2]. In other words, MM make it possible to bridge gaps where data are missing i. e. to make extrapolations [3]. MM have reached the highest level in physics; in biology they have played a «softer» role because of complexity of biological systems [2]. A requirement to a MM is its validity [4]: once construed, a model and the range of variables, where it is supposed to be applicable, should be tested by reliable methods. Only thereafter a model can be used for extrapolations especially in medico-biological sciences, where many quantitative relationships are statistical and hardly predictable a priori.

In the recent article [5], dedicated to the Techa river cohort (TRC), it was stated that «modeling studies revealed the relationship between the dynamics of the lymphocytopenic system in the examined individuals and the variation of dose rate over the considered period of time». Note that, as discussed in the preceding paragraph, MM describe rather than reveal relationships. The TRC consists of over 30,000 people who were born before the start of the radiation exposure in 1949 and lived along the Techa river [6]. Large discharges of radioactive waste into the river occurred during the years 1949–1956 [7,8]. Doses to the population decreased in 1956, when residents of the upper reaches of the river were moved to new locations and the most highly contaminated parts of the flood plain were enclosed [7]. The collective dose to the most exposed population from 1949 to 1956 was 6200 man Sv, with an average individual effective dose about 300 mSv, ranging from 36 to 1400 mSv (annual average from 4.5 to 175 mSv) [7]. The worldwide annual doses from the natural radiation background are generally expected to be within the range 1–10 mSv but can be higher [7,9]. So, at least a smaller part of the TRC received doses comparable to those from the natural radiation background. The doses received by the study subjects were not indicated in the articles under discussion [5,10].

In the author's opinion, some quantitative risk estimates in the TRC have been questionable and conducive to exaggeration of the dose-effect relationships [11,12]. One of the mechanisms of exaggeration is as follows. The cohort members have been generally aware of their dose estimates calculated on the basis of their age and residence history. Some of them were preoccupied with monetary compensations, others probably with radiation-related health problems. It can be reasonably assumed that people with higher dose estimates were on average more motivated to visit medical institutions and undergo examinations (a self-selection bias),

being at the same time given more attention. A similar phenomenon of the «dose-dependent participation of self-reported prescreening cases» was noticed among the residents of the contaminated territories after the Chernobyl accident [13]. Detection probability of abnormalities, especially those without local symptoms such as many hematological disorders, would be higher in people more frequently seen by medical personnel. Considering the above, a reason why a significant dose-response relationship for leukemias other than chronic lymphocytic leukemia (CLL), but not for CLL, was found in [14] and [15] (commented in [16]) seems to be clear: CLL is often accompanied by lymphadenopathy therefore probably remaining less frequently undiagnosed in the general population than other leukemias.

Another passage to be commented: «It is found that the developed model is capable of reproducing the decreased level of blood lymphocyte concentration observed during the period of maximum radiation exposure, the recovery processes in the system observed during the period of decreasing dose rate, as well as the enhanced mitotic activity of bone marrow precursor cells in this hematopoietic lineage observed *during the entire period under consideration* [i.e., years 1949–1956, emphasis added]» [5]. It is at variance with the known fact that radiation can inhibit mitotic activity [17,18]. The matter should have been clarified by quantification of mitosis (e.g. counting mitotic figures) and cell death (apoptosis) [19] at different time points after the exposure in experiments with relevant radiation doses and dose rates. This issue was further commented in [5]: «These modeling results imply that the additional increase in cell number caused by enhanced mitotic activity of the bone marrow precursor cells capable of dividing does not compensate completely the cell loss induced by radiation damage in the lymphocytopenic system». This latter statement presupposes a simultaneous increase of mitosis and apoptosis rates, which can take place during some period after an exposure. This is however not a matter-of-course: a large number of studies have described cumulative effects of low-dose radiation on the immune system including stimulation of cell growth, prolongation of cell lifespan etc. [20] This latter effect can be regarded as hormetic; it would disappear at higher doses inducing immunosuppression. According to the UNSCEAR 2006 Report, blood counts in a human after an acute whole body irradiation in the range 0.5–1 Gy can be normal or minimally depressed, while acute exposure to 2 Gy induces mild cytopenia with no significant bone marrow damage [20]. The doses 0.5–2 Gy are higher than the average in the TRC, let alone the dose rate. There is evidence, admittedly not without controversy, that acute exposure to low linear energy transfer radiation is more efficient (at least in regard to muta-

and carcinogenesis) [20,21] than protracted or fractionated exposure: the sparing effects of dose protraction have been interpreted as reflecting increased repair of induced cellular damage [21].

The following statement is from another article by the same researchers: «It is found that the models are capable of reproducing common regularities and peculiarities of the dynamics of systems on hand, including the decreased stationary levels of blood cell concentrations during the period of maximum radiation exposure, the recovery processes during the period of decrease of exposure dose rate, and the prevalence of younger bone marrow granulopoietic cells over more mature ones during the entire period» [10]. The prevalence of young granulopoietic cells in the bone marrow combined with decreased levels of white blood cells are indicative of a maturation arrest that can be observed in myelodysplasia or neoplastic bone marrow conditions, the latter being rare stochastic outcomes not necessarily caused by radiation especially after low dose/dose rate exposures. Direct radiation damage results in a decrease of stem and progenitor cell fraction resulting in bone marrow hypoplasia [20,22,23]. An increase of immature cells in the bone marrow as an immediate result of a radiation exposure or «during the entire period» of a protracted exposure [10] should have been proven by experiments, and not just postulated on the basis of a MM, which itself needs validation.

In regard to the MM used in [5], the following should be commented. The model does not take into account possible inhibition of mitotic activity of preserved cells, capable of dividing ( $X_1$  cell compartment) under the impact of radiation. Admittedly, in conditions of low doses and dose rates there can be no appreciable inhibition of mitotic activity. Under such conditions, it is an unproven supposition that the cell groups  $X_1^d$  (damaged cells that die within several days) and  $X_1^{hd}$  (heavily damaged cells that die within several hours) in the radiosensitive compartments  $X_1$  [5] would exist, or, in other words, the quantities of damaged cells would significantly increase as a result of a low dose/dose rate exposure. It could be verified by experiments in vivo and in vitro (cell cultures). Many experiments of that kind have applied higher doses [20,24,25] than those received by the TRC members.

The model under discussion [5] is based on the «one-target-one-hit theory of cell damage», presuming that the damage rate of radiosensitive cells would be proportional to the dose rate, which is analogous to the linear no-threshold (LNT) concept [26]. It does not take into account the natural

radiation background and the fact that DNA damage and repair are permanent processes that are normally in a dynamic equilibrium. Given the evolutionary prerequisite of best fitness, it would be reasonable to assume that living organisms are best adapted by the natural selection to the background levels of ionizing radiation [27]. This concept is in agreement with the experimental and epidemiological evidence in favor of hormesis i. e. beneficial action of low radiation doses [28,29]. Natural selection is a slow process; therefore, adaptation to a changing environmental factor would probably lag behind its current value and correspond to some average from the past, especially for such an ancient mechanism as the DNA repair. Life evolved on earth in a radiation field that was stronger than that existing today [24]. Natural background radiation has been decreasing, among others, due to the radionuclide decay on the surface and oxygen accumulation in the atmosphere, resulting in formation of the ozone layer. The character of a dose-response relationship at the dose levels close to those from the natural radiation background can be predicted on the basis of general considerations. There are various factors influencing (inhibiting) lympho- and hematopoiesis. The lower the level of radioactive contamination, the less would be its contribution compared to the natural radioactive background, and the smaller would be the role of radiation compared to chemical and other exo- and endogenous factors. Therefore, the LNT concept is not applicable to radiation doses comparable to those received from the natural background; more details are in [30].

To verify the MM discussed here, the questions should be answered on the basis of experiments, whether radiation, administered with the doses and dose rates comparable to those received by the TRC, causes «enhanced mitotic activity of bone marrow precursor cells» [5] and «prevalence of younger cells over more mature cells of the granulocytic lineage in the bone marrow» during the entire period of a protracted exposure as per [10]. Moreover, the question should be clarified by experiments, in cell cultures or in vivo, whether the relevant doses and dose rates would cause significant increase of cell death (apoptosis) compared to a control. In conclusion, the use of unverified mathematical models based on the LNT concept can lead to overestimation of biological effects of the low-dose low-rate ionizing radiation. The dose-effect relationships should be studied in experiments with exactly known doses and dose rates, possibly shielded from biases and confounding factors.

#### References:

1. Green MH. Introduction to modeling. *J Nutr.* 1992;122(3 Suppl):690–4.
2. Umulis DM, Othmer HG. The importance of geometry in mathematical models of developing systems. *Curr Opin Genet Dev.* 2012;22(6):547–52.
3. Sible JC, Tyson JJ. Mathematical modeling as a tool for investigating cell cycle control networks. *Methods.* 2007;41(2):238–47.
4. Братусь АС, Новожилов АС, Платонов АП. Динамические системы и модели биологии. Москва: Физматлит, 2010—400 с.

5. Smirnova OA, Akleyev AV, Dimov GP. Modeling analysis of the lymphocytopoiesis dynamics in chronically irradiated residents of Techa riverside villages. *Radiat Environ Biophys.* 2014;53(3):515–23.
6. Napier BA. Joint U. S./Russian studies of population exposures resulting from nuclear production activities in the southern Urals. *Health Phys.* 2014;106(2):294–304.
7. UNSCEAR 2008 Report. Annex B. Exposures of the public and workers from various sources of radiation. New York: United Nations, 2008.
8. Schonfeld SJ, Krestinina LY, Epifanova S, et al. Solid cancer mortality in the Techa river cohort (1950–2007). *Radiat Res.* 2013;179:183–9.
9. UNSCEAR 2010 Report. Summary of low-dose radiation effects on health. New York: United Nations, 2010.
10. Smirnova OA, Akleyev AV, Dimov GP. Analysis of hematopoiesis dynamics in residents of Techa riverside villages chronically exposed to nonuniform radiation: modeling approach. *Health Phys.* 2014;106(4):445–58.
11. Jargin SV. On the low-dose-radiation exposure in the Techa River Cohort and mortality from circulatory diseases. *Radiat Environ Biophys.* 2013;52(3):419–20.
12. Jargin SV. Leukemia and cardiovascular diseases in the Techa river cohort: New interpretation required. *J Environ Occup Sci.* 2014;3(2):63–4.
13. Zablotska LB, Ron E, Rozhko AV, et al. Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radioiodine after the Chernobyl accident. *Br J Cancer.* 2011;104(1):181–7.
14. Krestinina L, Preston DL, Davis FG, et al. Leukemia incidence among people exposed to chronic radiation from the contaminated Techa River, 1953–2005. *Radiat Environ Biophys.* 2010;49(2):195–201.
15. Ivanov VK, Tsyb AF, Khait SE, et al. Leukemia incidence in the Russian cohort of Chernobyl emergency workers. *Radiat Environ Biophys.* 2012;51(2):143–9.
16. Jargin SV. On the radiation-leukemia dose-response relationship among recovery workers after the Chernobyl accident. *Dose Response.* 2013;12(1):162–5.
17. Selzer E, Hebar A. Basic principles of molecular effects of irradiation. *Wien Med Wochenschr.* 2012;162(3–4):47–54.
18. Deckbar D, Jeggo PA, Löbrich M. Understanding the limitations of radiation-induced cell cycle checkpoints. *Crit Rev Biochem Mol Biol.* 2011;46(4):271–83.
19. Vignon C, Debeissat C, Georget MT, et al. Flow cytometric quantification of all phases of the cell cycle and apoptosis in a two-color fluorescence plot. *PLoS One.* 2013;8(7):e68425.
20. UNSCEAR 2006 Report. Annex A. Epidemiological studies of radiation and cancer. Annex D: Effects of ionizing radiation on the immune system. New York: United Nations, 2006.
21. UNSCEAR 1993 Report. Annex F. Influence of dose and dose rate on stochastic effects of radiation. New York: United Nations; 1993.
22. Farhi DC, Chai CC, Parveen T, et al. Pathology of bone marrow and blood cells. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
23. Young NS. Current concepts in the pathophysiology and treatment of aplastic anemia. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program.* 2013;2013:76–81.
24. Dainiak N. Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation. *Exp Hematol.* 2002;30(6):513–28.
25. Schofield R. Assessment of cytotoxic injury to bone marrow. *Br J Cancer Suppl.* 1986;7:115–25.
26. Jaworowski Z. Observations on the Chernobyl Disaster and LNT. *Dose Response.* 2010;8(2):148–71.
27. Johansson L. Hormesis, an update of the present position. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2003;30(6):921–33.
28. Jaworowski Z. Radiation hormesis — a remedy for fear. *Hum Exp Toxicol* 2010;29:263–70.
29. Mitchel RE. The dose window for radiation-induced protective adaptive responses. *Dose Response.* 2009;8(2):192–208.
30. Jargin SV. On the genetic effects of low-dose radiation. *J Environ Occup Sci* 2014; doi:10.5455/jeos.20140929042654.

# ХИМИЯ

## Исследование возможности замены синтетических индикаторов натуральными

Абдрахманова Гульназ Альбертовна, студент

Пермская государственная фармацевтическая академия Минздрава России

**И**ндикаторы — соединения, способные изменять цвет в зависимости от кислотности среды, широко используются в современном химическом анализе веществ [1]. Искусственные индикаторы получают химическим синтезом из различных органических веществ [2].

Целью моей работы являлось найти вещества с меньшей токсичностью, которые можно использовать в качестве индикаторов в химических лабораториях, поскольку, работа с любыми синтетическими химическими веществами несет в себе определенный риск для здоровья организма.

Синтетические индикаторы — химические вещества, главным образом слабые органические кислоты, способные менять свой цвет в зависимости от среды раствора и получаемые благодаря синтезу органических веществ.

Целесообразно использовать классификацию для индикаторов, согласующуюся по типу реакции:

1. Окислительно-восстановительные индикаторы.
2. Индикаторы присоединения ионов
  - а) Металлохромные индикаторы.
  - б) Осадкообразующие индикаторы. Адсорбционные.
  - в) Кислотно-основные индикаторы:

Окислительно-восстановительные индикаторы — это органические соединения, способные изменять цвет в растворе в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала ( $E$ ). Примером таких индикаторов могут служить — вариаминный синий или галлоцианин.

Все индикаторы присоединения ионов в общем смысле имеют одинаковую природу, ион водорода занимает место ионов металла при переходе от металлохромных к кислотно-основным индикаторам, и фактически все индикаторы в некотором смысле реагируют на ион водорода.

Металлохромные индикаторы — металл-индикаторы, органические соединения, которые используют для установления точки эквивалентности комплексонометрическом титровании. Изменение окраски в таких индикаторах ведётся благодаря образованию устойчивых комплексов с металлами. Это такие индикаторы, как металлофталейн и эриохромные красители.

Адсорбционные индикаторы — органические соединения, используемые для определения конечной точки при титровании по методу осаждения. К таким индикаторам относят метаниловый жёлтый и тартразин.

Кислотно-основные индикаторы — органические соединения, способные изменять цвет в зависимости от кислотности среды. Используются для определения pH водных растворов. Из индикаторов присоединения ионов кислотно-основные являются самыми «популярными», претерпевают хорошо заметное изменение окраски в зависимости от значения pH и именно они используются на уроках химии в общеобразовательных учреждениях. Самые распространённые кислотно-основные индикаторы — это фенолфталеин, лакмус и метиловый оранжевый [1].

Все индикаторы, которые в наше время широко используются на уроках химии и в лабораториях получают благодаря синтезу органических веществ. Органический синтез обосновал отдельный раздел органической химии и технологии, которая изучает способы получения органических веществ с ценными физическими, химическими или биологическими свойствами.

К примеру можно привести получение самого распространённого индикатора фенолфталеина. На рисунке 1 приведена структурная формула фенолфталеина.

Наряду с синтетическими индикаторами, также существуют природные или натуральные индикаторы, которые являются особым пигментом группы антоцианов и содержатся в экстрактах и соках некоторых растений, а также проявляют кислотно-основные свойства. Наиболее известные вещества, содержащие пигмент группы антоцианов это: бразилин ( $C_{16}H_{14}O_4$ ), куркумин ( $C_{21}H_{20}O_6$ ) и карминовая кислота ( $C_{22}H_{20}O_{13}$ ).

Антоцианы определяют цвет лепестков и плодов растений, окраска которых зависит от pH клеточного сока, и может меняться. С химической точки зрения антоцианы относятся к группе флавоноидов, являются растительными гликозидами, содержащими в качестве агликона гидроксипроизводные дифенилхромена. В силу высокой

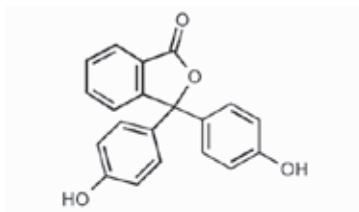


Рис. 1. Фенолфталеин

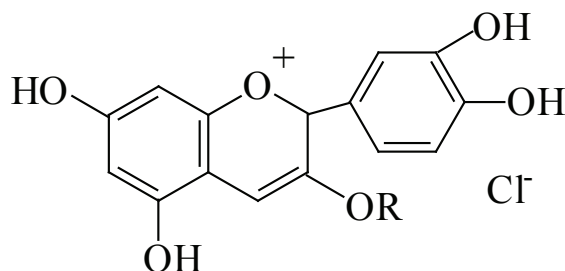


Рис. 2. R = H (цианидин)

электрофильности окраска антоцианов обуславливается их чувствительностью к рН.

Самые распространенные растения, содержащие антоцианы: свекла красная, черная смородина, малина, клубника, клюква, вишня, виноград, ежевика, морковь, карри порошок, сок красной капусты и др. Кроме этого, антоцианы, оказывая бактерицидное действие, используются в медицине в комплексной борьбе с простудными заболеваниями.

Исходя из установленных мной требований: контрастный цвет перехода окраски, широкий интервал перехода, доступность растений, были получены концентрированные соки ягод: черной смородины, малины, клубники, клюквы, вишни, и красной капусты. Антоцианы легко растворимы в воде и полярных растворителях, малорастворимы в спирте и нерастворимы в неполярных растворителях. Концентрат ягодного сока был разбавлен этиловым спиртом, в соотношении 1:2, с целью предотвращения скисания. При проверке действия полученных растворов на различную среду, оказалось, что все приготовленные индикаторы меняют цвет. Выбранные концентраты соков в кислой среде изменяют цвет на красный, а в щелочной среде на цвет от синего к желтому. Также была изготовлена индикаторная бумага, методом пропитывания фильтровальной бумаги соком красной капусты.

Важными показателями характеристики индикатора являются интервал перехода и интенсивность окраски [3]. Для определения интервала перехода природных индикаторов были получены 0,1 % растворы соков и использовалась серия пробирок кислот и оснований с растворами рН от 1 до 14.

Например, в ходе эксперимента было определено, что сок красной капусты может использоваться в интервале рН от 2 до 12 (таблица 1).

К преимуществам органических индикаторов относятся: легкая доступность сырья для приготовления, экономичность, экологичность, дешевизна, быстрота и наглядность, а также безопасность студентов при проведении процесса индикации. В результате проведенного исследования было установлено, что на практических занятиях при проведении лабораторных работ, возможна замена синтетических химических индикаторов натуральными, которые в некоторых случаях являются более удобными и практичными.

И последнее о растительных индикаторах. Некогда было в моде писать приглашения на лепестках цветов; а писали надписи раствором кислоты или щёлочи, пользуясь тонким пером или заострённой палочкой. Мы предлагаем вам потренироваться в составлении таких приглашений, используя природные индикаторы. Данный вопрос

Таблица 1. Изменение цвета сока красной капусты в зависимости от рН среды

Индикатор	Интервал перехода рН цвет			
	2–4	5–6	7–11	12
Сок красной капусты	оттенки красного	бледно-фиолетовый	оттенки синего	светло-желтый



затрагивает глобальные проблемы современности — проблему экологии и экономики. А как? Это надо изучать, доказывать, аргументировать. Мы только находим то,

что всегда существовало. Таким образом, данное исследование остается перспективой для дальнейшей работы в этом направлении.



Рис. 3. Ягоды для приготовления индикатора

Изменение цвета приготовленных натуральных индикаторов в зависимости от среды

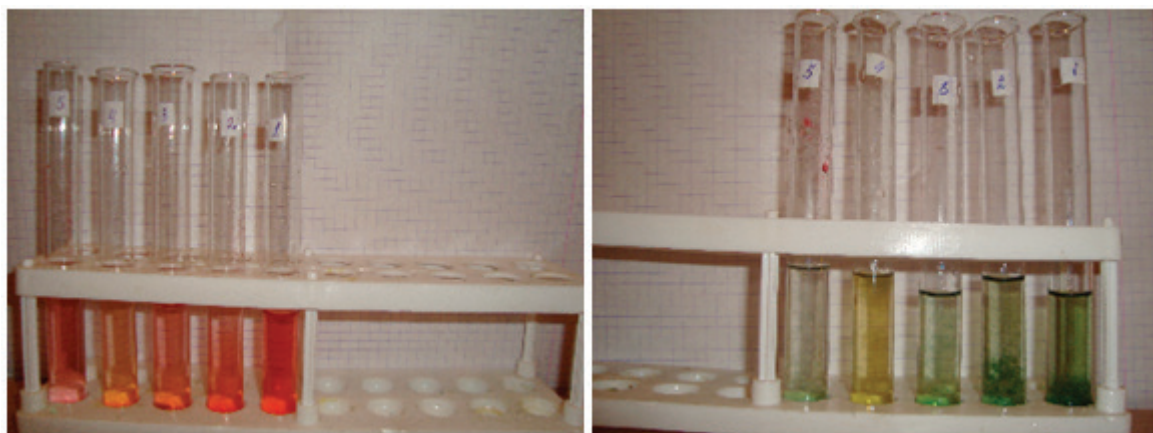


Рис. 4. Кислая среда Щелочная среда

Шкала перехода универсального синтетического индикатора



Рис. 5. Шкала перехода универсально индикатора

Литература:

1. Индикаторы. Том 1 // Перевод с английского — И. В. Матвеевой, под редакцией И. Н. Марова. — М.: Мир 1976, — 190 с.
2. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия. М.: Высшая школа, 2009. — 743 с.
3. Гельфман, М. И. Юстратов В. П. Неорганическая химия (учебное пособие). — Спб.: Лань., 2009. — 528 с.

## Иницирование взрывного разложения микрокристаллов азидов серебра<sup>1</sup>

Ананьева Марина Владимировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник;  
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Кемеровский государственный университет

*Работа посвящена моделированию взрывного разложения микрокристаллов азидов серебра, инициированного импульсом неодимового лазера наносекундной длительности. Показано, что при размерах кристаллов меньше 10 мкм критическая плотность энергии инициирования взрывного разложения значительно возрастает, что позволяет использовать такие образцы в капсулах оптических детонаторов.*

**Ключевые слова:** цепная модель реакции, взрывное разложение, оптический детонатор, азид серебра.

## Initiation of explosive decomposition of the Azide Silver microcrystals

M. V. Anan'eva, A. V. Kalenskii

*This work is devoted to the simulation of the azide silver microcrystals' explosion decomposition, initiated by the nanosecond duration pulse of the Nd:Yag laser. It was shown that for crystals, which sizes do not exceed 10 μm, the critical initiation energy density considerably increases. This fact allows to use such a samples as a cap of the optical detonators.*

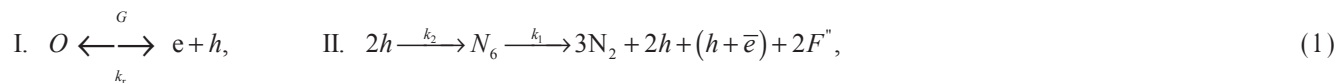
**Keywords:** chain reaction, explosive decomposition, optical detonator, silver azide.

Экспериментальные исследования кинетики процессов, приводящих к взрывному разложению энергетических материалов (ЭМ), интенсивно проводились последние пятьдесят лет. Исследования процессов взрывного разложения начинались с изучения наиболее простой системы — образцов азидов серебра (АС). Азид серебра является наиболее изученным среди ЭМ, несмотря на это, причины высокой чувствительности АС к действию физических полей различной природы остаются дискуссионными [1, с. 95, 2, с. 23, 3, с. 38]. Различные группы авторов интерпретируют экспериментальные закономерности взрывного разложения с позиций микроочаговой модели теплового взрыва [4, с. 195, 5, с. 39, 6, с. 68] и вариантов моделей цепного взрыва [7, с. 14, 8, с. 97]. С позиций моделей цепного взрыва был объяснен ряд закономерностей взрывного разложения кристаллов азидов серебра (АС) импульсом неодимового лазера [9, с. 15, 10, с. 5]. Вместе с тем остаются дискуссионными как сам механизм разложения, так и природа отдельных стадий. Актуальность исследования определяется необходимостью разработки оптических детонаторов на основе инициирующих и вторичных взрывчатых веществ [11, с. 5, 12, с. 79, 13, с. 341]. Первыми созданы оптические детонаторы на основе азидов серебра и свинца. Недостатком использования таких оптических детонаторов является их высокая чувствительность к лазерному импульсу, удару, трению и нагреву. Целью работы является моделирование взрывного разложения микрокристаллов АС, определение размерных характеристик азидов серебра, перспективных для применения в оптическом детонаторе.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14–03–00534 А) и Министерства образования и науки РФ (госзадание № 2014/64).

**Математическая модель**

В работе [9, с. 14] предложена модель твердофазной цепной реакции, способной привести к взрывному разложению азида серебра:



где  $2F''$  — комплекс, состоящий из двух анионных вакансий, с локализованными на них электронами. Первая стадия — генерация электронно-дырочных (e.h.) пар внешним излучением  $G$  (зарождение цепи). Обратная стадия — рекомбинация e. h. пар на объемных и поверхностных локальных центрах (обрыв цепи). Скорость рекомбинации носителей лимитируется захватом дырки на нейтральном центре:  $V_r \approx k_r \cdot p$  [14, с. 45, 15, с. 43]. Стадия развития цепи (вторая реакция) — взаимодействие двух радикалов  $N_3^0$ , локализованных в соседних узлах кристаллической решетки, с образованием комплекса  $N_6$ . Константа скорости реакции образования  $N_6$  оценена как константа рекомбинации на отталкивающем центре [16, с. 12],  $k_2 \approx 10^{-11} \div 10^{-12} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ . Далее комплекс  $N_6$  распадается на молекулярный азот ( $N_2$ ) и  $2F''$ -центра с выделением энергии, идущей на генерацию активных частиц — стадия разветвления цепи. Константа скорости этой реакции  $k_1 \approx 10^7 \div 10^8 \text{ с}^{-1}$  оценена в работе [17, с. 19, 18, с. 607].

Из всех реагентов, рассматриваемых в модели (1), передвигаться по кристаллу (и диффундировать) за время развития взрывного разложения способны только электронные носители заряда. Коэффициент диффузии для дырок и электронов, составляет  $D_p \approx D_n \approx 0.25 \text{ см}^2/\text{с}$  [10, с. 6].

Рассмотрим инициирование прямоугольного монокристалла размерами  $a \times b \times c$ . Точку отсчета декартовой системы координат поместим в одной из вершин кристалла так, чтобы ребра образца совпадали с осями координат  $x, y, z$  и отсекали на них отрезки  $a, b, c$  соответственно. Импульс излучения падает перпендикулярно передней грани образца ( $x = 0$ ), и имеет сечение значительно большее, чем данная грань кристалла ( $S_u \gg bc$ ), что обеспечивает равномерную освещенность поверхности образца. Рассмотрим влияние поверхности образца на кинетику развития цепной реакции инициирования АС импульсным излучением. С учетом влияния поверхности система дифференциальных уравнений, описывающих кинетику процесса, будет иметь вид:

$$\begin{cases} dp/dt = G(x) - 2k_2 p^2 - k_r p + 3k_1 A + D\Delta p, \\ dA/dt = k_2 p^2 - k_1 A, \quad p_{i=0} = 0, \quad p_{i=j} = 0; \end{cases} \tag{2}$$

где,  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  — оператор Лапласа в прямоугольной системе координат,  $i = x, y, z$  для  $j = a, b, c$  — соответственно,  $A$  — концентрация комплексов  $N_6$ .

**Результаты расчетов**

Как показали результаты расчета, после действия импульса в образце устанавливается распределение реагентов по кристаллу, соответствующее стоячей волне, что позволяет упростить (2):

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = G - 2k_2 p^2 - k_r^* p + 3k_1 A, \\ \frac{dA}{dt} = k_2 p^2 - k_1 A, \\ k_r^* = k_r + k_s = k_r + \pi^2 D (a^{-2} + b^{-2} + c^{-2}), \end{cases} \tag{3}$$

где  $k_r^*$  — эффективная константа «рекомбинации» с учетом влияния поверхности. Величина константы скорости поверхностной рекомбинации ( $k_s$ ) зависит только от размеров образца и коэффициента диффузии носителей, физически это означает, что при большой скорости поверхностной рекомбинации лимитирующей стадией процесса является приток частиц к поверхности образца [10, с. 7]. Подробный анализ решения системы (3) с  $k_r^* = k_r$  проведен в работах [19, с. 158]. Зависимость критической плотности энергии инициирования от размеров образца при малых длительностях импульса имеет вид:

$$H_c(a, b, c) = \left[ \frac{k_r^*}{k_3} + \frac{2(k_r^*)^2}{k_3 k_4} \right] \cdot \frac{E}{\alpha}, \tag{4}$$

где  $E$  — ширина запрещенной зоны и  $\alpha$  — коэффициент поглощения являются фундаментальными характеристиками и слабо изменяются от кристалла к кристаллу. Из (4) следует, что с уменьшением величины минимального размера кристалла определяющего поверхностную рекомбинацию на максимальных по площади гранях критическая плотность энергии возрастают.

При больших длительностях импульса критическим параметром перехода реакции разложения АС в самоускоряющийся режим становится плотность мощности импульса. Зависимость критической плотности мощности инициирования от размеров образца определяется выражением [19, с. 158]:

Обозначив за  $\zeta$  коэффициент, учитывающий вклад остальных граней образца, получаем следующее выражение для определения эффективной константы рекомбинации  $k_r^* = k_r + \zeta \pi^2 D / r^2$ .

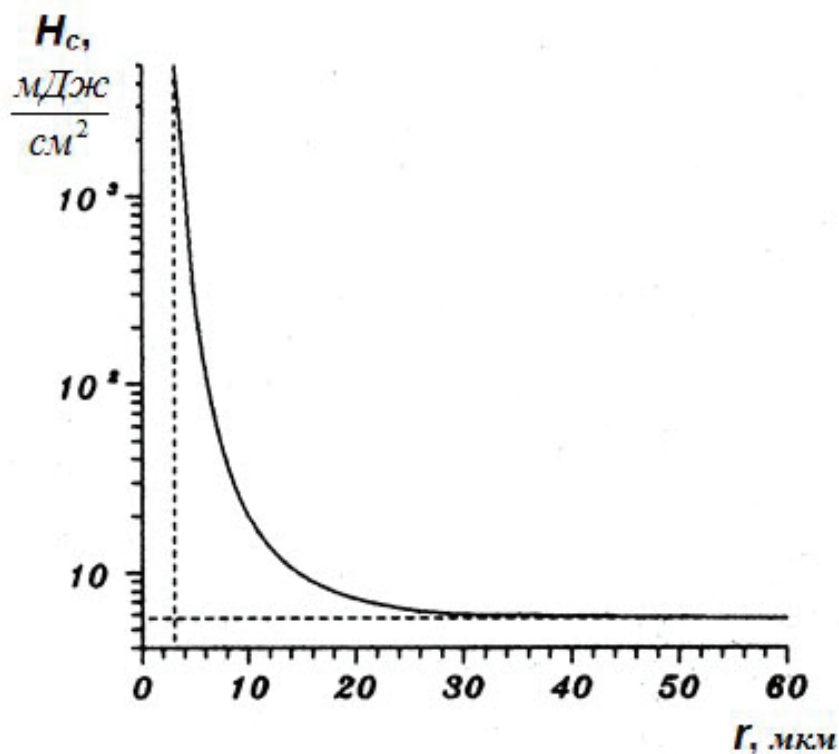


Рис. 1. Рассчитанная по системе (2) зависимость критической плотности энергии инициирования АС импульсным излучением от характерного размера образца

Максимальное значение  $\zeta$  возможно у кубического кристалла ( $a = b = c$ ), а в случае уже четырехкратного превышения длин максимальных ребер образца над минимальными ( $4a \leq b, 4a \leq c$ ), значение  $\zeta$  можно принять за единицу. Физически это означает, что поверхностное время жизни реагентов определяется рекомбинацией на максимальных по площади гранях и можно пренебречь диффузией носителей к другим граням. В проведенном рассмотрении предполагалось, что скорость рекомбинации носителей на различных кристаллографических гранях одинакова, в противном случае существенен учет диффузии носителей только к рекомбинационно-активным граням, что дополнительно понижает размерность задачи. Размерные эффекты будут существенно сказываться при  $k_s \geq k_r$ , что соответствует размерам кристалла 10 мкм.

На рисунке 1 показана рассчитанная по системе (2) зависимость критической плотности энергии инициирования от характерного размера образца. При  $r < 10$  мкм значение критической плотности энергии резко повышается и при  $r = 1$  мкм  $H_c \approx 5$  мДж/см². При таких больших плотностях возбуждения меняется характер кинетики начальных стадий процесса: разложение образца (по анионной подрешетке) достигает значительной величины уже на стадии индукционного периода, следовательно, необходим учет выгорания, что будет сделано в дальнейшем.

Таким образом, интервал размеров кристалла, в котором критическая плотность энергии инициирования зависит от  $r$ , не зависит от параметров инициирующего импульса, а определяются физико-химическими характеристиками кристаллов: коэффициентом диффузии электронных носителей заряда, константами скоростей элементарных стадий развития и обрыва цепи. Проведенное исследование открывает возможность направленно регулировать чувствительность АС за счет изменения размеров микрокристаллов. Повышенные значения пороговой плотности энергии инициирования взрывного разложения кристаллов АС менее 10 мкм позволяют использовать их в качестве капсулей оптического детонатора.

## Литература:

1. Адуев, Б. П. Дивакансионная модель инициирования азидов тяжелых металлов / Б. П. Адуев, Э. Д. Алукер, А. Г. Кречетов // Физика горения и взрыва. — 2004. — Т. 40. — №2. — с. 94–99.
2. Кригер, В. Г. Определение пространственных характеристик волны цепной реакции в азиде серебра / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева, А. П. Боровикова, И. Ю. Зыков // Химическая физика. — 2014. — Т. 33. — №8. — с. 22–29.
3. Боровикова, А. П. Пространственно-временные характеристики волны горения в азиде серебра / А. П. Боровикова, А. В. Каленский, И. Ю. Зыков // Аспирант. — 2014. — №3. — с. 37–42.
4. Ананьева, М. В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля / М. В. Ананьева, А. В. Каленский, Е. А. Гришаева, И. Ю. Зыков, А. П. Никитин // Вестник КемГУ. — 2014. — №1–1(57). — с. 194–200.
5. Адуев, Б. П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны / Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов, Р. И. Фурега, А. А. Звекон, А. В. Каленский // Химическая физика. — 2013. — Т.32. — №8. — с. 39–42.
6. Никитин, А. П. Расчет критических параметров инициирования теплового взрыва тэна с наночастицами меди на разных длинах волн / А. П. Никитин // Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — №4(11). — с. 68–75.
7. Anan'eva, M.V. Comparative analysis of energetic materials explosion chain and thermal mechanisms / M. V. Anan'eva, V. G. Kriger, A. V. Kalenskii, A. A. Zvekov, A. P. Borovikova, E. A. Grishaeva, I.Yu. Zycov // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2012. — Т.55. — №11–3. — с. 13–17.
8. Боровикова, А. П. Методика моделирования распространения взрывного разложения азида серебра / А. П. Боровикова, А. В. Каленский // Аспирант. — 2014. — №4. — с. 96–100.
9. Кригер, В. Г. Механизм твердофазной цепной реакции / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, Ю. А. Захаров, В. П. Ципилев // Материаловедение. — 2006. — №9. — с. 14–21.
10. Кригер, В. Г. Пороговая энергия инициирования азида серебра эксимерным лазером / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, В. В. Коньков // Материаловедение. — 2003. — №7. — с. 2–8.
11. Ананьева, М. В. Перспективные составы для капсуля оптического детонатора / М. В. Ананьева, А. А. Звекон, И. Ю. Зыков, А. В. Каленский, А. П. Никитин // Перспективные материалы. — 2014. — №7. — с. 5–12.
12. Зыков, И. Ю. Критическая плотность энергии инициирования тэна с добавками наночастиц алюминия / И. Ю. Зыков // Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — №1(8). — с. 79–84.
13. Каленский, А. В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля / А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон, И. Ю. Зыков // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2014. — Т.11. — №3. — с. 340–345.
14. Гришаева, Е. А. Неизотермическая модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения энергетических материалов / Е. А. Гришаева, А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2013. — Т.10. — №1. — с. 44–49.
15. Боровикова, А. П. Природа стадии обрыва цепи разветвленных твердофазных цепных реакций / А. П. Боровикова, М. В. Ананьева, О. В. Одинцова // Молодой ученый. — 2014. — №15(74). — с. 41–45.
16. Каленский, А. В. Коэффициент захвата электронных носителей заряда на экранированном отталкивающем центре / А. В. Каленский, М. В. Ананьева, В. Г. Кригер, А. А. Звекон // Химическая физика. — 2014. — Т. 33. — №4. — с. 11–16.
17. Кригер, В. Г. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, А. А. Звекон // Химическая физика. — 2012. — Т.31. — №1. — с. 18–22.
18. Каленский, А. В. Моделирование граничных условий при квантово-химических расчетах азидов металлов в кластерном приближении / А. В. Каленский, Л. Г. Булушева, В. Г. Кригер, Л. Н. Мазалов // Журнал структурной химии. — 2000. — Т. 41. — №3. — с. 605–608.
19. Кригер, В. Г. Инициирование азидов тяжелых металлов импульсным излучением / В. Г. Кригер, А. В. Каленский // Химическая физика. — 1995. — Т. 14. — №4. — с. 152–160.

## Исследование адсорбционных свойств мицелия базидиомицета *Abortiporus biennis*

Банкина Анастасия Николаевна, студент;  
Чухно Александр Сергеевич, кандидат химических наук, доцент;  
Гурина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент;  
Ананьева Елена Петровна, кандидат биологических наук, доцент;  
Бриллиантова Елизавета Юрьевна, студент  
Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия

*Исследования в работе направлены на изучение адсорбционных свойств мицелия Abortiporus biennis. В качестве методов исследования были выбраны потенциометрическое титрование и микроэлектрофорез. Определены изоэлектрическая точка и точка нулевого заряда частиц мицелия.*

**Ключевые слова:** *Abortiporus biennis, потенциометрическое титрование, изоэлектрическая точка, точка нулевого заряда.*

Адсорбцию можно определить как изменение концентраций растворенных веществ в поверхностном слое по сравнению с их концентрацией в объеме фаз. Классическая ионообменная адсорбция реализуется за счет простого электростатического взаимодействия. Любая другая адсорбция является специфической. Механизмы специфической адсорбции, виды взаимодействий адсорбата с поверхностью могут быть различны. В случае специфической адсорбции на поверхности могут происходить различные химические взаимодействия с образованием ковалентных, донорно-акцепторных, ионных и водородных связей. В случае адсорбции электролитов на границе раздела фаз происходит образование двойного электрического слоя (ДЭС). Исследования процессов адсорбции и изучение свойств ДЭС взаимосвязаны.

Для дисперсных систем, в том числе и мицелия, заряд поверхности определяется количеством адсорбированных  $H^+$ - и  $OH^-$ -ионов, которые для мицелия являются потенциалопределяющими ионами. Величина рН растворов, при которой заряд поверхности равен нулю, называется рН точки нулевого заряда и обозначается  $pH_{\text{тнз}}$ . В  $pH_{\text{тнз}}$  адсорбция  $H^+$ - и  $OH^-$ -ионов одинакова ( $G_{H^+} = G_{OH^-}$ ). Значение  $pH_{\text{тнз}}$  определяют по результатам потенциометрического титрования.

Еще одной характеристикой частиц дисперсии является изоэлектрическая точка ( $pH_{\text{иэт}}$ ).  $pH_{\text{иэт}}$  соответствует такому значению рН при котором электрокинетический потенциал ( $\zeta$ ) равен 0.

Большой интерес представляет изучение коллоидных свойств мицелия базидиомицетов, данная работа является продолжением этих исследований [1]. Мицелий грибов в основном состоит из полисахаридов и белков, коллоидные свойства которых были исследованы в более ранних работах [2–6]. В настоящее время широко исследуются физико-химические и коллоидные свойства систем содержащих сложные биологически активные соединения, а также устойчивость их дисперсий [7–10]. Исследование адсорбционных свойств мицелия позволит использовать его в качестве носителя лекарственных пре-

паратов, включая новые лекарственные формы, разрабатываемые в настоящее время в академии [11–12].

Целью данной работы является изучение адсорбционных свойств мицелия базидиомицета *Abortiporus biennis* (*Ab. biennis*), а также сопоставление  $pH_{\text{тнз}}$  и  $pH_{\text{иэт}}$  мицелия.

Существуют два метода изучения адсорбционных процессов: электрокинетические исследования и прямые адсорбционные измерения. Прямое измерение количества адсорбированного вещества позволяет оценить адсорбционную и буферную емкость сорбентов. Для использования мицелия в качестве носителя лекарственных средств необходимо определить его адсорбционную емкость. Количество активных центров на поверхности мицелия можно оценить методом непрерывного потенциометрического титрования.

Мицелий грибов получали методом глубинного культивирования в жидкой глюкозо-пептонной питательной среде (ГПС) следующего состава: пептон — 2,5 г/л; глюкоза — 10 г/л; NaCl — 0,5 г/л;  $CaCl_2 \cdot 0,5$  г/л;  $MgSO_4 \cdot 0,5$  г/л;  $KH_2PO_4 \cdot 0,6$  г/л;  $K_2HPO_4 \cdot 0,4$  г/л;  $ZnSO_4 \cdot 0,001$  г/л;  $MnSO_4 \cdot 0,05$  г/л; мальт-экстракт — 1,6 г/л; рН 6,0. Стерилизацию среды проводили в автоклаве в течение 30 минут при избыточном давлении 0,5 атм [13–14]. Для посевого материала использовали культуру, выращенную в статических условиях 10–14 дней, в ГПС при температуре 24°C. Перед внесением посевого материала в колбы для ферментации его встряхивали до образования мелких фрагментов мицелия. Суспензию посевого материала вносили в ферментационные колбы в количестве 7 % от объема питательной среды.

Культуру выращивали в колбах Эрленмейера вместимостью 750 мл (объем питательной среды 150 мл) на лабораторной качалке ( $n = 220$  об/мин). Культивирование проводили 8 суток при температуре 23–24°C.

$pH_{\text{тнз}}$  находили методом непрерывного потенциометрического титрования [15–16]. В ячейку для потенциометрического титрования помещали 25 мл исследуемой дисперсии, 30 минут пропускали воздух, освобожденный от  $CO_2$  и титровали раствором КОН (0,0129 моль/л) или

НС1 (0,010 моль/л). Титрант вводили порциями по 0,1 мл с помощью микробюретки с интервалом в 1 минуту. Растворы КОН готовили на дистиллированной воде, предварительно освобожденной от  $\text{CO}_2$  воздуха кипячением в течение 30 минут. После каждой добавленной порции титранта измеряли значения рН раствора. Регистрация рН осуществляется на рН-метре — милливольтметре рН-673 с точностью измерения рН  $\pm 0,05$  единиц рН.

По результатам потенциометрического титрования были построены зависимости рН исследуемого раствора от объема добавленного титранта ( $V_t$ , мл) для растворов без адсорбента и с адсорбентом. Значение рН точки пересечения кривых титрования с адсорбентом и без него соответствует условию равенства адсорбированных  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  -ионов — это соответствует  $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$ . Слева от  $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$  преобладает адсорбция ионов  $\text{H}^+$  в результате чего поверхность заряжается положительно, а справа преобла-

дает адсорбция  $\text{OH}^-$  — поверхность мицелля заряжается отрицательно. Методом потенциометрического титрования определяли разницу между адсорбцией ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . Кривые титрования с адсорбентом и без сравнивали и определяли  $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$ . Погрешность измерения значений рН составила 0,05 единиц рН. Ранее метод был отработан на порфиринах [17–18].

Электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал) частиц мицелля определяли методом микроэлектрофореза [16]. Погрешность измерений электрокинетического потенциала не превышала 10 %.

Величина  $\zeta$  рассчитывалась по уравнению Гельмгольца-Смолуховского. Уравнение использовалось без поправок, так как выполнялись условия  $k \times a \gg 1$ , где  $k$  — обратная толщина ДЭС,  $a$  — радиус частиц. Изучение электрокинетических свойств водных дисперсий мицелля проводилось в зависимости от рН водной фазы.

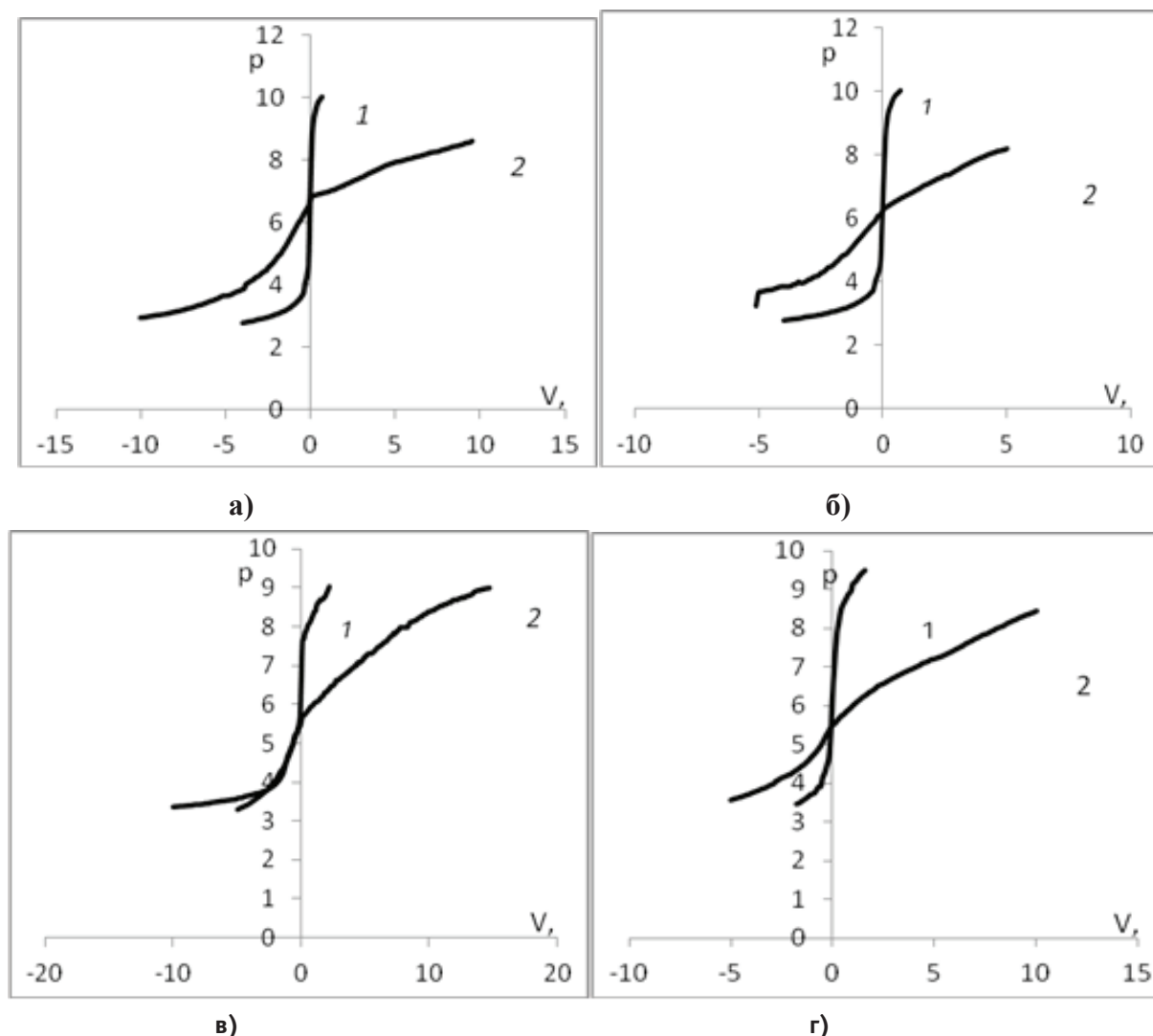


Рис. 1. График потенциометрического титрования: а) 1 — кривая титрования воды; 2 — кривая титрования дисперсии мицелля *Ab. biennis* в воде; б) 1 — кривая титрования раствора  $\text{KCl}$  (0,01 моль/л); 2 — кривая титрования дисперсии мицелля *Ab. Biennis* с  $\text{KCl}$  (0,01 моль/л); в) 1 — кривая титрования раствора  $\text{CaCl}_2$  (0,01 моль/л); 2 — кривая титрования дисперсии мицелля *Ab. Biennis* с  $\text{CaCl}_2$  (0,01 моль/л); г) 1 — кривая титрования раствора  $\text{K}_2\text{S}_0_4$  (0,01 моль/л); 2 — кривая титрования дисперсии мицелля *Ab. Biennis* с  $\text{K}_2\text{S}_0_4$  (0,01 моль/л)

Прежде чем использовать методику для изучения мицеллия, она была отработана как на простых оксидах [19–25], так и на сложных биологических системах [26–28].

Для определения  $pH_{\text{тнз}}$  для мицеллия *Ab.biennis* был проведен ряд экспериментов потенциометрического титрования с различными неорганическими электролитами, по результатам которых были построены кривые. Рис. 1.

На рис. 1. приведены кривые потенциометрического титрования мицеллия водных растворах различных электролитов (вода, хлорид калия 0,01 моль/л, сульфат калия 0,01 моль/л, хлорид кальция 0,01 моль/л/). Точка пересечения кривой с адсорбентом (2) и без адсорбента (1) соответствует равенству количества адсорбированных ионов водорода и гидроксидов и является точкой нулевого заряда ( $pH_{\text{тнз}}$ )<sup>1</sup>.

В области  $pH$  меньше  $pH_{\text{тнз}}$  кривая с мицелием идет выше, чем кривая без мицеллия, вследствие адсорбции  $H^+$  ионов. Поверхность в этой области имеет положительный заряд. В области  $pH$  больше  $pH_{\text{тнз}}$  кривая с мицелием идет ниже, вследствие адсорбции  $OH^-$  ионов, что эквивалентно десорбции  $H^+$ .

Из рисунка видно, что с ростом ионов калия в растворе  $pH_{\text{тнз}}$  смещается в кислую область, что свидетельствует о незначительной специфической сорбции катионов калия. Это смещение увеличивается с ростом концентраций в соответствии с теоретическими представлениями о специфической адсорбции. Сравнение показывает, что влияние катиона кальция выше, чем катиона

калия, что по-видимому связано с тем, что ион кальция двухзарядный.

Максимальные значения адсорбции в области высоких значений  $pH$  соответствуют количеству отрицательных активных центров на поверхности мицеллия. Минимальные значения в области низких  $pH$  — количеству положительных активных центров.

Важно отметить, что для биполярных сорбентов, коим является мицелий или белки, количество адсорбированного вещества зависит не только от концентрации адсорбата, но и от значений  $pH$  водной среды, при которых идет процесс адсорбции [29].

Следующим действием была определена изоэлектрическая точка мицеллия. Для этого рассматривалась зависимость  $\zeta$  — потенциала мицеллия *Ab. Biennis* от  $pH$  его водных дисперсий (рис. 2).  $pH$  водной фазы создавался добавлением необходимых количеств соляной кислоты и гидроксида калия. Из рис. 2 видно, что  $pH_{\text{изт}} = 6,1$ . В области  $pH < pH_{\text{изт}}$ , поверхность мицеллия заряжена положительно вследствие преобладания адсорбции ионов водорода, при  $pH > pH_{\text{изт}}$  поверхность заряжена отрицательно из-за адсорбции гидроксид ионов.

В работе определены значения  $pH_{\text{тнз}}$  и  $pH_{\text{изт}}$  для мицеллия базидиомицета *Ab. Biennis*. Сорбция будет происходить максимально эффективно при  $pH = 6,1 - 6,5$  и  $6,9 - 7,5$ . В области  $pH < pH_{\text{тнз}}$  мицелий заряжен положительно, а  $pH > pH_{\text{изт}}$  отрицательно, что согласуется с результатами электрокинетических измерений. Отметим, что величина отрицательного заряда больше, чем положительного.

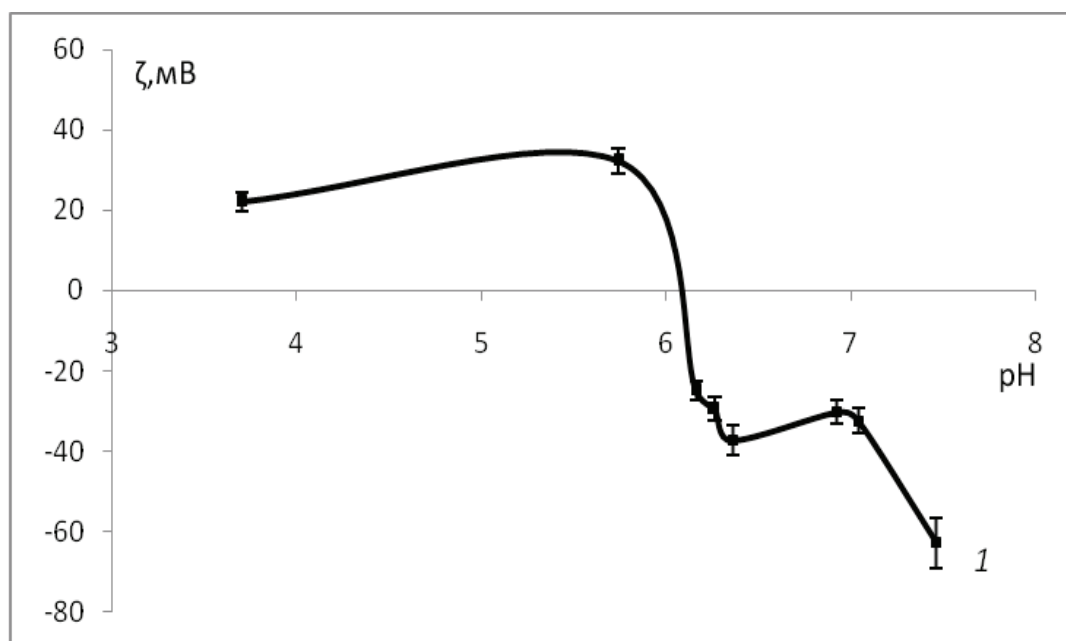


Рис. 2. Зависимость электрокинетического потенциала мицеллия в водных растворах от  $pH$ .: 1 — через 24 часа после приготовления дисперсии

<sup>1</sup>  $pH_{\text{тнз}}$  в отсутствие специфически сорбированных веществ совпадает с изоэлектрической точкой.



## Литература:

1. Бриллиантова, Е. Ю., Чухно А. С., Ананьева Е. П., Гурина С. В., Банкина А. Н. Исследование адсорбционных свойств мицелия базидиомицета *Polipogus ciliatus*. // Молодой ученый. 2014. №18. с. 116–120.
2. Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Мартынов Д. В.. Влияние солей одно-, двух- и трехзарядных катионов металлов на сорбцию  $H^+$  и  $OH^-$  ионов на декстране. // Бутлеровские сообщения. 2011. Т.27. №14. с. 47–54.
3. Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Мартынов Д. В.. Изoeлектрическая точка белков в водных растворах азолов. // Вестник СПбГУ. 2011. Серия 4: Физика. Химия. Вып. 2. С.124–133.
4. Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Колодеева С. С., Мартынов Д. В.. Адсорбция ионов  $H^+$  и  $OH^-$  на коллагене. // Вестник СПбГУ. 2011. Серия 4: Физика. Химия. Вып. 3. с. 87–95.
5. Чухно А.С., Дмитриева И.Б., Банкина А.Н., Бриллиантова Е.Ю. Изучение взаимодействия белков с биологически активными азотсодержащими гетероциклическими соединениями при различных значениях рН. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №5. С.91–99.
6. Чухно, А. С., Банкина А. Н., Бриллиантова Е. Ю.. Кинетика процесса набухания желатины в водных растворах азолов. // Бутлеровские сообщения. — 2014. — Т.38. №5. С.84–88.
7. Men'shikova A.Yu., Skurkis Yu.O., Kuchuk V. I., Dmitrieva I. B., Evseeva T. G., Shabsel's B. M. Effect of the surface structure of poly(styrene-co-acrolein) microspheres and its modification by protein on electro-surface properties. // Коллоидный журнал. 2001. Т. 63. №5. с. 629–636.
8. Широкова, И. Ю., Кучук В. И., Беляев А. П., Шевченко Н. Н., Голикова Е. В. Агрегативная устойчивость дисперсных систем. Часть 1. Исследование электроповерхностных свойств и кинетики коагуляции монодисперсных полимерных частиц с карбоксилированной поверхностью. // Бутлеровские сообщения. 2014. Т.37. №2. С.29–38.
9. Кучук, В. И., Широкова И. Ю., Голикова Е. В. Физико-химические свойства водно-спиртовых смесей гомологического ряда низших алифатических спиртов. // Физика и химия стекла. 2012. Т. 38. №5. с. 625–633.
10. Родионова, Е. Ю., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Влияние состава дисперсионной среды на устойчивость и электрокинетические свойства билирубина. // Бутлеровские сообщения. 2014. Т.37. №1. С.55–61.
11. Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Бордей Н. С., Зарембо В. И. Фазовый переход пар — кристалл при синтезе пленок парацетамола методом вакуумного испарения и конденсации. // ЖТФ. 2014. Т.84. Вып. 3. С.141–143.
12. Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Рыбников А. О., Беляева С. А. Кристаллизация парацетамола ромбической формы. // Бутлеровские сообщения. 2014. Т.37. №3. С.113–119.
13. Ананьева, Е. П., Гурина С. В., Алексеева Г. М. Изучение условий культивирования и антиоксидантной активности мицелия базидиомицета *Phallus impudicus* (веселка обыкновенная). // Проблемы медицинской микологии. 2014. Т. 16. №3. с. 80–82.
14. Кожемякина, Н. В., Ананьева Е. П., Гурина С. В., Галынкин В. А. Условия культивирования, состав и биологическая активность мицелия *flammulina velutipes* (fr.). Р. Karst // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. №5. с. 583–586.
15. Беляев, А. П., Скворцов А. М., Кучук В. И., Дмитриева И. Б., Бахолдина Л. А., Чухно А. С., Гришин В. В., Купина Н. А., Малахова Е. Е.. Физическая и коллоидная химия. Руководство к практическим занятиям: учебное пособие. / Под ред. проф. А. П. Беляева. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 320 с.
16. Григоров, О. Н. Электрокинетические свойства капиллярных систем. / Григоров О. Н., Козьмина З. П., Маркович А. В., Фридрихсберг Д. А. М. — Л.: Изд-во АН СССР. 1956. 336с.
17. Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Силаева Д. С., Сенина А. С., Кошевенко А. С., Назипова А. Р. Сорбция ионов  $H^+$  и  $OH^-$  на хлорофилле, влияние рН на устойчивость водных дисперсий хлорофилла. Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №5. С.124–130.
18. Крайник, И. И., Родионова Е. Ю., Дмитриева И. Б. Исследование электроповерхностных свойств водных дисперсий гемоглобина. // Молодой ученый. 2014. №14–1. с. 20–24.
19. Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Аксинович В. А., Силаева Д. С., Сенина А. С., Кергенцев А. А. Электроповерхностные свойства оксида кремния(IV) в водных растворах азолов // Бутлеровские сообщения. — 2014. — Т.38. №5. С.78–83.
20. Dmitriyeva, I. B., Tikhomolova K. P., Chukhno A. S., Prokopovich P. P., Starov V. M. Investigation of the electro-surface properties of NiO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in azole solutions. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2007. Т. 300. №3 SPEC. ISS.. P. 315–320.
21. Дмитриева, И. Б., Тихомолова К. П., Чухно А. С.. Особенности адсорбции 1,3 — диазола на поверхности оксидов NiO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. // Журн. прикл. химии. 2005. т. 78. Вып. 5. с. 741–746.
22. Дмитриева, И. Б., Тихомолова К. П., Чухно А. С.. Адсорбция тетразола на оксидах Ni(II) и Fe(III). // Журн. прикл. химии. 2006. Т. 79. Вып. 1. с. 51–56.

23. Гришина, А. В., Беляев А. П., Гришин В. В. Исследование окислительных и адсорбционных свойств двуокиси марганца по отношению к протонам и гидроксилам к и сульфаниламидам. // Молодой ученый. 2014. № 18. с. 121–123.
24. Dmitrieva, I. V., Chukhno A. S., Rodionova E. Y., Novichkov R. V. Specific Adsorption of Aspartic Acid on Iron (III) and Nickel (II) Oxides. // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2012. Т. 14. № 4. с. 299–304.
25. Дмитриева И.Б., Чухно А.С., Новичков Р. В. Взаимодействие глицина с катионами железа(III) и никеля(II) в водных растворах и на поверхности их оксидов. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.35. №8. С.133–137.
26. Родионова, Е. Ю., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Электрокинетические свойства гемоглобина в водных растворах HCl и KCl. // Бутлеровские сообщения. 2012. Т.30. №6. С.103–107.
27. Родионова, Е. Ю., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Электрокинетические свойства гемоглобина в водных растворах 1-, 2- и 3-зарядных ионов. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №6. С.135–140.
28. Родионова, Е. Ю., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Электрокинетические свойства хлорофилла в водных растворах 1-, 2- и 3-зарядных катионов. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №6. С.130–134.
29. Кергенцев, А. А., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Определение точки нулевого заряда молекул альбумина в водных дисперсиях при различных концентрациях хлорида калия. // Молодой ученый. 2014. № 18. с. 123–126.

## Изучение иогенных поверхностно активных веществ (ПАВ) методом термического анализа

Лобанова Надежда Сергеевна, студент;

Бахолдина Людмила Александровна, кандидат химических наук, старший преподаватель;

Чухно Александр Сергеевич, кандидат химических наук, доцент

Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия

*В работе исследовались ионогенные ПАВ на примере натрия олеата. В качестве метода исследования был выбран термический анализ. Определена точка Крафта. Показана возможность применения термического анализа для изучения мицеллообразования ионных ПАВ.*

**Ключевые слова:** мицеллообразование, термический анализ, поверхностно активное вещество, точка Крафта.

Некоторые органические материалы при переходе из жидкого состояния в твёрдое имеют промежуточную структуру. Вещество в таком состоянии называется жидким кристаллом (ЖК). Оно обладает свойствами как жидкости (текучестью), так и твёрдого кристалла (анизотропией свойств) [1].

Расположение молекул в жидких кристаллах изменяется под действием таких факторов, как температура, давление, электрические и магнитные поля. Изменения же расположения молекул приводят к изменению оптических свойств (цвет, прозрачность и способность к вращению плоскости поляризации проходящего света). На всем этом основаны многочисленные применения жидких кристаллов [2].

Зависимость цвета ЖК от температуры используется для медицинской диагностики. Нанося на тело пациента некоторые жидкокристаллические материалы, врач может легко выявлять затронутые болезнью ткани по изменению цвета в тех местах, где эти ткани выделяют повышенные количества тепла.

Лиотропные жидкие кристаллы образуются при растворении ряда веществ, таких как, водные растворы мыл, поли-

пептидов, полисахаридов, липидов в определенных интервалах концентраций и температур, структура меняется при нагревании. Структурными единицами лиотропных жидких кристаллов являются не молекулы, а молекулярные комплексы — мицеллы. Растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), содержащих в углеводородном радикале не менее восьми атомов углерода, при больших концентрациях (больших некоторой критической величины (ККМ)), приобретают свойства коллоидных систем.

Мицеллообразование ионных ПАВ происходит в определенном для каждого ПАВ интервале температур, выше некоторого критического значения, так называемой точки Крафта.

Подобные исследования позволяют создать новые лекарственные формы, на основе уже известных лекарственных веществ [3–6], а так же по новому подойти к исследованию таких ПАВ как спирты [7] и аминокислоты [8–9], использованию их в фармации и медицине [10]. В дальнейшем эти методы можно будет использовать для исследования белковых систем [11–16].

Известно ряд способов определения ККМ, основные из них: построение изотерм поверхностного натяжения; изме-

рение удельной и молярной электрической проводимости; измерение вязкости, мутности, коэффициента диффузии.

Фазовая теория мицеллообразования ионогенных ПАВ основана на возникновении новой фазы в системе вода-ионогенное ПАВ [17–18]. Изучение зависимости температуры фазового перехода, растворимости и других свойств от состава системы, проводится при помощи метода термического анализа. В основе метода термического анализа лежит исследование скорости изменения температуры системы по мере ее охлаждения или нагревания [19–20].

Температуру, приготовленных растворов ПАВ различной концентрации измеряли с помощью электронных термометров. Нагревание и охлаждение растворов ПАВ проводили с помощью термоблока ПЭ-4020 и холодильника [19]. В качестве ионогенного ПАВ использовался олеат натрия.

По построенным графикам зависимости температуры систем от времени ( $t$ ) в ходе охлаждения (нагревания), так называемым кривым охлаждения (рис. 1), находили точки излома. Далее определяли соответствующие им температуры начала фазового перехода, то есть образование сферических мицелл (мицелл Гартли) и перехода их в пластинчатые мицеллы (мицеллы Мак-Бэна).

На основании экспериментальных данных строили диаграмму состояния системы вода — ионогенный ПАВ, откладывая по оси ординат, температуры фазового перехода растворов ПАВ различной концентрации, а по оси абсцисс — состав смесей.

Параллельно с этими измерениями точка Крафта также была определена методом с использованием удельной электропроводности. В этом случае строили диаграмму состояния системы вода — ионогенный ПАВ, откладывая по оси ординат — состав смесей, а по оси абсцисс температуры фазового перехода растворов ПАВ различной концентрации. Диаграмма представлена на рис.2.

По полученным фазовым диаграммам растворов ионогенного ПАВ (натрия олеата) определены области ионных и мицеллярных растворов, а также при низких температурах — область гидратированного твердого ПАВ (набухший гель) и точка Крафта:  $C=0,030\%$ ,  $t=9^{\circ}\text{C}$  и  $C=0,030\%$ ,  $t=7^{\circ}\text{C}$ . Точка Крафта не совпадает с температурой плавления твердого ПАВ и лежит ниже, так как в набухшем геле ПАВ гидратировано и это облегчает плавление. На примере натрия олеата показана возможность применения термического анализа для изучения мицеллообразования ионных ПАВ.

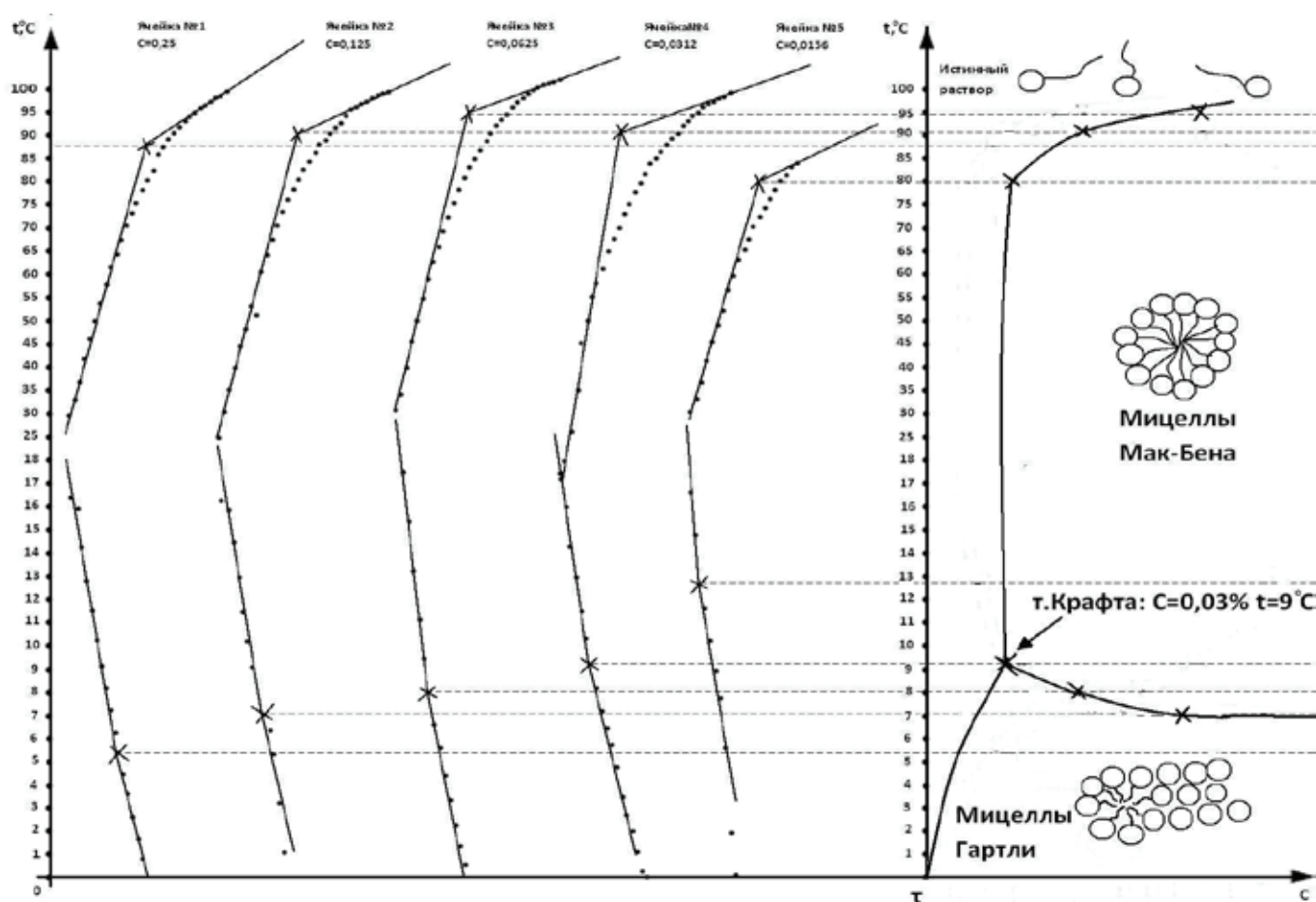


Рис. 1. Зависимость температуры растворов натрия олеата различной концентрации от времени охлаждения (нагревания) системы. Диаграмма состояния раствора натрия олеата. Точка Крафта:  $C=0,030\%$ ,  $t=9^{\circ}\text{C}$

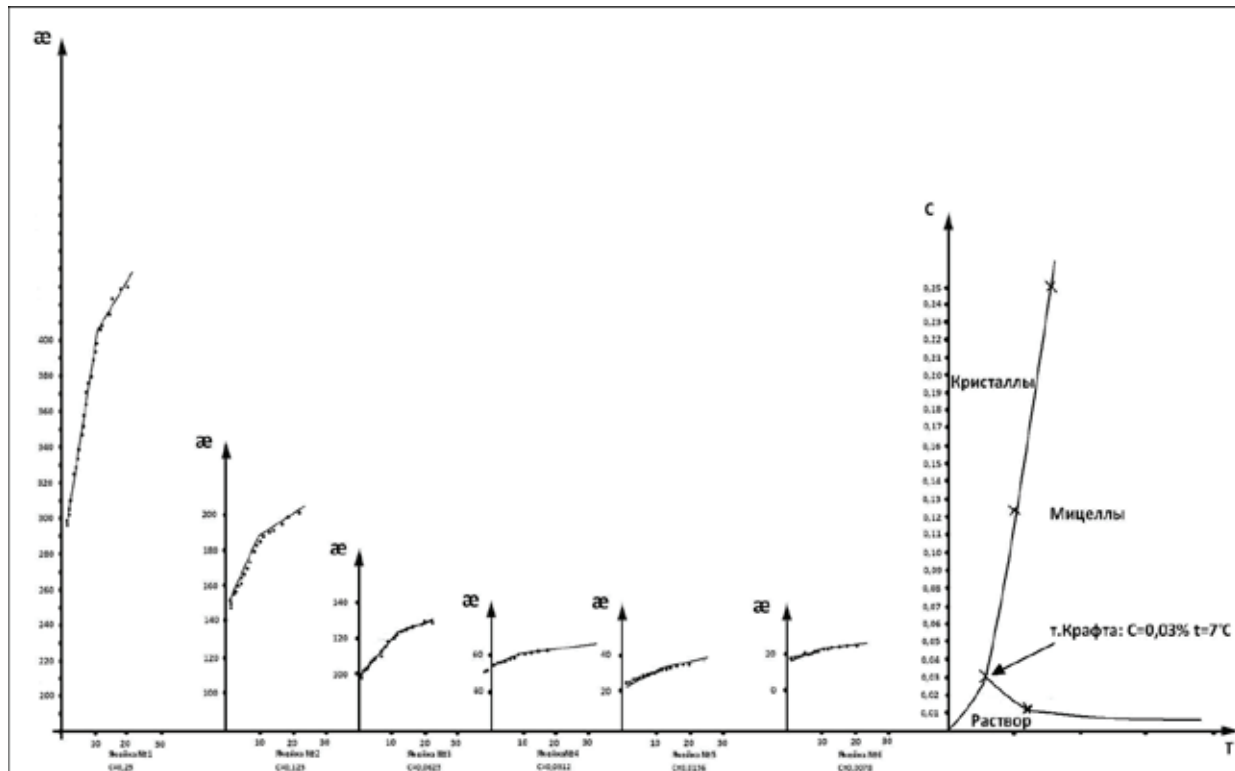


Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности растворов натрия олеата различной концентрации от температуры при охлаждении (нагревании) системы. Диаграмма состояния раствора натрия олеата. Точка Крафта:  $C=0,030\%$ ,  $t=7^{\circ}\text{C}$

#### Литература:

- Капустин, А. П. Экспериментальное исследование жидких кристаллов. / А. П. Капустин — М.: Наука, 1978—368с.
- Жданова, С. И. Жидкие кристаллы. / С. И. Жданова — М.: Химия, 1979. — 328с.
- Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Бордей Н. С., Зарембо В. И. Фазовый переход пар — кристалл при синтезе пленок парацетамола методом вакуумного испарения и конденсации. // Журнал технической физики.. 2014. Т.84. №3. С.141—143.
- Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Рыбников А. О., Беляева С. А. Кристаллизация парацетамола ромбической формы. // Бутлеровские сообщения. 2014. Т.37. №3. С.113—119.
- Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Бордей Н. С. Фазовые превращения при формировании кристаллов парацетамола из паровой фазы. // Журнал технической физики. 2014. Т. 84. №7. с. 156—158.
- Беляев, А. П., Рубец В. П., Антипов В. В., Бордей Н. С. О механизме начальной стадии образования наноструктур в условиях сверхнизких температур.// Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3. №5. с. 103—110.
- Кучук, В. И., Широкова И. Ю., Голикова Е. В. Физико-химические свойства водно-спиртовых смесей гомологического ряда низших алифатических спиртов. // Физика и химия стекла. 2012. Т. 38. №5. с. 625—633.
- Dmitrieva, I. V., Chukhno A. S., Rodionova E. Y., Novichkov R. V.. Specific Adsorption of Aspartic Acid on Iron (III) and Nickel (II) Oxides.// Eurasian Chemico-Technological Journal. 2012. Т. 14. №4. с. 299—304.
- Дмитриева И.Б., Чухно А.С., Новичков Р. В.. Взаимодействие глицина с катионами железа(III) и никеля(II) в водных растворах и на поверхности их оксидов. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.35. №8. С.133—137.
- Бобров, А. П., Маслов В. В., Ткаченко Т. Б., Воронина Д. В., Гришин В. В., Тефц С. Н. Сравнительная оценка действия поверхностно-активных веществ на изменение кинетических параметров агрегации тромбоцитов.// Институт стоматологии. 2010. Т. 3. №48. с. 80—81.
- Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Мартынов Д. В. Изоэлектрическая точка белков в водных растворах азолов. // Вестник СПбГУ. 2011. Серия 4: Физика. Химия. Вып. 2. С.124—133.
- Чухно, А. С., Дмитриева И. Б., Колодеева С. С., Мартынов Д. В.. Адсорбция ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  на коллагене. // Вестник СПбГУ. 2011. Серия 4: Физика. Химия. Вып. 3. с. 87—95.

13. Чухно А.С., Дмитриева И.Б., Банкина А.Н., Бриллиантова Е.Ю. Изучение взаимодействия белков с биологически активными азотсодержащими гетероциклическими соединениями при различных значениях pH. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. №5. С.91–99.
14. Чухно, А. С., Банкина А. Н., Бриллиантова Е. Ю.. Кинетика процесса набухания желатины в водных растворах азолов. // Бутлеровские сообщения. — 2014. — Т.38. №5. С.84–88.
15. Men'shikova A.Yu., Skurkis Yu.O., Kuchuk V. I., Dmitrieva I. B., Evseeva T. G., Shabsel's B. M. Effect of the surface structure of poly(styrene-co-acrolein) microspheres and its modification by protein on electro-surface properties. // Коллоидный журнал. 2001. Т. 63. №5. с. 629–636.
16. Кергенцев, А. А., Дмитриева И. Б., Чухно А. С. Определение точки нулевого заряда молекул альбумина в водных дисперсиях при различных концентрациях хлорида калия. // Молодой ученый. 2014. №18. с. 123–126.
17. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии. / С. С. Воюцкий — М.: Химия, 1975. — 511 с.
18. Беляев, А. П. Физическая и коллоидная химия / Беляев А. П., Кучук В. И. / под ред. А. П. Беляева. — 2-ое изд., перераб. и доп. — М., 2012. -752с.
19. Бугреева, Е. В., Евстратова К. И., Купина Н. А., и др., Практикум по физической и коллоидной химии. / под ред. проф. К. И. Евстратовой — М.: Высшая школа, 1990. — 255с.
20. Беляев, А. П., Скворцов А. М., Кучук В. И., Дмитриева И. Б., Бахолдина Л. А., Чухно А. С., Гришин В. В., Купина Н. А., Малахова Е. Е.. Физическая и коллоидная химия. Руководство к практическим занятиям: учебное пособие. / Под ред. проф. А. П. Беляева. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 320 с.

## **Разработка пооперационной схемы получения металлического порошка из быстрорежущей стали в дистиллированной воде электроэрозионным диспергированием и оценка производительности данного процесса**

Роик Богдан Олегович, магистр  
Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

***Ключевые слова:** отходы быстрорежущей стали, металлические порошки, метод электроэрозионного диспергирования.*

Одним из наиболее перспективных методов переработки практически любого токопроводящего материала, в том числе и отходов быстрорежущих сталей, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД).

Широкое использование метода ЭЭД для переработки металлических отходов в порошки с целью их повторного использования сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий получения порошков из отходов быстрорежущих сталей, и оценки эффективности их дальнейшего практического использования требуется проведение комплексных исследований. Вследствие этого, нами была предложена методика проведения ЭЭД быстрорежущих сталей, включающая в себя разработку технологической схемы проведения указанного процесса [1].

### **Разработка пооперационной схемы процесса ЭЭД**

Перед началом проведения эксперимента производится сбор, сортировка и промывка определенного металлического материала, в нашем случае отходы быстрорежущей стали (БРС). Далее следует загрузка высушенного и взвешенного материала в реактор установленного типа. Наполнение реактора рабочей жидкостью (водой дистиллированной) осуществляется до максимального объема емкости. Одновременно с этим к генератору импульсов переменного тока (ГИПТ) подключаются электроды, которые изготавливаются из тех же отходов БРС. Далее электроды загружают в реактор на расстоянии не менее 5 см друг от друга.

Запуск ГИПТ происходит с одновременной установкой необходимых параметров (напряжение на электродах, частоты импульсов, емкости разрядных конденсаторов). После данной операции производится параллельный запуск прибора для встряхивания электродов. Далее выполняется контроль за процессом элект-

троэрозионного диспергирования по необходимому промежутку времени, по истечении которого следует прекращение процесса ЭЭД и отключение экспериментальной установки.

Выгрузка рабочего материала делится на три этапа. На первом этапе осуществляется выгрузка непродиспергированного материала, который в последствии идет на начальную загрузку в реактор для проведения следующего опыта. На втором этапе осуществляется слив верхней части реакционной смеси с наиболее мелкими взвешенными частицами для естественного отстаивания и последующего испарения влаги. И завершает процесс третий этап, в котором реализуется выгрузка суспензии, состоящей из наиболее тяжелых частиц дисперсного порошка и рабочей жидкости в ёмкость для последующего испарения влаги на электрической плите.

Далее высушенный порошок перетирается в фарфоровой ступке и проводится взвешивание полученного в результате последних этапов металлического порошка. Хранение металлического порошка, полученного в результате процесса ЭЭД, реализуется в специальных ёмкостях. В итоге, часть порошка отправляется на обязательную аттестацию, а другая часть используется в практических целях. Разработанная пооперационная схема проведения эксперимента представлена на рисунке 1.

Данную пооперационную схему процесса ЭЭД можно использовать для диспергирования других материалов отличных от БРС.

Основными характеристиками металлических порошков являются химические, физические и технологические свойства. Химические свойства металлического порошка зависят от химического состава, который, в свою очередь, зависит от метода получения порошка и химического состава исходных материалов. К физическим свойствам металлических порошков относятся: форма и размер частиц порошка, гранулометрический состав, величина удельной поверхности частиц, пикнометрическая плотность и состояние кристаллической структуры металла порошка. Под технологическими свойствами порошков понимаются насыпная плотность, текучесть и прессуемость [2].

### Оценка производительности процесса ЭЭД

Основными регулируемыми параметрами процесса порошкообразования при получении порошков методом ЭЭД являются: производительность процесса, средний размер частиц (гранулометрический состав) и химический состав порошка. Первые два параметра можно в широких пределах изменять (изменяя электрические параметры процесса), тогда как химический состав порошка зависит

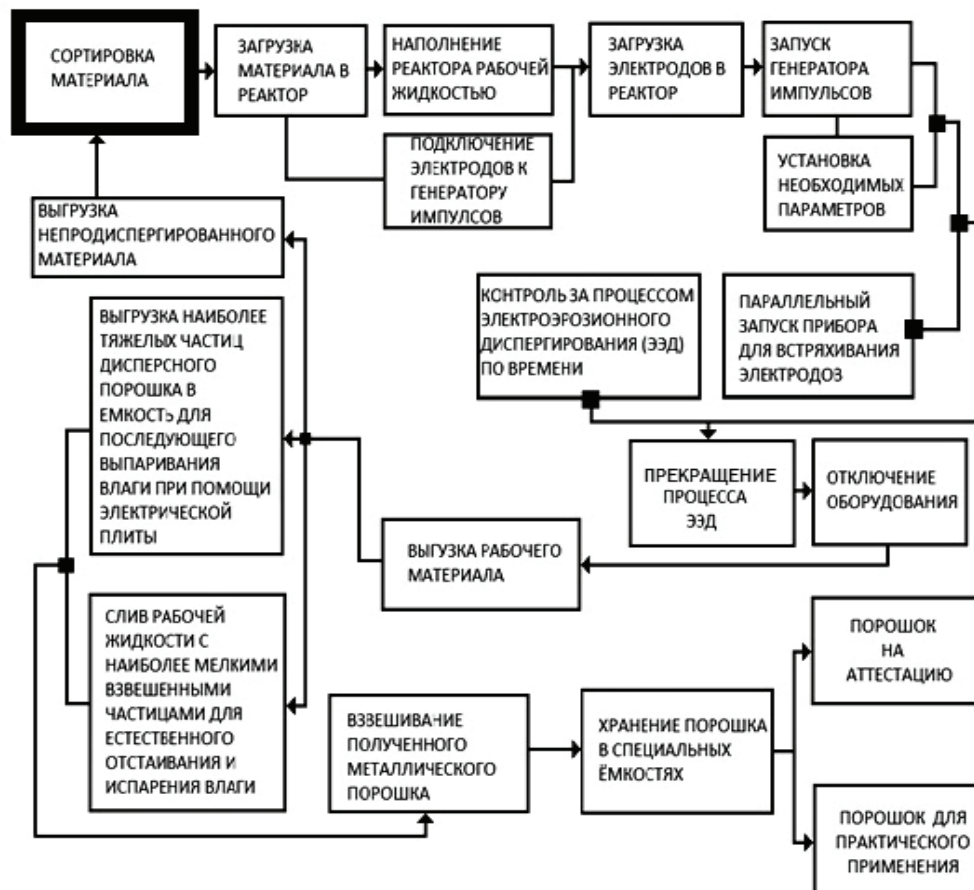


Рис. 1. Пооперационная схема проведения процесса ЭЭД

от начального химического состава диспергируемого материала, а также от химического состава применяемой рабочей жидкости.

Производительность процесса ЭЭД условно можно разделить на массовую и количественную. Массовая производительность выражается массой порошка, полученного в единицу времени, и зависит от средней массы частиц порошка (которая, в свою очередь, зависит от среднего размера частиц порошка) и их количества. Количественная производительность также выражается массой порошка, полученного в единицу времени, но зависит только от количества частиц порошка, т. е. повысить массовую производительность можно как увеличением среднего размера частиц порошка, так и увеличением количества частиц получаемого порошка, а повысить количественную производительность можно только за счет увеличения количества частиц получаемого порошка. Однако, что при получении порошков заданного размера значение имеет именно количественная производительность.

Количественная производительность процесса порошкообразования зависит от количества искровых разрядов в реакторе за единицу времени, которое зависит от частоты следования импульсов тока (рабочей частоты генератора импульсов); геометрических параметров реактора и размеров диспергируемого материала.

На рисунке 2 представлена зависимость производительности процесса от рабочей частоты генератора импульсов при напряжении на электродах реактора  $U=200$  В, емкости разрядных конденсаторов  $C=50$  мкФ.

Очевидно, что, увеличивая рабочую частоту ГИПТ, можно увеличивать количественную производительность процесса ЭЭД, но это увеличение не бесконечно и ограничивается временем заряда и разряда разрядных конденсаторов и быстродействием тиристоров зарядного и разрядного коммутаторов.

Время заряда-разряда разрядных конденсаторов зависит от их емкости, внутреннего сопротивления и напряжения на них. Проведенные исследования показали, что

при уменьшении емкости разрядных конденсаторов максимальная рабочая частота ГИПТ увеличивается, т. к. уменьшается время заряда-разряда разрядных конденсаторов.

Также увеличить максимальную рабочую частоту можно, применив более быстродействующие конденсаторы (с меньшим внутренним сопротивлением), но и в этом случае верхняя граница рабочей частоты останется, хотя и сдвинется в область более высоких частот. При уменьшении емкости разрядных конденсаторов (для повышения рабочей частоты ГИПТ) энергия разряда пропорционально уменьшается, что сказывается на размере частиц порошка, чтобы этого не происходило необходимо соответствующим образом увеличивать напряжение питания установки, что, в свою очередь, опять ведет к снижению максимальной рабочей частоты ГИПТ.

Массовая производительность, как было отмечено выше, зависит от среднего размера частиц порошка, который, в свою очередь, зависит от энергии импульса (энергии заряда-разряда разрядных конденсаторов).

Энергию импульса можно изменять или изменением емкости разрядных конденсаторов, или изменением напряжения на электродах реактора.

На рисунке 3 представлена зависимость производительности процесса получения порошка от емкости разрядных конденсаторов.

Экспериментально были установлены практически прямо пропорциональные зависимости массы получаемого порошка от емкости разрядных конденсаторов при различных значениях напряжения на электродах реактора в пределах от 45 до 52 мкФ.

На рисунке 4 представлена зависимость производительности процесса получения порошка от напряжения на электродах реактора установки ЭЭД.

Из полученных данных, представленных в виде зависимостей видно, что при увеличении значений регулируемых электрических параметров установки ЭЭД ( $U$  — напряжение (В),  $f$  — частота следования импульсов (Гц),  $C$  — емкость разрядных конденсаторов (мкФ)) наблюда-

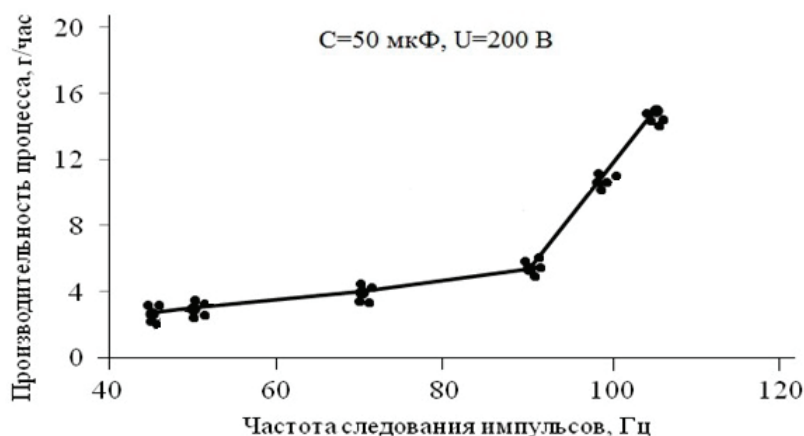


Рис. 2. Зависимость производительности процесса от рабочей частоты установки ЭЭД

ется повышение производительности порошка, полученного из стали марки Р6М5. Экспериментальные точки были получены в результате проведения многочисленных опытов и их статистической обработки.

Наглядно представлены стадии разрушения металлического образца в результате процесса электроэрозионного диспергирования отходов БРС за значительный период времени (рисунок 5).



Рис. 3. Зависимость производительности процесса от емкости разрядных конденсаторов установки ЭЭД

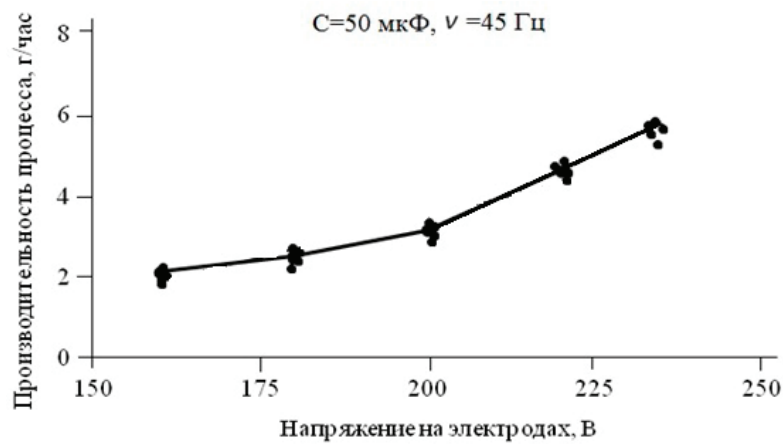


Рис. 4. Зависимость производительности массы порошка от напряжения на электродах установки ЭЭД



Рис. 5. Стадии разрушения металлического образца отходов БРС при проведении нескольких процессов ЭЭД



Литература:

1. Агеев, Е. В., Латыпов Р. А., Агеева Е. В., Давыдов А. А. Получение и исследование порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов электроэрозионным диспергированием: монография. — Курск: Издательство ИП Горохов А.А, 2013. — 200 с.
2. Солнцев, Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учебник для вузов. — Москва: ХИМИЗДАТ, 2007. — 784 с.

## Клинико-фармакологические свойства химиотерапевтических препаратов, нарушающих внутриклеточный синтез белка

Уйманова Виктория Анатольевна, студент;  
Селиванова Евгения Александровна, студент  
Пермская государственная фармацевтическая академия

*В данной работе были изучены химиотерапевтические вещества, в частности антибиотики, нарушающие синтез белков: тетрациклины, макролиды и аминогликозиды.*

Антибиотики — вещества, полученные из микробов, животных и растительных тканей, способные избирательно убивать микроорганизмы или подавлять их развитие. В настоящее время противомикробные средства занимают существенное место среди лекарственных препаратов. Антибиотики являются важнейшими средствами в современной химиотерапии, вследствие их высокой активности и этиотропности, т. е. избирательности действия.

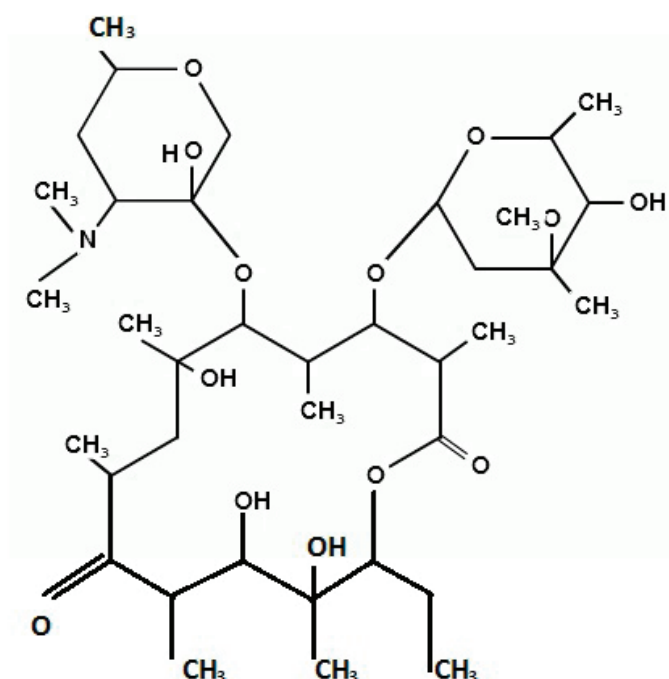
В своей работе мы подробно изучим антибиотики, нарушающие синтез белков. Эта группа химиотерапевтических препаратов имеет наиболее важное практическое значение. Цель исследования: изучить клинико-фарма-

кологическое свойства препаратов групп тетрациклинов, макролидов и аминогликозидов.

### Макролиды

Макролидные антибиотики — это природные вещества или полусинтетические соединения, содержащие в своем составе лактонное кольцо. К ним относятся: эритромицин, рокситромицин, азитромицин, кларитромицин. Они проявляют активность по отношению к грамположительным бактериям, хламидиям, риккетсиям и микоплазмам.

Разберем действие антибиотиков-макролидов на примере эритромицина.



Эритромицин (*Erythromycinum*) — антибактериальное вещество, которое продуцируется *Streptomyces erythreus* или другими бактериями, относящимися к данному роду. Это белый кристаллический порошок, не имеющий запаха, горький на вкус. Он малорастворим в воде, легко — в спирте. Это соединение активно в отношении грамположительных и грамотрицательных кокков, таких как: стафилококк, пневмококк, стрептококк, гонококк, менингококк. Слабо или совсем не проявляет действие на микобактерии, мелкие и среднего размера вирусы, грибы.

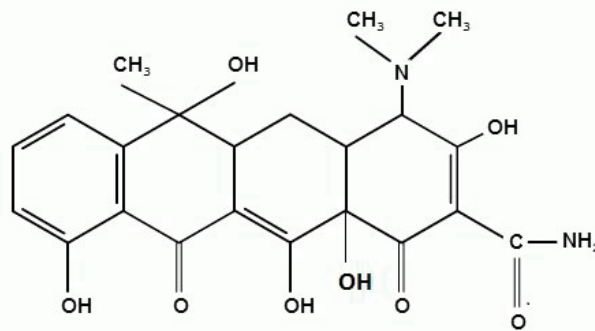
Устойчивость к антибиотику развивается быстро. При совместном применении эритромицина с тетрациклином, стрептомицином и сульфаниламидами действие усиливается.

Показания к применению: пневмония, пневмоплеврит, бронхоэктатическая болезнь в стадии обострения, септические состояния, перитонит, гнойный отит, мастит и другие гнойно-воспалительные процессы.

### Тетрациклины

Тетрациклины могут отличаться между собой по скорости всасывания и удаления из организма, особенностями противомикробного действия, обменными реакциями. Они проявляют активность в отношении многих грибов и вирусных заболеваний (гриппа, полиомиелита, кори и др.), синегнойной палочки. Наиболее распространенными препаратами являются тетрациклин, доксициклин, метациклин.

Подробнее рассмотрим тетрациклин.



Тетрациклин (*Tetracyclium*) является антимикробным веществом, продуцируемым *Streptomyces aureofaciens*. Представляют собой производные частично гидрированного нафтацена — соединения, состоящего из четырех линейно конденсированных шестичленных карбоциклов. Желтый кристаллический порошок без запаха, с горьким вкусом.

Применяют тетрациклин внутрь и наружно. Этот препарат назначают при различных заболеваниях: пневмония, коклюш, скарлатина, гонорея, туляремия, заболевания мочевых путей, менингит и многие другие.

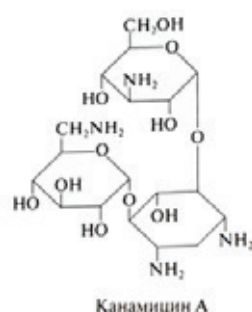
В основе биомеханизма действия тетрациклина лежит угнетение им биосинтеза белка микробной клетки. В стандартных дозах тетрациклин обладает бактериостатическим действием. В результате общности механизма дей-

ствия и противомикробного эффекта препарат вызывает перекрестную устойчивость, т. е. устойчивость к одному из тетрациклинов вызывает устойчивость к другим антибиотикам этой группы.

### Аминогликозиды

Антибиотики группы аминогликозидов — антибактериальные вещества, которые продуцируются лучистыми грибами рода *Actinomyces*. Эти химиотерапевтические препараты содержат в своем составе углеводные фрагменты, обязательно включающие аminosахара. Типичные представители аминогликозидов: неомицин, мономицин, канамицин, гентамицин, стрептомицин и амикацин.

Рассмотрим действие канамицина.



Канамицин (Kanamicinum) — антибиотик широкого спектра действия, продуцируемый лучистым грибом *Actinomyces kanamyceticus*. Данное вещество эффективно в отношении большинства грамположительных и грамотрицательных бактерий.

Канамицина сульфат (Kanamicini sulfas) — белый порошок, легко растворимый в воде.

Это соединение вводят внутримышечно при лечении туберкулеза, сепсисе, легочных нагноениях, острых и хронических пиелонефритах, пиелитах, гонорее и др. Канамицин может применяется в аэрозольной терапии при

рините, синусите, ларинготрахеите, бронхоэктатической болезни, хронической пневмонии, туберкулезе гортани, бронхов, легких и при других заболеваниях инфекционного характера.

Проблемами современного использования антибиотиков является опасность в результате способности образовывать труднорастворимые комплексы с ионами металлов при лечении детей и беременных женщин, также видится проблема получения антибиотиков мало устойчивых к необходимым микроорганизмам и разработка более совершенных синтетических методов их получения.

#### Литература:

1. Виноградов, В. М. Клиническая фармакология / В. М. Виноградов, Е. Б. Краткова, Е. А. Мухина. — СПб: СпецЛит, 2002—854 с.
2. Крыжовский, С. А. Клиническая фармакология: учебник для студентов медицинских училищ и колледжей. — М.: Медицина, 2009. — 399 с.
3. Майский, В. В. Фармакология с рецептурой / Майский В. В., Муратов В. К.. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина, 1986. — 448 с.
4. Машковский, М. Д. Лекарственные средства: в 2-х томах. Т. 2. — 10-е изд. стер. — М.: Медицина. 1985. — 576 с.
5. Харкевич, Д. А. Фармакология. — М.: ГЭАТАР-Медия, 2006. — 736 с.

## Методы получения терефталойлхлорида и пути совершенствования технологии

Шаяхметов Азат Ирекович, аспирант  
Башкирский государственный университет, филиал в г. Стерлитамак

*В работе рассмотрены свойства дихлорангидрида терефталевой кислоты и пути его применения. Представлен обзор основных способов получения данного продукта и предложено несколько направлений совершенствования технологии.*

**Ключевые слова:** гексахлор-*p*-ксилол, гидролиз, кубовый остаток, применение, терефталойлхлорид, технология, хлорирование, хлорангидрид.

Терефталойлхлорид (ТФХ; дихлорангидрид терефталевой кислоты, дихлорангидрид бензол-1,4-дикарбоновой кислоты, дихлорид терефталойла, дихлорид терефталевой кислоты, 1,4-бензолдикарбонилдихлорид, *p*-фенилендикарбонилдихлорид) — это вещество специального назначения. Применяется для получения полиамидных волокон, пластических масс типа полиарилатов, обладающих высокими физико-механическими и диэлектрическими свойствами [1, 2]. В промышленности ТФХ получают гидролизом гексахлор-*p*-ксилола в присутствии хлорного железа как катализатора с последующей перегонкой полученного ТФХ-сырца и чешуирование ТФХ [1, 2, 3].

#### История развития технологии

Данный метод был впервые предложен и запатентован в 1936 году немецким концерном «И. Г. Фарбен» [4].

Наиболее важные исследования по изучению процессов получения дихлорангидрида терефталевой кис-

лоты, а также его дальнейшего применения можно отнести к 60—80-м годам XX века.

Терефталойлхлорид является сырьем для производства арамидных волокон. В связи с этим выпуск в 1971 г. его первой промышленной партии под торговой маркой «Кевлар» американской фирмой «Дюпон» [5] можно считать значительным импульсом дальнейших исследований свойств и методов получения ТФХ. В частности, непрерывный процесс производства данного соединения гидролизом гексахлор-*p*-ксилола водяным паром был разработан фирмой «Dynamit Nobel» (Германия) в 1976 году [3, 4].

В нашей стране исследованиями взаимодействия моно-, ди- и поликарбоновых кислот с различными агентами занималась группа ученых под руководством профессора Е. Л. Вулаха в 70—80-х годах XX века. В рамках проводимых экспериментов были детально изучены различные механизмы синтеза хлорангидридов дикарбоновых кислот, условия образования требуемого продукта

наибольшей чистоты. В том числе исследовались дихлорангидриды изо- и терефталевой кислот [10].

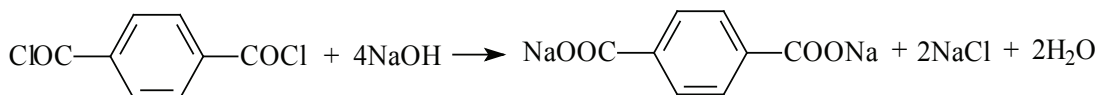
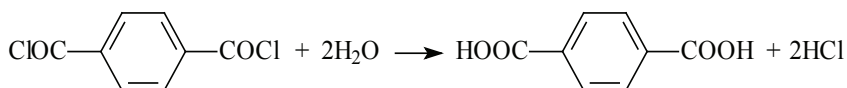
Следует также отметить, что на фоне роста потребностей оборонной промышленности в высокотехнологичных материалах значимым событием для нашей страны стало создание в 1999 году производства терефталоилхлорида на базе ОАО «Каустик» (г. Стерлитамак) [6]. Это позволило отечественным производителям снизить объем закупок зарубежного сырья. Среди иностранных поставщиков данного продукта можно выделить, в частности, компании «ДюПон» (DuPont, США) и «Тейджин» (Teijin, Япония/Нидерланды).

#### Физико-химические свойства продукта. Применение

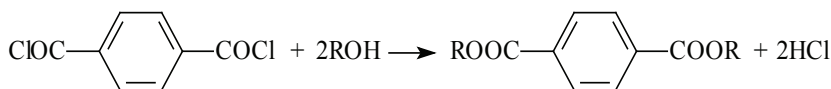
Терефталоилхлорид представляет собой кристаллическое вещество белого цвета со специфическим

острым запахом. Молярная масса 203,03 г/моль. Температура плавления от 82 до 83°C, температура кипения 266°C, имеет склонность к возгонке; плотность (при 90°C) 1,325 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность чешуированного продукта от 0,70 до 0,75 г/см<sup>3</sup>. Растворим в большинстве органических растворителей — эфирах, бензоле, ацетоне, четыреххлористом углероде, нефрасе и др. Горючее невзрывоопасное вещество, нечувствительное к удару и трению; температура вспышки в открытом приборе 152°C, температура начала разложения пылевидного продукта 250°C ТФХ обладает местным раздражающим действием [1].

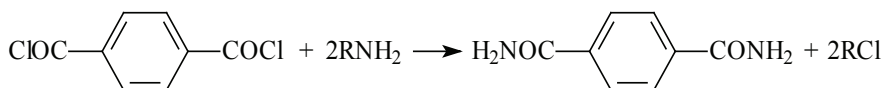
Дихлорангидрид подвергается гидролизу водой, водными растворами кислот и оснований с образованием терефталевой кислоты или её солей:



Терефталоилхлорид легко реагирует со спиртами, образуя сложные эфиры:



Также следует отметить склонность терефталоилхлорида вступать в реакции аминирования, образуя амиды кислот [1]:



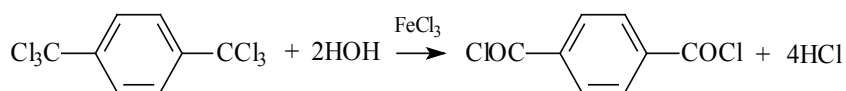
Терефталоилхлорид находит применение в производстве арамидных волокон типа терлон, фенилон и других, обладающих высокими физико-механическими и диэлектрическими свойствами, применяемых в кабельной промышленности, при армировании изделий, для изготовления специальных термостойких тканей, грузонесущих элементов и средств баллистической защиты. Хлорангидриды ароматических кислот, содержащие атомы хлора в ароматическом кольце, являются исходными продуктами для получения огнестойких и негорючих полимерных материалов. На основе хлорангидридов хлорзамещенных фталевых кислот получают красители для натуральной целлюлозы и полиамидных волокон, гидравлические жидкости, импрегнирующие добавки, термопластические

смолы; они являются сырьем для синтеза гербицидов, пероксидных соединений, лекарственных препаратов, дезинфицирующих средств, красителей. Также ТФХ может служить сшивающим агентом для полисульфидов и полиуретанов [1,2].

#### Методы получения

##### Методы на основе гидролиза

Существуют различные способы синтеза ТФХ. Одним из основных промышленных методов его получения является гидролиз гексахлор-п-ксилола (ГХПК) в присутствии хлорного железа как катализатора при повышенной температуре и атмосферном давлении:



Процесс состоит из двух основных стадий: гидролиз гексахлор-*p*-кислота водой в присутствии хлорного железа; перегонка терефталойлхлорида-сырца в вакууме [1, 2, 4, 11]. ГХПК может быть предварительно получен из *p*-кислота жидкофазным хлорированием в присутствии инициатора (азобисизобутиронитрила). Принципиальная технологическая схема приведена на рисунке 1.

Гидролиз ГХПК водой осуществляют в реакторе 2, снабженном мешалкой и барботером для подачи воды. Расплав ГХПК из мерника 1 по обогреваемому трубопроводу поступает в реактор 2, где при перемешивании его нагревают до температуры от 110 до 120°C. Затем добавляют хлорид железа. К этой смеси равномерно добавляют воду из мерника-дозатора 3 (с помощью дозирочного насоса, не показанного на схеме).

Процесс ведут при обычном давлении, строго выдерживая мольное соотношение реагентов хлорид:вода, равным 1:2. Выходящие из реактора газы проходят ловушку-холодильник 4, после чего поступают на абсорбцию водой. Сконденсировавшиеся в ловушке-холодильнике органические продукты (в основном гексахлор-*p*-кислота и хлорангидрид) по окончании реакции переводят нагреванием в жидкое состояние и сливают обратно в реактор 2 для последующей переработки.

По окончании процесса гидролиза от реакционной массы «отдувают» растворенный хлорид водорода с помощью сухого азота. Продукт-сырец передают в куб 5 ректификационной колонны 6, снабженной дефлегматором 7, для разгонки в вакууме. Во избежание кристаллизации продукта в процессе перегонки температуру конденсата на выходе из холодильника 8 поддерживают на уровне температуры плавления хлорангидрида. Перегранный хлорангидрид собирают в сборнике 9. Отходящие в процессе перегонки газы по обогреваемой линии поступают на стадию улавливания. Кубовый остаток перегонки направляют на обезвреживание [11].

Непрерывная схема гидролиза гексахлор-*p*-кислота разработана фирмой «Dynamit Nobel». Принцип её действия показан на рисунке 2.

Гидролиз проводят в вертикальном трубчатом реакторе 5 при температуре от 105 до 108°C с применением в качестве катализатора так же хлорида железа. Гидролизующим агентом является водяной пар, поступающий из аппарата 6 в нижнюю часть реактора.

В конденсаторе 4 в процессе гидролиза поддерживают такую температуру, чтобы жидкость не охлаждалась ниже температуры застывания. Продукты гидролиза выводятся из верхней части реактора 5. Часть хлорангидрида в качестве растворителя возвращается через теплообменник

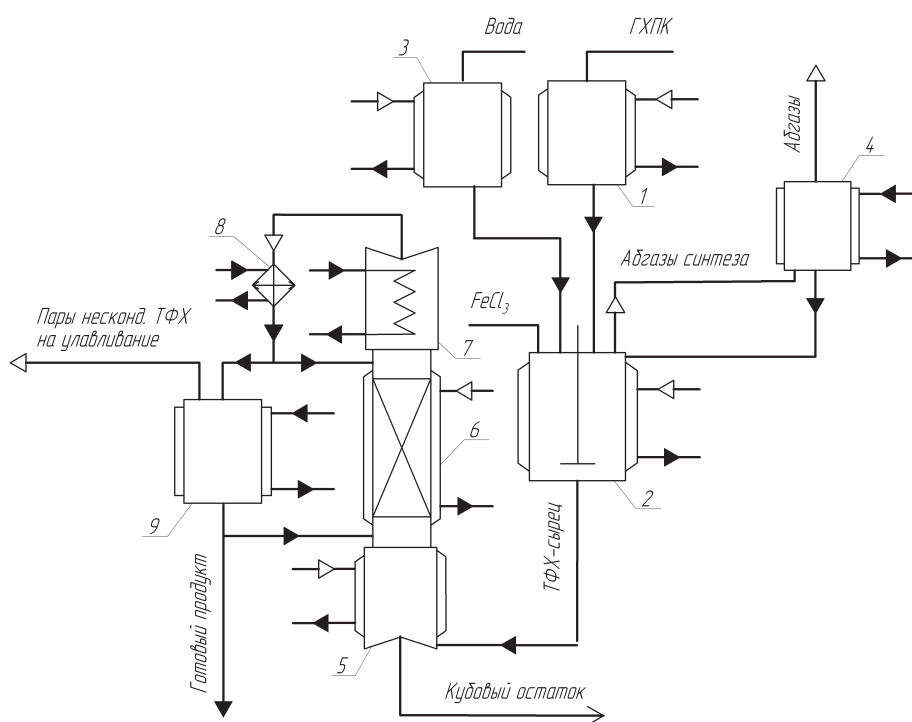


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения ТФХ гидролизом ГХПК: 1 — мерник; 2 — реактор; 3 — мерник-дозатор; 4 — ловушка-холодильник; 5 — куб; 6 — ректификационная колонна; 7 — дефлегматор; 8 — холодильник; 9 — сборник)

3 в процесс, а остальное количество направляется через сборник 2 в колонну 1 для перегонки в вакууме.

В процессе циркулирует от 0,5 до 20 объемов хлорангидрида на 1 объем образующегося хлорангидрида. На выходе из теплообменника 3 в циркулирующий растворитель непрерывно вводятся исходный хлорид и катализатор, и смесь направляется в нижнюю часть реактора 5 [2, 3, 11].

Таким образом, предотвращается полный гидролиз гексахлорсилола, приводящий к образованию фталевой кислоты, осаждающейся в различных частях аппарата. Хлорид железа в присутствии хлорангидридов не катализирует побочных реакций. [2, 3].

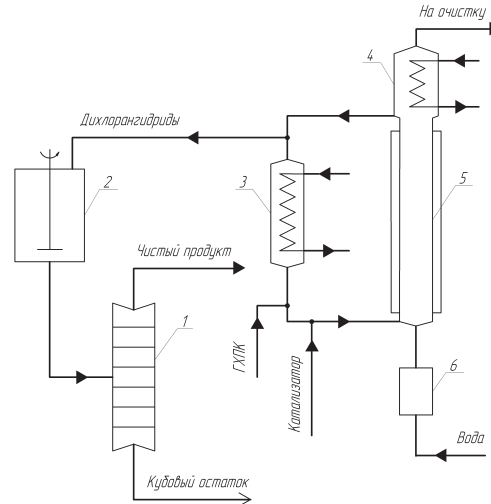
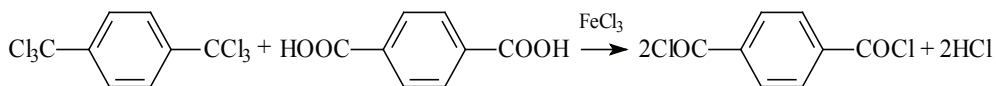


Рис. 2. Принципиальная схема непрерывного процесса получения ТФХ: 1 — перегонная колонна; 2 — сборник; 3 — теплообменник; 4 — конденсатор; 5 — трубчатый реактор для гидролиза; 6 — перегреватель воды

При создании производств большой мощности экономически более выгоден метод производства из ГХПК и те-

рефталевой кислоты (ТФК) в присутствии  $\text{FeCl}_3$  в качестве катализатора:

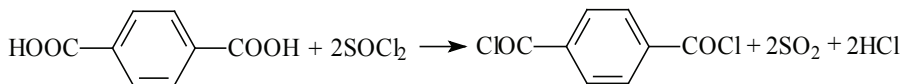


Процесс проводят по схеме, схожей с гидролизом водой, при температуре от 85 до 120°C атмосферном давлении и мольном соотношении реагентов 1:1 [1, 2, 3].

#### Методы на основе хлорирования

Известно несколько способов получения терефталойлхлорида хлорированием терефталевой кислоты

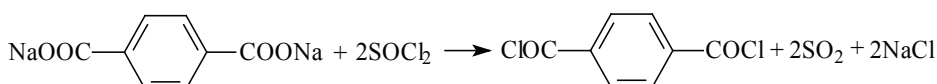
различными агентами. Так при взаимодействии её с тионилхлоридом происходит образование целевого продукта и газовой смеси из диоксида серы и хлороводорода:



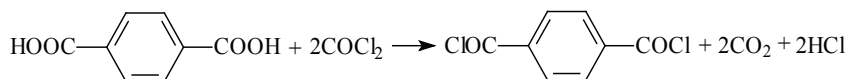
Реакция протекает в присутствии хлоридов металлов III-V групп периодической таблицы, азотсодержащих соединений: амидов муравьиной кислоты, N,N-диметилкарбаминовой кислоты, N,N-диметилацетамида, тетраметилмочевины, диэти- и дифениламина, пири-

дина, — катализирующих процесс хлорирования карбоновой кислоты [1, 2, 9, 12, 13].

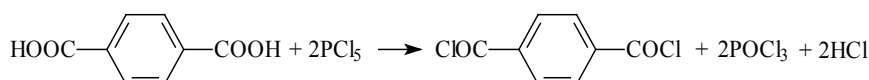
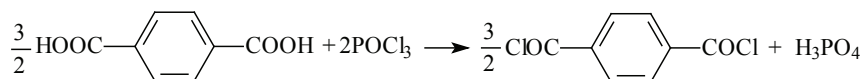
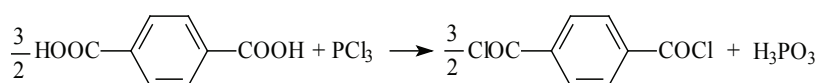
В более мягких условиях и при отсутствии катализатора получение целевого хлорангидрида проходит при действии  $\text{SOCl}_2$  на терефталаты щелочных металлов:



Оптимальными условиями являются мольное соотношение  $\text{SOCl}_2$ :терефталат = 7:1, температура смешения от 50 до 65°C с последующим нагреванием до температуры от 75 до 85°C. Как видно из уравнения, в газовую фазу выделяется только сернистый ангидрид, что упрощает утилизацию побочных продуктов [14].



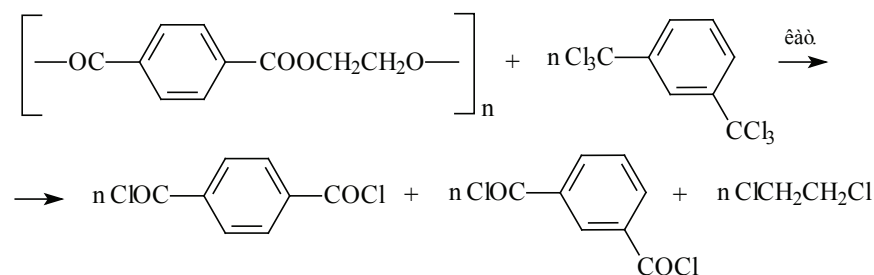
Хлористые соединения фосфора также превращают карбоновые кислоты в соответствующие хлорангидриды [9, 12]:



ТФХ может быть получен также при взаимодействии гексахлорсилолов со сложными эфирами в присутствии в качестве катализаторов соединений железа и алюминия при температуре от 140 до 185°C. Практический интерес представляет применение этой реакции

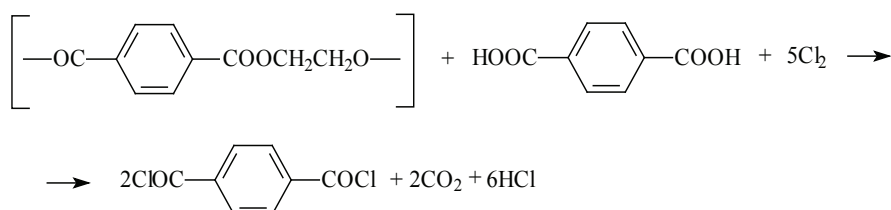
В качестве хлорирующего агента может выступать фосген ( $\text{COCl}_2$ ). В данном случае взаимодействие карбоновых групп ТФК и дихлорангидрида угольной кислоты возможно в присутствии третичных оснований [16], давлении фосгена от 1 до 10 МПа и температуре реакции от 100 до 150°C [17], в присутствии металлов VIII группы [18]:

к отходам производства полиэфиров. Например, при взаимодействии полиэтилентерефталата (ПЭТ) с гексахлор-м-силолом мы получаем смесь изо- и терефталоилхлоридов, содержащих также 1,2-дихлорэтан [2, 7, 8]:



В некоторой степени обобщающим предыдущие методы выступает способ синтеза дихлорангидрида терефталевой кислоты хлорированием смеси полиэтилентерефталата и терефталевой кислоты при повышенной температуре и высоком давлении в среде инертного

органического растворителя, в частности, хлорпроизводных углеводородов и хлоридов кислот (четырёххлористый углерод, формалин, хлорбензол и др.). Суммарно эту реакцию можно записать в следующем виде ( $n=1$ ) [9]:



Использование такого сочетания исходных реагентов позволяет более полно использовать подаваемый хлор и предотвращает образование фосгена как побочного продукта.

В патентной документации также представлены некоторые другие методы синтеза дихлорангидрида терефталевой кислоты, отличающиеся исходным сырьем, условиями протекания процесса, типам применяемых катализаторов и способами выделения чистого продукта.

### Пути совершенствования технологии

Описанные технологии позволяют получить терефталойлхлорид высокого качества, полностью удовлетворяющий техническим условиям и требованиям предприятий-покупателей, использующих данное вещество в качестве сырья в производстве других продуктов. Тем не менее, как и любая технология, данные способы промышленного получения дихлорангидрида ТФК могут быть усовершенствованы. Выделим несколько основных направлений достижения этой цели:

1) использование альтернативного сырья. Очевидно, что технологию можно улучшить, если изменить состав исходных веществ. Так, например, замена воды на терефталевую кислоту в гидролизном способе синтеза терефталойлхлорида позволяет сократить удельный расход гексахлор-п-силола, уменьшить содержание ТФК в сырце и увеличить выход готового продукта. Это должно снизить его себестоимость и способствовать наращиванию мощностей производства, повышая его рентабельность;

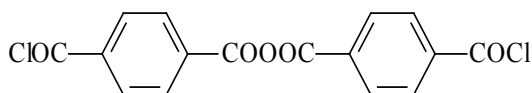
2) повышение чистоты получаемого терефталойлхлорида. Этого можно добиться, в частности, изменением условий процесса перегонки ТФХ-сырца. Так, например, предлагается, отгонка ТФХ из продуктов реакции его получения, которая, в отличие от предложенной, происходит при атмосферном давлении в токе инертного газа, а выделение продукта из паровой фазы

осуществляется при температуре, меньшей температуры его плавления. При этом такой показатель качества терефталойлхлорида, как прозрачность раствора в тетрахлорметане, увеличивается до 97–98 %, что свидетельствует о снижении содержания примесей в продукте [15]. Как отмечают авторы, этот результат достигается, несмотря на то, что, казалось бы, повышение температуры может вызвать негативные эффекты. Продукт более высокого качества будет легче перерабатывать и получать полимеры с улучшенными характеристиками на его основе;

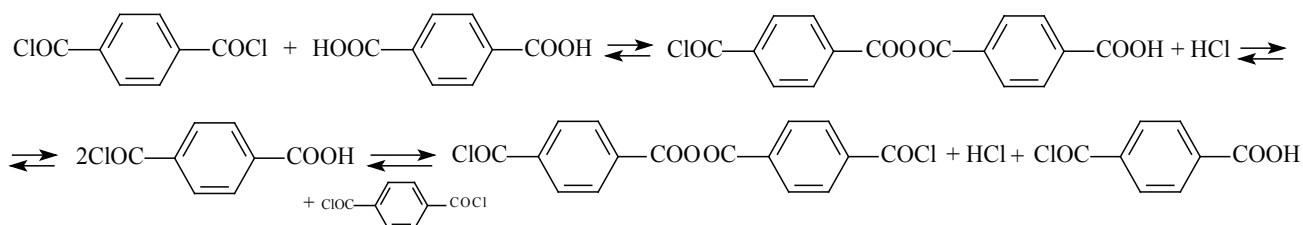
3) поиск новых путей утилизации газообразных отходов. Ряд методов промышленного синтеза терефталойлхлорида предполагает образование побочных продуктов в виде газовой смеси, в частности, образуется HCl, его смеси SO<sub>2</sub>. Одиночный хлороводород может быть абсорбирован водой с получением соляной кислоты [2]. При образовании его смеси с диоксидом серы возникает проблема эффективного разделения и утилизации данных компонентов. Может быть использована технология [19], позволяющая раздельно получить из газообразных отходов тиохлоридного метода товарные продукты — концентрированную соляную кислоту и диоксид серы, которые могут быть использованы затем в промышленном производстве. Таким образом, достигается снижение газообразных выбросов и обеспечивается ресурсосбережение;

4) эффективная переработка кубового остатка перегонки. В кубе после отгонки терефталойлхлорида, получаемого методом гидролиза, остается кубовый остаток, содержащий ТФХ, ТФК, FeCl<sub>3</sub> и осомлы, предположительно представляющие собой полизвенные ангидриды терефталевой кислоты. Подобные соединения образуются при избытке ТФХ и повышенной температуре, характерной для стадии перегонки [10].

При условиях протекания процесса перегонки ТФХ-сырца образуется преимущественно дихлорангидрид бис-4(карбоксо)-бензойного ангидрида:



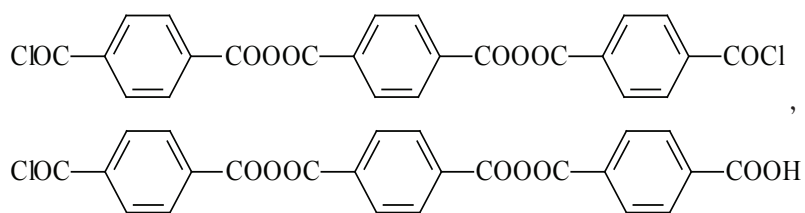
Данный дихлорангидрид образуется в результате следующих превращений:



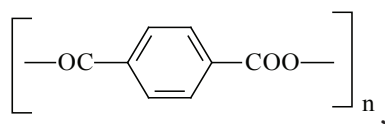


Температура плавления его составляет 180°C; соединение растворимо в кипящем толуоле, четыреххлористом углероде [10].

Нерастворимый в кипящем толуоле остаток продуктов указанной реакции является смесью полизвённых ангидридов, из которых можно выделить такие соединения, как [10]



Таким образом, можно принять, что общая структурная формула строения полиангидридов терефталевой кислоты в осмолах имеет вид



где  $n$  — число звеньев полимерного ангидрида.

Существуют различные пути утилизации кубового остатка, ряд из них представлен в наших более ранних сообщениях [20, 21].

Представленные сведения показывают, что терефталойлхлорид — востребованный продукт на рынке химического сырья, хотя он и является относительно малораспространенным. Производство его может осуществляться различными способами в зависимости от

наличия тех или иных исходных компонентов и величиной экономических затрат, необходимой мощности производства и степени воздействия на окружающую среду. При этом любая технология имеет ряд узких мест, устранение которых будет способствовать повышению мощности производства, улучшению качества получаемого продукта и положительно повлияют на экономический и экологический аспекты производства.

#### Литература:

1. Промышленные хлорорганические продукты: справочник / под ред. Л. А. Ошина. М.: Химия, 1978. 658 с.
2. Муганлинский, Ф. Ф. и др. Химия и технология галогенорганических соединений. М.: Химия, 1991 г. 272 с.
3. Гайле, А. А., Сомов В. Е., Варшавский О. М. Ароматические углеводороды: Выделение, применение, рынок: справочник. СПб: Химиздат, 2000. 544 с.
4. Richtzenhain, H., Riegger P. Method of Preparing Terephthalic Acid Dichloride and Isoterephthalic Acid Dichloride. (Пат. 4091017 США, 1978.)
5. Справочник по композиционным материалам. В 2-х кн. Кн. 1 / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; под. ред. Б. Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.
6. Хабибуллина, Л. Забыл прошлое — потерял будущее // Комсомольская правда: Уфа. № 15. 2009.
7. Funabashi, K., Harada K. Process for Preparation of Aromatic Carboxylic Acid Chloride. (Пат. 3835186 США, 1974)
8. Katzschmann, E. Process for the Production of Tere- and Isophthalic Acid Dichloride. (Пат. 711730 Канады, 1965.)
9. Zengel, H., Frank D., Bergfeld M. Process for the Production of Terephthalic Acid Dichloride. (Пат. 3878244 США, 1975)
10. Чернобровкина, М. Н. и др. Закономерности образования ангидридов взаимодействием ароматических карбоновых кислот с хлорангидридами // Основной органический синтез и нефтехимия. Ярославль. Вып. 25, 1989. с. 90—98
11. Моцарев, Г. В., Успенская И. Н. Хлорпроизводные алкилароматических углеводородов. Получение и переработка. М.: Химия, 1983. 152 с.
12. Титце, Л., Айхер Т. Препаративная органическая химия: реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. Пер. с нем. М.: Мир, 1999. 704 с.

13. Вулах, Е. Л. и др. Синтез фталоилхлоридов хлордегидроксилированием фталевых кислот тионилхлоридом // Основной органический синтез и нефтехимия. Ярославль. Вып. 20, 1989. с. 60–68.
14. Барк, Д. С. и др. Получение терефталойлхлорида взаимодействием щелочных солей терефталевой кислоты с тионилхлоридом // Основной органический синтез и нефтехимия. Ярославль. Вып. 14, 1989. с. 51–55.
15. Способ очистки терефталойлхлорида: пат. 2263659 Рос. Федерация. №2004119352/04; заявл. 24.06.2004; опубл. 10.11.2005.
16. Manufacture of Organic Acid Halides and of Derivates Therefrom (Пат. 401643 Великобритании, 1933).
17. Carnahan, J. E. Process of Preparing Dicarboxylic Acid Chlorides (Пат. 2657233 США, 1953).
18. Long, R., Marples B. A. Improvements in Acid Relating to the Preparation of Carboxylic Acid Halides (Пат. 987516 Великобритании, 1965).
19. Горпинченко, А. В. и др. Основы ресурсосберегающего процесса синтеза дихлорангидрида терефталевой кислоты // Химия и химическая технология. Том 51. Вып. 4, 2008. с. 46–47.
20. Шаяхметов, А. И. Технология утилизации кубовых остатков производства терефталойлхлорида // Малоотходные, ресурсосберегающие химические технологии и экологическая безопасность: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. — Стерлитамак: Фобос, 2013. — с. 120–121.
21. Левашова, В. И., Шаяхметов А. И. Способы утилизации кубовых остатков перегонки терефталойлхлорида // Химия и современность: сборник научных статей / Чуваш. гос. пед. ун-т; под ред. Ю. Ю. Пыльчиковой. — Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2014. — с. 13–15.

## Титрование $\text{Bi(III)}$ , $\text{Au(III)}$ и $\text{Pd(II)}$ растворами $\text{ДДТКNa}$ и $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$

Яхшиева Зухра Зиятовна, кандидат химических наук, старший преподаватель;

Яхшиева Мехринигор Шавкатовна, студент;

Эшонкулов Эркин Суяркулович, студент

Джизакский государственный педагогический институт имени А.Кадыри (Узбекистан)

*Показана возможность и оптимизированы условия амперометрического титрования  $\text{Bi(III)}$ ,  $\text{Au(III)}$  и  $\text{Pd(II)}$  растворами  $\text{ДДТКNa}$  и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  с двумя платиновыми индикаторными электродами в различных по кислотно-основным свойствам средах по току анодного окисления реагента и катодного восстановления ионов титруемых металлов. При проведении эксперимента улучшены метрологические характеристики (воспроизводимость, правильность, расширение диапазона определяемых содержаний, чувствительность, селективность), увеличены области использования метода титрования  $\text{Bi(III)}$ ,  $\text{Au(III)}$  и  $\text{Pd(II)}$  с целью последующего их применения при контроле составов природных объектов и промышленных материалов.*

**Ключевые слова:** амперометрия, селективность, воспроизводимость, реагент, избирательность, экспрессность.

### Введение

Возросшие требования, предъявляемые к аналитическому контролю состава объектов органического происхождения, плохо растворимых в воде на самых различных этапах технологических процессов диктуют повышенные требования к точности, экспрессности, избирательности и расширению диапазона определяемых содержаний разрабатываемых или внедряемых в производство методик анализа. Контролируя содержание металлов на уровне  $10^{-3}$ – $10^{-6}$  % в моторных и турбинных маслах, бензинах или растворах электролитов химических источников тока, а также в материалах лакокрасочной промышленности, можно с уверенностью диагностировать, прогнозировать износостойкость и коррозионную устойчивость, а также выявить ресурс непрерывной работы и другие технические параметры машин и приборов при условии, что ме-


тодики определения микросодержаний металлов обеспечивают заданный предел определяемых концентраций с высокой воспроизводимостью и правильностью при самых широких вариациях состава контролируемых веществ и компонентов. К наиболее точным способам индикации конечной точки титрования относятся электрохимические методы, в частности, амперометрические с одним или двумя поляризованными индикаторными электродами.

### Теоретический анализ

Известно, что в воде диэтилдитиокарбамат натрия ( $\text{ДДТКNa}$ ) и диэтилдитиокарбамат свинца  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  образуют со многими катионами весьма прочные и практически нерастворимые в воде комплексные соединения, способные экстрагироваться многими органическими растворителями (бензолом, метилэтилкетон, те-


трахлорметаном, хлороформом и др.). Особенно прочные комплексы образуют Hg(II), Pd(II), Cu(II), Bi(III) и Ag(I). Поэтому возможность и условия проведения амперометрического титрования ионов именно этих элементов и были исследованы в первую очередь.

Предварительные опыты показали, что при титровании вышеназванных катионов в протолитических средах с помощью двух платиновых индикаторных электродов реги-

стрируются четкие кривые титрования  — образной формы, позволяющие надежно и точно находить положение т. э. обычным графическим приемом. Нахождение конечной точки титрования (КТТ) независимо от природы используемого растворителя отвечают образованию комплексов в молярном соотношении Ме:Лиганд—1:1 для ионов одновалентных металлов, 1:2—двухвалентных и 1:3—трехвалентных катионов.

### Методика эксперимента

Амперометрическое титрование с двумя платиновыми индикаторными электродами, как следует из вольтамперных характеристик ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb, необходимо проводить при напряжениях ниже 0,3 В на ацетатном, 0,4 В — нитратном и 0,5 В — перхлоратном фонах, так чтобы одновременно могли протекать процессы окисления титрантов на аноде и восстановления кислорода на катоде. При слишком высоком напряжении и использовании в качестве титранта (ДДТК)<sub>2</sub>Pb ток может возникнуть и за счет окисления образующихся при реакции ионов свинца на аноде и восстановления кислорода на катоде. В таких

условиях кривая титрования имеет  - образную форму с незначительным максимумом на левой ветви.

С целью оптимизации условий титрования ионов вышеуказанных металлов с двумя индикаторными электродами растворами ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb было изучено влияние на ход и результаты титрования следующих факторов: величины внешнего напряжения, подаваемого на индикаторные электроды, природы и концентрации фонового электролита, добавок инертного растворителя, различных посторонних катионов, мешающих анионов, ряда комплексообразующих соединений и других факторов.


### Результаты и их обсуждение

Влияние внешнего напряжения. В соответствии с вольтамперными характеристиками ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb, всех ионов и молекул, принимающих участие в реакции комплексообразования, а также растворенного кислорода, амперометрическое титрование ионов металлов с двумя платиновыми индикаторными электродами на различных фоновых электролитах следует проводить при напряжении не ниже 0,30 В, так чтобы после т. э. одновременно могли протекать процессы окисления свободного реагента на аноде и восстановления кислорода на

катоде. Растворенный в ДМФА и ДМСО кислород начинает восстанавливаться с заметной скоростью только при потенциалах 0,35 В. Напряжение изменяли в диапазоне 0,3—1,1 В ступенями 0,2 В.

Учитывая это обстоятельство, а также указанные значения потенциалов полуволн ( $E_{1/2}$ ) ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb и начало окисления уксусной кислоты, *n*-пропанола, диметилформамида (ДМФА) или диметилсульфоксида (ДМСО), можно заключить, что амперометрическое титрование катионов, неспособных к восстановлению на платиновом катоде, необходимо проверить при напряжении не менее 0,7 В. При титровании таких катионов как Cu(II), Ag(I), Hg(II) и Au(III), достаточно легко восстанавливающихся уже при нулевом потенциале платинового электрода, напряжение может быть более низким, порядка 0,3—0,5 В [1].

В первом случае индикаторный ток будет возникать после достижения, т. е. за счет окисления свободного ДДТКNa и восстановления кислорода. Кривая титро-

вания при этом должна иметь  - образную форму. Во втором случае будет наблюдаться более высокий ток в самом начале титрования за счет одновременного восстановления титруемых катионов на катоде и окисления самого растворителя на аноде. Этот ток, величина которого лимитируется концентрацией титруемых катионов, будет непрерывно падать по мере приближения к т. э., после прохождения которой, как и в первом случае, возникает непрерывно возрастающий при дальнейшем добавлении титранта ток за счет окисления свободного ДДТКNa и восстановления кислорода.

Таким образом, при амперометрическом титровании легко восстанавливающихся катионов на катоде должна получиться V — образная кривая титрования.

Эксперименты показали, что лучшие по форме кривые и правильные результаты титрования ионов металлов получаются при напряжении на индикаторных электродах не ниже 0,5 В.

Было установлено, что при значениях приложенного напряжения меньших 0,4 В при амперометрическом титровании раствором ДДТКNa (0,3 В в случае (ДДТК)<sub>2</sub>Pb) правая восходящая ветвь кривой получается слишком пологой и быстро отклоняющейся от прямолинейности, приводящая к снижению воспроизводимости формы кривой и, следовательно, к неверности результатов титрования (рис. 1).

Как видно из рисунка, оптимальными значениями потенциалов при титровании Pd(II) раствором ДДТКNa являются 0,7—0,9 В, а (ДДТК)<sub>2</sub>Pb — 0,5—0,7 В, так как именно в этих интервалах наблюдаются более четкие кривые и достаточно правильные и воспроизводимые результаты титрований.

Форма кривых амперометрического титрования Pd(II) раствором (ДДТК)<sub>2</sub>Pb адекватна кривым, полученным при его определении раствором ДДТКNa при потенциалах, меньших на 0,2 В.

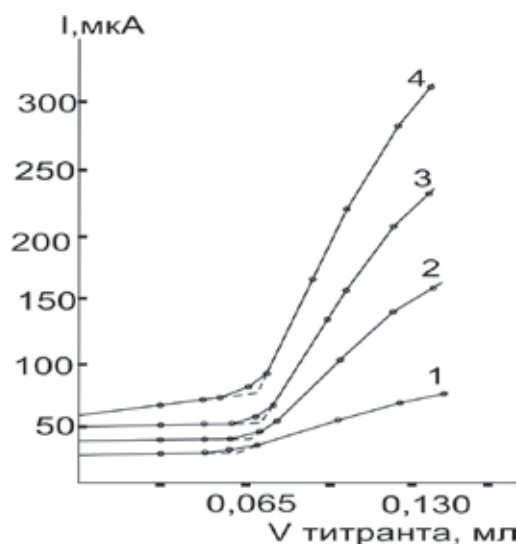


Рис. 1. Кривые титрования Pd(II) 0,004 М раствором ДДТКNa на фоне 0,25 М по ацетату калия в уксусной кислоте при различных напряжениях на индикаторных электродах, В: 1–0,3; 2–0,5; 3–0,7; 4–0,9

Эксперименты показали, что если проводить титрование Cu(II) с омедненными (Hg(II)-амальгамированными) электродами, а Ag(I) с электродами, покрытыми небольшим слоем серебра (поскольку они более чувствительны) при очень небольших напряжениях (0,05–0,2 В), то единственно возможными в этих условиях электродными процессами до т. э. будут: восстановление ионов серебра на катоде и окисление органического растворителя на аноде.

Из рассмотренных вольтамперных характеристик (ДДТК)<sub>2</sub>Pb на различных фоновых электролитах также следует, что для осуществления титрования различных катионов раствором этого реагента в н-пропаноле напряжения на платиновых индикаторных электродах следует устанавливать в области порядка 0,6–0,9 В.

Влияние величины напряжения на форму кривой и результаты титрования Ni(II) (в качестве примера) было исследовано при следующих оптимальных условиях: фон — 0,25 М ацетат калия, объем титруемого раствора — 10,0 мл, концентрация титранта —  $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, напряжение изменяли от 0,3 до 1,0 В ступенями 0,1 В [2].

Как показали проведенные исследования, результаты определения ионов металлов правильны (на основании  $t_{0,95}$  статистик смешение незначимо) при напряжении в области 0,30–0,95 В [3]. При снижении его величины (менее 0,30 В) правая ветвь кривой постепенно теряет крутизну, ее прямолинейный участок укорачивается, что приводит к резкому снижению надежности определения КТТ и неправильности результатов титрования. Эксперименты показали, что наиболее оптимальным напряжением следует считать 0,40–0,95 В и при этом расход титранта в т. э., найденный обычным графическим способом, хорошо воспроизводится и пропорционален взятому количеству ионов металлов.

С целью получения более четких кривых амперометрического титрования в последующих опытах напряжение

на электродах было увеличено до 0,9 В. При таком напряжении правая ветвь кривой становится более крутой и ее область плавного искривления значительно уменьшается.

Влияние природы и концентрации фонового электролита. Так как кислотно-основные свойства и концентрация фонового электролита оказывают весьма существенное влияние на форму кривой, условия и результаты титрования ионов металлов, то влияние его природы и концентрации было детально изучено при напряжении 0,5–0,8 В (в зависимости от природы титруемой среды). Было исследовано влияние трех фоновых электролитов, отличающихся по своей природе: ацетата калия, нитрата и перхлората лития, проявляющих соответственно основные, нейтральные и кислые свойства.

Эксперименты показали, что сравнительно лучшие по форме кривые титрования P(II)d и Ag(I) регистрируются в присутствии ацетата калия, а Hg(II) — на фоне перхлората лития. На остальных же фонах (особенно при титровании палладия) кривые имеют менее чуткую форму с большим разбросом точек и дополнительным изломом на левой ветви кривой титрования (рис. 2).

Исключение составляет кривая титрования Bi(III). По-видимому, комплексообразование на нитратном и перхлоратном фонах с двух- и трехзарядными катионами протекает с образованием промежуточных комплексов с соотношением компонентов в них 1:1, переходящие затем в комплексы нормального состава. Однако дополнительная т. э. предполагаемого процесса выражена плохо (менее четко) и не вполне совпадает с его стехиометрией. С увеличением концентрации нитрата и перхлората лития вышеуказанные аномалии соответственно увеличиваются.

Титрование Cu(II) проводили на перхлорате лития, так как при его замене на ацетат калия, хотя положение КТТ не изменяются, но область плавного закругления становится более значимой.

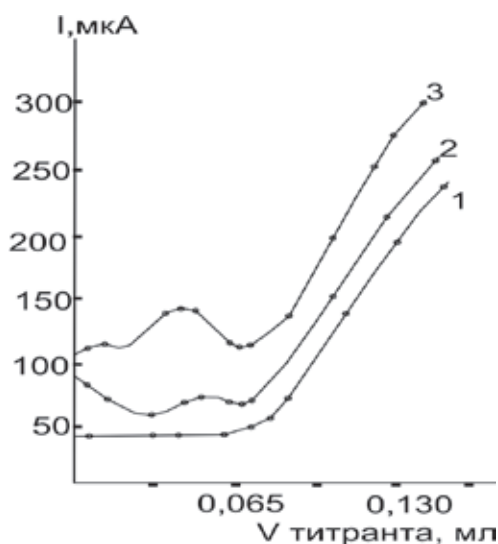


Рис. 2. Кривые титрования Pd(II) раствором ДДТКNa на фоне 0,2 М по ацетату калия (1), нитрату лития (2), перхлорату лития (3) в уксусной кислоте,  $E=0,8$  В

Изменение концентрации ацетата калия оказывает заметное влияние на форму кривой титрования ионов металлов только в области очень малых (менее 0,05 М) или наоборот, в области высоких концентраций электролита (более 0,35 М).

Опыты показали, что титрование Au(III) растворами ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb в диапазоне концентрации фонового электролита 0,1–0,3 М протекает сравнительно быстро, при этом форма кривой титрования, ее чёткость и положение КТТ практически не изменяются при варьировании концентрации фонового электролита. При слишком высокой его концентрации (более 0,5 М) форма кривой амперометрического титрования ухудшается: правая ветвь быстро теряет крутизну и линейность, область плавного перехода между ветвями увеличивается, а положение т. э. сдвигается в сторону завышения. При весьма малой концентрации фона из-за низкой электропроводности анализируемого раствора правая ветвь кривой титрования становится изогнутой и КТТ при этом, хотя и незначительно, смещается в сторону завышения.


Результаты определения 76,62 мкг Au(III) растворами ДДТКNa и (ДДТК)<sub>2</sub>Pb в ДМФА и ДМСО при различных концентрациях ацетата аммония (0,1–0,4 М) свидетельствуют о высокой точности ( $S_g$  не более 0,012) разработанного амперометрического метода определения.

Совсем по иному влияет концентрация нитрата и перхлората лития на титрование Au(III); при увеличении их содержания (от 0,1 до 0,5 М) обе ветви кривой практически не изменяют своего наклона к оси абсцисс. Возрастает лишь область плавного искривления между ветвями.

Как показали эксперименты, при концентрациях ацетата натрия (0,025–0,6 М) результаты амперометрического титрования Bi(III) раствором ДДТКNa получаются правильными и достаточно хорошо воспроизводимыми. Лишь при высокой концентрации фонового электролита (более 0,65 М) форма кривой титрования Bi(III) начинает

ухудшаться, а результаты определения становятся завышенными.

Титрование Bi(III) возможно также и на нитрате лития. На этом фоне титрование протекает немного быстрее, чем на ацетате калия и аммония. Расход титранта в КТТ изменяется пропорционально введенному количеству Bi(III), но положение т. э. не совсем правильно отвечает стехиометрии образования нормального тиокарбамината металла, как это имеет место при титровании этого катиона на ацетатном фоне. При этом на один атом висмута приходится две молекулы ДДТКNa, т. е. образуется смешанно-лигандные комплексы состава  $BiNO_3(ДДТК)_2$  с соотношением Висмут:ДДТКNa=1:2. Необходимо подчеркнуть, что такое соотношение компонентов в комплексе наблюдалось и при титровании ионов этого же металла раствором (ДДТК)<sub>2</sub>Pb в безводной уксусной кислоте.

Кривая амперометрического титрования Bi(III) на фоне нитрата лития имеет хорошо выраженную V-образную форму, а не -образную, как это наблюдалось при его титровании на ацетатном фоне.

Причиной такого различия в форме титрования Bi(III), по-видимому, является то, что на ацетатном фоне этот катион образует устойчивый комплекс, чем на нитратном, ввиду того, что ацетатные комплексы Bi(III) гораздо устойчивее нитратных. Поэтому на нитратном фоне Bi(III) восстанавливается при менее отрицательном потенциале катода, чем на ацетатном, благодаря этому на нитратном фоне при напряжении 0,6 В одновременно может окисляться n-пропанол на аноде и восстанавливаться Bi(III) на катоде, что обуславливает индикаторный ток до т. э.

Для установления оптимальной концентрации нитрата лития были проведены определения одного и того же количества Bi(III) при прочих равных условиях и возрастающей концентрации используемого фона. Результаты

этих опытов свидетельствуют о том, что сравнительно точные результаты получаются в области концентраций нитрата лития от 0,025 до 0,4 М. За пределами этого интервала ухудшаются вид кривой титрования и соответственно воспроизводимость и правильность определений.

В отличие от титрования  $\text{Vi(III)}$  при определении  $\text{Cu(II)}$  лучшие по форме кривые амперометрического титрования наблюдаются на ацетатном фоне. На нитрате и перхлорате же лития титрование протекает значительно медленнее и с невысокой воспроизводимостью и правильностью результатов определения. Поэтому, все дальнейшие титрования  $\text{Cu(II)}$  раствором  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  проводились только на ацетате калия или аммония. Изменение концентрации фона в широких пределах (0,03–0,5 М) при  $E=0,85$  В практически не сказывается на результатах титрования. Однако, форма кривой титрования  $\text{Cu(II)}$  заметно меняется: с повышением концентрации фона ее правая ветвь становится круто наклоненной, а левая, наоборот, уменьшает свою крутизну.

Эксперименты показали, что амперометрическое титрование  $\text{Ag(I)}$  растворами  $\text{ДДТКNa}$  и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  протекает достаточно быстро и четко только на ацетатном фоне, а на нитрате и перхлорате лития не удается получить достаточно воспроизводимых и правильных результатов. Расход титранта в т. э. на ацетате калия пропорционален взятому количеству  $\text{Ag(I)}$ . Изменение концентрации этого фона в пределах 0,1–0,3 М практически не влияет на форму кривой (рис.3) и результаты титрования серебра(I).

Согласно проведенным экспериментальным данным, полученным при титровании ионов различных металлов можно заключить, что изменение концентрации фонового электролита — ацетата калия или аммония в исследуемом

растворе (0,03–0,04 М) форма и четкость кривой амперометрического титрования остается практически неизменным, однако, результаты определения при слишком высокой концентрации фона (более 0,4 М) заметно завышены. При слишком малой их концентрации (менее 0,2 М) резко ухудшается форма кривой титрования: ее правая ветвь становится менее крутой и быстро теряет свою прямолинейность, загибаясь к оси объемов.

Таким образом, при титровании ионов различных металлов (за исключением ионов висмута) растворами  $\text{ДДТКNa}$  и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  лучшим фоновым электролитом считается ацетат калия с оптимальной концентрацией в диапазоне 0,1–0,25 М [4].

Влияние природы и концентрации инертного растворителя. С целью установления возможности применения предлагаемого амперометрического метода с двумя индикаторными электродами для определения ионов металлов непосредственно в экстрактах или в органических объектах было изучено влияние четыреххлористого углерода, хлороформа, бензола и др. растворителей, чаще всего и широко применяющихся в качестве экстрагентов, на условия и результаты титрования растворами  $\text{ДДТКNa}$  и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$ . Титрование проводили при оптимальных условиях, за исключением того, что в анализируемом растворе та или иная часть протолитического растворителя заменялась на инертный растворитель (от 10,0 до 60,0 об. %).

Поскольку характер влияния всех изучавшихся инертных растворителей на форму кривой амперометрического титрования ионов исследованных металлов оказался приблизительно одинаковым, то для иллюстрации приведены только кривые титрование  $\text{Vi(III)}$  в присутствии четыреххлористого углерода (рис.4)

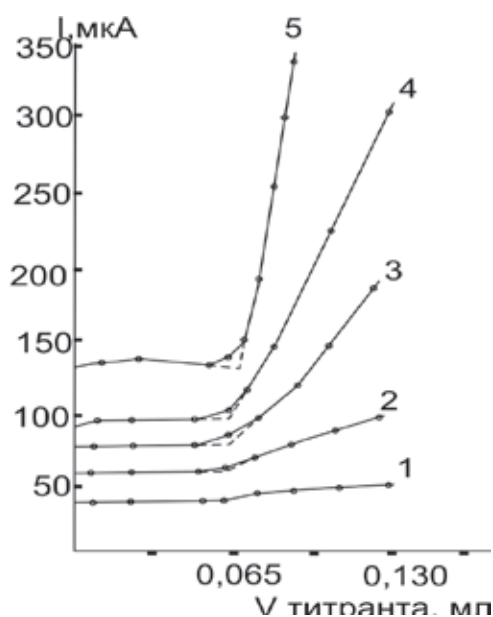


Рис. 3. Влияние концентрации ацетата аммония на форму кривой титрования  $\text{Ag(I)}$  раствором  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  ( $E=0,75$  В). Концентрация фона, моль/л: 1 — 0,1; 2 — 0,2; 3—0,3; 4—0,4

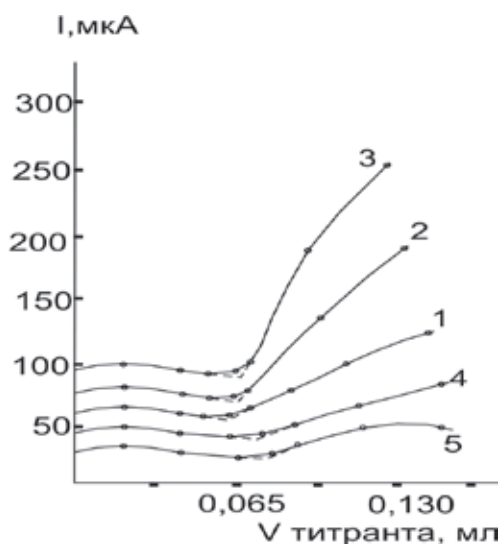


Рис. 4. Влияние добавок  $\text{CCl}_4$  на форму титрования  $\text{Bi(III)}$  раствором ДДТКNa на 0,25 М ацетате калия в *n*-пропаноле ( $\Delta E=0,85$  В). Содержание  $\text{CCl}_4$ , об. %: 1–0,4; 2–10,0; 3–20,0; 4–40,0; 5–60,0

Из рисунка видно что, возрастающие добавки инертных растворителей (30 об. %) сначала оказывают незначительное влияние на форму кривых амперометрического титрования ионов металлов. Лишь только начиная с 40 об. % содержания инертного растворителя мешающее влияние становится существенным: правая восходящая ветвь кривой начинает терять крутизну.

Эксперименты показали, что на форму кривых и результаты амперометрического титрования  $\text{Bi(III)}$  наименьшее влияние оказывают добавки четыреххлористого углерода. Даже при его содержании 40 об. % результаты титрования получаются все еще правильными и воспроизводимыми. Гексан начинает завывать результаты титрования ионов металлов при содержании, превышающем 35,0 об. %, а хлороформ и бензол — с 25,0 и 30,0 об. % соответственно.

Как показали экспериментальные данные, при титровании  $\text{Pd(II)}$ ,  $\text{Hg(II)}$ ,  $\text{Bi(III)}$ ,  $\text{Ag(I)}$ ,  $\text{Au(III)}$  и др. металлов добавление возрастающих количеств любого из изученных неводных растворителей сначала заметно улучшает форму кривой амперометрического титрования — ее правая ветвь становится более крутой, а область плавного искривления уменьшается, что свидетельствует о повышении эффективной константы устойчивости (ЭКУ) комплекса под влиянием добавки инертного растворителя.

Кроме того, его добавки всегда приводят к заметному ускорению установления равновесия после каждого добавления титранта. Особенно благоприятно влияют на форму кривой титрования добавки хлороформа. Однако начиная приблизительно с 30–50 об. % (в зависимости от природы растворителя) добавляемого инертного растворителя, крутизна правой ветви кривой титрования вследствие снижения электропроводности исследуемого раствора непрерывно понижается по мере повышения его содержания. Следует отметить, что резкость наклона

кривой амперометрического титрования после т. э. во всех случаях увеличивается с повышением концентрации (до предельно допустимых содержаний) любого из изученных инертных растворителей, что свидетельствует о повышении степени прочности образующегося комплекса металла.

Таким образом, на основании проведенных нами исследований можно заключить, что добавление к протолитическим растворителям небольших количеств инертного растворителя (не более 30–40 об. %) приводит к значительному повышению четкости кривой титрования и, следовательно, к повышению точности определений. Оптимальное содержание инертного растворителя, при котором получаются наилучшие результаты титрований, зависит от его природы. Наиболее точное значение этой величины получено для хлороформа (45 об. %), бензола (50 об. %) и метилэтилкетона (40 об. %).

Отсюда следует, что лучше всего проводить амперометрическое титрование ионов изученных металлов в бензольных и хлороформных экстрактах, так как в их присутствии получаются наилучшие по форме кривые титрования с наименьшей затратой протолитического растворителя.

При титровании в других смесях (гексане, четыреххлористом углероде метилэтилкетоне) для обеспечения оптимальных условий титрования, как показали эксперименты, в достигнутых условиях проведения анализа при титровании 3–1000 мкг  $\text{Cu(II)}$  и  $\text{Bi(III)}$  относительное стандартное отклонение не превышает 0,03. На нитратном же фоне оно не превышает 0,02. Достаточно точное титрование меньших количеств  $\text{Bi(III)}$  (до 1 мкг в 10,0 мл раствора) также возможно, если использовать  $5 \cdot 10^{-4}$  М стандартный раствор реагента. Результаты титрования  $\text{Ni(II)}$  и  $\text{Ag(I)}$  также правильны и воспроизводимы [5].

## Заключение

Таким образом, предлагаемая методика титрования ионов различных металлов раствором ДДТКNa обладает вполне удовлетворительными точностью и быстротой выполнения анализа.

Было также проверено изменение основных характеристик разработанной методики, если вместо ДДТКNa в качестве титранта использовать  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$ . Опыты показали, что амперометрическое титрование ионов различных металлов раствором  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  протекает с такой же скоростью, как и при титровании раствором ДДТКNa и также приводит к образованию такого же состава. Однако, при титровании раствором  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  получаются менее правильные и воспроизводимые результаты.

Оценка правильности и воспроизводимости разработанных методик. С целью статистической оценки правильности и воспроизводимости предлагаемых методик были проведены амперометрические титрования различных количеств Hg(II), Ag(I), Au(III), Pd(II), Bi(III) и Cu(II) растворами ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  на различных по природе фоновых электролитах в уксусной кислоте, n-пропанол и ДМФА, содержащих 30 об. %  $\text{CHCl}_3$ , при большом числе параллельных определений.

Условия титрования: 0,25 М ацетат калия, напряжение на электродах 0,80 В и 0,65 В, объем исследуемого раствора 10,0 мл, концентрации используемых титрантов 0,004 М ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$ . Результаты титрования ионов металлов, обработанные методом математической статистики, показывают, что для всех содержаний металлов получаются достаточно хорошо воспроизводимые результаты, близкие и соответствующие взятым количествам. Относительное стандартное отклонение (Sg) при титровании 10–1000 мкг ионов исследованных металлов ДДТКNa не превышает 0,039, а  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  - 0,087.

Воспроизводимость и правильность результатов титрования различных количеств металлов в оптимальных условиях показывают, что при титровании катионов раствором ДДТКNa результаты получаются более точными, чем при их определении  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$ .

## Литература:

1. Геворгян, А. М., Талипов Ш. Т., Хадеев В. А., Мухамеджанова Д. В. Вольт-амперометрическое поведение диэтилдитиокарбамина натрия на платиновом аноде в среде диметилформамида // Журн. аналит. химии. 1980. Т. 35. № 10. с. 2026–2028.
2. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. - М.: Химия. 1979. с. 230–236
3. Фишер, Р. А. Статистические методы для исследователей, занимающихся определением благородных элементов. М.; Мир. 1988. 287 с.
4. Геворгян, А. М., Яхшиева З. З., Киреев Г. В. Комплексонометрическая амперометрия при определении благородных металлов в объектах окружающей среды. Тез. докл. Респ. научно-прак. конф. «Кимёнинг долзарб муаммолари» Самарканд. 2009. с. 65–66.
5. Геворгян, А. М., Талипов Ш. Т., Хадеев В. А., Мирзоян И. И. Вольтамперные кривые окисления тионалида на платиновом микроаноме в ледяной уксусной кислоте. // Депонир. в ВИНТИ № 4616–81 от 24.09.81. с. 1–3.

Bi(III) при амперометрическом титровании образует несколько менее прочные комплексы с ДДТК-ионами, чем Ag(I), Pd(II) и Hg(II), но все же прочнее тиокарбаминатного комплекса Pb(II). Поэтому обменная реакция  $2\text{Bi}^{3+} + 3\text{Pb}(\text{ДДТК})_2 \rightarrow 3\text{Pb}^{2+} + 2\text{Bi}(\text{ДДТК})_3$  должна протекать количественно.

Эксперименты показали, что Bi(III) титруется также быстро, как на фоне 0,25 М по ацетату калия или натрия, так и на фоне 0,20 М по перхлорату лития, при этом, полученные результаты достаточно правильны и воспроизводимы. В отличие от титрования Hg(II), Pd(II) и Ag(I) область плавного искривления кривых титрования Bi(III) гораздо больше, что связано с меньшей прочностью его карбаминатного комплекса. Тем не менее положение КТТ воспроизводится, её абсцисса прямо пропорциональна взятому количеству Bi(III).

В водной среде  $\text{AuCl}_3$  взаимодействует с ДДТК-ионами нестехиометрически и поэтому реагенты, основу которых составляют карбаминная кислота и ее аналоги, широко используемые в качестве аналитических титрантов ионов благородных металлов, редко применяются для определения Au(III). Поэтому представляло интерес проведение амперометрического титрования ионов этого металла растворами ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  в ДДФА и ДМСО, так как предварительные опыты были обнадеживающими.

Результаты титрования 5–1000 мкг Au(III) растворами ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  показывают, что полученные данные правильны и воспроизводимы, а Sg во всех случаях не превышает 0,033.

Подводя итог рассмотрению амперометрического титрования ионов различных металлов растворами ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  в безводной уксусной кислоте можно заключить, что для исследованных количеств Pd(II), Hg(II), Cu(II), Bi(III) и Ag(I) получаются достаточно правильные и воспроизводимые результаты, а между введенным и найденным количествами ионов металлов на основании  $t_{0,095}$  статистик значимых расхождений не обнаруживается. Sg при титровании 5–1000 мкг ионов изученных металлов растворами ДДТКNa и  $(\text{ДДТК})_2\text{Pb}$  не превышает 0,03, а  $S_n$  составляет 2 мкг в 10,0 мл анализируемого раствора.



## БИОЛОГИЯ

### Весенняя миграция птиц семейства Утиные (Anatidae) на восточной Чукотке

Косяк Анатолий Васильевич, старший научный сотрудник  
Национальный парк «Берингия» (Чукотский автономный округ)

*В статье рассмотрены вопросы организации и проведения весенних учётов авиафауны на территории парка, их результаты и мероприятия по повышению эффективности данных работ.*

**Ключевые слова:** *весенняя миграция птиц, массовый пролёт, фенология птиц, общепарковые орнитологические наблюдения.*

#### Введение

Для организации качественного мониторинга орнитофауны необходимо, в первую очередь, знать основные фенологические даты и периоды. Проведение общепарковых орнитологических наблюдений позволяют уточнить сроки прилёта и отлёта мигрирующих птиц, правильно выбрать пункты для наблюдений, а также повысить точность и информативность данных мероприятий.

Анализ литературных источников [2–6] показал, что сроки прилёта птиц иногда отличаются от принятых на 1–2 недели. Особенно сильно эти отличия выражены на северных участках парка.

Наблюдение весенней миграции птиц является продолжением аналогичных работ, проводившихся в природно-этническом парке «Берингия», инспекторский состав которого перешёл на работу в национальный парк. В связи с тем, что в границы национального парка были включены территории ранее не входившие в природно-этнический парк, возникли определённые сложности в проведении учётов именно на этих участках из-за дефицита информации, касающейся особенностей территории, её фенологической составляющей. Тем не менее, проведенные учётные мероприятия позволили решить несколько задач:

- получить первичную информацию по новым территориям, особенно в части фенологии.

- скорректировать сроки проведения наблюдений на разных участках.

- выбрать места для стационарных пунктов наблюдения.

Национальный парк «Берингия» начал свою работу с октября 2013 года. Территория имеет кластерный характер со значительными различиями в природных условиях (особенно северного «Колючинская губа» и южного «Провиденский» участков).

Из-за различий в природно-климатических условиях и для удобства анализа данных отдельные кластеры были объединены в ПТК, хотя и со значительными внутренними отличиями:

1. Северо-Чукотский ПТК (участки Колючинская губа и Чегитун).

2. Северо-Восточный ПТК (участки Дежнёвский и Мечигменский).

3. Юго-Восточный ПТК (участок Провиденский).

Полученные данные не могут использоваться как статистически достоверный материал, но позволяют уточнить и конкретизировать, а в некоторых случаях и получить новую информацию, касающуюся фенологии птиц и характера их пребывания на отдельно взятой территории.

#### Методика и материалы

Наблюдения за весенней миграцией птиц проводились в течение мая месяца 2014 года. Сроки и продолжительность работ определялись исходя, прежде всего, из доступности территории и погодных условий в период наблюдений. На некоторых участках, из-за плохих метеоусловий, количество дней наблюдений сокращалось до 17–18, а по времени — до 3–4-х часов/день. На трёх наблюдательных пунктах учёты проводились в течение 24 дней. Среднее количество учётных дней составило 22,3 дня (1226,5 часов). Наблюдения проводились в течение возможно большего времени (в среднем составили 5,5 часа/день). Всего в общепарковых орнитонаблюдениях участвовало 8 инспекторов.

Для наблюдений использовались 10–12 кратные бинокли и, по возможности, велась фотосъёмка.

Полоса учёта не ограничивалась и в хорошую погоду могла достигать 8–10, а иногда и более километров.

Главным методом исследований весенней миграции был метод прямого подсчёта всех видов птиц, пролетающих мимо наблюдателя. Параллельно проводились наблюдения за миграцией других видов птиц.

Наблюдения проводились в окрестностях населённых пунктов, на морском побережье. Пункты наблюдений выбирались исходя из нескольких показателей:

— доступность территории (в мае большая часть территории парка остаётся труднодоступной из-за разрушения снегового покрова, начала весеннего стока на реках, частичного разрушения ледового покрова бухт, озёр и рек).

— неустойчивые погодные условия (возможны обильные снегопады и даже метели).

— многие виды птиц мигрируют вдоль кромки припайного льда [2] (все населённые пункты находятся непосредственно на морском побережье) и далее поворачивают в сторону суши, либо их полёт происходит со стороны моря. В связи с этим наблюдатели чаще всего видят птиц, пролетающих с востока на запад.

Наиболее сложным, в плане проведения наблюдений, является часть Юго-Восточного ПТК, на территории которого находится Провиденско-Сенявинская фьордовая система. Бухты Провидения, Ткачен, Румилет, Аболешева, Пенкигней глубоко вдаются в сушу и на момент проведения учётных работ покрыты припайным льдом, кромка которого находится на значительном удалении (более 10 км) от места наблюдения. В этих условиях рациональнее проводить учёты из мест, максимально приближенных к открытой воде (с открытого побережья, вблизи населенного пункта). Достаточно выгодно в этом отношении расположено с. Сиреники (Сирениковская стационарная полынья).

### Погодные условия в мае 2014 года

Согласно районированию по сезонам года [1], Юго-Восточный и Северо-Восточный ПТК входят в 3-й район (весна-май), а Северо-Чукотский ПТК в 4-й район (весна-3-я декада мая-1-я декада июня). Исходя из этого и определялся период проведения наблюдений.

На всех территориях парка в мае месяце преобладала пасмурная (14–20 дней) и облачная с прояснениями погода (11–14 дней) с ветрами южной четверти. В течение месяца фиксировалось от 7 (на севере) до 13 (на юге) дней со снегом и 4 дня с дождями. Также в анализируемый период наблюдались наплывы морского тумана (1–9 дней). В среднем, на период наблюдений пришлось 12 дней с плохими метеоусловиями (осадки, плохая видимость). На момент начала проведения наблюдений % покрытия территории снегом составлял 70–80 %.

### Результаты наблюдений

**Белолобый гусь (*Anser albifrons*).** Первые гуси отмечены на территории парка 05 мая (Северо-Восточный ПТК). Гуси подлетали в две волны. Первая с 12 по 18 мая (230 особей), а вторая волна была более растянута во времени — с 22 мая и до конца месяца (104 особи). Всего учтено 368 гусей. Птицы летели в стае по 5–7-11 особей. Иногда (в начале полёта) отмечались и одиночные особи. Основное направление полёта с востока, юго-востока, юга на северо-запад. Максимальный размер стаи — 20 особей. Данный вид не наблюдался в районе с. Сиреники (основная масса гусей пролетает по долине р. Курупка, которая находится западнее пункта наблюдения) [6]. На Се-



- 1 - Северо-Чукотский ПТК      ● пункты проведения наблюдений.  
 2 - Северо-Восточный ПТК      ■ территории парка  
 3 - Юго-Восточный ПТК

Рис. 1. Схема размещения участков парка и наблюдательных пунктов



Рис. 2. Среднесуточные температуры воздуха в мае 2014 года в районах наблюдений

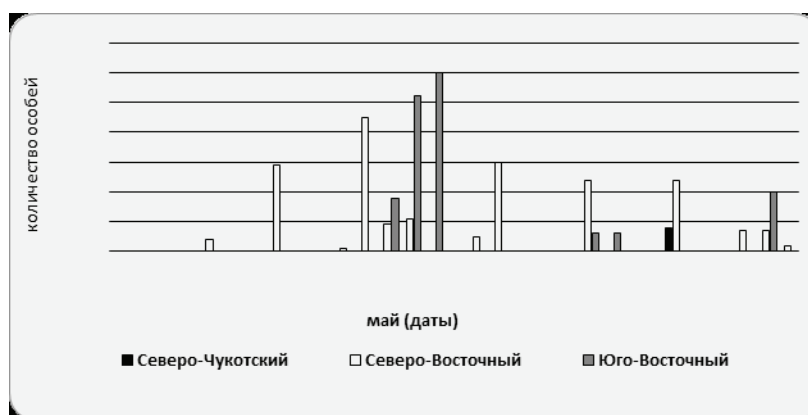


Рис. 3. Интенсивность миграции белолобого гуся в мае 2014 года

веро-Чукотском ПТК было только одно наблюдение этого вида.

**Гуменник (*Anser fabalis serrirostris*).** Первые гуменники отмечены 04 мая (Юго-Восточный ПТК). Пик пролёта приходится на период с 07 по 17 мая, с небольшим перерывом 11–13 мая. За этот период учтено 355 особей. Всего учтено 400 гуменников. 62,5 % учтённых птиц приходится на Северо-Восточный ПТК. Основное направление пролёта — с востока, юго-востока на северо-запад, запад. Учитывались как одиночные птицы, так и стаи от 7 до 24 особей.

**Лебеди (*Cygnus sp.*).** Так как в полёте и на большом расстоянии инспекторам было сложно определить малого (тундрового) и американского лебеда, эти виды учитывались вместе. Первый лебедь был учтён 05 мая на восточном берегу лагуны Уэлен. В дальнейшем фиксировалось по 2–3 особи практически на всех участках. Значительно позже (с 20 мая) лебеди стали наблюдаться на Юго-Восточном ПТК. Пик пролёта лебедей приходится на период с 19.05 по 27.05. За это время учтено 163 особи (77,5 %) от всех учтённых птиц (всего 205). Вне этого периода (29 и 30 мая) лишь на Северо-Восточном ПТК наблюдалось 16 лебедей, хотя общая тенденция снижения

интенсивности миграции явно выражена. Во время пролёта фиксировались как одиночные особи, так и стаи по 3–4-7 особей. Максимальное количество птиц в стае наблюдалось 23 мая на Северо-Чукотском ПТК (18 особей). Основное направление пролёта с востока, юго-востока на запад, северо-запад. Два раза был зафиксирован пролёт лебедей с северо-востока на юго-запад (Дежнёвский массив).

**Белый гусь (*Chen caerulescens*).** В период весеннего пролёта оказался самым массовым из всех гусей. За весь период наблюдений было учтено 15210 особей. Основная часть учтённых птиц приходится на Северо-Восточный ПТК 11126 гусей (73 %) (из них 10809 особей — Дежнёвский массив). Самые низкие учётные показатели приходятся на Юго-Восточный ПТК (77 особей). Первые белые гуси были отмечены 05 мая на территории Северо-Восточного ПТК. Стая из 30 особей пролетела с северо-востока на запад. Далее в течение 8 дней гуси ни на одном из участков не наблюдались, но уже с 16 мая на Северо-Чукотском ПТК, а с 18 мая, на Северо-Восточном участке, начался массовый пролёт. 24 мая через Уэленскую лагуну и косу пролетело 8000 гусей. Массовый пролёт продолжался 11–13 дней с пиком с 21 по

26 мая. Последняя крупная стая была учтена 31 мая (703 особи). В основном гуси подлетали к побережью с востока, юго-востока, какое-то время летели вдоль кромки припайного льда, а затем улетали в западном, северо-западном, северном направлениях. Размеры стай были различными от 7–10 до 20–30 особей. Самые крупные стаи наблюдались 24 мая — до 60–70 птиц.

**Белошей** (*Philacte canagica*). Общая численность учтённых гусей незначительна (209 особей), причём 80 %

(167) приходится на Северо-Чукотский ПТК. Первых 4-х белосшеев наблюдали на пролёте 05 мая на территории Юго-Восточного ПТК. Лишь с 11 мая этот вид начал эпизодически фиксироваться в незначительных количествах на Северо- и Юго-Восточных участках (30 и 12 особей соответственно). С 16 мая, с перерывами в 2–3 дня, начался пролёт белосшеев на Северо-Чукотском ПТК. Гуси летели, в основном, с востока на запад в стаях от 3–8 до 30–40 особей. Пик пролёта приходится на период с 16 по 26 мая.

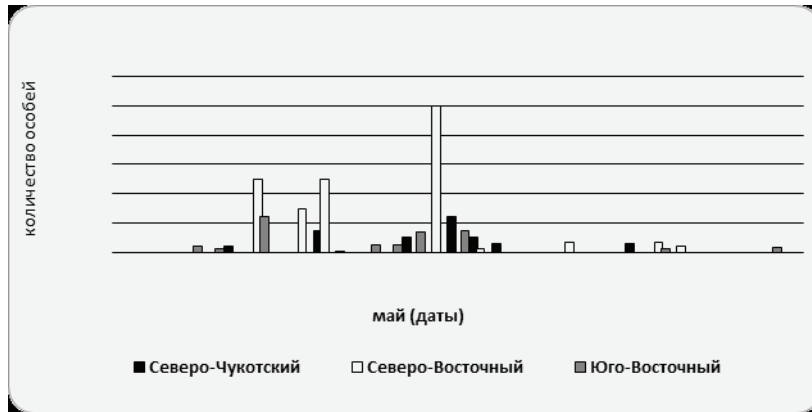


Рис. 4. Интенсивность миграции гуменника в мае 2014 года

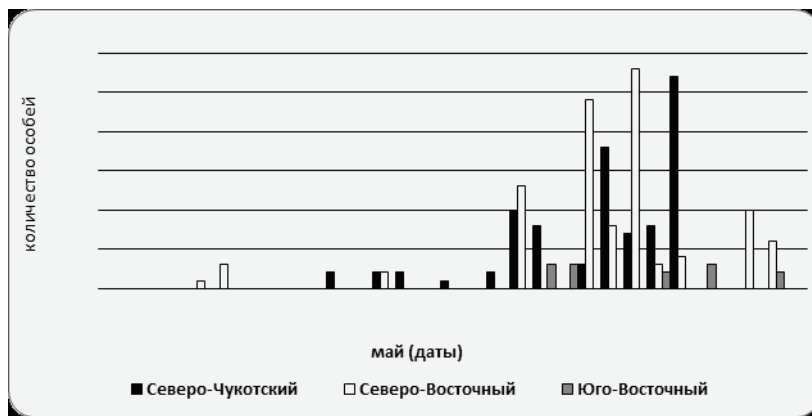


Рис. 5. Интенсивность миграции лебедей в мае 2014 года

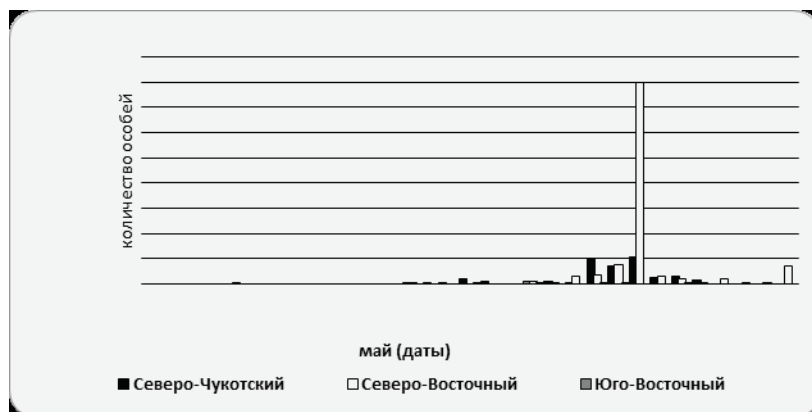


Рис. 6. Интенсивность миграции белого гуся в мае 2014 года

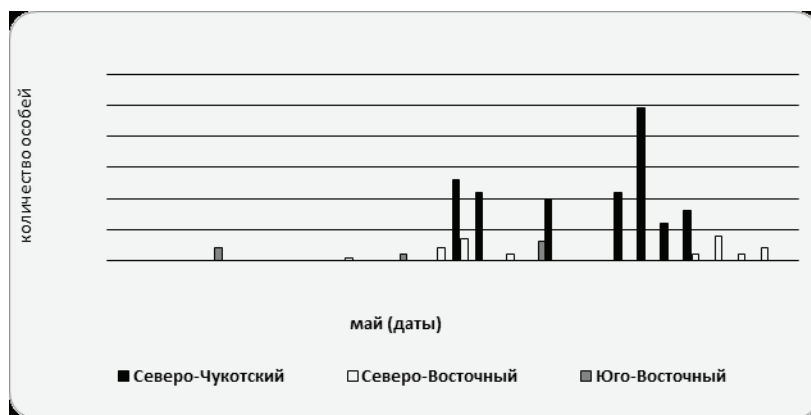


Рис. 7. Интенсивность миграции гуся-белошея в мае 2014 года

**Пискулька (*Anser erythropus*).** Данный вид на территории Юго-Восточного ПТК не наблюдался вообще. На Северо-Восточном ПТК фиксировались лишь одиночные особи (3 наблюдения), пролетавшие вдоль морского побережья, причём 1 гусь был добыт охотником (случайно, вне территории парка). Инспектор, проводивший наблюдения на этом участке имеет большой опыт работы и его информация не вызывает сомнений. Что же касается Северо-Чукотского ПТК, там, по информации инспектора, гуси этого вида наблюдались с 02 мая по 2–4 особи, а 23 мая наблюдалось 6 и 7 гусей. Учитывая небольшой опыт работы данного инспектора и расстояние до наблюдаемого объекта 500–600 метров, можно сделать вывод о том, что он наблюдал белолобых гусей.

**Чёрная казарка (*Branta bernicla*).** Первые две стаи казарок (по 15 особей в каждой) наблюдались 03 мая во время пролёта с юго-востока на северо-запад над южной Чаплинской косой (Юго-Восточный ПТК). На Северо-Восточном ПТК первые казарки отмечены 08 мая (40 особей), а на Северо-Чукотском ПТК — 12 мая (35 особей). С начала 2-й декады месяца начался основной пролёт казарок на всех участках. Массовым этот пролёт назвать нельзя (во всяком случае в местах наблюдений),

так как гуси летели стаями от 5–12 до 35–40 особей, со значительными перерывами (от 2-х до 5–7 дней). Исключение составляет Юго-Восточный ПТК. Здесь 31 мая наблюдался пролёт очень большой стаи (300 особей). Подлетев со стороны моря (юго-восток), птицы некоторое время кружили над с. Янракиннот, а затем улетели в юго-западном направлении. Всего за период наблюдений было учтено 830 чёрных казарок (Юго-Восточный ПТК — 380, Северо-Восточный ПТК — 169, Северо-Чукотский ПТК — 281 особь). Направление перелёта казарок зависело от места наблюдения. На южном побережье (с. Сиреники) гуси летели вдоль берега с востока на северо-запад. На восточных и северных участках казарки подлетали со стороны моря (восток, юго-восток) и улетали в западном направлении.

**Шилохвость (*Anas acuta*).** За время наблюдений всего учтено 1800 особей. Из них 1374 (76,3 %) приходится на Северо-Восточный ПТК. Первые шилохвости отмечены 02 мая (8 особей) на Юго-Восточном ПТК. С 04–05 мая шилохвости стали наблюдаться и на других участках (по 3–4 особи). С 12 мая начался массовый пролёт уток на Северо-Восточном ПТК. За время пролёта (до 16 мая) учитывалось от 40 до 165, а 15 мая, 389

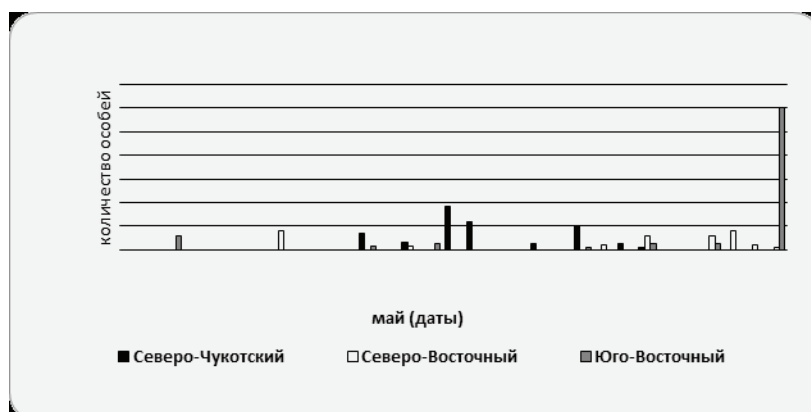


Рис. 8. Интенсивность миграции чёрной казарки в мае 2014 года

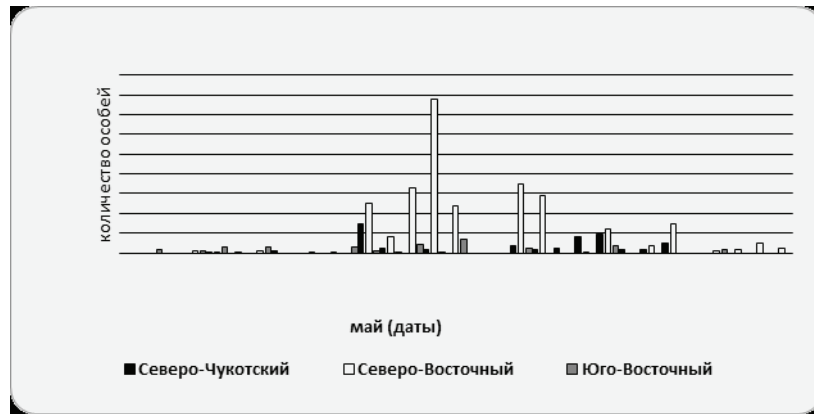


Рис. 9. Интенсивность миграции шилохвосты в мае 2014 года

уток. Вторая, менее интенсивная волна миграции, приходится на 19 и 20 мая (173 и 145 особей соответственно). На других участках миграция была растянута, с перерывами и без ярко выраженного пика пролёта. В основном наблюдались небольшие стаи от 8 до 16 особей, но иногда в одной стае учитывалось до 40 уток. В подавляющем большинстве случаев шилохвосты наблюдались во время отдыха на небольших озёрах. Часто в этот момент собиралось несколько стай, образуя скопления до 150–170 особей. Утки на отдыхе могли находиться весь день и инспекторами часто не указывалось направление дальнейшего пролёта птиц. По всей видимости некоторая часть уток остаётся на гнездование в окрестностях близлежащих озёр и долинах рек. Большая часть, после отдыха, улетают в западном, северо-западном направлении.

**Чирок-свистунок** (*Anas crecca*). На приморских участках данный вид малочислен. Всего, за учётный период, наблюдалась 71 утка. На Северо-Чукотском и Северо-Восточном ПТК данный вид наблюдался лишь 2 раза (20 мая 16 особей и 26 мая — 2 особи соответственно). Основное количество учтённых чирков приходится на Юго-Восточный ПТК (53 особи), где этот вид наблюдался уже 01 мая. 5 уток были учтены у небольшого

участка открытой воды в бухте Комсомольская (п.Провидения), в месте впадения тёплых сточных вод. В данном месте птицы находились вплоть до 8 мая, а затем улетели. Ещё несколько раз (по 3–7 особей) данный вид учитывался в устье реки Сиренек-Кейвук (с.Сиреники). Здесь утки после 2–3 дней отдыха, улетали по долине реки в северном направлении.

**Гага обыкновенная** (*Somateria mollissima*). Основная масса уток наблюдалась в местах где имелись пространства открытой воды (полюнья, разводья), либо кромка припайных льдов находилась на небольшом расстоянии от побережья (хорошо видимая в бинокль). Таким характеристикам соответствовал Юго-Восточный ПТК. Из учтённых за время наблюдения 4578 уток, 3866 особей (84,4 %) наблюдались именно на этом участке. Ярко выраженного массового пролёта не наблюдалось. Лишь два раза общее количество пролетающих птиц превышало 1000 особей (1008 и 1090). В основном, утки летели вдоль берега, в восточном, юго-восточном направлениях. На других участках наблюдались небольшие стайки уток, летящие в западном направлении. Часто стаи по 8–20 особей отмечались на участках открытой воды прибрежных озёр.

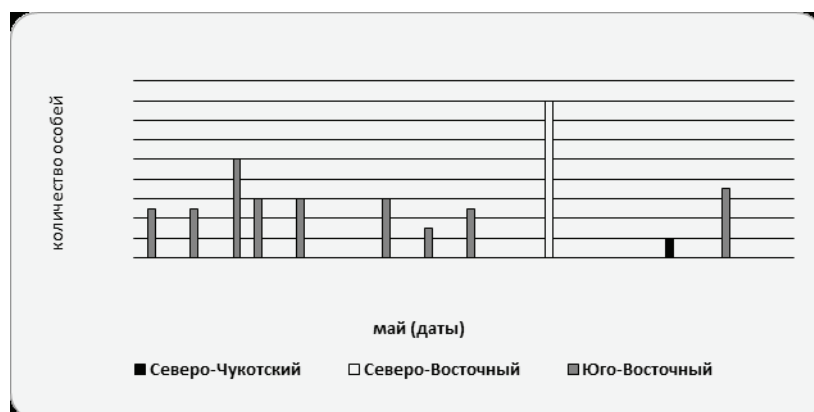


Рис. 10. Интенсивность миграции чирка-свистунка в мае 2014 года

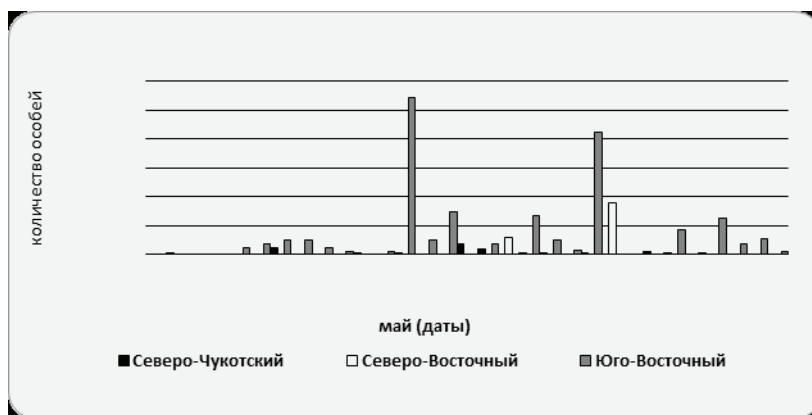


Рис. 11. Интенсивность миграции обыкновенной гаги в мае 2014 года

**Морянка (*Clangula hyemalis*).** В акватории Юго-Восточного ПТК этот вид наблюдается круглогодично (стационарная полынья). Здесь постоянно присутствует 100–200 уток. О начале активной миграции можно судить по скоплениям морянок, которые наблюдались в прибрежной акватории с. Сиреники 13 мая (950 особей). Ещё один массовый пролёт зафиксирован 22 мая (450 особей). Для Северо-Восточного ПТК была характерна другая тенденция. В течение месяца морянки либо вообще не наблюдались (27 дней), либо наблюдались в незначительных количествах (от 1 до 30 особей — 2 дня). Только 23 и 28 мая был отмечен массовый пролёт этого вида — 950 и 1005 особей соответственно. Во всех случаях птицы наблюдались сидящими на воде (прикромочное пространство), либо совершающие небольшие перелёты.

На Северо-Чукотском ПТК морянки наблюдались чаще, но в небольших количествах (от 8 до 50 особей — 8 наблюдений). Всего учтено 5131 утка. Из них 2922 (57 %) — Юго-Восточный ПТК, 1986 (39 %) — Северо-Восточный ПТК, остальные были учтены на Северо-Чукотском ПТК.

**Гага-гребенушка (*Somateria spectabilis*).** Наиболее массовый пролёт этого вида наблюдался на Юго-Вос-

точном ПТК. Из 4737 особей здесь было учтено 4220 уток (89 %). Пики пролёта наблюдались с 11 по 14 мая — 1950 уток, 20–21 мая — 810 и с 26 по 28 мая — 1220 особей. Отдельные стаи по численности составляли 200–300 уток. Преобладающее направление пролёта — восток, юго-восток. На Северо-Восточном ПТК относительный «всплеск» пролёта наблюдался с 07 по 10 мая. За этот период было учтено 406 уток из 517. В основном птицы летели в северном направлении. В последующие дни фиксировались лишь небольшие стаи от 6 до 12 особей. Иногда стаи от 6 до 8 гаг наблюдались отдыхающими на небольших промоинах окрестных озёр. На Северо-Чукотском участке гребенушки не наблюдались.

**Большой крохаль (*Mergus merganser*).** Наблюдался лишь один раз. 30 мая 3 утки наблюдались на небольшом озере, расположенном в 2-х км к северу от с. Уэлен.

**Средний крохаль (*Mergus serrator*).** 23 мая были отмечены три крохалья, которые пролетели вверх по р.Кэльэнгыр (север, северо-запад). 28 мая — 5 уток сидели на озере в основании косы Урелики — все самцы (п. Провидения).

**Очковая гага (*Somateria fisheri*).** Этот краснокнижный вид наблюдался только на Северо-Восточном

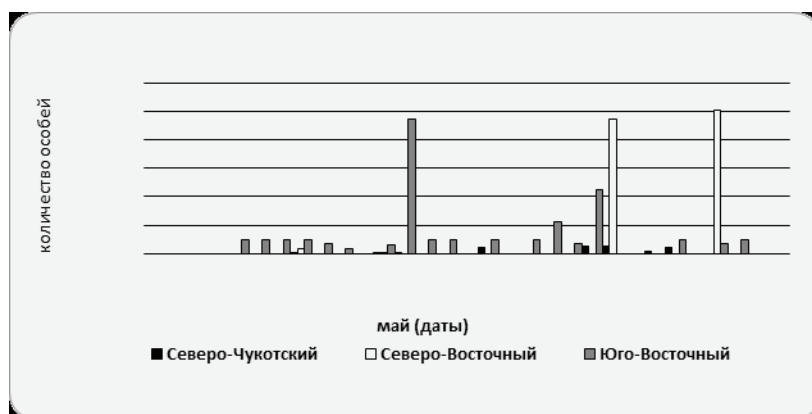


Рис. 12. Интенсивность миграции морянки в мае 2014 года

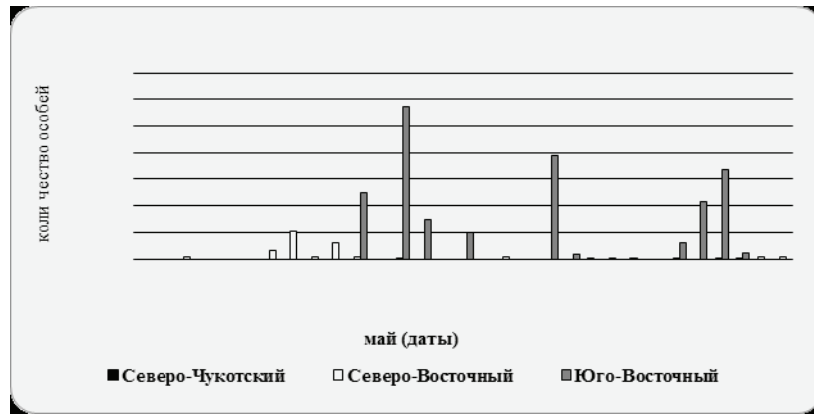


Рис. 13. Интенсивность миграции гаги-гребенушки в мае 2014 года

ПТК. 06 мая 200 уток наблюдались на снежниках «солёных озёр» (в 2-х км северо-западнее с. Лорино). 08 мая 150 гаг наблюдались на воде открывшегося пролива из Мечигменской губы в Мечигменский залив. 22 мая, в условиях ограниченной видимости (до 300 метров), в районе урочища Дежнёво, наблюдался пролёт 150 уток (3 стаи по 50 особей) с юга на север. 23 мая на воде разлившегося устья р. Кэльэнгрин (река, впадающая в вершину Мечигменской губы), наблюдалась стая гаг из 200 особей.

**Каменушка. (*Histrionicus histrionicus*).** Наблюдалась 2 раза на Юго-Восточном ПТК. Первое наблюдение этого вида приходится на 14 мая. 10 уток наблюдались у побережья села Сиреники, на морской акватории. 20 мая ещё 10 особей отмечены, приблизительно, в этом же секторе наблюдения.

**Морская чернеть. (*Aythya marila*).** На заключительный период наблюдений пришлось начало пролёта чернети. Этот вид наблюдался 2 раза: 20 мая 3 утки на-

блюдались на небольшой полынье «солёных озёр» — Северо-Восточный ПТК, а 30 мая 12 уток наблюдались на освободившейся ото льда приустьевой части р. Марич — Юго-Восточный ПТК.

**Свиязь. (*Anas penelope*).** Наблюдалась в самом начале месяца, с 01 по 05 мая, на полыньях, которые образовались от стока канализационных вод между причалом № 3 и м. Чуфан. Наблюдался одиночный самец (п. Провидения). 16 мая 4 утки наблюдались в пойме р. Сиреник-Кейвук (Юго-Восточный ПТК).

**Широконоска. (*Anas clypeata*).** Очень редко встречающийся на территории парка вид. Наблюдался 1 раз. 28 мая 3 утки (2♂ и 1♀) сидели на озере в основании косы Урелики. Оба самца активно ухаживали за самкой, между самцами началась драка за самку, которая благосклонно наблюдала за активностью самцов. В конце концов, один из самцов отогнал другого.

Кроме птиц семейства Утиные были учтены следующие виды:

№ п/п	Вид	Количество учтённых особей			Всего	Примеч.
		Северо-Чукотский ПТК	Северо-Восточный ПТК	Юго-Восточный ПТК		
1	GAVIIDAE <i>Gavia arctica</i> Linnaeus, 1758	6	0	0	6	
2	PROCELLARIIDAE <i>Fulmarus glacialis</i> Linnaeus, 1758	0	0	5012	5012	
3	PHALACROCORACIDAE <i>Phalacrocorax pelagicus</i> Pallas, 1811	76	51	517	644	
4	LARIDAE <i>Larus hyperboreus</i> Gunnerus, 1767	934	1386	4068	6388	
5	<i>Larus argentatus</i> Pontoppidan, 1763	9	1206	1190	2405	
6	<i>Rissa tridactyla</i> Linnaeus, 1758	0	680	1916	2596	
7	<i>Rhodostethia rosea</i> McGillivray, 1824	28	0	0	28	
8	STERNIDAE <i>Sterna paradisea</i> Pontoppidan, 1763	0	0	7	7	
9	ALCIDAE <i>Uria</i> sp.	2746	660	3265	6671	



10	<i>Cephus columba</i> Pallas, 1811	0	0	99	99	
11	<i>Aethia cristatella</i> Pallas, 1769	0	175	15960	16135	
12	<i>Lunda cirrhata</i> Pallas, 1769	0	0	1	1	
13	<i>Cyclorhynchus psittacula</i> (Pallas)	0	2	0	2	
14	STERCORAIIDAE <i>Stercorarius parasiticus</i> Linnaeus, 1758	11	16	0	27	
15	<i>Stercorarius longicaudus</i> Vieillot, 1819	0	2	0	2	
16	ACCIPITRIDAE <i>Buteo lagopus</i> Pontoppidan, 1763	0	6	3	9	
17	FALCONIDAE <i>Falco peregrines</i> Tunstall, 1771	2	0	1	3	
18	<i>Falco rusticolus</i> Linnaeus, 1758	0	6	2	8	
19	TETRAONIDAE <i>Lagopus lagopus</i> Linnaeus, 1758	6	542	20	568	
20	GRUIDAE <i>Grus canadensis</i> Linnaeus, 1758	669	15764	703	17136	
21	STRIGIDAE <i>Nyctea scandiaca</i> Linnaeus, 1758	3	4	0	7	
22	CHARADRIIDAE <i>Pluvialis dominica</i> Muller, 1776	0	7	2	9	
23	<i>Charadrius hiaticula</i> Linnaeus, 1758	0	4	10	14	
24	<i>Calidris ruficollis</i> Pallas, 1776	9	0	10	19	
25	<i>Tringa glareola</i> Linnaeus, 1758	0	10	0	10	
26	<i>Calidris melanotos</i> Vieillot, 1819	0	5	2	7	
27	<i>Limnodromus scolopaceus</i> (Say, 1823)	0	0	1	1	
28	<i>Galligano galligano</i> Linnaeus, 1758	0	20	0	20	
29	<i>Arenaria interpres</i> Linnaeus, 1758	0	47	0	47	
30	<i>Phalaropus lobatus</i> Linnaeus, 1758	8	34	1	43	
31	<i>Phalaropus fulicarius</i> Linnaeus, 1758	0	0	6	6	
32	CORVIDAE <i>Corvus corax</i> Linnaeus, 1758	10	153	283	446	
33	EMBERICIDAE <i>Calcarius lapponicus</i> (Linnaeus, 1758)	0	46	0	46	
34	<i>Plectrophenax nivalis</i> (Linnaeus, 1758)	370	255	127	752	
35	<i>Junco hyemalis</i> Linnaeus, 1758	0	1	0	1	
36	MOTACILLIDAE <i>Anthus gustavi</i> Swinchoe, 1863	0	0	3	3	
37	<i>Motacilla alba</i> Linnaeus, 1758	0	20	2	22	
38	FRINGILLIDAE <i>Carduelis hornemanni</i> (Holboll)	14	99	103	216	

■ — вид внесен в Красную книгу ЧАО.

### Обсуждение

Плановые общепарковые орнитологические наблюдения позволили собрать конкретный материал, касающийся фенологии птиц на всех участках парка одновременно, а также проследить динамику и преобладающее направление миграций орнитофауны. Данные учёты являются важным фактором общего мониторинга природы на территории парка.

Проводившиеся работы позволили учесть 57 видов птиц (из них 9–10 видов краснокнижные), что свидетельствует о правильном выборе времени проведения наблюдений. Вместе с тем, следует отметить, что в указанный период не совсем укладываются прилёты жёлтой трясо-

гузки, каменки, некоторых видов куликов. В будущем следует немного продлить период весенних учётов как минимум на 1 неделю в июне.

Анализ данных показал, что начало миграций утиных (первое наблюдение), проходит, в некоторых случаях, значительно раньше принятых сроков [2]. Так начало миграции лебедей приходится на конец мая [2,6], но на территории парка первые лебеди появились 5 мая на Северо-Восточном участке, а 11 мая и на Северо-Чукотском. Прилёт гуменников, белого гуся, белошея, шилохвости, чирков, пискульки практически везде укладываются в сроки, но с некоторыми исключениями. Так на Юго-Восточном участке первые белошеи были отмечены 05 мая,

что на неделю раньше установленных сроков. Значительно раньше на территорию парка прилетела чёрная казарка (Юго-Восточный участок — 03 мая, Северо-Восточный — 08 мая, Северо-Чукотский — 12 мая), что почти на 2–3 недели раньше установленных сроков.

Одной из важнейших задач остаётся определение численности и видового состава, остающихся на гнездование на территории парка Утиных. Имеющиеся частичные сведения о местах гнездования лебеда, шилохвосты, обыкновенной гаги, чёрной казарки, не позволяют составить целостную картину гнездовых ареалов. Практически полностью отсутствует информация о гнездящихся гусях (особенно на более южных участках).

Учитывая тот факт, что преобладающее направление миграций Утиных идёт с востока, юго-востока на запад, северо-запад, стационарные пункты наблюдения за пролётом целесообразно размещать в местах наиболее вероятного появления птиц.

Данные пункты могут быть использованы для мониторинга по всем параметрам.

Окрестности населённых пунктов, в какой-то степени, соответствуют требованиям, но не по всем параметрам. В этих местах удобно наблюдать миграции морских птиц, куликов, но часто массовый пролёт гусей, журавлей проходит в стороне от сёл и инспектор наблюдает лишь часть этого процесса. Поэтому, наблюдательные пункты в окрестностях сёл должны быть дублёрами основных, расположенных на реальных путях миграций.

Необходимо провести работы по уточнению видовой принадлежности некоторых наблюдаемых птиц (лебеди, гуменники, пискулька, кулики).

Анализ результатов учётных работ выявил острую необходимость в проведении обучающего семинара для инспекторского состава по совершенствованию методики проведения учётов, изучению видового разнообразия наблюдаемых птиц и методики определения вида.



Рис. 14. Схема расположения пунктов наблюдений

Отдельными блоками должна стать работа по изучению миграций канадского журавля (чётко прослеживаются две волны весенней миграции) и определение статуса краснокнижных видов на территории парка.

Литература:

1. Герасимов И. П. и др. Север Дальнего Востока. — М.: Наука. 1970. С. 114–117.
2. Андреев В. А., Докучаев Н. Е., Кречмар А. В., Чернявский Ф. Б. Наземные позвоночные Северо-востока России. — Магадан.: Охотник. 2006.
3. Составитель Андреев А. В.. Водно-болотные угодья России. Т.4. — М.: 2001.
4. Составитель Сыроечковский Е. Е. Полевой определитель гусеобразных птиц России. — М.: Редакция. 2011.
5. Фридер Зауэр. Птицы обитатели озёр, болот и рек. — М.: Астрель. 2002.
6. Железнов — Чукотский Н. К., Секретарева Н. А., Астахова Т. И., Жукова А. И., Тихомиров Ю. Б., Лозовская С. А. Природные условия и ресурсы Чукотского полуострова. — М.: Геос. 2003. С. 281–306.

## Рост, развитие и урожайность сахарного сорго в условиях Джизакского района

Мавлонова Сунажон Хужаязовна, старший преподаватель;  
Адилов Собит Уктамович, студент  
Джизакский государственный педагогический институт (Узбекистан)

Сорго — одна из важных зерновых культур, используемых в продовольственных, фуражных и технических целях. По посевной площади стоит после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя.

Сорго имеет биологическое, экологическое и географическое разнообразие. Ботаники классифицируют 33 культурных и более 30 диких видов сорго. Имеющиеся во всём мире все виды сорго можно распределить по географической распространённости 9 групп, по ценным хозяйственным признакам в 4 группы.

Сахарное сорго в свою очередь делится на 2 группы: эффизум (с разрозненной метёлкой — *S.sacc...*) и контрактам (с уплотнённой метёлкой — *S...*).

В условиях Узбекистана сорго является выносливым к засухе и засолённости растением. Высеивается на территории Республики Каракалпакстан, Хорезмской, Бухарской областей, Ферганской долины. Сахарное сорго мало распространено в нашей Республике, и поэтому научных источников, посвящённых этому растению, недостаточно. [1–4].

В постсоветский период сахарное сорго почти не изучалось, имелись в основном зерновые сорта и сорт вечная. Сахарное сорго выращивалось только на ограниченных территориях Кавказа и Средней Азии.

После независимости республики в целях реализации реформ в сельском хозяйстве, развития животноводства стали изучаться новые и нетрадиционные перспективные сорта растений и внедряться в практику.

Поэтому в последние годы уделяется большое внимание изучению биоэкологических особенностей и плодородности сахарного сорго в разных условиях интродукции. В данной статье анализируются результаты роста, развития и урожайности сахарного сорго в условиях Джизакского района.

### Методы исследования

Проведение опытов, анализ образцов растений и почвы, фенологические наблюдения реализованы на основе методов Уз ПИТИ и «Методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур».

В исследованиях использованы сорта сахарного сорго полевые опыты в четырёхкратной повторяемости, поверхность площади — 240 м<sup>2</sup>. Схема посева 60 × 15 см. посев выполнен вручную, сажая в одну лунку два семени. Когда длина отростков достигла 10–12 см, проведено прокалывание. Впоследствии в период вегетации ряды разрыхлялись 3–4 раза, 3 раза проведена культивация борозд.

При выращивании сорго использованы рекомендации «Образцовых технологических карт по выращиванию сельскохозяйственных посевов и продукции», разработанных для 2011–2015 годов. Проведен статистический анализ полученных результатов.

### Полученные результаты и их анализ

Ведутся исследования по испытанию новых перспективных растений, привезённых из разных стран, выбору выносливых к местным условиям сортов, изучению биоэкологических особенностей.

В связи с генотипом сортов сорго и почвенно-погодными условиями в период посева семян — полного произрастания составляет 10–15 дней, после произрастания через 25–40 дней образование кустов, через 40–50 дней идёт образование метёлок. Процветание продолжается 5–10 дней. Период вегетации — 100–160 дней.

В начале всходы сахарного сорго произрастают очень медленно. В это время интенсивность роста зависит от тем-

Таблица 1. Биометрические показатели образцов сахарного сорго

Образцы сахарного сорго	Рост растения, (см)	Кол-во листьев, (штука)	Период вегетации, (день)	Масса 1000 шт семян, (грамм)
Узбекистан-18	210	20	112	-----
Оранжевое	220	16	126	19,5
Сахарное-20	240	18	125	22,3

Таблица 2. Содержание сахара в стеблях сахарного сорго и урожайность зелёной массы

Образцы сахарного сорго.	Содержание сахара, %	Урожайность зелёной массы, ц/га
Узбекистан-18	17,4	670±28,3
Оранжевое	16,9	560±23,5
Сахарное-20	16,0	580±24,1

пературы почвы и воздуха. С началом образования завязей интенсивность роста повышается, после расцвета метёлок понижается. Поэтому рост растения сахарного сорго можно выразить S-кривой. Повседневный рост сахарного сорго от произрастания семени до 30 дней составляет 0,3–0,6 см, в период образования завязей — в среднем 2–3 см, в период образования метёлок — 5–6 см, во время расцвета — 2–3 см, от расцвета до созревания — 0,2–0,3 см. Вегетационный период изученных сортов сахарного сорго в зависимости от биологических особенностей и почвенно-погодных условий составляет 110–135 дней (таблица 1).

Содержание сахара в стеблях сахарного сорго зависит от биологических особенностей растения, условий его выращивания, также фазы развития растения. Например, в стеблях сорта «Оранжевое» имеется в фазе образования метёлок 6,6 %, фазе расцвета 11,5 %, пе-

риод созревания молока 17,3 %, период созревания воска 16,9 % сахара.

Таким образом, изученные в местных почвенно-погодных условиях сорта сахарного сорго классифицируются по взаимному росту, интенсивности развития и урожайности. Урожайность зелёной массы составляет в сорте Узбекистан-18 670 ц/га.

По содержанию сахара в стеблях сорго тоже нужно отметить сорт Узбекистан-18. Содержание сахара в других изученных сортах сорго было в пределах 16,0–17,0 (таблица 2).

В заключение можно отметить, что сахарное сорго является разнообразным растением, что оно занимает заслуженное место в сельском хозяйстве Республики благодаря своей высокой урожайности, выносливости к засухе засоленности почвы.

#### Литература:

1. Генкель, П. А. Физиология засухоустойчивости растений. 1982 г.
2. Методы проведения полевых опытов.
3. Образцовые технологические карты по выращиванию сельскохозяйственных культур и выращиванию продукции (для 2011–2015 годов, 2-я часть).
4. Полевой, В. В. Физиология растений. 1989 г.

## Особенности произрастания грецкого ореха в Калининградской области: наиболее распространенные заболевания и способы борьбы с ними

Хляпова Наталия Григорьевна, зав. кафедрой естественных наук, учитель биологии  
МАОУ гимназия №1 (г. Калининград)

Дупленко Александр Геннадьевич  
НОУ «Учебный центр Олега Видякина» (г. Калининград)

*В статье представлены результаты исследования вредителей и заболеваний грецкого ореха, произрастающего в Калининградской области. Выявлены наиболее распространенные из вредителей и заболеваний, предложен комплекс мероприятий по борьбе с ними, представлены результаты его апробации.*

**Ключевые слова:** грецкий орех, вредители грецкого ореха, заболевания грецкого ореха.

Уникальные свойства грецкого ореха известны человеку с древнейших времен. Популярность этой культуры в Калининградской области имеет устойчивую тенденцию к росту. Некоторые специалисты предлагают выращивать его здесь в агропромышленных целях. Однако грецкий орех не является для региона исторически возделываемой культурой, особенности его произрастания в данных агроклиматических условиях до сих пор остаются малоизученными. Этими вопросами занимаются, как правило, садоводы-любители, а не специалисты и ученые. В частности, до сих пор не был исследован такой важный вопрос, как наиболее распространенные заболевания и вредители грецкого ореха в Калининградской области, а также эффективные в местных условиях средства борьбы с ними. Это обусловило выбор объекта, предмета и темы исследования.

Объектом является произрастающий в Калининградской области орех грецкий (лат. *Juglans regia*). Предмет исследования — заболевания и вредители грецкого ореха. Цель исследования — выявление наиболее распространенных в регионе вредителей и заболеваний грецкого ореха, а также эффективных средств и способов борьбы с ними. Актуальность исследования обусловлена тем, что распространение грецкого ореха в области подошло к рубежу, когда начинают выдвигаться предложения о его агротехническом возделывании, однако исследования целого ряда связанных с этим важнейших вопросов отсутствуют.

В числе литературных источников по данной проблематике можно назвать диссертацию Н. Г. Петровой, защищенную в 2000 году в РГУ им. И. Канта [1], статьи Н. Г. Петровой «Зимостойкость растений семейства ореховых в Калининградской области» [2] и «Оводненность однолетних побегов интродуцентов семейства Juglandaceae Lindl в зимний период» [3], а также статью В. Г. Сильвандер «Перспективы возделывания ореха грецкого в Калининградской области» [4]. Следует отметить, что вопросы наиболее распространенных вредителей и заболеваний грецкого ореха в Калининградской области, а также способ борьбы с ними в данных публикациях не освещаются. В диссертации Н. Г. Петровой были

рассмотрены вопросы распространения растений семейства Juglandaceae в Калининградской области, их генеративного развития и сезонного ритма. Остальные статьи этого автора были посвящены узким вопросам зимостойкости растений семейства ореховых в регионе и оводненности их однолетних побегов. В статье В. Г. Сильвандер изложены общие положения о климате Калининградской области и о грецком орехе. Собственно произрастания грецкого ореха в регионе в статье касается лишь один абзац, где дана краткая характеристика нескольким деревьям грецкого ореха и написано о его выращивании в Ботаническом саду Калининграда. Можно сделать вывод о том, что научных литературных источников об особенностях произрастания грецкого ореха в Калининградской области крайне мало, а публикации о наиболее распространенных заболеваниях и вредителях отсутствуют, что свидетельствует о научной новизне проведенного исследования. Его практическая значимость состоит в том, что был разработан эффективный комплекс мероприятий для борьбы с наиболее распространенными заболеваниями и вредителями грецкого ореха в регионе, позволяющий повысить его продуктивность.

### Методология исследования

Прикладной характер исследования обусловил его логику и выбор использованных при проведении методов. Исследование включало семь этапов, проведенных в период с июня 2012 года по ноябрь 2013 года и представленных в таблице 1.

На первом этапе проводился сбор фактов. Были обследованы 32 дерева грецкого ореха в четырех локациях: 11 — в черте города Калининграда (микрорайон улиц Красная, Рыбников, Третьяковская), 9 — в поселке Люблино Светловского района, 6 — в черте поселка Прибрежный Московского административного района Калининграда и 6 — в черте поселка Сокольники Зеленоградского района. На большей части обследованных деревьев грецкого ореха были выявлены признаки поражения — галлы и пятна бурого цвета. На втором этапе была выявлена проблема идентификации обнаруженных

Таблица 1. Этапы и методы проведенного исследования

Этап	Описание этапа	Метод исследования
I	Сбор фактов. На большей части обследованных деревьев грецкого ореха были выявлены признаки поражения.	Метод наблюдения
II	Выявлена проблема идентификации обнаруженных признаков поражения и возможностей их устранения	Аналитический метод
III	Выдвинута гипотеза о поражении растений возбудителями болезни или вредителями.	Аналитический метод
IV	Гипотеза была проверена путем идентификации выявленных признаков поражения. Гипотеза подтвердилась.	Метод сравнения
V	Сделан вывод о наиболее распространенных заболеваниях и вредителях грецкого ореха в Калининградской области.	Аналитический метод
VI	Разработан и осуществлен комплекс мероприятий по борьбе с выявленными заболеваниями и вредителями.	Эксперимент
VII	Сделан вывод об эффективности разработанного комплекса.	Аналитический метод

признаков поражения и возможностей их устранения. На третьем этапе была выдвинута гипотеза о том, что выявленные признаки свидетельствуют о поражении растений возбудителями болезни или вредителями. На четвертом этапе идентификация выявленных признаков подтвердила гипотезу о поражении растений возбудителями болезни или вредителями. На пятом этапе был сделан вывод о наиболее распространенных заболеваниях и вредителях грецкого ореха в регионе. На шестом этапе был разработан и осуществлен комплекс мероприятий по борьбе с выявленными заболеваниями и вредителями. Мероприятия проводились в ноябре 2012 года, в апреле — июне и сентябре — ноябре 2013 года. На седьмом этапе был сделан вывод об эффективности разработанного комплекса мероприятий.

#### Распространение грецкого ореха в Калининградской области

В довоенные годы в Восточной Пруссии грецкий орех практически отсутствовал. Начиная с 1960-х годов в регион стали массово завозить грецкие орехи в виде семян и плодов. Молодые сеянцы легко адаптировались к прибалтийскому климату. В настоящее время в регионе имеется уже третье поколение сеянцев грецкого

ореха. Эта популяция обладает высокой холодостойкостью, легко переносит зимние перепады температур и, что самое главное, большинство растений приносит высокие урожаи плодов, которые по своему качеству не уступают привозным из южных регионов страны (рис. 1).

Деревья грецкого ореха в регионе можно встретить чаще всего в садоводческих товариществах и на приусадебных участках. С начала 1990-х годов значительно вырос интерес к этой культуре. Это объясняется следующими причинами. Грецкий орех требует значительной части традиционных «шести соток», сильно затеняет землю, поэтому его не высаживают те, кто отдает приоритет огородничеству. В последние два десятилетия земельные участки в городской черте стали приобретать обеспеченные горожане, которые не занимаются огородничеством, предпочитая высаживать рядом с особняком плодовые деревья и декоративные кустарники. В качестве примера можно привести микрорайон города Калининграда в границах улиц Красная, Рыбников, Третьяковская. До 1990-х годов он был неблагополучным в социальном отношении, на приусадебных участках не было ни одного грецкого ореха. С начала 1990-х годов участки стали активно раскупаться. В настоящее время, когда большая часть этого микрорайона занята особ-



Рис. 1. Грецкие орехи, выращенные в Калининградской области

няками, рядом с ними высажено 19 грецких орехов. Можно сделать вывод о том, что распространение грецкого ореха в Калининградской области имеет тенденцию к росту.

**Признаки наиболее распространенных заболеваний и вредителей грецкого ореха в регионе**

Обследование деревьев грецкого ореха проводилось в июне-июле 2012 года. На большинстве из обследованных деревьев были выявлены признаки заболеваний и вредителей. Некоторые — всего на нескольких экземплярах. Чаще всего встречались два признака — галлы и коричневато-бурые пятна на листьях. На листьях появились крупные черные пятна, которые удлинялись вдоль жилок. Листья деформировались, почернели и в результате слияния пятен некоторые из них опали еще до созревания орехов. На поврежденных листьях по всей листовой пластинке образованы многочисленные галлы с темно-коричневыми пятнами, напоминающие маленькие округлые бородавки. Обратная сторона покрыта белесоватым налетом. Как правило, листья поражены кучно (рис. 2).

В таблице 2 представлены данные о частоте обнаруженных признаков.

Галлы на листьях наблюдались у 37 % обследованных деревьев, от 31,6 % в Калининграде до 50 % в поселке Прибрежном. В поселке Люблино данные признаки наблюдались у более чем половины обследованных растений, в Калининграде и Прибрежном — у менее чем по-

ловины. Следует отметить, что в Люблино обследованные деревья росли наиболее кучно, в то время как в Прибрежном они были наиболее удалены друг от друга. Бурые пятна на листьях были выявлены у 26,1 % деревьев, от 21,1 % в Калининграде до 37,5 % в поселке Прибрежном. У 8 деревьев (17,4 % от общего числа) присутствовали оба признака — и бурые пятна, и галлы на листьях. Особенно велик процент таких деревьев оказался в поселке Прибрежном (25 %).

**Идентификация выявленных заболеваний и вредителей**

Выявленные коричневато-бурые пятна были идентифицированы как признак бактериоза (*Xanthomonas campestris* р. х. *juglandis*), который является наиболее распространенным заболеванием грецкого ореха. Болезнь поражает все надземные органы дерева грецкого ореха. Источником распространения болезни являются пораженные сережки с тычиночными цветками. Пораженные молодые плоды, как правило, опадают. Более позднее поражение может привести к потере качества орехов. Выявленные галлы на листьях были идентифицированы как признак повреждения ореховым бородавчатым клещом (*Aceria erinea*, ранее *Eriophyes tristriatus*). Размер взрослой особи не более 0,1 мм (рис. 3).

Источник: Study on eriophyoid mites of walnut trees and their natural enemies [5]

В течение вегетации клещ внутри галла может давать четыре поколения. Зимует в спящих почках на рас-



Рис. 2. Выявленные пятна и галлы на листьях грецкого ореха

Таблица 2. Признаки наиболее распространенных заболеваний и вредителей грецкого ореха среди обследованных растений

№	Район	Галлы		Бурые пятна		Оба признака	
		Деревьев	в %	Деревьев	в %	Деревьев	в %
1	Район ул. Красная, Рыбников, Третьяковская	6	31,6	4	21,1	3	15,8
2	Поселок Люблино	4	33,3	3	25,0	2	16,7
3	Поселок Прибрежный	4	50,0	3	37,5	2	25,0
4	Поселок Сокольники	3	42,9	2	28,6	1	14,3
	Всего	17	37,0	12	26,1	8	17,4

Рис.3. Ореховый бородавчатый клещ (*Aceria eripoea*)

тении и наносит основной вред листьям до того момента когда они полностью разовьются. В основном страдают молодые и средневозрастные растения. По мнению ряда специалистов, ореховый бородавчатый клещ предположительно переносит бактериальные болезни. Высказываются предположения, что этот вид имеет отношение к распространению бактериальной пятнистости грецкого ореха. Данное предположение подтверждается результатами нашего исследования — в Калининградской области часть деревьев, поврежденных ореховым бородавчатым клещом, поражена бактериозом.

Таким образом, проведенное исследование позволило сделать вывод о том, что наиболее распространенным заболеванием грецкого ореха в Калининградской области является бактериоз, а наиболее распространенным вредителем — ореховый бородавчатый клещ. Фактором, способствующим их распространению, является влажный климат Калининградской области.

### Разработка и апробация комплекса мероприятий для лечения растений и уничтожения вредителей

Для борьбы с бактериозом был разработан комплекс мероприятий (табл. 3).

Для борьбы с ореховым бородавчатым клещом был разработан комплекс мероприятий, представленный в таблице 4.

В соответствии с разработанными комплексами мероприятий была произведена обработка двух деревьев грецкого ореха. Мероприятия были выполнены полностью.

В результате на обоих деревьях были практически полностью уничтожены ореховые бородавчатые клещи. На одном из деревьев новые галлы не были выявлены уже после первой обработки инсектицидом «Актеллик», на втором после первой обработки были выявлены немногочисленные новые галлы на нескольких листьях, после повторной обработки новые галлы не появлялись. Ме-

Таблица 3. Комплекс мероприятий для борьбы с бактериозом

№	Мероприятие	Сроки проведения
1.	Сбор и сжигание листвы и поврежденных ветвей	Ноябрь 2012 г.
2.	Обработка 1 %-ным раствором бордоской жидкости до начала заражения бактерией пестичных и тычиночных цветков	Апрель 2013 г.
3.	Обработка 1 %-ным раствором бордоской жидкости	Середина мая 2013 г.
4.	Обработка 1 %-ным раствором бордоской жидкости в период молодой завязи	Середина июня 2013 г.
5.	Искореняющее опрыскивание 3 %-ной бордоской жидкостью перед естественным опаданием листьев	В конце сентября — начале октября 2013 г.
6.	Сбор и сжигание листвы и поврежденных ветвей	Ноябрь 2013 г.

Таблица 4. Комплекс мероприятий для борьбы с ореховым бородавчатым клещом

№	Мероприятие	Сроки проведения
1.	Сбор и сжигание листвы и поврежденных ветвей	Ноябрь 2012 г.
2.	Опрыскивание инсектицидом «Актеллик»	В конце мая 2013 г.
3.	Осмотр молодых листьев.	Через 10 дней.
4.	Если будут обнаружены новые галлы, повторное опрыскивание инсектицидом «Актеллик».	Через 10 дней.



роприятия по борьбе с бактериозом позволили значительно сократить число поврежденных листьев на обоих деревьях, повреждения побегов и плодов отсутствовали. В следующем году такие же мероприятия планируется повторить с целью полного излечения растений.

### Выводы

В результате проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

Во-первых, наиболее распространенными вредителями и заболеваниями грецкого ореха в Калининградской области, обусловленными агроклиматическими особен-

ностями региона, являются бактериоз и ореховый бородавчатый клещ.

Во-вторых, для борьбы с данными заболеваниями и вредителями можно использовать комплекс мероприятий, включающий сбор и сжигание листвы и поврежденных ветвей, обработку 1 %-ным и 3 %-ным раствором бордоской жидкости, опрыскивание инсектицидом «Актеллик». Комплекс для борьбы с бактериозом необходимо проводить с апреля по ноябрь, с ореховым бородавчатым клещом — в конце мая и в ноябре.

Реализация разработанных программ по борьбе с бактериозом грецкого ореха и ореховым бородавчатым клещом показала их достаточно высокую эффективность.

### Литература:

1. Петрова, Н. Г. Интродукция растений семейства Juglandaceae Lindl в Калининградской области: дис. к.б.н.; Н. Г. Петрова / РГУ им. Канта. — Калининград, 2000.
2. Петрова, Н. Г. Зимостойкость растений семейства ореховых в Калининградской области // Теоретические и прикладные аспекты биологии. Калининград, 1997, — С.19–22.
3. Петрова, Н. Г., Зенкова В. В. Оводненность однолетних побегов интродуцентов семейства Juglandaceae Lindl. в зимний период // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2008. №7. с. 79–81.
4. Сильвандер, В. Г. Перспективы возделывания ореха грецкого в Калининградской области // Известия Калининградского государственного технического университета. 2008. №14. с. 53–59.
5. Khanjani, M., Mirab-balou, M. Study on eriophyoid mites of walnut trees and their natural enemies / Сайт «Iranian Biology Society», 2011. URL: [http://ibs.org.ir/19\(4\)/paper10.pdf](http://ibs.org.ir/19(4)/paper10.pdf) (дата обращения 18.05.2013).

## Влияние сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола на поведение крыс в тесте Порсолта в норме и на фоне активации дофаминергической системы юмексом

Черетаев Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, старший преподаватель  
Таврический национальный университет имени В. И. Вернадского (г. Симферополь, Республика Крым)

*В статье представлены результаты исследования влияния сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола на поведение крыс в тесте Порсолта в норме и на фоне активации дофаминергической системы. Показано, что при функционировании дофаминергической системы в норме 2-аминометилбензимидазол в сверхнизких концентрациях ( $10^{-14}$ ,  $10^{-13}$  и  $10^{-12}$  М) проявляет антидепрессантные свойства. Активация дофаминергической системы юмексом (3 мг/кг) нивелирует антидепрессантные эффекты 2-аминометилбензимидазола в концентрациях  $10^{-14}$  и  $10^{-13}$  М и ослабляет — в концентрации  $10^{-12}$  М. Эти результаты подтвердили предположения о том, что данная медиаторная система вовлечена в механизм реализации психоактивных свойств 2-аминометилбензимидазола. Показано, что механизм антидепрессантного действия сверхнизких концентраций данного соединения основан на антагонистическом взаимодействии с дофаминергической системой.*

**Ключевые слова:** 2-аминометилбензимидазол, сверхнизкие концентрации, тест Порсолта, дофаминергическая система, юмекс.

## Influence ultra-low concentrations of 2-aminomethylbenzimidazole on rat behavior in the porsolt test at norm and on the background activation dopaminergic system by umex

I. V. Cheretaev

Taurida National Vernadsky University, Republic of Crimea

*The paper presents data learning the influence ultra-low concentrations of 2-aminomethylbenzimidazole on rat behavior in the Porsolt test at norm and on the background activation dopaminergic system by umex. It is shown that the operation of dopaminergic system at norm exhibits antidepressive properties of benzimidazole at ultra-low concentrations ( $10^{-14}$ ,  $10^{-13}$  and  $10^{-12}$  M). It is proved that activation of the dopaminergic system by umex (3 mg/kg) eliminates antidepressive effects of 2-aminomethylbenzimidazole at concentrations  $10^{-14}$  and  $10^{-13}$  M and reduces at a concentration  $10^{-12}$  M. These data confirms the assumption that this mediator system is involved in the mechanism for implementing the psychoactive properties of 2-aminomethylbenzimidazole. It showed that the mechanism of antidepressant action of the ultra-low dose of the compound based on the antagonistic interaction with the dopaminergic system.*

**Keywords:** 2-aminomethylbenzimidazole, ultra-low concentrations, dopaminergic system, umex.

### Введение

По имеющимся сведениям [15, с. 106], у людей современного общества широко распространены депрессивные расстройства. Так, общее количество лиц с психотической депрессией в Европе достигло 21 миллиона человек [17, р. 87–98]. По данным российской эпидемиологической программы КОМПАС, в 2004 г. распространенность депрессивных расстройств в общемедицинской практике колебалась от 24 до 64 % [12, с. 48–54]. К 2020 г. ВОЗ прогнозирует, что депрессии займут второе место в мире по распространенности, уступая лишь сердечно-сосудистым заболеваниям [18, р. 3–32]. Кроме того, депрессивные расстройства представляют значительную угрозу

для больных из-за развития риска суицида, так как приблизительно в 15 % случаев они заканчивают жизнь самоубийством [15, с. 106].

Физиологической науке известно, что возникновение и проявление поведенческого состояния депрессии у животных и человека в значительной степени зависит от функциональной активности дофаминергической медиаторной системы мозга [7, с. 69–78; 11, с. 3–36; 13, с. 88–90]. Механизм эффективности многих антидепрессантных средств [7, с. 69–78; 8; 13, с. 88–90] связан со способностью изменять функциональную активность данной медиаторной системы. В связи с этим исследователи постоянно осуществляют поиск среди известных и новосинтезированных соединений новых эффективных

антидепрессантных средств и лекарственных форм, выясняют механизм их физиологического действия [4, с. 274–277; 7, с. 69–78; 10; 15, с. 106–111].

Согласно данным недавних исследований [4 с. 274–277; 5, с. 706–708; 6, с. 30–36] разнообразными психоактивными свойствами в обычных и сверхнизких концентрациях обладает бензимидазол и его производные, в том числе и 2-аминометилбензимидазол. При этом оказалось, что психотропная активность бензимидазолов часто подвержена изменениям в зависимости от функционирования дофаминергической медиаторной системы мозга [4].

Следует отметить, что ввиду большей безопасности сверхнизких концентраций (ниже  $10^{-11}$  М) биологически активных веществ по сравнению с терапевтическими концентрациями, используемыми в фармакологической практике, изучению физиологических эффектов сверхмалых доз биологически активных веществ и сверхнизких факторов различной интенсивности в биомедицине и физиологии сейчас уделяется пристальное внимание [1, с. 21–40; 4, с. 274–277; 5, с. 706–708; 6, с. 30–36; 14].

Поэтому цель данного исследования — изучить влияние 2-аминометилбензимидазола в сверхнизких концентрациях на поведение крыс в тесте Порсолта в норме и на фоне активации дофаминергической системы юмексом.

### Методика

Исследования выполнены на 80 белых беспородных крысах-самцах массой 250–280 г (8 групп по 10 особей в каждой). Четырём экспериментальным группам животных для увеличения функциональной активности дофаминергической медиаторной системы в течение 14 дней внутрибрюшинно вводили по 0,2 мл препарата юмекс в дозе 3 мг/кг («Chinoip», Венгрия). Действующий компонент юмекса селегилин специфически ингибирует моноаминоксидазу Б, разрушающую дофамин [4, с. 274–275; 8; 13, с. 106]. Одна из четырёх указанных групп в дальнейшем не подвергалась инъекциям каких-либо веществ. Трём группам крыс после 14-дневного курса инъекций юмекса и трём оставшимся группам без таких инъекций (функционирование дофаминергической системы в норме) вводили внутрибрюшинно 0,2 мл 2-аминометилбензимидазола (синтезирован в Таврическом национальном университете им. В. И. Вернадского, химическая чистота 98 %) в одной из концентраций ( $10^{-14}$ ,  $10^{-13}$  и  $10^{-12}$  М). Контрольной группе крыс внутрибрюшинно вводили 0,2 мл физиологического раствора. Инъекции физиологического раствора, как и разведённого им по методу Ганемана [14, с. 31–40] до необходимых концентраций 2-аминометилбензимидазола, осуществляли за 30 мин. до начала эксперимента.

Поведение животных под влиянием тестируемых веществ исследовали в течение 3 мин. в моделирующем депрессию тесте Порсолта [16, р. 730–732], который используется для обнаружения антидепрессантной ак-

тивности веществ. Кроме основных показателей теста (латентный период первого зависания животных в воде, время активного и пассивного плавания, количество выпрыгиваний) рассчитывали индекс депрессивности (отношение суммарного времени пассивного плавания животных к суммарному времени активного плавания) [4, с. 274–277]. Статистическое сравнение результатов осуществляли с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни [9, с. 128–134]. Данные представлены в виде среднего и ошибки среднего.

При выполнении экспериментов соблюдали этические нормы и принципы Хельсинкской Декларации 1975 г., пересмотренной и дополненной в 2000 г. Исследования одобрены Комитетом по биоэтике Таврического национального университета имени В. И. Вернадского.

### Результаты и их обсуждение

В условиях функционирования дофаминергической медиаторной системы в норме (без применения юмекса), 2-аминометилбензимидазол в концентрации  $10^{-14}$  М (рис., А, АП и ПП, 2) по сравнению с контролем увеличивал время активного плавания крыс на  $48,5 \pm 3,4$  с ( $p \leq 0,01$ ) и снижал время пассивного плавания крыс на  $48,5 \pm 3,4$  с ( $p \leq 0,01$ ). Это свидетельствует согласно [16, р. 730–732] об антидепрессантном эффекте 2-аминометилбензимидазола в указанной концентрации. На фоне активации дофаминергической медиаторной системы юмексом антидепрессантный эффект 2-аминометилбензимидазола в концентрациях  $10^{-14}$  М нивелировался, что выражалось в отсутствии достоверных изменений времени активного и пассивного плавания крыс по сравнению с контролем (рис., А, 3).

В концентрации  $10^{-13}$  М 2-аминометилбензимидазол при функционировании дофаминергической системы в норме (рис., Б, ЛП и ПП, 2) уменьшал относительно контроля на  $23,7 \pm 2,2$  с ( $p \leq 0,01$ ) латентный период первого зависания в воде и время пассивного плавания крыс — на  $33,1 \pm 6,2$  с ( $p \leq 0,01$ ). При этом время активного плавания крыс достоверно увеличивалось на  $33,1 \pm 6,2$  с ( $p \leq 0,01$ ) (рис., Б, АП, 2). Следовательно, и в этой концентрации согласно [16, р. 730–732] 2-аминометилбензимидазол обладал свойствами антидепрессанта. На фоне активации дофаминергической медиаторной системы юмексом антидепрессантный эффект 2-аминометилбензимидазола в концентрациях  $10^{-13}$  М нивелировался, что проявлялось в отсутствии достоверных изменений показателей теста Порсолта по сравнению с контролем (рис., Б, 3).

В концентрации  $10^{-12}$  М 2-аминометилбензимидазол при функционировании дофаминергической системы в норме (рис., В, ЛП и ПП, 2) уменьшал относительно контроля на  $20,5 \pm 2,9$  с ( $p \leq 0,01$ ) латентный период первого зависания в воде и время пассивного плавания крыс — на  $37,1 \pm 6,0$  с ( $p \leq 0,01$ ), увеличивая при этом время активного плавания (рис., В, АП, 2) на  $37,1 \pm 6,0$  с ( $p \leq 0,01$ ). Это указывает на антидепрессантный эффект

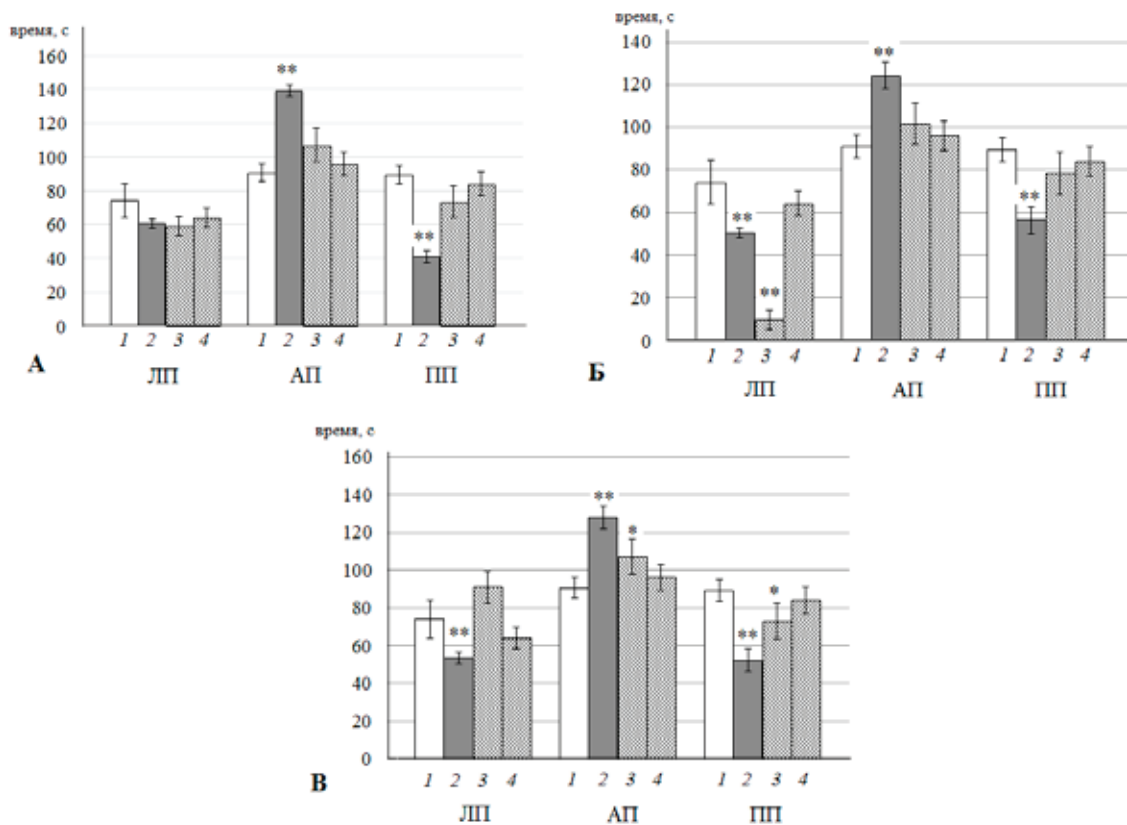


Рис. 1 Влияние сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола на поведение крыс в тесте Порсолта в норме и на фоне активации дофаминергической медиаторной системы юмексом (3 мг/кг)

Примечание: концентрация 2-аминометилбензимидазола на рис. А —  $10^{-14}$ , Б —  $10^{-13}$ , В —  $10^{-12}$  М. ЛП — латентный период первого зависания, АП и ПП — время активного и пассивного плавания соответственно, Выпр. — количество выпрыгиваний. Цифрами отмечены: 1 — контроль, 2 — эффекты 2-аминометилбензимидазола при функционировании дофаминергической медиаторной системы в норме, 3 — эффекты 2-аминометилбензимидазола при активации дофаминергической медиаторной системы юмексом (3 мг/кг); 4 — эффекты самого юмекса (3 мг/кг); \* —  $p \leq 0,05$ , \*\* —  $p \leq 0,01$  — достоверные изменения показателей относительно контроля.

2-аминометилбензимидазола в данной концентрации. На фоне активации дофаминергической медиаторной системы юмексом антидепрессантный эффект 2-аминометилбензимидазола в этой концентрации сохранялся, однако существенно ослаблялся. Это проявлялось в отсутствии достоверных изменений латентного периода первого зависания в воде по сравнению с контролем (рис., В, ЛП, 3) и в менее выраженных относительно контроля изменениях времени активного и пассивного плавания. Так, время активного плавания крыс увеличивалось (рис., В, АП, 3) по сравнению с контролем на  $16,9 \pm 8,4$  с ( $p \leq 0,05$ ), а пассивного (рис., В, ПП, 3) — соответственно уменьшилось на  $16,9 \pm 8,4$  с ( $p \leq 0,05$ ).

Юмекс не вызывал достоверных изменений основных показателей теста (латентный период первого зависания животных в воде, время активного и пассивного плавания) относительно контроля (рис., А-В, 4).

Для того чтобы более детально проследить динамику уровня депрессии крыс при действии сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола в норме и на

фоне повышения функциональной активности дофаминергической медиаторной системы юмексом рассчитывали индекс депрессивности (табл.). Оказалось, что при функционировании дофаминергической медиаторной системы в норме 2-аминометилбензимидазол во всех исследуемых концентрациях проявлял выраженные антидепрессантные свойства (табл.), так как значения индекса депрессивности были значительно меньше 1. После инъекций юмекса в дозе 3 мг/кг этот показатель достоверно не отличался от контроля.

На фоне активации дофаминергической медиаторной системы юмексом (3 мг/кг) анализ индекса депрессивности показал, что антидепрессантные свойства 2-аминометилбензимидазола в концентрациях  $10^{-14}$  и  $10^{-13}$  М нивелировались (табл.), так как значения исследуемого показателя достоверно не отличались от контроля. В концентрации  $10^{-12}$  М антидепрессантный эффект 2-аминометилбензимидазола становился менее выраженным, так как значения индекса депрессивности достоверно увеличивались относительно контроля.

Таблица 1. Индекс депрессивности крыс ( $M \pm m$ ) в тесте Порсолта под влиянием сверхнизких концентраций 2-аминометилбензимидазола в норме и в условиях активации дофаминергической системы юмексом (3 мг/кг)

Вещество, доза или концентрация	Индекс депрессивности, усл. ед.
физиологический раствор (контроль)	1,04 ± 0,11
2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-14</sup> М	0,30 ± 0,03 **
2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-13</sup> М	0,49 ± 0,08 **
2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-12</sup> М	0,44 ± 0,07 **
юмекс 3 мг/кг + 2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-14</sup> М	0,81 ± 0,15
юмекс 3 мг/кг + 2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-13</sup> М	0,77 ± 0,15
юмекс 3 мг/кг + 2-аминометилбензимидазол 10 <sup>-12</sup> М	0,68 ± 0,11 **
юмекс 3 мг/кг	0,92 ± 0,10

Примечание: \*\* —  $p < 0,01$  — достоверные изменения показателей относительно контроля.

Таким образом, получено подтверждение того, что дофаминергическая медиаторная система вовлечена в механизм психоактивного действия 2-аминометилбензимидазола в сверхнизких концентрациях. Результаты настоящего исследования показали, что антидепрессантное действие сверхнизких концентраций данного соединения основано на антагонистической взаимосвязи с функционированием дофаминергической системы. Возможно, что в условиях целенаправленного угнетения функциональной активности данной системы, наоборот, будет происходить усиление антидепрессантных свойств 2-аминометилбензимидазола в сверхнизких концентрациях. Однако это предположение требует дальнейшего подтверждения в экспериментах с блокаторами дофаминергической систем.

### Выводы

1. В тесте Порсолта обнаружено, что 2-аминометилбензимидазол в сверхмалых концентрациях 10<sup>-14</sup>, 10<sup>-13</sup> и 10<sup>-12</sup> М обладает выраженными антидепрессантными свойствами.

2. На фоне активации дофаминергической системы юмексом (3 мг/кг) антидепрессантный эффект 2-аминометилбензимидазола в концентрациях 10<sup>-14</sup> и 10<sup>-13</sup> М исчезает, а в концентрации 10<sup>-13</sup> М — значительно снижается. Следовательно, антидепрессантное действие сверхнизких концентраций данного соединения основано на антагонистическом взаимодействии с функциональной активностью дофаминергической медиаторной системы.

### Литература:

1. Бурлакова, Е. Б. Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов / Е. Б. Бурлакова, А. А. Конрадова, Е. Л. Мальцева // Химическая физика. — 2003. — №2. — с. 21–40.
2. Богута, Р. Эпидемиология психических расстройств: опыт проведения первого национального исследования психического здоровья / Р. Богута, А. Бухановский, Ю. Закаль // Вестник Ассоциации психиатров Украины. — 2011. — №2. — с. 13–17.
3. Гамма, Т. В. Влияние бемитила и бензимидазола на поведение крыс в тесте «открытое поле» / Т. В. Гамма, И. И. Кореньюк // Нейрофизиология / Neurophysiology. — 2006. — №1. — с. 71–76.
4. Черетаев, И. В. Влияние сверхмалых концентраций бензимидазола на поведенческие реакции крыс в тесте Порсолта на фоне активации дофаминергической системы / И. В. Черетаев // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сб. науч. ст. — Екатеринбург, 2014. — с. 274–277.
5. Черетаев, И. В. Сравнение антистрессорных и анксиолитических эффектов сверхмалых концентраций 2-аминометилбензимидазола и сибазона в поведенческом тесте открытое поле / И. В. Черетаев, И. В. Епишкин // 78-я итоговая науч.-практ. конф. с междунар. участием, посв. 95-летию со дня рожд. проф. Ю. М. Лубенского. — Красноярск, 2014. — с. 706–708.
6. Гамма, Т. В. Поведенческие реакции крыс при действии некоторых производных бензимидазола в сверхнизких концентрациях. Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». // Т. В. Гамма. — 2013. — №1. — с. 30–36.
7. Гайдук, А. В. Фармакология антидепрессантов // А. В. Гайдук, Н. А. Бизунок // Лечебное дело. — 2012. — №1. — с. 69–78.

8. Коваленко, В. Н. Компендиум — 2005 — лекарственные препараты / В. Н. Коваленко, А. П. Викторов — К.: МОРИОН, 2005. — 1920 с.
9. Лакин, Г. Ф. Биометрия. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
10. Мосолов, С. Н. Клиническое применение современных антидепрессантов / С. Н. Мосолов. — СПб.: Мед. информ. агенство, 1995. — 565 с.
11. Нодель, М. Р. Болезнь Паркинсона: жизнь продолжается. — М.: ММА им. И. М. Сеченова, 2010. — 36 с.
12. Оганов, Р. Г. Депрессии и расстройства депрессивного спектра в общемедицинской практике. Результаты программы КОМПАС / Р. Г. Оганов, Л. И. Ольбинская, А. Б. Смулевич [и др.] // Кардиология. 2004. — № 1. — с. 48–54.
13. Сапегин, И. Д. Базисная фармакология / И. Д. Сапегин. — Симферополь: КГМУ, 2012. — 122 с.
14. Славецкая, М. Сверхмалые дозы биологически активных веществ как основа лекарственных препаратов для ветеринарии / М. Славецкая, Н. Капай — М.: Аквариум-Принт, 2012. — 168 с.
15. Явдак, И. А. Терапевтические возможности использования растительных антидепрессантов в лечении депрессивных расстройств / И. А. Явдак // Укр. Вест. Психоневрол. — 2013. — Т. 21, № 1 (74). — с. 106–111.
16. Porsolt, R. D. Depression: a new animal model sensitive to antidepressant treatments / R. D. Porsolt, M. Le Pinchon, M. Jalfre // Nature. — 1977. — № 5604. — P. 730–732.
17. Sobocki, P. Cost of depression in Europe / P. Sobocki, B. Jönsson, J. Angst et al. // J. Ment. Health Policy Econ. — 2006. — V. 9, № 2. — P. 87–98.
18. World Federation for Mental Health. Depression: A Global Crisis. / World Federation for Mental Health. — J.: WFMH, 2012. — 32 p.

## МЕДИЦИНА

### Магнитно-резонансная томография в диагностике атрофии головного мозга

Валиханова Анна Михайловна, магистр;  
Валиханов Аброр Алиханович, магистр;  
Хайдарова Гузаль Багиддиновна, ассистент  
Ташкентская медицинская академия (Узбекистан)

**А**трофия — прижизненное уменьшение объема ткани или органа за счет уменьшения размеров каждой клетки, а в дальнейшем — числа клеток, составляющих ткань, сопровождающееся снижением или прекращением их функции. [5]

Под церебральной атрофией понимается уменьшение объема вещества головного мозга при сниженной его плотности, за счёт генерализованного (наружного, внутреннего, смешанного) или фокального дефекта мозговой ткани. [6]

Физиологическая церебральная атрофия развивается, по данным исследователей, в возрасте от 40 до 60 лет, достигая максимальной выраженности к 70 годам [7]. Стареющий мозг уменьшается в среднем на 1,9 процента каждые 10 лет.

По данным Shah S. A., Doriswmy P. M., Husain M. L. (1991) старение связано со значительным увеличением объемов боковых и третьего желудочков (на 3 % ежегодно).

У пациентов в возрасте 65 до 95 лет Coffey C. E., Wilkinson W. E., Parashos I. A. (1992) определяли объем боковых и третьего желудочков; обнаружено увеличение их объема приблизительно на 0,95 мл\год.

В количественных исследованиях субарахноидального пространства показано увеличение его с возрастом у большинства людей.

По данным Zatz L. M., Jernigan T. L. (1982) объем ликвора увеличивается с 40 лет на 1мл ежегодно, до 40 мл в девятом десятилетии. В период от 40 до 90 лет соотношение объема ликвора к интракраниальному объему повышается от 3 до 10 %.

Обследование 76 здоровых добровольцев показало, что увеличение возраста сопровождается уменьшением объема полушарий мозга на 0,23 % в год.

В отличие от полушарий в целом коэффициент снижения объема лобной доли — 0,55 % в год. Коэффициент объемной потери для височной доли 0,28 % в год, амигдално-гиппокампального комплекса 0,30 % в год.

Патологическая атрофия рассматривается применительно к дегенеративным заболеваниям головного мозга генетически детерминированным, т. е. первично-дегенеративным и вторичным ЦА.

Клинические проявления ЦА рассматриваются в основном с позиций нарушения высших корковых функций, причем исключительно у больных пожилого и старческого возраста. [7] В этой связи отмечается, что когнитивный дефицит выявляется практически у всех пациентов, начиная с ранних стадий ЦА, независимо от генеза атрофии. [2]

Клинические проявления синдрома вторичной церебральной атрофии полиморфны. В то же время существуют типичные клинические варианты, выделенные с учётом преобладающих симптомокомплексов. Наиболее распространённым является вариант неврологических нарушений (57 %), реже регистрируется невротический (22 %) и смешанный (15 %) варианты, а самый редкий — вариант когнитивных расстройств (6 %). [6]

Начиная со второй половины XX в. во всем мире наблюдается изменение возрастной структуры населения с постоянным увеличением в популяции доли пожилых и старых людей. Поэтому в современной медицине приобретают все большее значение профилактика и лечение большого числа возраст — зависимых заболеваний. Вследствие увеличения числа пожилых людей (предполагается, что в 2030 г. 20 % населения будут составлять лица старше 65 лет) атрофия ГМ, приводящая к деменции становится одной из основных проблем здоровья населения. [10]

Проблема атрофии головного мозга тесно связана с развитием деменции. По данным европейских эпидемиологических исследований, деменция наблюдается у 6—7 % людей старше 65 лет, и одна лишь болезнь Альцгеймера занимает 2—3-е место по величине расходов на медицинскую и социальную помощь среди неврологических и психических расстройств. [2,8] Рост заболеваемости деменцией увеличивается с возрастом; она в 5 раз чаще наблюдается у людей старше 80 лет, чем у 70-летних.

Несмотря на такое распространение, в настоящее время специфических методов диагностики церебральной атрофии не существует [1,2,3,4]. В диагностике ЦА основное место принадлежит, безусловно, нейровизуализационным методам: компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии [6], а также методом функциональной нейровизуализации — однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, МРТ-спектроскопии. В качестве дополнительных диагностических методов используются ультразвуковая доплерография брахиоцефальных артерий, а также транскраниальная доплерография, дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий, грудная или селективная ангиография, ЭЭГ, метод вызванных потенциалов, патоморфологические методы, ряд лабораторных методик, в том числе исследования спинно-мозговой жидкости (СМЖ) и плазмы крови.

Как физиологическая, так и патологическая атрофия не имеют стандартных диагностических критериев, позволивших бы верифицировать наличие ЦА, определить её нейровизуализационный тип и степень выраженности атрофического процесса. [6]

Магнитно-резонансная томография является одним из приоритетных и высокоинформативных современных методов неинвазивной диагностики. Из всех лучевых методов МР-томография дает картину в наибольшей степени приближенную к анатомической.

МРТ предпочтительнее при нейродегенеративных деменциях, позволяющая определить топографию атрофии. [9]

Целью данного исследования являлось усовершенствование диагностики заболеваний приводящих к атрофии головного мозга на основании МРТ-исследования.

МРТ исследование было проведено 60 пациентам в возрасте от 45 до 80 лет. Из них здоровых добровольцев 20 человек, 13 пациентов с предполагаемой болезнью Альцгеймера (основанной на клинических проявлениях), 27 пациентов с цереброваскулярной недостаточностью атеросклеротического происхождения.

В группе с предполагаемой болезнью Альцгеймера по данным, полученным при МРТ исследовании головного мозга выявлено уменьшение размеров височных долей головного мозга на 10–56 % и гиппокампа на 10–40 %

(уменьшение коррелирует со степенью выраженности деменции (мягкая, умеренная, тяжелая), расширение силвиевых борозд у 13 (100 %) пациентов, что связано с атрофическими изменениями в большей степени височных и лобных долей головного мозга, инволюционные изменения коры головного мозга с расширением борозд до 1,5–5,0 мм, и субарахноидального пространства конвекстальных поверхностей в лобно-теменных и височных областях у 13 (100 %) пациентов.

У пациентов с цереброваскулярной недостаточностью уменьшение размеров височных долей не превышало 2 % и наблюдалось у 5 (18,5 %) пациентов, что было расценено как естественные возрастные изменения. Также было выявлено стирание границ белого и серого вещества головного мозга у 18 (67 %) пациентов, наличие постшемических кист — микрокист до 3–5 мм в диаметре у 23 (85 %), макрокист свыше 5 мм в диаметре у 16 (59 %), расширение силвиевых борозд у 20 (74 %) пациентов, что связано с общими атрофическими изменениями коры, инволюционные изменения коры головного мозга, в частности расширение борозд до 1,5–2,0 мм с равномерным расширением субарахноидального пространства конвекстальных поверхностей у 18 (67 %) пациентов.

В группе здоровых добровольцев у 8 (40 %) была выявлена генерализованная атрофия с относительно равномерным расширением субарахноидальных пространств.

Проведенные исследования показали, что применение магнитно-резонансной томографии играет важную роль в диагностике и дифференциации различных видов церебральной атрофии. Так было выявлено, что у пациентов с риском развития болезни Альцгеймера, а также уже с установленным диагнозом в лобно-теменных и височных отделах головного мозга развиваются изменения атрофического характера. Эти изменения характеризуются уменьшением височных долей и гиппокампа, расширением силвиевых борозд и субарахноидального пространства в соответствующих отделах. Степень выраженности этих изменений находится в прямой зависимости от тяжести состояния больного. Сочетание подобных изменений не было выявлено среди других групп, что свидетельствует о том, что при других патологических состояниях головного мозга комплекс данных структурных изменений не встречается.

#### Литература:

1. Вавилов, С. Б. Компьютерная томография головного мозга в психиатрии: методы морфометрии/Компьютерная томография и другие современные методы диагностики (возможности и перспективы). Мат. междунар. симпозиума. - 1989. - С.60–67.
2. Дамулин, И. В. Болезнь Альцгеймера: Клинико-МРТ-исследование/ И. В. Дамулин, О. С. Левин, Н. Н. Яхно/ Неврол. журнал — 2005, С.-34–38.
3. Кольхалов, И. В. Клинические и компьютерно-томографические сопоставления при деменциях альцгеймеровского типа. Автореф.дисс. - 1993, С.-25.
4. Максимович, И. В. Особенности микроциркуляции головного мозга у лиц с повышенным риском возникновения и ранними стадиями болезни Альцгеймера/И. В. Максимович, С. А. Овсянников, Л. Н. Готман//Ангиология и сосудистая хирургия — 2006, Т.4, №3, С.-20–24.



5. Струков, А. И. Патологическая анатомия.
6. Черкасова, В. Г. Вторичные церебральные атрофии. Клиническая характеристика, диагностика и возможности терапии, 2005
7. Яхно, Н. Н. Актуальные вопросы нейрогерiatrics // В кн. «Достижения в нейрогерiatrics». Под редакцией Н. Н. Яхно, И. В. Дамулина-М. 1995. - Ч.1. - С.9–29.
8. Jochemsen HM, Muller M, Visseren FL. Blood pressure and progression of brain atrophy: the SMART — MR Study. JAMA Neurol. 2013 Aug; 70(8):1046–53.
9. Lehericy, Delmaire. Neuroimaging in Dementia, Presse Med 2007 oct 36 (10 Pt 2):1453–63
10. Prestia, Baglieri, Pievani. The in vivo topography of cortical changes in healthy aging and prodromal AD. SupplClinNeurophysiol. 2013; 62:67–80.

## Изучение возможности создания комбинированного лекарственного средства для лечения глаукомы, осложненной миопией

Жилиякова Елена Теодоровна, доктор фармацевтических наук, профессор;  
Наплеков Денис Константинович, студент  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет

На сегодняшний день миопия и глаукома являются одними из самых распространенных глазных заболеваний в мире. Как в отдельности, так и в сочетании о них можно говорить как о серьезной проблеме мирового масштаба. Большое количество исследовательских групп мира занимались поиском информации о распространении миопии и глаукомы.

По данным исследований The Blue Mountain Study, где указывается, что глаукома обнаруживается у 4,2 % населения мира, имеющих миопию слабой степени. У 4,4 % населения обнаруживают глаукому при средней и тяжелой степени миопии. Глаукома обнаруживается у 1,5 % населения, не имеющих миопии. На рис.1 представлена диаграмма, показывающая вероятность возник-

новения глаукомы при миопии разной степени тяжести, или без нее.

Из рисунка видно, что глаукома развивается в более 80 % случаев на фоне миопии разной степени тяжести.

На сегодняшний день существует довольно обширный ряд хирургического лечения миопии. Однако, вопрос медикаментозного лечения до сих пор остается открытым. В России зарегистрирован ряд лекарственных средств для лечения миопии, но они не являются инновационными. Совершенно иная ситуация складывается с ЛС лечения глаукомы. На рис.2 представлена диаграмма стран-производителей лекарственных средств против глаукомы. Некоторые страны преуспели в производстве лекарственных средств в виде глазных капель и глазных суспензий.

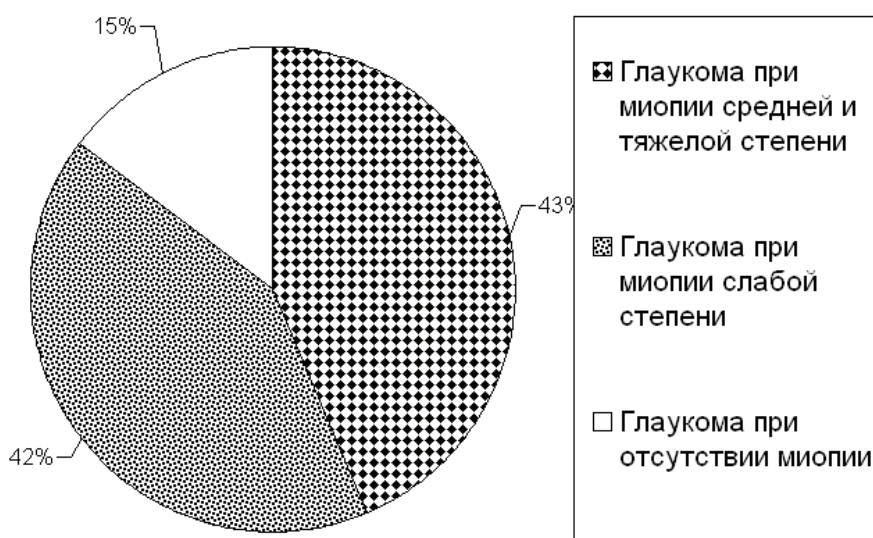


Рис.1. Диаграмма сочетанного возникновения глаукомы и миопии

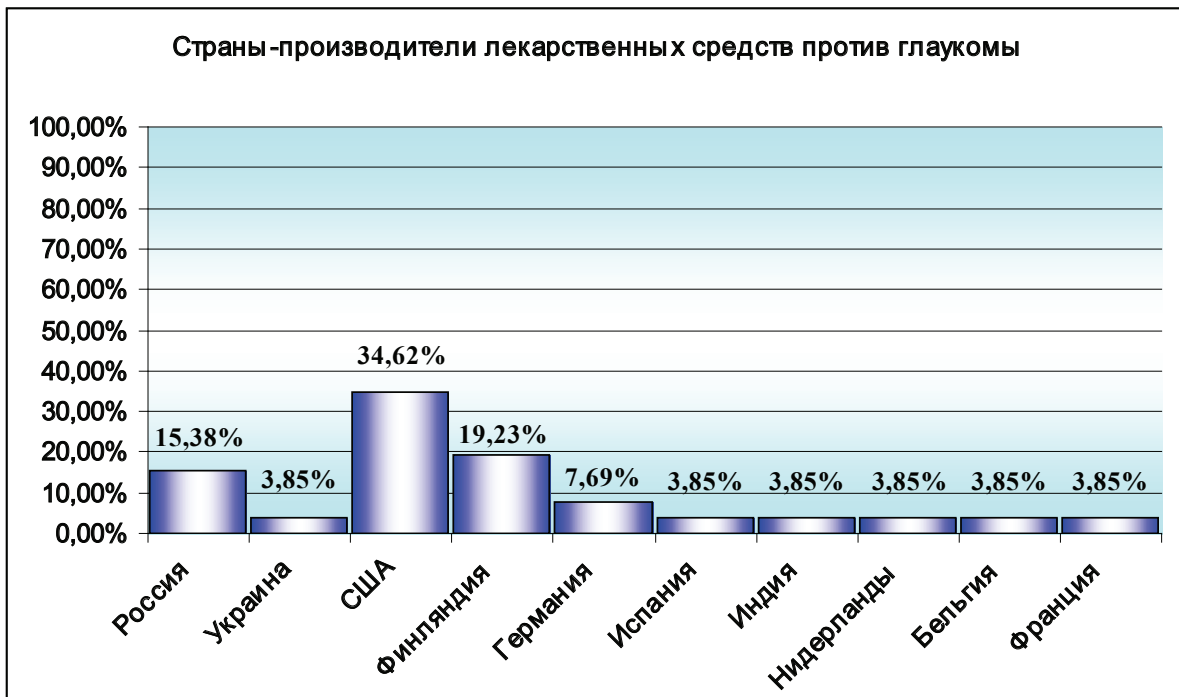


Рис. 2. Диаграмма стран-производителей ЛС против глаукомы

Как видно из представленной диаграммы, США лидирует в производстве лекарственных средств против глаукомы. Лекарственные средства, представленные этой страной, относятся к классам простагландинов F2 альфа, неселективных (1,2) дреноблокаторов и ингибиторов карбоангидразы.

Россия занимает 3 место, и препараты, которые она представляет, являются известными, но они не содержат инновационных молекул:

— «Пилокарпина гидрохлорид» 1 %, 2 %, 4 % растворы — миотики,

— «Тимолол-ДИА», «Тимолол-ЛЭНС» 0,25 %, 0,5 % — неселективные(1,2) дреноблокаторы,

— «Клофелин» 1,125 %, 0,25 %, 0,5 % растворы — селективные симпатомиметики,

— Проксофелин (проксодолол + клофелин) — комбинированные препараты.

Основываясь на данных статистики распространения глаукомы при миопии и данных о странах-производителях, предлагается изучить возможность создания комбинированного ЛС, для использования при лечении глаукомы, осложненной миопией.

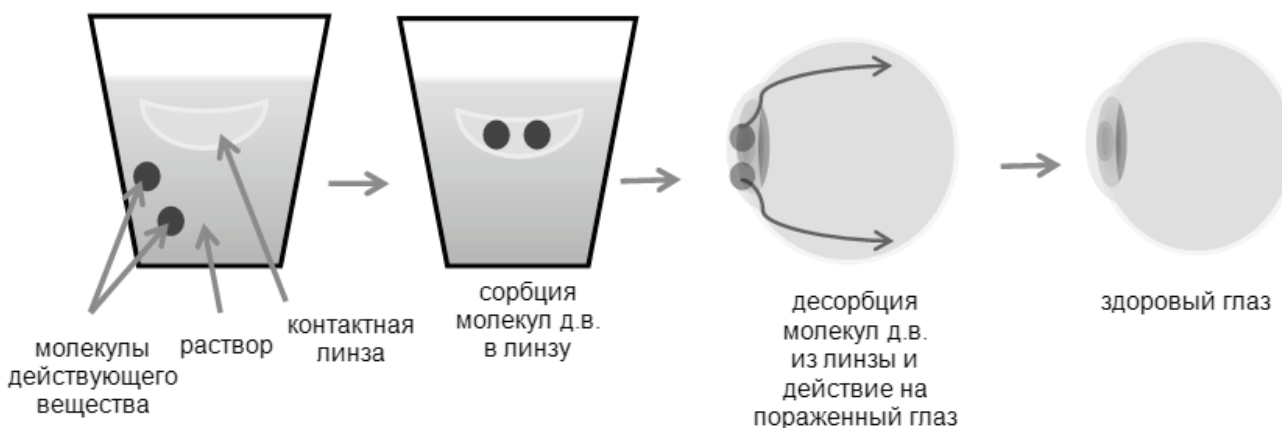


Рис. 3. Схема действия предполагаемой офтальмологической терапевтической системы

Суть предлагаемого метода заключается в том, что лекарственное средство, представляющее собой раствор, будет абсорбироваться в контактных линзах из соответствующего материала. При использовании пациентом насыщенных этим раствором линз, лекарственное средство из них будет десорбироваться и оказывать лечебное действие. На рис.3 представлена схема действия

предполагаемой офтальмологической терапевтической системы.

В этой связи представляется перспективным рассмотреть возможность использования мягких контактных линз, применяемых при миопии, в качестве офтальмологической терапевтической системы, где предполагается их насыщение антиглаукомным ЛС.

#### Литература:

1. The relationship between glaucoma and myopia: the Blue Mountains Eye Study — <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10519600>.
2. Glaucoma medication — [http://en.wikipedia.org/wiki/Glaucoma\\_medication](http://en.wikipedia.org/wiki/Glaucoma_medication).
3. Лечение глаукомы — <https://ru.wikipedia.org/wiki/Глаукома>

## Эстрадиол и кислотная резистентность эритроцитов при ишемической болезни сердца и хроническом панкреатите

Китаева Виктория Олеговна, студент;  
Гершкорон Фрида Ароновна, кандидат биологических наук, доцент  
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Ишемическая болезнь сердца является одним из распространенных заболеваний в настоящее время. Смертность от данного заболевания составляет 49 % среди всех случаев гибели в развитых странах.

В структуре заболеваемости органов желудочно-кишечного тракта хронический панкреатит составляет от 5,1 до 9 % [1, с. 4]. За последние 30 лет отмечена общемировая тенденция к увеличению заболеваемости хроническим панкреатитом более чем в 2 раза.

Целью данной работы стало исследование кислотной резистентности эритроцитов крови и уровня гормона стресс-реакции эстрадиола у людей с ишемической болезнью сердца и хроническим панкреатитом.

Биологическое действие стероидов, в том числе половых, в тканях-мишенях связано с наличием в них специфических рецепторов. Стероиды путем диффузии проходят мембрану клетки и в цитозоле комплексируются со специфическими рецепторами. Цитоплазматические рецепторы присутствуют не во всех, а только в клетках тканей, чувствительных к данному виду гормона. Рецепторно-стероидный комплекс, образование которого зависит от нескольких факторов, включая температуру, перемещается в ядро, где на хроматине имеются специальные участки, связывающие эти комплексы. [2, с. 125].

Образование эритроцитов (эритропоэз) в эмбриональном периоде происходит в желточном мешке, печени и селезенке [3, с. 547]. С 7-ого месяца внутриутробного развития и после рождения эту функцию главным образом выполняет красный костный мозг.

Эритропоэтин — гормон почек, являющийся ростовым фактором клеток эритроидного ростка [4, с. 65].

Данный гормон постоянно секретируется в небольших количествах и контролирует скорость образования красных клеток через отрицательно обратную связь. Под действием данного гормона скорость продукции эритроцитов возрастает, вследствие чего они раньше времени могут покинуть костный мозг и в крови появляются незрелые эритроциты [5, с. 136].

Ретикулоциты, последний этап формирования незрелых эритроцитов в зрелые, превращаются в эритроциты через 1–3 суток. При этом происходит полная деградация рибосом, частичное нарушение клеточной мембраны и избирательный распад ключевых ферментов, находящихся в органеллах цитоплазмы. Эта «деградация» направлена на более успешное выполнение эритроцитом своей основной функции — транспорта газов к месту газообмена [6, с. 111]. В норме количество ретикулоцитов должно составлять 0,5–1,5 %.

Эритрограмма здорового человека имеет пик гемолита на 3–3,5 минуте, начало на 1,5–2 минуте и окончание на 6,5–7,5 минуте. Количество повышеностойких эритроцитов возрастом 28–30 дней у здоровых людей составляет 20–25 %, количество эритроцитов со средней стойкостью возрастом 30–90 составляет 45–55 % и количество эритроцитов с низкой стойкостью составляет 20–25 %, их возраст более 90 дней.

При анализе кислотной резистентности эритроцитов у больных ишемической болезнью сердца наблюдается смещение максимума гемолита вправо и окончанием гемолита на 8 минуте (Рисунок 1). Начало гемолита у больных с данной патологией соответствует норме, количество красных клеток с пониженной стойкостью со-

ставляет 14 процентов. Смещение максимума гемолиза вправо свидетельствует о появлении устойчивых к гемолизу эритроцитов, возрастом от 28 до 64 дней, количество таких клеток составляет 49 процентов. Смещение окончания гемолиза вправо свидетельствует о преобладании молодых форм эритроцитов, возрастом от 1 до 28 дней, но их количество составляет 18 процентов, что может указывать на недавнее повреждающее воздействие на организм.

При анализе кислотной резистентности красных клеток крови у больных хроническим панкреатитом также наблюдается увеличение кислотной резистентности эритроцитов (Рисунок 2).

Начало гемолиза у больных с данной патологией соответствует норме, количество красных клеток с пониженной стойкостью составляет 26 процентов, что выше нормы и свидетельствует о большом количестве эритроцитов с пониженной стойкостью. Пик гемолиза также находится в пределах нормы, но количество эритроцитов со средней стойкостью составляет 39 процентов, что указывает на небольшое количество эритроцитов со средней стойкостью. Смещение окончания гемолиза вправо сви-

детельствует об увеличении стойкости эритроцитов, возраст данных клеток от 1 до 28 дней, их количество 17 процентов, что свидетельствует о небольшом количестве данных форм эритроцитов.

Концентрация эстрадиола в норме у здоровой женщины до менопаузы 15–400 пг/мл, после менопаузы 5–30 пг/мл, у мужчин 5–53 пг/мл [7, с. 56].

При анализе данных иммуноферментного анализа концентрация эстрадиола у мужчин с ишемической болезнью сердца не имеет отклонений от нормы (Рисунок 3). У данных пациентов была обнаружена положительная корреляционная зависимость между концентрацией эстрадиола и окончанием гемолиза, что указывает о влиянии данного гормона на омоложение красных клеток крови ( $r = 0,73$ ,  $p < 0,05$ ).

У женщин с ишемической болезнью сердца наблюдается увеличение концентрации эстрадиола после менопаузы (Рисунок 3). Корреляционная зависимость между концентрацией данного гормона и кислотной резистентностью слабая, что может указывать о слабом влиянии данного гормона на кислотную резистентность эритроцитов.

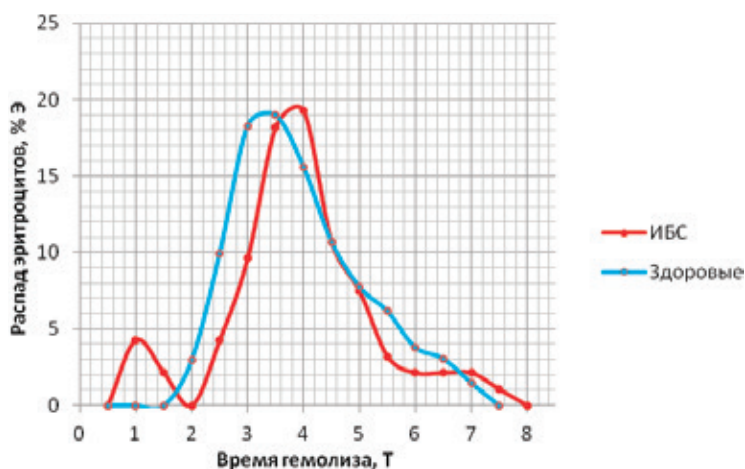


Рис. 1. Эритрограмма больных ишемической болезнью сердца

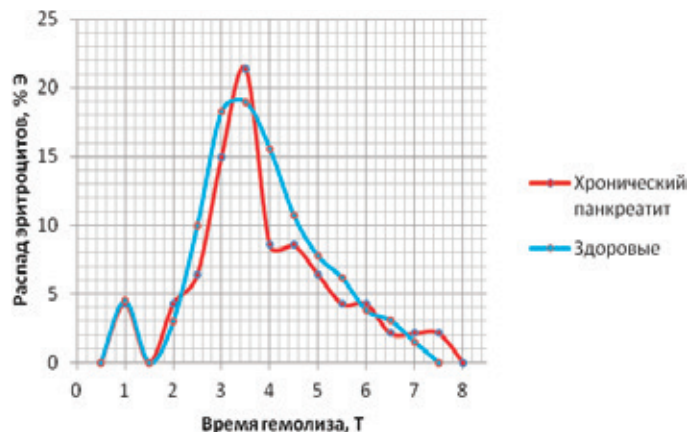


Рис. 2. Эритрограмма больных хроническим панкреатитом

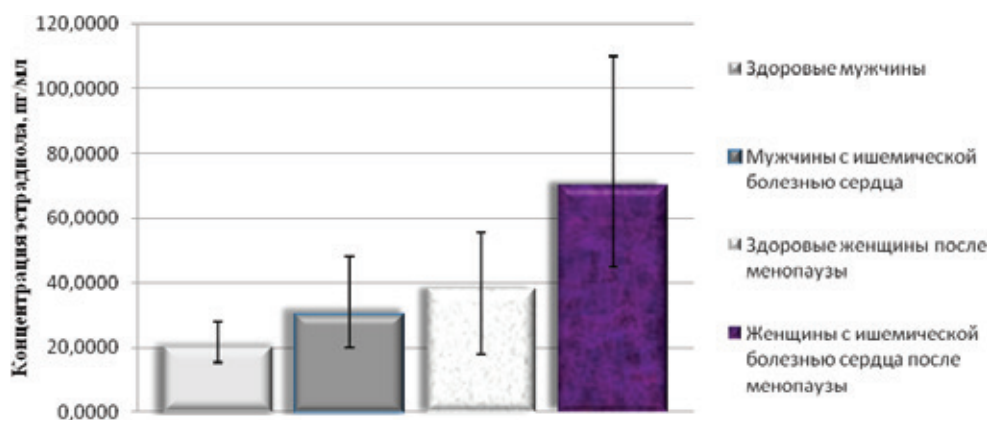


Рис. 3. Медиана концентрации эстрадиола у больных с ишемической болезнью сердца

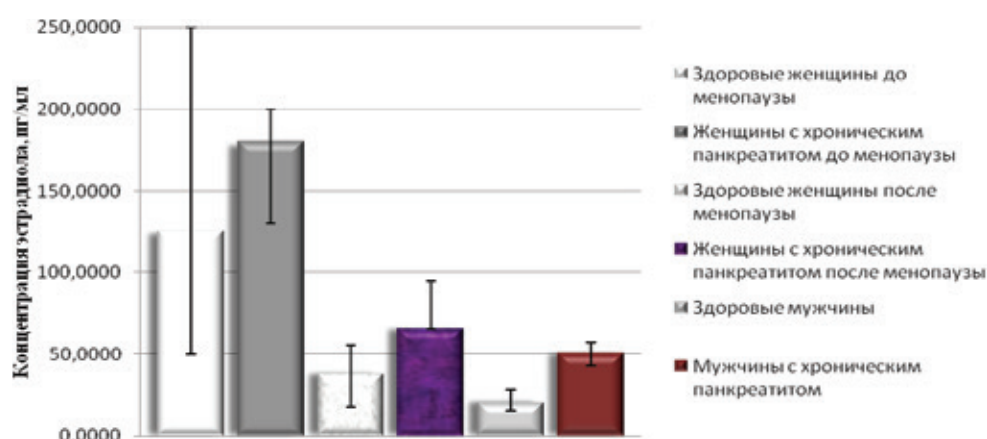


Рис. 4. Медиана концентрации эстрадиола у больных хроническим панкреатитом

У половины мужчин с хроническим панкреатитом наблюдается увеличение концентрации эстрадиола на 4–19 %, что указывает на активацию процесса образования эстрогенов надпочечниками и семенниками (Рисунок 4). Обнаружена положительная корреляционная зависимость между концентрацией эстрадиола и кислотной резистентностью эритроцитов, что свидетельствует о влиянии данного гормона на увеличение кислотной резистентности эритроцитов (при начале  $r=0,87$ ,  $p<0,05$ , пике  $r=0,85$ ,  $p<0,05$ , окончании  $r<0,73$ ,  $p<0,05$ ).

У женщин с хроническим панкреатитом до менопаузы концентрация эстрадиола в норме, после менопаузы концентрация увеличена (Рисунок 4). Корреляционные связи между концентрацией в крови эстрадиола и кислотной резистентностью эритроцитов не выявлены.

Половой гормон эстрадиол, как гормон стресс-реакции способен двояко отвечать на воздействие стрессора. Данный гормон в нормальных и повышенных концентрациях позитивно влияет на женщин и на мужчин,

а именно эстрадиол участвует в регуляции репродуктивной функции, липидного и углеводного обмена, поддержании костной массы и обновления костей, стимулирует синтез надпочечниковых андрогенов, способен отвечать за тонус сосудов [8, с. 456]. Негативный эффект данного стероидного гормона связан с развитием коронарного синдрома у людей со сформировавшимися атеросклеротическими бляшками, также высокие концентрации эстрадиола способны вызывать гиперкоагуляционное состояние, у людей с ожирением и неблагоприятном анамнезе.

Из литературных источников известно, что эстрадиол активирует образование провоспалительных цитокинов, а именно интерлейкина 1b [9, с. 49]. Данный цитокин стимулирует эритропоэз, что объясняет присутствие в крови больных ишемической болезнью сердца и хроническим панкреатитом молодых форм эритроцитов (от 1 до 28 дней). Небольшое количество данных молодых форм красных клеток крови объясняется высоким количеством эстрадиола, который тормозит образование эритроцитов.

Литература:

1. Минушкин, О. Н. Панкреатиты (представления, эпидемиология, этиология, классификация) / О. Н. Минушкин // Экспериментальная клиническая гастроэнтерология. — 2008. — № 1. — С.4–10.

2. Балаболкин, М. И. Эндокринология: учебник / М. И. Балаболкин. — Москва: Универсум паблишинг, 1998. — 300 с.
3. Shier, D. Hole's human anatomy and physiology, twelfth edition: manual / D. Shier, J. Butler, R. Lewis. — Boston: Higher education, 2010. — 1043 p.
4. Сисла, Б. Руководство по лабораторной гематологии; под общ. ред. А. И. Воробьева. — Москва. — Практическая медицина, 2011. — 352 с.
5. Williams hematology: manual / К. Kaushansky. — California: Copyright, 2010. — 605 p.
6. Боровска, М. К. Структурно-функциональная характеристика мембраны эритроцита и ее изменения при патологиях разного генеза / М. К. Боровска, Э. Э. Кузнецов, В. Г. Горохова // Бюллетень ВСНЦ. — 2010. — №3 (73). — с. 334–354.
7. Ингерлейб, М. Б. Медицинские анализы: диагностический справочник: справочник / М. Б. Ингерлейб. — Москва: Эксмо, 2012. — 121 с.
8. Петров, Р. В. Возрастные изменения концентрации активных половых стероидов, их предшественников, метаболитов, и регуляторов в крови мужчин / Р. В. Петров, И. Н. Кузина, В. В. Киликовский, О. В. Смирнова // Онтогенез. — 2009. — Т. 40, №6. — с. 456–465
9. Мингазова, С. К. Показатели цитокинового воспаления при хроническом панкреатите // С. К. Мингазова, А. Р. Хасанова, А. Э. Нигматуллина // Медицинский вестник Башкортостана. — 2012. — Т. 7, №6. — с. 49–52.

## Оценка полиорганной недостаточности при остром панкреатите

Нестеренко Сергей Петрович, студент  
Белорусский государственный медицинский университет (г. Минск)

*Изучено функциональное состояние органов/систем при различных клинко-морфологических формах острого панкреатита. Установлены сроки и последовательность поражения органов и систем при данной патологии.*

**Ключевые слова:** острый панкреатит, полиорганная недостаточность.

Синдром полиорганной недостаточности в настоящее время определяется как универсальное поражение двух и более органов и систем организма в результате тяжёлой неспецифической стресс-реакции на множественные этиологические факторы, когда нарушения физиологических функций отдельных органов и систем не могут спонтанно восстанавливаться путём ауторегуляции и требуют частичной или полной коррекции или протезирования утраченных функций [1].

Несмотря на определенные достижения последних лет в улучшении диагностики, прогнозирования и лечения, острый панкреатит остается одной из актуальных проблем неотложной хирургии и интенсивной терапии, что обусловлено неуклонным ростом заболеваемости, увеличением доли случаев некротического панкреатита и стабильно высокими показателями летальности [1,3,6,7].

Согласно сборной статистике, в зависимости от демографических и этнических особенностей, уровня экономического и социального развития региона число случаев острого панкреатита варьирует от 5 до 80 на 100 тыс. населения в год [2,3,4]. В структуре острой хирургической патологии органов брюшной полости общехирургических стационаров острый панкреатит вышел на первое место по частоте, опережая по темпам роста заболеваемости прочие нозологические формы [3,5,6,7], при этом удельный вес больших

острым панкреатитом составляет 10–25 % [4,5,6,7], а по отдельным сведениям достигает 40 % [4]. В литературных источниках последних лет достаточно полно освещены этиологические моменты, приводящие к развитию острого панкреатита, однако патогенетические механизмы развития заболевания до конца не раскрыты. Одним из недостаточно изученных остается вопрос содружественного поражения различных органов. Поэтому разработка новых схем лечения этой грозной патологии не может не базироваться на знаниях этого аспекта болезни

**Цель:** установить последовательность поражения органов при различных формах острого панкреатита.

### Задачи:

1. Оценить функциональное состояние органов и систем при различных формах острого панкреатита по В. В. Чаленко (1998);
2. Установить сроки поражения органов в зависимости от момента начала заболевания.

### Материал и методы

В основу работы положен ретроспективный анализ историй болезни 77 пациентов с острым панкреатитом, находившихся на лечении в 432 ГВКМЦ г. Минска с 2007 по 2013 гг.

### Результаты и обсуждения

При анализе историй болезни пациентов было установлено следующее: мужчины чаще заболевают панкреатитом (примерно 90 %, соответственно 10 % — женщины). Средний возраст 50 лет ± 5 лет. Алкоголь как этиологический фактор стоит на первом месте, патология билиарного тракта на втором (у женщин на первом месте заболевания билиарной системы). 50 % больных при отечном панкреатите поступают до 1 суток; 30 % больных при неинфицированном панкреатите поступают до 1 суток, 37 % — позже 3 суток; 100 % больных при инфицированном панкреатите поступают позже 3 суток (таблица 1).

Для оценки функционального состояния органов и систем использовали классификацию по В. В. Чаленко (1998), согласно которой выделяют удовлетворительную функцию, компенсированную недостаточность, несостоятельность функции органа.

Функцию печени оценивали по показателям:

1. Билирубина;
2. АсАТ/АлАТ (коэффициент де Ритиса).

Поступление больных в разные сроки позволило нам выявить развитие органной недостаточности (рис. 1).

Из графика следует, что, согласно классификации по В. В. Чаленко, при отечном панкреатите развивается дисфункция печени, так как лабораторные показатели в пределах верхней границы нормы. При неинфицированном — компенсированная недостаточность. При инфицированном панкреатите развивается декомпенсированная недостаточность печени. Поражение печени при неинфицированном панкреатите происходит на третьи сутки. Далее при адекватном лечении процесс купируется. При инфицированном панкреатите мы наблюдаем рост показателей билирубина.

Если оценку произвести по коэффициенту де Ритиса (рис. 2), то можно сказать, что, как и при оценке показателя билирубина, при отечном панкреатите развивается

Таблица 1. Характеристика сравниваемых групп

Показатель	Отечный	Неинфицированный	Инфицированный
Пол:			
1. мужчины	90 %	91,5 %	89 %
2. женщины	10 %	8,5 %	11 %
Возраст	57±5лет	50±5лет	46±5лет
Этиология:			
1. алиментарный	66 %	71 %	77 %
2. билиарный	11 %	24 %	—
3. прочие причины	23 %	5 %	23 %
Сроки от начала заболевания:			
1. до 12 ч	55 %	33 %	—
2. 13–24 ч	—	15 %	—
3. 25–72 ч	33 %	15 %	—
4. позже 72 ч	12 %	37 %	100 %

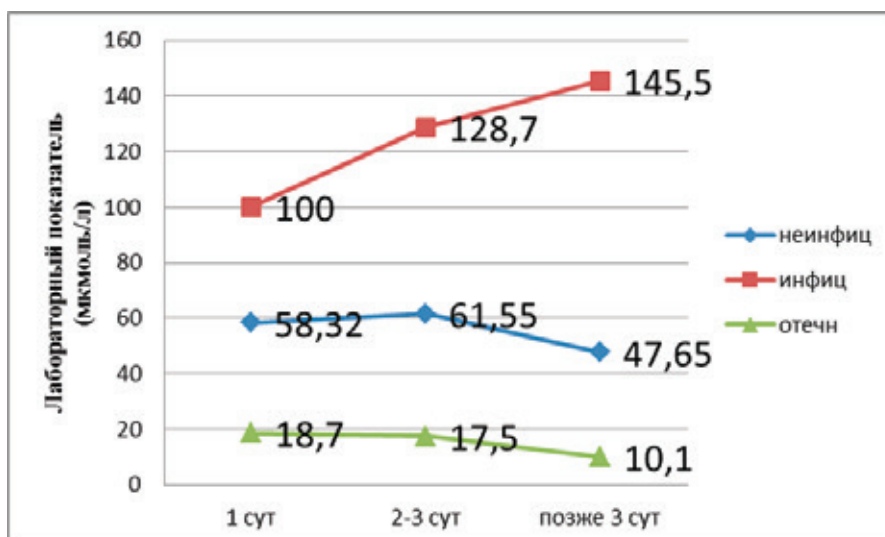


Рис. 1. Показатели билирубина в динамике

дисфункция печени, так как лабораторные показатели в пределах верхней границы нормы. При неинфицированном — компенсированная недостаточность. При инфицированном панкреатите развивается декомпенсированная недостаточность печени.

Функцию почек оценивали по показателям креатинина и мочевины в крови (таблица 2).

При отечном панкреатите развивается дисфункция почек, так как лабораторные показатели в пределах верхней границы нормы. При неинфицированном-компенсированная недостаточность почек. При инфицированном панкреатите развивается декомпенсированная недостаточность. Поражение почек происходит при неинфицированном панкреатите на третьи сутки, но при адекватной терапии процесс купируется. При инфицированном панкреатите мы наблюдаем рост лабораторных показателей креатинина и мочевины.

Функцию легких оценивали по показателям  $pCO_2$ ,  $pO_2$  в венозной крови и рентгенологическому признаку. В результате исследования установлено, что при отечном панкреатите развивается дисфункция легких, так как лабораторные показатели в пределах верхней границы нормы. При неинфицированном развивается компенсированная недостаточность, а при инфицированном панкреатите развивается декомпенсированная недостаточность

легких. Поражение легких происходит при неинфицированном панкреатите через 24 часа с момента заболевания, но при адекватной терапии процесс купируется. При инфицированном панкреатите мы наблюдаем рост лабораторных показателей. Рентгенологически при отечном панкреатите изменений со стороны легких не выявлено. При неинфицированном рентгенологически встречаются в 39 % реактивный плеврит, 4 % составили пневмонии. При инфицированном панкреатите в 68 % встречается реактивный плеврит, пневмонии составили 7 %.

**Выводы:**

1. При панкреатите возникает поражение органов-мишеней: легких, печени и почек с нарушением функции;
2. Поражение легких возникает одним из первых (через 24 часа от момента заболевания) и проявляется развитием РДСВ;
3. Вовлечение в патологический процесс печени и почек происходит позднее — через 72 часа от начала заболевания;
4. При отечном панкреатите, который носит абортное течение, развивается дисфункция органа. При неинфицированном — компенсированная недостаточность, а при инфицированном панкреатите развивается декомпенсированная недостаточность функции органа.

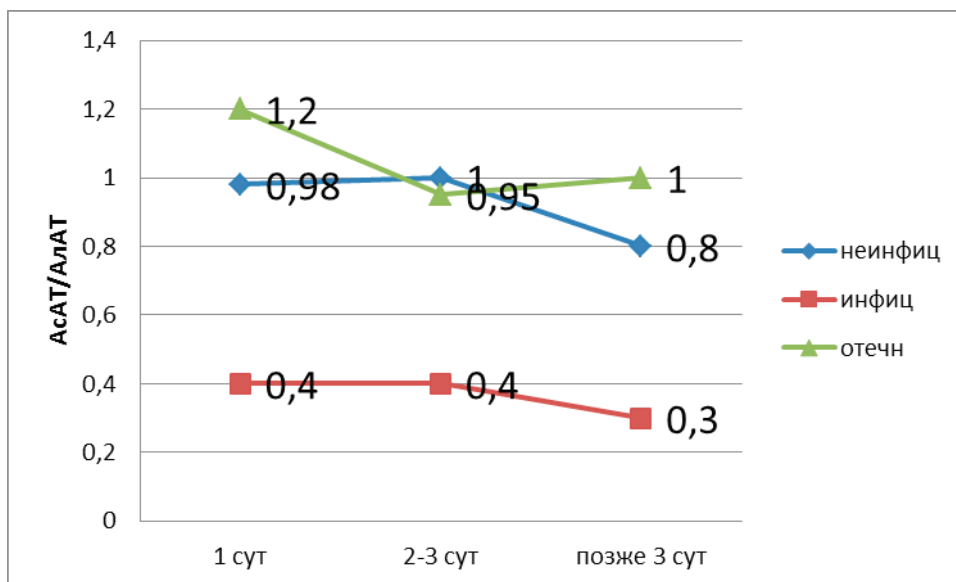


Рис. 2. Показатели коэффициента де Ритиса

Таблица 2. Изменение показателей креатинина и мочевины

Срок от момента заболевания	Отечный		Неинфицированный		Инфицированный	
	Креатинин (мкмоль/л)	Мочевина (ммоль/л)	Креатинин (мкмоль/л)	Мочевина (ммоль/л)	Креатинин (мкмоль/л)	Мочевина (ммоль/л)
1 сутки	110	8,025	128,44	8,5	143,2	9,7
2-3 сутки	100,54	7,55	145,6	9,8	162,5	10,26
Позже 3 сут	80,75	6,3	100,3	7,2	204,86	11,3



Литература:

1. Голуб, И. Е. Полиорганная недостаточность: Учебное пособие / И. Е. Голуб, Л. В. Сорокина, Е. С. Нетесин. — Иркутск: ИГМУ. — 2011. — 25 с.
2. Рузавина, А. В. Системные факторы прогрессирования острого панкреатита: автореф. дис. канд. мед. наук: 14.01.17 / А. П. Власов. — Ульяновск, 2012. — 17с.
3. Семенова, А. С. Оценка эндогенной интоксикации при остром панкреатите / А. С. Семенова // Поколение СГМУ 2003: новые рубежи: Сб. научно-практической конференции СГМУ. — Саратов, 2003. — с. 44.
4. Багненко, С. Ф. Хирургическая панкреатология / С. Ф. Багненко, А. А. Курыгин, Г. И. Синченко. — СПб.: Издательство «Речь», 2009. — 603 с.
5. Балныков, С. И. Прогнозирование исхода заболевания у больных некротическим панкреатитом / С. И. Балныков, Т. Ф. Петренко // Хирургия. — 2010. — №3. — с. 57–59.
6. Гальперин, Э. И. Панкреонекроз: неиспользованные резервы лечения (дискуссионные вопросы к круглому столу) / Э. И. Гальперин, Т. Г. Дюжева // Анналы хирург. гепатологии. — 2007. — Т. 12, №2. — с. 46–51.
7. Клиническая хирургия: национальное руководство: в 3 т. / под ред. В. С. Савельева, А. И. Кириенко. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — т. 2. — 832 с.

## Показатели электромиографии в разные сроки пользования полными условно несъемными протезами с применением различных систем абатментов

Пономаренко Виктор Олегович, соискатель;  
Силенко Юрий Иванович, доктор медицинских наук, профессор;  
Шульженко Александр Юриевич, кандидат медицинских наук, ассистент  
Украинская медицинская стоматологическая академия (г. Полтава)

*В данной статье представлена сравнительная характеристика данных электромиографии у больных с полной адентией, в разные сроки пользования полными условно несъемными протезами с применением различных систем фиксации на имплантатах. Рассмотрены результаты взаимодействия условно несъемных протезов с функциональными элементами зубочелюстного аппарата и скорость адаптации к полным условно несъемным протезам в зависимости от системы фиксации на имплантатах.*

**Ключевые слова:** электромиография, полный условно несъемный протез, имплантат, адаптация.

Несмотря на достигнутые успехи в медицинской реабилитации больных с полным отсутствием зубов, реабилитация является окончательно не решенным вопросом ортопедической стоматологии. Актуальность этой проблемы несомненна еще и потому, что по данным Всемирной организации здравоохранения, около 26 % больных не пользуются полными съемными протезами по разным причинам [1].

Наиболее частыми причинами, не позволяющими адаптироваться к съемным протезам, является неудовлетворительная фиксация протезов или боль под протезом. Предложено много методов фиксации съемных протезов на беззубых челюстях: механические, хирургические, физические, использование эластичных подложек, адгезивных гелей, порошков, пленок и т. д. Одним из наиболее эффективных методов улучшения фиксации устойчивости протеза является установка имплантатов [2].

Однако не изученным остались вопросы оптимальных вариантов системы передачи функциональной нагрузки на имплантаты у протезоносителей, пользующихся ус-

ловно-несъемными полными зубными протезами в зависимости от жесткого или амортизирующего соединения абатмента с имплантатом.

Целью нашего исследования было проведение сравнительной характеристики и оценка адаптации пациентов к полным условно несъемным протезам, фиксируемым с использованием жестких неподвижных абатментов и амортизирующих абатментов.

### Материалы и методы

Для исследования были отобраны мужчины и женщины в возрасте от 50 до 75 лет с диагнозом полная вторичная адентия нижней челюсти, зубные ряды которых были восстановлены с помощью полных условно несъемных протезов, которые фиксировались с помощью систем фиксации на имплантатах с применением жестких неподвижных или амортизирующих абатментов.

Согласно систем фиксации на имплантатах, пациентов с полными условно несъемными протезами по-

делили на две группы: пациенты с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью жестких не подвижных абатментов (I группа — 19 человек), с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью амортизирующих абатментов (II группа — 19 человек). Контрольную группу составили пациенты с интактными зубными рядами. В качестве амортизирующих абатментов использовали абатменты фирмы Nobel.

Объективный критерий качества протезирования — адаптация пациентов к протезу, определение характера восстановления функции жевания мы оценивали на основе данных биоэлектрической активности.

В целях нашего исследования была использована методика электромиографической записи потенциалов жевательных мышц в момент функциональной нагрузки. За методологическую основу исследования нами был принят протокол электромиографии, предложенный и внедренный на кафедре ортопедической стоматологии с имплантологией ВДНЗУ «Украинская медицинская стоматологическая академия» [3,4].

Для регистрации электромиографических показателей были использованы приборы стоматологические «BioPak», производитель Bio Research Associated Inc., USA.

В качестве пищевого раздражителя одинаково для всех исследуемых использовался кубик ржаного хлеба вчерашней выпечки с ребром 1 см (объемом 1 см<sup>3</sup>). Отвод импульсов с жевательных мышц выполнялось в соответствии с протоколом техники использования электромиографического оборудования «BioPak» [3,4,5].

### Результаты исследования

Нами было получено по 38 электромиограмм, с рабочей и балансирующей стороны, у больных всех исследуемых групп до протезирования, в день наложения протезов, через 15 суток, через 1 месяц и через 3 месяца пользования полными условно несъемными протезами и по 7 электромиограмм, с рабочей и балансирующей стороны, в контрольной группе с интактными зубными рядами.

Анализ характера записей электромиограммы позволяет выделить следующие их особенности:

— Акт жевания представляет собой четкое разграниченную очередь «залпов» электрической активности с периодами биоэлектрического покоя;

— В процессе жевания амплитуды колебаний биопотенциалов появляются в момент начала сокращения мышц, постепенно увеличиваются и к середине «залпа» достигают максимальной величины, а затем также постепенно снижаются до минимума;

— Произвольное жевание характеризуется наличием рабочей и балансирующей стороны; изменение стороны жевания происходит рефлекторно и на электромиограмме представлено в виде чередования большей активности на

одной из сторон; в это время на другой стороне активность значительно снижается.

Следует отметить, что характер записи электромиограммы и данные полученные при количественной обработке электромиограммы дают объективное представление о механизмах нервной регуляции акта жевания в зависимости от системы фиксации на имплантатах для полных условно несъемных протезов, с применением амортизирующих или жестких фиксирующих абатментов для имплантатов.

Как показали наши исследования, потеря зубов оказывает существенное влияние на характер записи электромиограммы. Характеризуя электромиограммы пациентов, которым показано изготовление полных условно несъемных протезов необходимо отметить отсутствие расчлененности структуры, спонтанную активность в одной из мышц, низкоамплитудные колебания биотоков.

При полной адентии значительно нарушается функция жевания, что влияет на элементы динамического цикла. Коэффициент «К» во всех исследуемых группах до протезирования при произвольном жевании значительно отличался от показателей в группах после наложения протезов и составлял 1,46 — на рабочей стороне и 1,29 — на балансирующей стороне ( $p < 0,05$ ) против соответственно 1,03 и 0,91 в контрольной группе пациентов, имеющих интактный зубной ряд (Таблица 1, Таблица 2) [6]. Также значительно снижалась средняя амплитуда произвольного жевания колебаний биотоков на рабочей стороне ( $176 \pm 18$  мкВ) и на балансирующей стороне ( $173 \pm 15$  мкВ) по сравнению с нормой ( $319 \pm 24$  мкВ и  $312 \pm 22$  мкВ соответственно) (Рисунок 1, Рисунок 2).

Считаем, что системы фиксации на имплантатах для полных условно несъемных протезов, т. е. применение амортизирующих или жестких фиксирующих абатментов для имплантатов, которые входят в состав ортопедической конструкции, бесспорно, влияют на срок привыкания к ним, что отражается на качестве показателей электромиограммы.

Уже в первые сутки протезирования отметим, что продолжительность одного динамического цикла различна для пациентов всех групп. Для пациентов с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью жестких не подвижных абатментов этот показатель составил  $410 \pm 43$  мс на рабочей стороне и  $391 \pm 35$  на балансирующей стороне, а для пациентов с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью амортизирующих абатментов  $405 \pm 41$  мс и  $386 \pm 35$  мс на рабочей и балансирующей стороне соответственно.

Основные изменения происходят внутри отдельного динамического цикла и проявляются в перераспределении времени активности и покоя, особенно наглядно это проявляется в числовых значениях коэффициента «К», а также показателей амплитуды [6].

При качественной оценке электромиограммы, в день наложения протезов, во всех группах пациентов опреде-

ляется более четкая структура электромиограммы, на некоторых из них прослеживается спонтанная электрическая активность, что свидетельствует о начале адаптации к протезам.

При сравнении характера амплитудной активности у пациентов разных групп, обращает на себя внимание более полноценное жевания у всех больных исследуемых групп, которое можно проследить, с помощью количественных показателей средней амплитуды произвольного жевания на рабочей стороне пациентов I-й и II-й групп, составляющих  $189 \pm 19$  мкВ,  $194 \pm 20$  мкВ соответственно.

Начало адаптации к полным условно несъемным протезам, характеризуется появлением дополнительной ориентировочной реакции, сопровождается появлением отдельных волн с повышением амплитуды.

Через 15 суток после протезирования электромиографическая картина у больных всех исследуемых групп подвергается значительным изменениям и характеризуется выраженной тенденцией к нормализации. Еще больше эта тенденция наблюдается через 1 месяц после наложения протезов. На электромиограмме пациентов является более выраженное чередование волн активности с периодами покоя, увеличивается амплитуда колебаний биопотенциалов.

Обращает на себя внимание дифференцированная активность мышц рабочей и балансирующей стороны, у пациентов II-й группы в зависимости от ориентации пищевого раздражителя. Происходящее за счет фиксации полных условно несъемных протезов с помощью системы фиксации на имплантатах с амортизирующими абатментами, что обеспечивает лучшую адаптацию пациентов к протезам за счет имитации микроподвижности зубов.

Через 1 месяц после наложения протезов, показатели всех групп приблизились к данным, полученным у пациентов с интактным зубным рядом. Среднее время активности на рабочей стороне составлял в I-й группе  $235 \pm 21$  мс и во II-й группе  $220 \pm 21$  мс. Среднее время покоя на рабочей стороне составляло  $162 \pm 16$  мс для I-й и  $173 \pm 15$  мс для II-й группы. На балансирующей стороне, среднее время активности для I группы составляло  $214 \pm 20$  мс, для II-й группы  $210 \pm 15$  мс, а среднее время покоя  $167 \pm 15$  мс,  $170 \pm 18$  мс соответственно для I-й и II-й групп.

Необходимо отметить, что через 15 суток и 1 месяц пользования полными условно несъемными протезами фиксирующиеся на имплантатах с помощью различных систем абатментов, значение средней амплитуды произвольного жевания жевательных мышц во всех опытных группах больных было выше показателей, полученных до протезирования. Через 15 суток показатели амплитудных колебаний на рабочей стороне в I-й и II-й группах составляли  $198 \pm 19$  мкВ и  $203 \pm 19$  мкВ, на балансирующей стороне  $193 \pm 17$  мкВ,  $196 \pm 17$  мкВ соответственно группам. Через 1 месяц эти показатели составляли для I группы  $205 \pm 18$  мкВ на рабочей и  $200 \pm 18$  мкВ на ба-

лансирующей, для II-й группы  $217 \pm 16$  мкВ на рабочей и  $208 \pm 18$  на балансирующей сторонах.

В совокупности, полученные показатели свидетельствуют, что через месяц после наложения протезов у пациентов II-й группы акт жевания более сбалансированный, а активность мышц на рабочей и балансирующей стороне более равномерная, что уже позволяет говорить о более быстрой адаптации к полным съемным протезов у пациентов II-й группы.

С увеличением срока пользования полными съемными протезами до 3 месяцев, показатели амплитудных колебаний значительно выше во всех группах, по сравнению с этими же показателями, полученными до протезирования. Средние показатели амплитудных колебаний жевательных мышц на рабочей стороне во время произвольного жевания у больных I-й и II-й групп были  $216 \pm 22$  мкВ,  $219 \pm 19$  мкВ. Эти показатели на балансирующей стороне составляли  $212 \pm 21$  мкВ,  $215 \pm 17$  мкВ для I-й и II-й групп соответственно.

Вместе с тем и другие исследуемые параметры отличались тенденцией к нормализации, которая сохранялась при анализе всех полученных данных.

Через три месяца в характере электромиограмм пациентов I группы наряду с появлением расчлененности структуры и высоко амплитудных колебаний обращало на себя внимание наличие дополнительной или ориентировочной активности в отдельном динамическом цикле. Наш взгляд это явление обусловлено приспособлением мышц благодаря нейрогуморальной рецепции к новым условиям в полости рта.

В характере электромиограмм пациентов II-й группы наиболее выраженным показателем нормализации акта жевания следует считать изменение сторон в произвольном жевании, что подтверждается разницей периодов активности и покоя в отдельном динамическом цикле на рабочей и балансирующей сторонах.

На фоне расчлененности структуры и высоко амплитудных колебаний это можно считать завершением процессов адаптации с формированием нового функционального уровня нервной рецепции.

Таким образом, проведенные клинические исследования позволяют сделать вывод о том, что процесс адаптации к полным условно несъемным съемным протезам, фиксирующимся на имплантатах с помощью различных систем абатментов, происходит лучше во II-й группе пациентов, пользующихся полными условно несъемными протезами фиксируемыми с помощью амортизирующих абатментов. Это обусловлено фиксацией полных условно несъемных протезов на имплантатах с помощью системы с амортизирующими абатментами, что обеспечивает лучшую адаптацию пациентов к протезам за счет имитации микроподвижности зубов. Что подтверждается нашими данными математического моделирования функционирования данного протеза в полости рта.

Электромиографические исследования качества протезирования и характера восстановления функции же-

вания больных, пользовавшихся протезами с этим видом фиксации, подтверждают, что уже через 15 суток наблюдается тенденция приближения исследуемых показателей к уровню показателей контрольной группы пациентов с интактными зубными рядами.

Сравнение количественных показателей миограмм больных разных групп на рабочей и балансирующей сторонах указывает на то, что у пациентов II-й группы уже

через 1 месяц функционирования протеза, жевание более совершенное, что подтверждается биоэлектрической активностью собственно жевательных мышц, она распределена более равномерно между рабочей и балансирующей стороной, чем у пациентов других групп. Это в свою очередь, свидетельствует о лучшей адаптации пациентов к протезам с данным видом фиксации с помощью имплантатов.

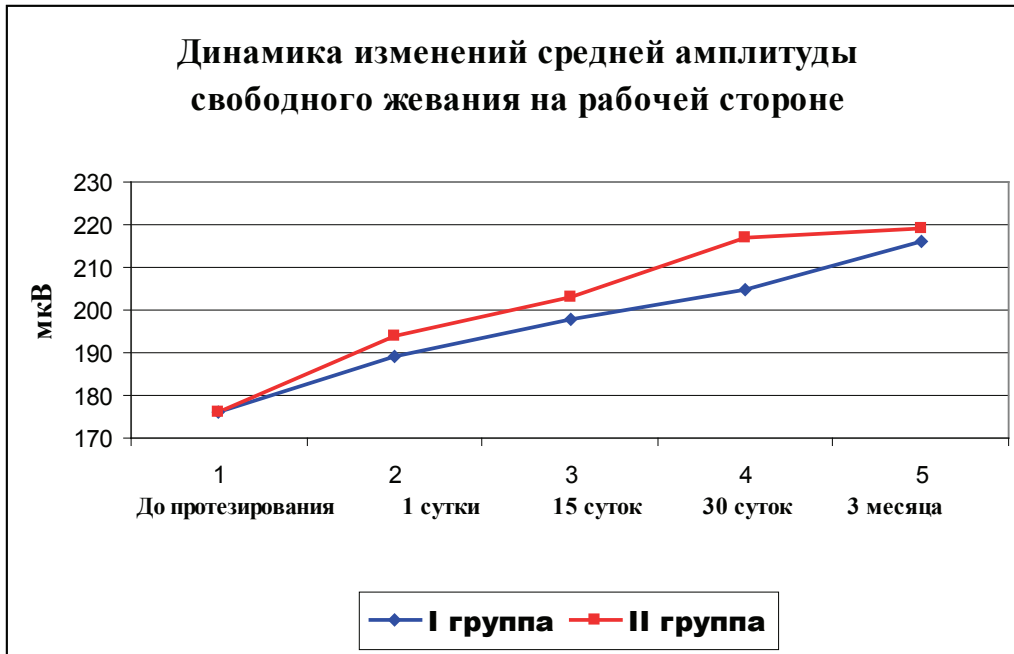


Рис. 1

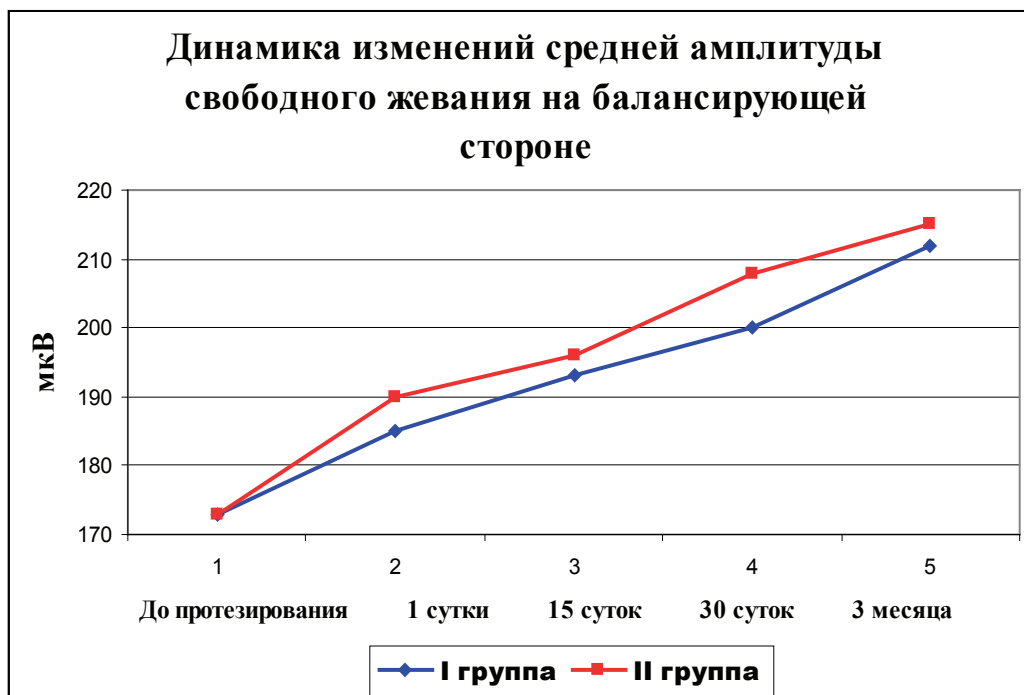


Рис. 2

Таблица 1. Количественные показатели электромиографии, проведенной на рабочей стороне, у пациентов с полными условно несъемными протезами, фиксируемыми на имплантатах с применением различных систем абатментов

Исследуемые показатели	Статистические показатели	Интактные зубные ряды (n=)	Дефекты зубных рядов, до протезирования (n=)	1 группа — пациенты с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью жестких не подвижных абатментов (n=)				2 группа — пациенты с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью амортизирующих абатментов (n=)			
				1 сутки	15 суток	30 суток	3 месяца	1сутки	15 суток	30 суток	3 месяца
Средняя амплитуда волевого сжатия (мкВ)	M ± m	391±34	214±19 <b>p1&lt;0,05</b>	241±22 p1>0,05 p2>0,05	254±22 p1>0,05 p2>0,05	264±26 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>	240±22 p1>0,05 p2>0,05	278±20 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>	275±22 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>		
Средняя амплитуда собственного жевания (мкВ)	M ± m	319±24	176±18 <b>p1&lt;0,05</b>	198±19 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	205±18 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	216±22 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	194±20 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	217±16 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	219±19 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>		
Средняя амплитуда заданного жевания (мкВ)	M ± m	309±27	170±20 <b>p1&lt;0,05</b>	193±18 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	200±21 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	210±16 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	188±20 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	214±14 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	215±18 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>		
Среднее время активности (мс)	M ± m	182±14	190±18 p1>0,05	255±25 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	235±21 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	225±23 <b>p1&lt;0,05</b> p2>0,05	250±27 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	220±21 <b>p1&lt;0,05</b> <b>p2&lt;0,05</b>	220±18 p1>0,05 p2>0,05		
Среднее время покоя (мс)	M ± m	177±12	130±13 <b>p1&lt;0,05</b>	155±18 p1>0,05 p2>0,05	162±16 p1>0,05 p2>0,05	165±17 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>	155±14 p1>0,05 p2>0,05	173±15 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>	172±15 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>		
Среднее время динамического цикла (мс)	M ± m	360±26	320±31 p1>0,05	410±43 p1>0,05 <b>p2&lt;0,05</b>	397±37 p1>0,05 p2>0,05	390±40 p1>0,05 p2>0,05	405±41 p1>0,05 p2>0,05	393±36 p1>0,05 p2>0,05	392±33 p1>0,05 p2>0,05		
Коэффициент «К» (K=Ta/Тп)	M	1,03	1,46	1,65	1,56	1,45	1,61	1,54	1,28		

Примечания:

1. p1 — достоверность показателей в сравнении с значениями при интактном зубном ряде, значениями до протезирования и в разные термины после протезирования.
2. p2 — достоверность показателей в сравнении с значениями до протезирования и в разные термины после протезирования.

Таблица 2. Количественные показатели электромиографии, проведенной на балансирующей стороне, у пациентов с полными условно несъемными протезами, фиксируемыми на имплантатах с применением различных систем абатментов

Изучаемые показатели	Статистические показатели	Интактные зубные ряды (n=)	Дефекты зубных рядов, до протезирования (n=)	1 группа — пациенты с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью жестких не подвижных абатментов (n=)				2 группа — пациенты с полными условно несъемными протезами, которые фиксируются с помощью амортизирующих абатментов (n=)			
				1 сутки	15 суток	30 суток	3 месяца	1 сутки	15 суток	30 суток	3 месяца
Средняя амплитуда волевого сжатия (мкВ)	M ± m	358±36	191±18 p1<0,05	210±20 p1<0,05 p2>0,05	219±19 p1<0,05 p2>0,05	230±22 p1<0,05 p2>0,05	240±22 p1<0,05 p2<0,05	214±18 p1<0,05 p2>0,05	225±20 p1<0,05 p2>0,05	235±19 p1<0,05 p2<0,05	245±22 p1<0,05 p2<0,05
Средняя амплитуда спонтанного жевания (мкВ)	M ± m	312±22	173±15 p1<0,05	185±15 p1<0,05 p2>0,05	193±17 p1<0,05 p2>0,05	200±18 p1<0,05 p2>0,05	212±21 p1<0,05 p2<0,05	190±21 p1<0,05 p2>0,05	196±17 p1<0,05 p2>0,05	208±18 p1<0,05 p2<0,05	215±17 p1<0,05 p2<0,05
Средняя амплитуда заданного жевания (мкВ)	M ± m	303±25	165±16 p1<0,05	178±17 p1<0,05 p2>0,05	187±16 p1<0,05 p2>0,05	193±19 p1<0,05 p2>0,05	203±20 p1<0,05 p2>0,05	182±19 p1<0,05 p2>0,05	190±18 p1<0,05 p2>0,05	195±19 p1<0,05 p2>0,05	210±15 p1<0,05 p2<0,05
Среднее время активности (мс)	M ± m	169±14	173±16 p1<0,05	232±21 p1<0,05 p2<0,05	220±19 p1<0,05 p2<0,05	214±20 p1<0,05 p2<0,05	202±18 p1>0,05 p2>0,05	227±22 p1<0,05 p2<0,05	220±18 p1<0,05 p2<0,05	210±15 p1>0,05 p2>0,05	202±17 p1>0,05 p2>0,05
Среднее время покоя (мс)	M ± m	186±16	134±13 p1<0,05	159±14 p1>0,05 p2>0,05	162±16 p1>0,05 p2>0,05	167±15 p1>0,05 p2>0,05	170±15 p1>0,05 p2>0,05	159±13 p1>0,05 p2>0,05	162±16 p1>0,05 p2>0,05	170±18 p1>0,05 p2>0,05	175±15 p1>0,05 p2<0,05
Среднее время динамического цикла (мс)	M ± m	355±30	307±29 p1>0,05	391±35 p1>0,05 p2<0,05	382±35 p1>0,05 p2<0,05	381±35 p1>0,05 p2>0,05	372±33 p1>0,05 p2>0,05	386±35 p1>0,05 p2<0,05	382±34 p1>0,05 p2<0,05	380±33 p1>0,05 p2>0,05	377±32 p1>0,05 p2>0,05
Коэффициент «К» (K=Ta/Тп)	M	0,91	1,29	1,46	1,36	1,28	1,19	1,43	1,36	1,24	1,15

Примечания:

1. p1 — достоверность показателей в сравнении с значениями при интактном зубном ряде, значениями до протезирования и в разные термины после протезирования.
2. p2 — достоверность показателей в сравнении с значениями до протезирования и в разные термины после протезирования.

Литература:

1. Цимбалистов, А. В., Войтяцкая И. В., Статовская Е. Е. Тактика ведения больных с полной утратой зубов // Материалы V Международной конференции челюстно-лицевых хирургов и стоматологов. СПб.: СПб МАПО, 2000.-С. 145.
2. Иванов, С. Ю., Широков Ю. Е., Балабанников С. А., Солодкий В. Г. «Особенности получения оттисков и изготовления моделей при ортопедическом лечении с применением имплантатов системы ЛИКО», Проблемы Стоматологии, 2005, № 1, с.53–58.
3. Дворник, В. М. Підготовка і протезування хворих на патологічне стирання твердих тканин зубів: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. мед. наук: 14.00.22 / В. М. Дворник. — Полтава, 2001. — 18с.
4. Новіков, В. М. Протокол електроміографічних досліджень рефлексорно-адаптаційних процесів при функціональних порушеннях зубо-щелепного апарату і В. М. Новіков // Вісник проблем біології і медицини. — 2006. — Вип. — с. 96.
5. Матрос-Таранец, И. Н. Электромиография в стоматологии / И. Н. Магрос-Таранец. — Донецк, 1997. — 170с.
6. Георгиев, В. И. Электро-миографическое изучение функции жевательных мышц человека при интактном ортогнатическом прикусе: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. мед. наук: спец. 14. 01. 22 — «Стоматология» / В. И. Георгиев-К., 1969. — 19с.

## ГЕОЛОГИЯ

### Петрологические особенности кальцифиров месторождения Ормизан (Киргизия)

Камкичева Ольга Николаевна, ассистент  
Кузбасский государственный технический университет (г. Кемерово)

*Ключевые слова:* кальцифиры, кальцит, петротип.

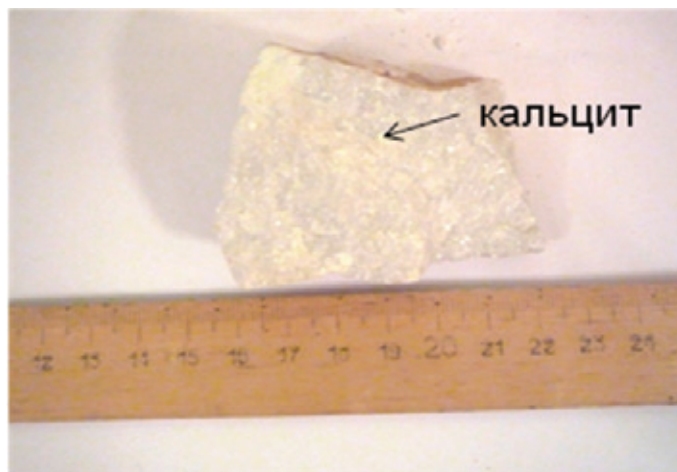
Кальцифир — неравномернозернистая метаморфическая горная порода, возникшая при перекристаллизации магнезиальных известняков в условиях высоких температур. Кальцифиры состоят из кристаллов кальцита и доломита, граната, пироксена, форстерита, шпинели, скаполита, плагиоклаза, прослеживается рассеянная сульфидная минерализация, видимо, связанная с послемагматическими процессами. Кальцифиры встречаются среди метаморфизованных карбонатно-силикатных толщ осадочного происхождения [3].

В геологическом строении объекта принимают участие палеозойские и четвертичные образования. Палеозойский комплекс представлен толщей кальцифиров и кристаллических сланцев ( $S_2ms$ ). Среди четвертичных образований выделены гляциальные, пролювиальные, аллювиальные и коллювиальные генетические типы. Встречаются полойные инъекции мелкозернистых лейкогранитов II фазы каравшинского комплекса ( $C_3-P_1 k$ ) [2].

Месторождение имеет сложное зональное и зонально-блоковое строение, породы представлены кальцифирами белого и светло-серого цвета, средне-крупнозернистой структурой с плотной, массивной текстурой. Автором были описаны оба типа пород с зонального и зонально-блокового участка.

В результате макро и микроисследований образцов из зонального участка, отобранных из профиля, было выделено три петротипа, имеющие свои характерные структурно-текстурные особенности, т. е. представляют собой агрегаты, которые закономерно чередуются в крест простирацию месторождения.

Петротип I, чаще всего встречающийся, представлен среднезернистым сахаровидным кальцитом серовато-белого цвета (95–98 %), с графитовой минерализацией, где чешуйки графита имеют размер не более 1–2 мм. Местами прослеживается лимонитизация. Текстура однородная (рис. 1).



1 петротип

Рис. 1. Образец кальцифира, сложенный среднезернистым, сахаровидным кальцитом (I петротип)



Петротип II, представлен белым мелкозернистым кальцитом, в котором встречаются чешуйки графита и флогопита размером до 1–2 мм, также встречаются включения пирита (размер 1–4 мм). Прослеживается гранатовая минерализация, размер зерен граната около 1 мм (рис. 2). Текстура породы однородная, местами вкрапленная.

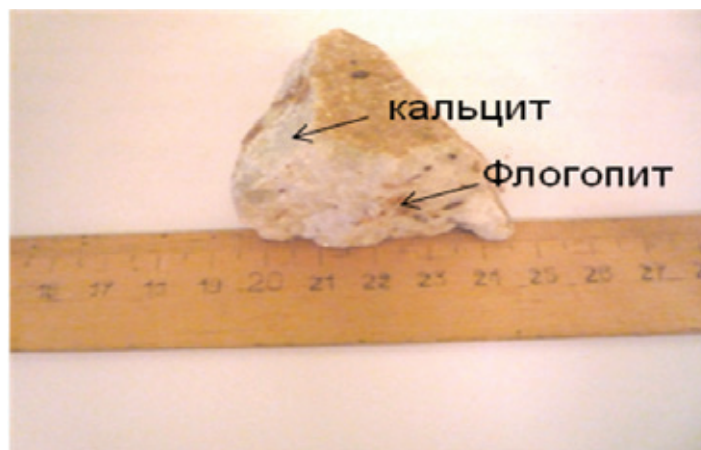
Менее распространенный III петротип, состоит из мелко-среднезернистого кальцита. Текстура породы полосчатая, обусловлена чередованием слоев сероватого и кремового кальцита. Местами наблюдается прожилковая текстура, где прожилки сложены серым и кремовым кальцитом. В качестве второстепенных минералов в образцах присутствуют волластонит (около 5–8 %) и кварц (около 5 %) (рис. 3).

Для зонального участка характерен следующий породообразующий минерал: кальцит. Второстепенные минералы представлены: графитом, кварцем, волластонитом,

ромбическим пироксеном, гранатом, флогопитом, пиритом. Акцессорный — корундом.

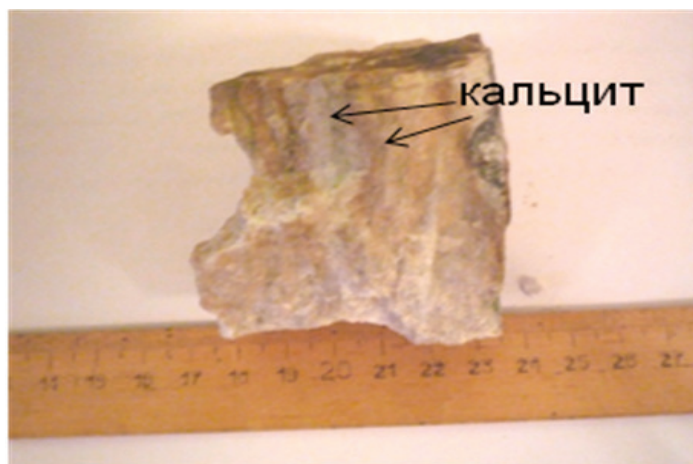
Петрографические исследования показали, что микроструктура всех трех петротипов зонального участка месторождения, имеет гипидиоморфнозернистое, пойкилобластовое, гранобластовое строение.

Микроскопически кальцит представлен в породе идиобластами изометричных зерен, имеющих резко выраженные извилистые зубчатые ограничения. Количество кальцита в составе породы варьирует от 80–90 %. Кальцит обычно представлен зернами с полисинтетическими двойниками, реже монокристаллами. Его зерна, преимущественно, изометричные и размеры меняются от 0,2 до 1,0 мм, субизометричные зерна размером около 1–1,6 мм. Погасание волнистое. Отчетливо проявляется спайность по ромбоэдру, отличается псевдоадсорбцией и перламутровыми цветами интерференции [1, 3].



2 петротип

Рис. 2. Образец кальцифира, сложенный мелкозернистым кальцитом с мелкими зернами флогопита (II петротип)



3 петротип

Рис. 3. Образец кальцифира, сложенный мелко-среднезернистым кальцитом (III петротип)

Флогопит неравномерно распределен в породе, наблюдается в виде пластинчатых зерен размером 1–2 мм. Высокие цвета интерференции от голубого до зеленого ( $N_g-N_p \sim 0,027$ ) с заметным плеохроизмом. Наблюдается отчетливо спайность, угол погасания  $90^\circ$  (рис. 7). Содержание в породе примерно около 10–15 %. Присутствует в виде единичных включений, прослеживается процесс хлоритового замещения зерен флогопита. Флогопит в основном присутствует в матрице кальцита. Границы между флогопитом и кальцитом гидратированы.

Графит распространен практически повсеместно в породе, представлен в виде мелких пластинок черного цвета, размеры зерен 0,3–0,5 мм. Содержание в породе варьирует около 10–13 %. Пластины графита сосредоточены в основном в кальцитовой матрице.

Волластонит имеет таблитчатые и удлиненно-призматические кристаллы, размеры от 0,2–0,8 мм. Спайность совершенная, угол погасания равен около  $25^\circ$ – $30^\circ$ . Для него характерны высокие цвета интерференции от желтого до розового ( $N_g-N_p \sim 0,027$ ), имеет низкое двупреломление (0,014–0,015). Содержание около 5–7 % (рис. 4). Зерна волластонита в породе неоднородны и неправильной формы, границы с другими минералами четко прослеживаются [2].

Ортопироксен имеет призматические, удлиненные кристаллы, размеры от 0,2–0,5 мм, хорошо проявлена спайность по призме (110), угол погасания  $90^\circ$ . Характерны низкие цвета интерференции (серые). Содержание варьирует от 5 % (рис. 4).

Зерна моноклинного пироксена сосредоточены в кварцевом агрегате, хорошо видна спайность по призме, угол погасания составляет  $40$ – $45^\circ$ . Угол между трещинками спайности равен  $87^\circ$  (рис. 6). Характерны высокие цвета интерференции: от желтого до розового ( $N_g-N_p \sim 0,029$ ).

Кварц присутствует в виде зерен неправильной и субизометричной формы размером 0,5–1,0 мм, содержание колеблется в пределах 5–6 %. Кварц имеет неоднородное

погасание. Низкие цвета интерференции от белого до серого (рис. 6). Кварц в породе в большей степени имеет округлые формы выделения, имеет размеры до 0,24 мм. Прозрачный, с нормальным и волнистым погасанием, отчасти мутный вследствие многочисленных пылеватых включений; некоторые зерна трещиноваты [1].

Пирит обычно представлен редкой вкрапленностью мелких зерен размером 0,1–0,3 мм, либо их сростками, содержание в породе около 2–4 %. Иногда обособляются в жилки шириной 3–5 мм. Пирит распределен неравномерно. Имеют черный цвет при одном и скрещенных николях.

Второй тип кальцифиров имеет зонально-блоковое строение. Для этих кальцифиров, характерны участки сложенные метаморфизованным кальцитом до (70 %). Агрегаты выделений породообразующих минералов, имеют различные формы, имеется неоднородность, проявляется слабая зональность. Кальцифиры из данного участка, имеют в основном средне-крупнозернистое строение.

В качестве породообразующих минералов в состав породы входят: кальцит, пироксены, амфиболы. Второстепенные минералы — гранат, везувиан, кварц, пирит, флогопит. Вторичные минералы — эпидот, клиноцистит, гидрогетит. Акцессорные минералы представлены: сфеном, апатитом, кордиеритом.

Петрографические исследования показали, что микроструктура кальцифиров зонально-блокового участка месторождения Ормизан, имеет гипидиоморфнозернистое, гранобластовое строение.

Кальцит самый распространенный минерал в породе, представлен зернами округлой формы зернами с полисинтетическими двойниками, реже монокристаллы. Размеры меняются от 0,2 до 3 мм, субизометричные зерна размером около 1–1,6 мм. Погасание волнистое. Отчетливо проявляется спайность по ромбоэдру и отличается псевдоадсорбцией и перламутровыми цветами интерференции.

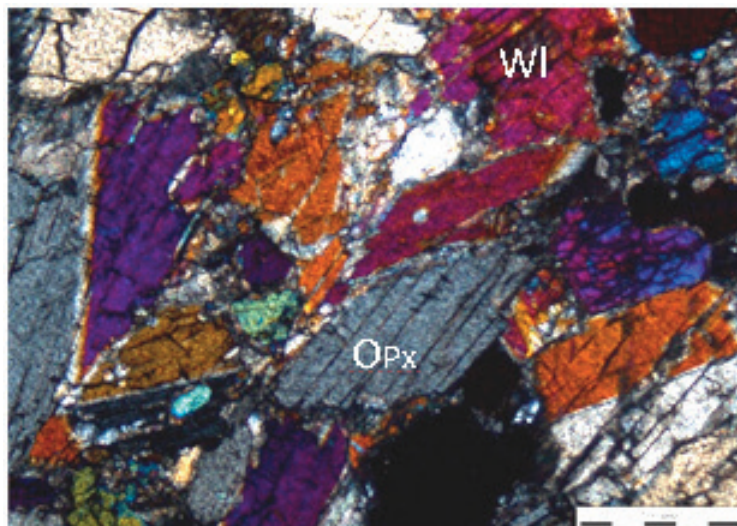


Рис. 4. Кальцифир. Примечание: Wl — волластонит, Opx — ортопироксен. Николи «+»

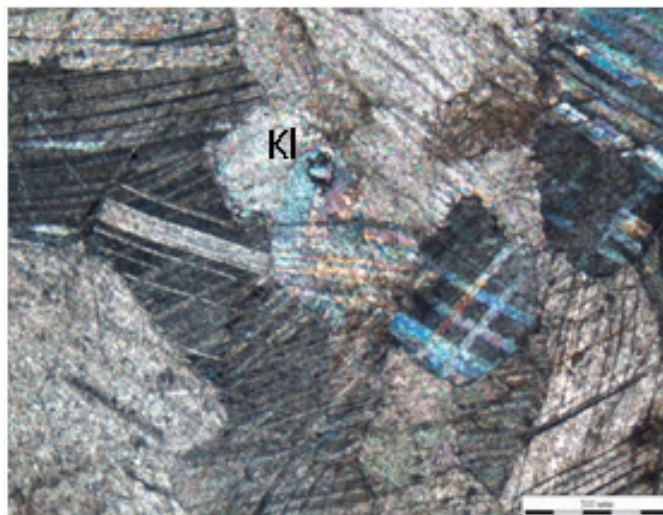


Рис. 5. Кальцифир с гранобластовой структурой. Примечание: Kl — кальцит. Николи «+»

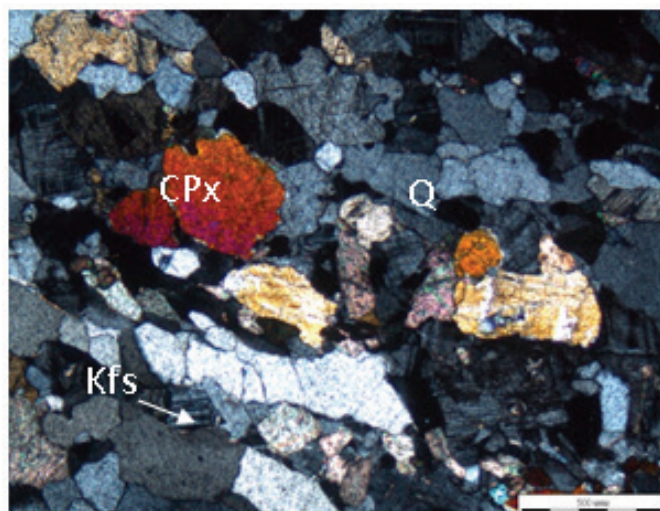


Рис. 6. Кальцифир. Примечание: Q — кварц, CPx — моноклинный пироксен, Kfs — калиевый полевой шпат. Николи «+»

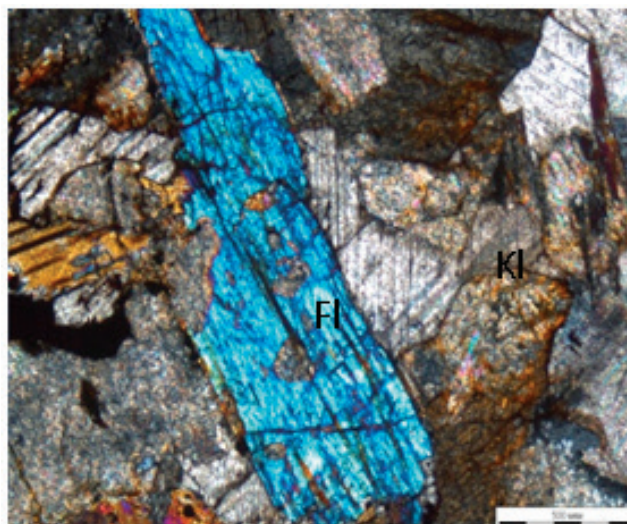


Рис. 7. Кальцифир. Примечание: Fl — флюорит, Kl — кальцит. Николи «+»

Клинопироксен представлен крупными зернами субизометричной формы, размером 5 мм. Хорошо видна призматическая спайность, угол погасания составляет 40–45°. Угол между трещинками спайности равен 87°. Характерны высокие цвета интерференции: от желтого до розового ( $N_g - N_p \sim 0,029$ ). Содержание в породе около 10 %.

Роговая обманка представлена в виде удлинённых и призматических зерен размером 4 мм. Хорошо видна призматическая спайность. В поперечных срезах угол между трещинками спайности равен 56°. Для нее характерны высокие цвета интерференции коричнево-желтые, заметно плеохраирует в красно-бурых тонах [1]. Угол погасания 20–25°. Содержание около 10–15 % (рис. 9).

Гранат представлен мелкими округлыми зернами, размеры зерен 0,2–1,2 мм. Цвет розовато-желтый, отличается высоким рельефом. В скрещенных николях не просветляется, поскольку изотропен. Некоторые индивиды трещиноваты. Содержание в породе около 10 % (рис.

11). Гранат наблюдаются с роговой обманкой в одном микропарагенезисе. Гранат в кальцитово-матрице распространен неравномерно.

Везувиан образует зерна неправильной формы, размером 2,8 мм, содержание в породе около 10 %. При скрещенных николях характерны anomalно-высокие цвета интерференции от бурого до грязно-синего цвета. Для везувиана наблюдается зональное строение. Угол погасания 28–30° (рис. 8). Зерна везувиана местами трещиноваты, распространены в породе не равномерно и входят в состав гранат — слюдяного агрегата.

Клиноцизит распространен в кальцифире крайне неравномерно его содержание не превышает 5 %. Мелкие зерна образуют скопления размером до 0,4–0,8 мм. Клиноцизит имеет высокий рельеф и anomalные цвета интерференции (индиго) (рис. 11).

Эпидот присутствует в меньших количествах, чем клиноцизит. Его содержание составляет порядка 2 %. Его

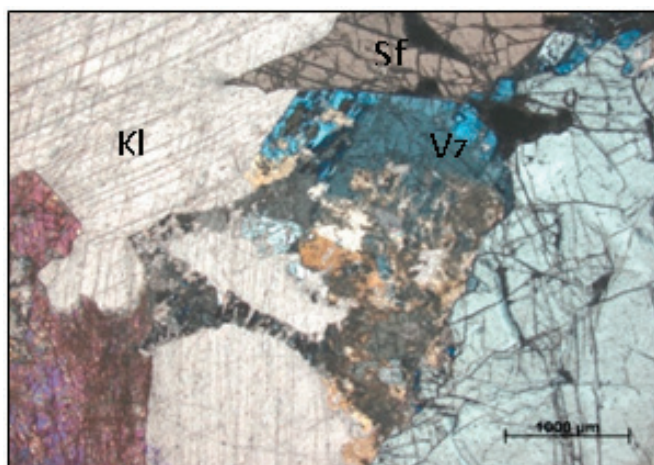


Рис. 8. Кальцифир. Примечание: Sf — сфен, Vz — везувиан, Kl — кальцит. Николи «+»

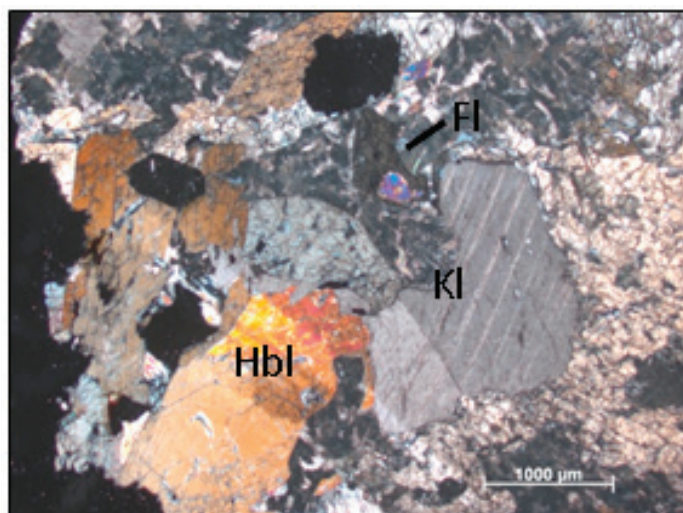


Рис. 9. Кальцифир. Структура пойкилобластовая. Примечание: Fl — флогопит, Hbl — роговая обманка, Kl — кальцит. Николи «+»

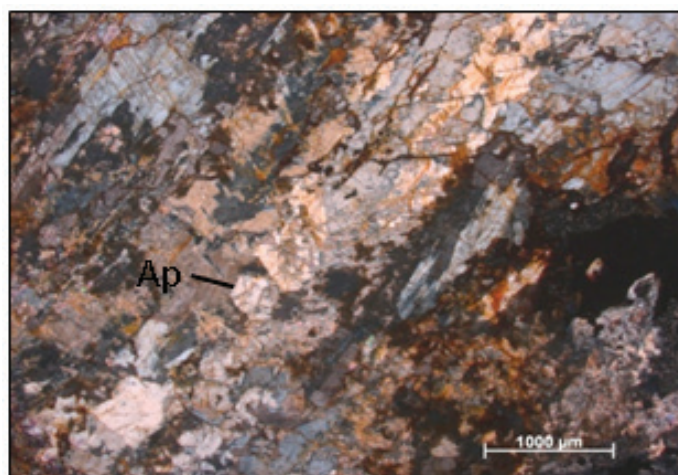


Рис. 10. Кальцифир. Примечание: Ap — апатит. Николи «+»

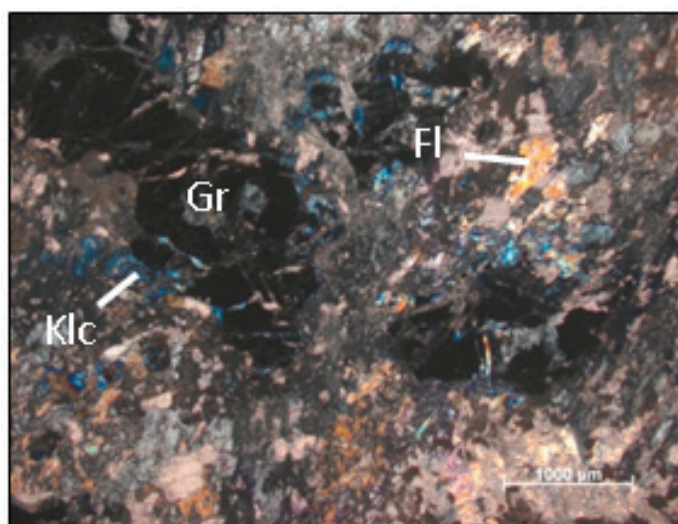


Рис. 11. Кальцифир. Примечание: Gr — гранат, Klc — клиноциозит, Fl — флогопит. Николи «+»

зерна имеют размеры до 1 мм. Они окрашены в зелено-вато-желтый цвет. Зерна эпидота трещиноваты и отличаются аномальными высокими цветами интерференции, имеет прямое погасание.

Сфен имеет клинообразную форму зерен. Содержание примерно около 3 %. Спайность отсутствует, характерны высокие цвета интерференции, заметно плеохраирует, имеет высокий рельеф. Двупреломление очень высокое — около 0,150 (рис. 8). В породе присутствует в виде одиночных зерен и образует с везувианом и флогопитом не крупные обособления на фоне кальцитовый массы [1].

Апатит образует мелкие округлые зерна с гексагональным сечением (рис. 10). Размеры зерен 0,3 мм. В среднем содержания в породе не более 1 %. Имеет высокий рельеф на фоне других минеральных зерен, низкие цвета интерференции (от белого до серого). Для апатита характерен отрицательный знак зоны.

Кордиерит в шлифе встречается в виде неправильных зерен размером 0,4–0,5 мм. Содержание в породе

1–2 %. Характерны низкие цвета интерференции от белого до серого. Спайность не характерна.

Местами прослеживается редкая вкрапленность пирита, в виде зерен размером 0,1–0,3 мм. Содержание в отдельных участках породы варьирует от 2–4 %. Иногда обособляются в жилки шириной 3–5 мм и распределены неравномерно.

Гидрогетит в шлифе образует прожилковые агрегаты желто-бурого цвета. Обладает изотропностью и низким показателем преломления ( $n = 2,0–2,1$ ). Содержание до 1 %.

Таким образом, месторождение Ормизан имеет очень сложное неоднородное зональное и зонально-блоковое строение. Изучаемые кальцифиры месторождения Ормизан, характеризуются индивидуальными текстурно-структурными особенностями и набором минеральных видов.

В кальцифирах зонального участка в основном прослеживаются тонко-мелкозернистые структуры, кальцифиры зонально-блокового участка характеризуются сред-

не-крупнозернистыми структурами. Текстура кальцифиров в основном массивная, однородная местами вкрапленная.

Кальцифиры месторождения Ормизан отличаются по содержанию второстепенных, вторичных и аксессуарных минералов.

Для зонального участка месторождения характерны следующие минералы: кальцит, графит, волластонит, флогопит, моноклинный пироксен, ромбический пи-

роксен, кварц, пирит, корунд. Для зонально-блокового участка: кальцит, амфибол, гранат, везувиан, моноклинный пироксен, клиноциозит, эпидот, сфен, апатит, кордиерит, пирит, гидрогетит. Наиболее разнообразный минеральный состав имеют кальцифиры зонально-блокового участка месторождения Ормизан. В целом в кальцифирах месторождения Ормизан преобладают кальциевые силикаты и алюмосиликаты.

#### Литература:

1. Лодочников, В. Н. Главнейшие породообразующие минералы / В. Н. Лодочников — М.: Недра, 1974. — 248 с.
2. Месторождение благородного корунда Ормизан. Отчет Южно-Киргизской геологоразведочной экспедицией / Южно-Киргизская геологоразведочная экспедиция. В. М. Попов. — Ош, 1997. — 120 с.
3. Сазонов, А. М. Петрография и петрология метаморфических и метасоматических пород: Учеб. пособ. / А. М. Сазонов. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. — 324 с.

## ЭКОЛОГИЯ

### Определение ЛД<sub>50</sub> некоторых тяжелых металлов на гидробионтах Каспийского моря

Кулиев Джамиль Афик оглы, докторант  
Бакинский Государственный Университет

Мирзоев Герай Сурхай оглы, кандидат биологических наук, доцент  
Институт зоологии НАНА (г. Баку)

Шукурова Айгюн Баба кызы магистр  
Бакинский Государственный Университет

Данная работа посвящена определению летальных доз (ЛД<sub>50</sub>) некоторых металлов (кадмия и ртути) на гидробионтах Каспийского моря. В качестве тест материалов были использованы морские ракообразные *Pontogammarus maeticus* и морские моллюски *Mytilaster lineatus*.

**Ключевые слова:** Каспийское море, летальная концентрация, летальная доза, токсичность, кадмий, ртуть, *Pontogammarus maeticus*, *Mytilaster lineatus*.

#### Введение

Как известно, в воды Каспия, наряду с органическими углеводородами, также попадают тяжелые и переходные металлы [1-4]. Большая их часть попадает в морскую воду со сточными водами, речным стоком и в результате процессов нефтедобычи. Часть металлов, попавшая в море, равномерно рассеивается в толще воды, другая их часть распределяется в донных осадках, в результате чего металлы становятся составной частью донных грунтов.

В настоящее время проводится ряд исследований, включающих в себя сезонные и годовые мониторинги территории Каспийского моря [5-10]. В результате таких мониторингов, накапливается много информации о концентрации различных металлов в донных отложениях Каспия. Но при всей своей информативности, химический анализ всего лишь определяет уровень загрязненности определенной территории различными металлами, но при этом он не несет в себе никакой информации о влиянии той или иной концентрации различных металлов на морские гидробионты.

Для того чтобы ответить на вопрос, как влияет различная концентрация тяжелых и переходных металлов на морские гидробионты, обитающие, главным образом, на границе раздела двух фаз (придонная вода — донные отложения), нами были проведены токсикологические тесты по выявлению летальной токсичной концентрации металлов на двух разных организмах: ракообразных — *Pontogammarus maeticus* и моллюсках — *Mytilaster lineatus*.

#### Материалы и методы

Организмы для проведения анализа  
Для проведения анализов были выбраны различные типы придонных обитателей Каспийского моря:

В качестве представителей ракообразных был взят:

Тип — *Arthropoda*

Класс — *Crustacea*

Отряд — *Amphipoda*

Семейство — *Gammaridae*

Род — *Niphargoides*

Подрод — *Pontogammarus*

Вид — *Pontogammarus maeticus*

В качестве представителей моллюсков был взят:

Тип — *Mollusca*

Класс — *Bivalvia*

Отряд — *Gastrotriteia*

Семейство — *Mytilidae*

Род — *Mytilastes*

Вид — *Mytilaster lineatus*

Выбор данных организмов был обусловлен тем, что они являются типичными представителями фауны Каспийского моря, обитающих на границе раздела двух фаз: придонная вода — донные отложения. Животные были отобраны с чистых участков прибрежной зоны Каспийского моря, близ поселков Пираллахи и Нардаран Апшеронского полуострова (Республика Азербайджан). По прибытии в

лабораторию, тестовые организмы были отсеяны от естественных донных отложений для дальнейшей оценки их физического состояния и идентификации вида. Перед проведением анализов, в целях акклиматизации, животные выдерживались при постоянной температуре (20°C) в аквариумах, засыпанных просеянным грунтом (высота слоя 2 см) и заполненных отфильтрованной морской водой.

### Вода для проведения анализа

Морская вода, используемая для проведения анализа, была подвергнута ультрафиолетовой обработке, отфильтрована через 1-мкм мембранный фильтр и предварительно проаэрирована. После обработки, в целях контроля качества, морская вода была подвергнута лабораторному анализу. Результаты химического, биохимического и физико-химического анализа представлены в таблице 1.

По данным лабораторных испытаний, был сделан вывод, что данная вода может быть использована для проведения токсикологических тестов [11].

### Грунт для проведения анализа

Грунт для проведения анализа также был собран с участка, близкого или схожего по характеристикам с

участком сбора тестовых организмов. Для проведения анализа собирался только верхний слой грунта мощностью в 2-4 см. По прибытии в лабораторию, грунт был просеян через 2-мм сито для удаления присутствующих там бентосных организмов, которые могли бы повлиять на результаты исследований, и промыт морской водой. Далее для доказательства того, что выбранные тестовые организмы имеют удовлетворительный уровень выживаемости в данном грунте, тестовые организмы были помещены в аквариум с собранным грунтом и морской водой на 10 дней. Уровень выживаемости составил более 96%, что является показателем того, что грунт может быть использован для проведения токсикологических тестов.

### Методика проведения анализа

Для проведения анализа [12-14], были взяты 1000 мл стеклянные стаканы с градуированной шкалой. В каждый стакан было добавлено по 200-300 г тщательно гомогенизированного грунта для образования слоя глубиной в 2 см. Далее в стакан, до отметки 800 мл, приливали морскую воду, содержащую определенную концентрацию тяжелых металлов. Грунт с водой перемешивался и оставался далее нетронутым в течение одного часа для осаждения взболтанного грунта на дно стакана. После заполнения сосудов тестовыми материалами, каждый стакан располагался

Таблица 1. Результаты лабораторного анализа морской воды используемой для проведения токсикологических тестов

Параметр	Единица измерения	Результаты анализа
pH	pH	8.0
Редокс потенциал	mV	-73.0
Растворенный кислород	%	95
Соленость	‰	11.5
Электропроводимость	mS/cm	19.3
Мутность	NTU	1.79
Биологическое потребление кислорода	мг/л	<0.5
Химическое потребление кислорода	мг/л	<4
Нитриты как NO <sub>2</sub> -N	мкг/л	1.02
Нитраты как NO <sub>2+3</sub> -N	мкг/л	17.8
Аммоний как NH <sub>4</sub> -N	мкг/л	10.2
Фосфаты как PO <sub>4</sub> -P	мкг/л	98.1
Силикаты как SiO <sub>2</sub> -Si	мкг/л	120
Медь	мкг/л	0.7
Кадмий	мкг/л	<1
Свинец	мкг/л	2.0
Цинк	мкг/л	3.2
Ртуть	мкг/л	0.2
Нефтяные углеводороды	мкг/л	<20
Общие углеводороды	мкг/л	<20
Σ-Полиароматические углеводороды	мкг/л	<0.01
Σ2-6 Циклические алкилированные углеводороды	мкг/л	<0.01
Фенолы	мкг/л	<0.04



на участке тестирования таким образом, чтобы избежать встречного загрязнения между образцами. Когда все тестовые сосуды были подготовлены и расположены по своим местам, сосуды закрывались крышками и снабжались пипетками для аэрации. Аэрация продолжалась в течение 16 часов перед добавлением испытуемых животных в сосуды.

**Добавление тестовых животных**

Перед добавлением тестовых организмов в сосуды, они заранее были перенесены из аквариумов в 100 мл стаканы с морской водой в количестве 10 штук на 1 стакан и оставлены для акклиматизации на 24 часа. По истечении 24 часов, тестовые организмы были добавлены в каждый стакан и оставлены в закрытом помещении (СТ Room) на определенное время при постоянной температуре 20°C.

**Проведение токсикологического теста**

Данный токсикологический тест проводился с использованием двух металлов кадмия Cd и ртути Hg на бентосных организмах *Pontogammarus maeticus* и *Mytilaster lineatus*. Тест состоял из 2 частей.

1) Нахождение интервала рабочей зоны концентрации для Cd и Hg.

2) Определение летальной дозы ЛД<sub>50</sub> для Cd и Hg.

Для выявления повторяемости анализа, каждая концентрация бралась в 4 дубликатах.

Для исключения влияния различных факторов на ход анализа, холостые пробы также были взяты в 4-х дубли-

катах. Детальная информация об исследуемых концентрациях представлена в таблице 2.

Для приготовления растворов металлов указанных концентраций, использовались готовые растворы нитратов данных металлов CertiPUR фирмы MERCK.

**Тест 1. Нахождение интервала рабочей зоны концентрации для Cd и Hg**

Среднее значение результатов полученных по выявлению интервала рабочих концентраций представлены в таблицах 3-4

По результатам первого теста по выявлению интервала рабочей зоны концентраций видно, что, во всех случаях, растворы металлов Cd и Hg в количествах от 100 до 1000 мг/л являются летальными для *Pontogammarus maeticus* и *Mytilaster lineatus*, а концентрации ниже 0.001 не являются опасными для данных организмов. Следовательно, для установления летальной дозы, необходимо брать растворы в интервале концентраций от 0.001 до 10 мг/л.

**Тест 2. Нахождение летальной концентрации Cd и Hg для бентосных организмов *Pontogammarus maeticus* и *Mytilaster lineatus***

Для проведения данного теста была использована четвертично логарифмическая шкала как основа для приготовления растворов металлов различной концентрации. Данные представлены в таблице 5

Таблица 2. Стандартные растворы Cd и Hg использованные в тесте по нахождению интервала рабочей зоны концентраций

Металл	Концентрация мг/л	Тест организм	Кол-во дубликатов	Металл	Концентрация мг/л	Тест организм	Кол-во дубликатов
Cd	1000	<i>Pontogammarus maeticus</i>	4	Hg	1000	<i>Pontogammarus maeticus</i>	4
	100				100		
	10				10		
	1				1		
	0.1				0.1		
	0.01				0.01		
	0.001				0.001		
	0.0001				0.0001		
	(холостая проба)				(холостая проба)		
Cd	1000	<i>Mytilaster lineatus</i> .	4	Hg	1000	<i>Mytilaster lineatus</i> .	4
	100				100		
	10				10		
	1				1		
	0.1				0.1		
	0.01				0.01		
	0.001				0.001		
	0.0001				0.0001		
	(холостая проба)				(холостая проба)		

Таблица 3. Результаты анализа по выявлению рабочей зоны концентраций для Cd

Cd мг/л	У/Ж*	Тест организм	Cd мг/л	У/Ж*	Тест организм
1000	1.00	<i>Pontogammarus maeticus</i>	1000	1.00	<i>Mytilaster lineatus.</i>
100	1.00		100	1.00	
10	1.00		10	0.70	
1	0.60		1	0.60	
0.1	0.30		0.1	0.43	
0.01	0.20		0.01	0.20	
0.001	0.10		0.001	0.00	
0.0001	0.00		0.0001	0.00	

Таблица 4. Результаты анализа по выявлению рабочей зоны концентраций для Hg

Hg мг/л	У/Ж*	Тест организм	Hg мг/л	У/Ж*	Тест организм
1000	1.00	<i>Pontogammarus maeticus</i>	1000	1.00	<i>Mytilaster lineatus.</i>
100	1.00		100	1.00	
10	1.00		10	1.00	
1	0.90		1	1.00	
0.1	0.80		0.1	0.80	
0.01	0.30		0.01	0.20	
0.001	0.10		0.001	0.09	
0.0001	0.00		0.0001	0.00	

\*Отношение умерших животных к общему количеству добавленных животных.

Таблица 5. Растворы Cd и Hg различной концентрации использованных для проведения тестов по выявлению летальной дозы на *Pontogammarus maeticus* и *Mytilaster lineatus*.

Cd мг/л	Тест организмы	Hg мг/л	Тест организм
10	<i>Pontogammarus maeticus,</i> <i>Mytilaster lineatus.</i>	10	<i>Pontogammarus maeticus,</i> <i>Mytilaster lineatus.</i>
5.6		5.6	
1		1	
0.56		0.56	
0.1		0.1	
0.056		0.056	
0.001		0.001	

### Анализ данных

Тесты проводились в течение 96 часов, с обязательным соблюдением следующих критериев: рН—7.5-8.5, растворенный кислород >90%, температура 20±2°C, соленость 12± 2‰.

Расчеты по определению летальной концентрации проводились по методу «Moving Average-angle method».

Результаты исследований показали, что для морских ракообразных *Pontogammarus maeticus* значение  $LD_{50}(Hg) = 0.024$  мг/л (мин-0.01, макс-0.05),  $LD_{50}(Cd) = 0.28$  мг/л (мин-0.09, макс-0.75).

Для морских моллюсков *Mytilaster lineatus*  $LD_{50}(Hg) = 0.015$  мг/л (мин-0.009, макс-0.04),  $LD_{50}(Cd) = 0.52$  мг/л (мин-0.12, макс-1.22).

### Литература:

1. Гаврилов В.П. Экологические проблемы Каспийского моря // Труды РГУ Нефти и Газа имени И.М. Губкина, 2011, №4 (265), с. 37-45.
2. Каспийское море. Состояние окружающей среды. 2011 // Доклад временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря и бюро управления и координации проекта «КАСПЭКО», 2010.
3. Ежегодные гидрохимические данные о качестве вод Каспийского моря а 1978-1995 гг., Азкомгидромет, Баку.
4. Korshenko A. N. and Gul A. G. "Pollution of the Caspian Sea," in The Caspian Sea Environment, Ed. by A. G. Kostianov and A. N. Kosarev, Berlin, Springer-Verlag, 2005, pp. 109–142.

5. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. с.420
6. А.Г. Касымов, Экология Каспийского озера, Институт зоологии АН АР, Баку, 1994
7. Касымов.А.Г., Софиев. З.П., Закономерности распределения гидрохимических элементов в западном побережье среднего и южного Каспия. Изд-во АН Азерб. ССР 1967.с.3-19.
8. Каспийское море, состояние окружающей среды. Доклад временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря и бюро управления и координации проекта «КАСПЭКО»
9. Блатов А. С., Косарев А. Н. Течение Каспийского моря. — кн. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. М. Наука, 1986
10. Бруевич С.В. Гидрохимия Среднего и Южного Каспия. /Тр. комиссии по комплексному изучению Каспийского моря. М. — 1937. — Вып. 4. с.350.
11. APHA-AWWA-WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th edn. 1995.
12. USEP, Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms, 5th edn. 2002.
13. ASTM, Standard guide for conducting 10-day static sediment toxicity tests with marine and estuarine amphipods. ASTM E 1367-90. 1990.
14. OSPAR. Protocols on Methods for the Testing of Chemicals Used in the Offshore Oil Industry. 2005

## Взаимодействие экологии и экономики на территории Тюменской области

Попельников Андрей Игоревич, аспирант  
Государственный аграрный университет Северного Зауралья (г. Тюмень)

**Ключевые слова:** экономика, экология, взаимосвязь, Тюменская область

В настоящее время промышленность и сельское хозяйство в Тюменской области развивается достаточно большими темпами. Поэтому не стоит забывать и о негативном влиянии сельскохозяйственной промышленности и других сфер производства на окружающую среду. Ведь без экологически чистых территорий области, экономика теряет смысл существования, т. к. Экономическое развитие, диктуемое потребностями быстро возрастающего населения области, в условиях современных ресурсоемких технологий приводит к изменению ее облика и причиняет невосполнимый ущерб биосфере.

Показать взаимосвязь двух важных составляющих современного общества экономики и экологии на примере различных сфер Тюменской области, в частности аграрного сектора.

### Задачи:

1. Изучить современное экономическое состояние Тюменской области
2. Определить основные экологические показатели природного состояния региона
3. Проанализировать взаимосвязь экономики и экологии
4. Предложить пути решения

### Современное экономическое состояние Тюменской области

Тюменская область является на сегодняшний день одним из самых стабильных регионов Российской Феде-

рации. Экономический потенциал Тюменской области составляет взаимосвязь экономик трех субъектов, с наиболее развитой нефтяной, газовой и лесной промышленностью, сельским хозяйством и машиностроением. [1, с.123]

В области значительное развитие получила электроэнергетика, полностью обеспечивающая потребности области и передающая энергию в другие регионы.

В Тюменской области развито сельское хозяйство. Площадь сельхозугодий составляет 3352,2 тыс.км<sup>2</sup>, площадь пашни — 1632,5 тыс. км<sup>2</sup>. Сельскохозяйственные угодья составляют 21 % земельного фонда на территории региона.

В регионе развиты все основные виды транспорта. Действует пассажирское и грузовое авиасообщение со многими городами России и зарубежными странами.

### Экологическая ситуация в Тюменской области

Экологическая ситуация в области формируется под влиянием двух основных факторов. Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывает народнохозяйственный комплекс самой области — промышленность, транспорт, сельское хозяйство, а также население.

Кроме того, Тюменская область испытывает негативное воздействие и со стороны экологически неблагоприятных соседних регионов: Урала, Казахстана, юга Западной Сибири.

В сельском хозяйстве отрицательное воздействие на окружающую среду проявляется в загрязнении земель

и вод пестицидами, минеральными удобрениями, отходами животноводческих комплексов. В первую очередь она касается утилизации токсичных отходов I класса опасности — пришедших в негодность химических средств защиты растений, которых по отчетным данным в 2013 году в южной зоне области накоплено более 150 тонн. [3, с. 211]

Сложность стоящей проблемы усугубляется отсутствием соответствующих технологий и производств по их утилизации. Проблема является особо острой еще и потому, что хранение этих ядохимикатов затруднено, большинство складов не отвечают санитарно-гигиеническим и экологическим нормам.

### **Проанализировать взаимосвязь экономики и экологии**

Как же могут взаимодействовать экономика и экология? На основе экономичного использования природных ресурсов, принципа устойчивого развития и экологизации экономики.

В настоящее время, очевидно, что неограниченных ресурсов нет. Встает проблема согласования потребностей человека в природных ресурсах с требованиями рационального их использования. Вот какие возможности реально предлагает экономика.

- 1) Использование вторичного сырья, регенерация — переработка отходов производства и мусора.
- 2) Обработка сточных вод.
- 3) Рекультивация промышленных территорий
- 4) Использование новых источников энергии. [4]

Еще одним способом экономического использования ресурсов является совершенствование технологии. С одной стороны, продление службы товаров за счет улучшения их качества позволит существенно сэкономить материалы и природные ресурсы.

В целом, рациональное использование природных ресурсов подразумевает пересмотр традиционных принципов производства, размещения предприятий, разработки технологии, расчета затрат, иными словами — системный подход, основанный на экологизации экономического развития.

### **Литература:**

1. Глазырина, И. П. Природный капитал в экономике переходного периода. 123 с.
2. Урсул, А. Д., Демидов Ф. Д. Устойчивое социоприродное развитие: Учебное пособие. М.: Изд-во РАГС, 2006. — 330 с.
3. Шимова, О. С., Соколовский Н. К. Экономика природопользования: Учеб. Пособие. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 211 с.
4. <http://www.tyumen-region.ru/information/>
5. <http://tyumedia.ru/125028.html>

Итак, экономический подход к экологическим проблемам подразумевает, что при оценке рациональности производственного процесса необходимо принимать во внимание как вред, наносимый природе, так и расходы общества на его устранение.

Взаимодействие экономики и экологии должно быть направлено на достижение главной цели — обеспечения благоприятной среды обитания для всего общества.

### **Пути решения**

При решении экономических и экологических проблем необходимо учитывать их взаимосвязь, т. к. загрязнение окружающей среды отходами производства и потребления приводит к уменьшению земель с-х назначения, а также требует огромных затрат на хранение, захоронение, уничтожение отходов и т. д.

Если привести пример пути решения взаимосвязи экологии и экономики, то следует рассказать о биогазовых установках, перевода автомобильного транспорта предприятий на газовое топливо и приобретении улучшенных практически безотходных технологий, благодаря этим установкам и технологиям, мы получим экологически чистые удобрения, уменьшим затраты на покупку электроэнергии, произойдет снижение негативного влияния на окружающую среду, утилизируем отходы и улучшим экологическую обстановку в зонах производства.

Также произойдет получение прибыли от продажи биоудобрения и экономии на тепло- и электроснабжении, получение топлива для автомобилей.

### **Заключение**

В заключении хочется сказать, что экология и экономика в Тюменской области действительно взаимосвязаны. Мы должны жить в экологически чистых городах, сельских поселениях при производстве различных продуктов для обеспечения жизнедеятельности, и чтобы наша экономика процветала. Все зависит от нас, от нашего желания помочь природе и самим себе.

## Сезонная динамика численности жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесных биоценозов Мордовского заповедника. Сообщение 1. Род *Carabus*

Ручин Александр Борисович, доктор биологических наук, доцент;  
Алексеев Сергей Константинович, кандидат биологических наук;  
Артаев Олег Николаевич, кандидат биологических наук  
Мордовский государственный природный заповедник имени П. Г. Сидовича (г. Саранск)

*Исследована сезонная динамика активности шести видов жужелиц рода Carabus в различных типах леса Мордовского заповедника. Зафиксированы в основном весенние пики численности для большинства видов, кроме Carabus glabratus и Carabus hortensis.*

**Ключевые слова:** жужелицы, Carabidae, Carabus, леса, сезонная активность, численность, Мордовия, фауна, Мордовский заповедник.

Жуки семейства жужелиц (Coleoptera, Carabidae) играют существенную роль в биоценозах как энтомофаги, регулирующие численность наземных беспозвоночных, и считаются хозяйственно полезными: и имаго, и личинки уничтожают некоторых вредителей лесного и сельского хозяйства, ограничивая их численность. В лесах Мордовского заповедника согласно последним сведениям обитает не менее 200 видов жужелиц (Ручин и др., 2009; Егоров, Ручин, 2012, 2013). Различные аспекты сезонной динамики активности жужелиц привлекают внимание исследователей, поскольку эти насекомые являются удобным объектом для экологического мониторинга вследствие многочисленности, чуткой реакции на изменение условий обитания, а также сравнительной легкости сбора и учета (Феокистов, Душенков, 1982; Грюнталь, 1988; Шарова, Денисова, 1997; Филиппов, 2006). В цикле статей, состоящем из трех сообщений, мы рассмотрим динамику численности некоторых видов жужелиц в лесных биотопах Мордовского заповедника.

Сбор энтомологического материала проводился с использованием ловушек Барбера на территории Мордовского заповедника в различных биотопах. В качестве почвенных ловушек использовались пластиковые стаканы объемом 0,5 л с диаметром ловчего отверстия 87 мм, в качестве фиксатора — 4 %-ый раствор формалина. В каждом биоценозе действовало 10 ловушек, которые устанавливались в одну линию с расстоянием между ними 2–3 м. Ловушки действовали с первой декады мая до конца июля. Описание биотопов представлено ниже.

**Квартала 358/383.** Сосновый лес на песчаных дюнах. Средний возраст деревьев — 40–60 лет. Подлесок практически не развит. Встречаются единичные кусты рябины обыкновенной. Немногочисленны ракитник русский и дрок красильный. Травянистый ярус развит слабо, включает зеленые мхи плевроций Шребера и дикранум многоножковый, единичные растения ортилии однобокой, марьянника лугового, ожики волосистой. Есть участки, покрытые хвоей и свободные от растений. Грунт песчаный.

**Квартал 19.** Смешанный лес. В древостое доминируют липа и осина. В подлеске встречаются вязы гладкий и шершавый, клен остролистный, единично — дуб черешчатый и ель европейская. В травянистом ярусе доминант — сныть обыкновенная. Также отмечены осока волосистая, пролесник европейский, медуница неясная.

**Квартал 408.** Черноольховое болото, расположенное в долине р. Пушты. Весной затапливается тальми водами. В древостое доминирует ольха черная. Встречаются также вяз гладкий и шершавый. В подлеске немногочисленные кусты черёмухи обыкновенной. Травянистый покров представлен гигрофитными болонными и водно-болотными видами. Доминируют таволга вязолистная, тростник южный. Также отмечены осоки пузырчатая, речная, дернистая и вздутая, сабельник болотный, наумбургия кистецветная, подмаренник болотный, ирис ложноирисовый.

**Квартал 59.** Хвойный лес с преобладанием ели (ельник-черничник). Произрастает в сыром месте, где в напочвенном покрове произрастает мох сфагнум. В травяно-кустарничковом ярусе — обширные заросли черники с примесью брусники. В напочвенном покрове кроме сфагнума, в более сухих местах отмечены отдельные куртины мхи плевроций Шребера, гилокомниум блестящий и дикранум многоножковый. Подлесок развит слабо.

В лесах Мордовского заповедника выявлено 14 представителей рода *Carabus* (Ручин и др., 2009; Егоров, Ручин, 2012, 2013). Однако только на шести из них удалось проследить динамику сезонной активности в 4-х типах леса одновременно.

*Carabus arcensis* — транспалеарктический лесной вид с весенним типом размножения. Для этого вида пик активности во всех биотопах приходился на май и только смешанном лесу наблюдали еще один пик в июле. *C. hortensis* — осенний вид с личиночной и имагинальной диапаузой. Для имаго характерен мультисезонный тип активности. Молодые жуки вылупляются с июня по август, осенью они активны, но размножаются только на следующий год. Как видно из рис. 1, значительное увеличение

численности наблюдалось в двух биотопах: смешанном лесу и в черноольшанике. В то же время для соснового леса на песчаных дюнах были характерны 2 пика активности, а в ельнике-черничнике численность также увеличивалась к осени, но не так заметно как в первых двух случаях.

*C. nemoralis* — европейский мезофильный вид. Обитает обычно в садах, парках, скверах урболандшафтов, в островных вторичных лесах. В европейской части России является индикатором сильных антропогенных изменений лесных ценозов. Практически не встречается в коренных, ненарушенных лесах (Алексеев и др., 2003).

Зимуют молодые жуки, которые размножаются на следующий год, встречается круглый год. Максимум активности приходился на май, затем численность постепенно снижалась к сентябрю.

*Carabus convexus* — европейско-сибирский лесной вид с весенним типом размножения. Наибольшей численности во всех биотопах достигал в мае, к осени его численность снижалась (рис. 1).

*C. glabratus* — летне-осенний вид с личиночной и имагинальной диапаузой. Для имаго характерен мультисезонный тип активности. Численность этого вида была наиболее значительна в смешанном лесу и увеличивалась

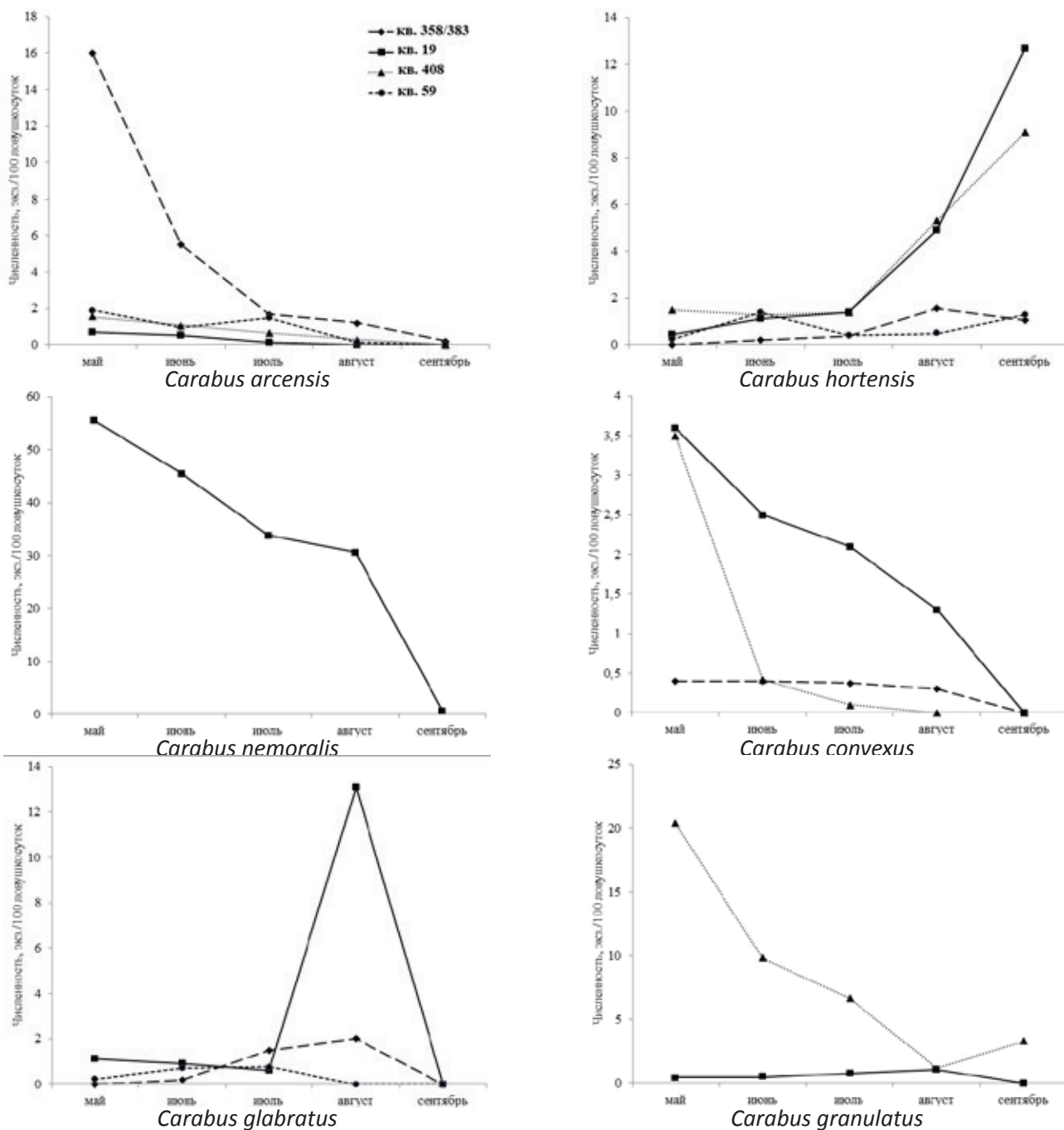


Рис. 1. Сезонная активность жуужелиц лесных биоценозов Мордовского заповедника в различных кварталах (биотопах)

она в августе (рис. 1). Меньшая численность, но при аналогичном пике сезонной активности, зарегистрирована в сосняке на песках, тогда как увеличение числа особей в ельнике-черничнике приходилось на июль.

*C. granulatus* — транспалеарктический бореальный, лесной вид с весенним и весенне-осенним типом размножения, предпочитающий леса с относительно богатыми и влажными почвами. В черноольшанике численность была наивысшей в мае, затем она постепенно снижалась

и несколько увеличилась в сентябре. Подъем численности в смешанном лесу в августе может быть связан с выходом жуков нового поколения (рис. 1).

Таким образом, для каждого вида жужелиц *Carabus* рода в различных типах леса Мордовского заповедника характерны свои циклы активности. В целом они схожи с сезонной активностью жужелиц этих видов, наблюдаемой в других регионах (Минец, 2007; Евсюков, 2010; Моролдоев, Хобракова, 2010; Хотько, 2010).

#### Литература:

1. Алексеев, С. К., Рогоуленко А. В., Перов В. В. Жужелицы родов *Carabus* и *Sychrus* (Coleoptera: Carabidae) березняков Угорского участка Национального парка «Угра» // Природа и история Поугорья (краеведческие очерки). Калуга: Издательство научной литературы Н. Ф. Бочкаревой, 2003. Вып. 3. с. 67–69.
2. Грюнталь, С. Ю. Сезонная динамика активности жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в лесах Подмосковья // Экология. 1988. №6. с. 37–45.
3. Евсюков, А. П. Мезофауна дельты Дона и ее изменения под влиянием антропогенных факторов. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2010. 24.
4. Егоров, Л. В., Ручин А. Б. Материалы к познанию колеоптерофауны Мордовского государственного природного заповедника // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П. Г. Смидовича. Вып. 10. Саранск; Пушта, 2012. с. 4–57.
5. Егоров, Л. В., Ручин А. Б. Материалы к познанию колеоптерофауны Мордовского государственного природного заповедника. Сообщение 2 // Труды Мордовского гос. заповедника имени П. Г. Смидовича. Вып. 11. Саранск; Пушта, 2013. с. 133–192.
6. Минец, М. Л. Сезонная динамика активности жужелиц рода *Carabus* L. (Coleoptera, Carabidae) хвойных лесов Беларуси // Вестник БГУ. Сер. 2. 2007. №3. с. 71–77.
7. Моролдоев, И. В., Хобракова Л. Ц. Сезонная динамика возрастной структуры массовых видов жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в лесостепи Витимского плоскогорья // Вестник ТГПУ. 2010. Вып. 3 (93). с. 27–31.
8. Ручин, А. Б., Егоров Л. В., Бугаев К. Е. Новые сведения о фауне жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) Мордовского заповедника // XXIII Любимцевские чтения. Ульяновск: УлГПУ, 2009. с. 409–416.
9. Феоктистов, В. Ф., Душенков В. М. Сезонная динамика активности жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в различных типах леса у южной границы тайги // Зоол. журнал. 1982. Т. 61. Вып. 2. с. 227–232.
10. Филиппов, Б. Ю. Сезонные аспекты жизненных циклов жужелиц *Carabus granulatus* и *C. glabratus* (Coleoptera, Carabidae) в северной тайге // Зоол. журнал. 2006. Т. 85. №9. с. 1076–1084.
11. Хотько, Э. И. Сезонная динамика активности жужелиц в лесопарках Минска // Вестник Мордовского университета. 2010. №3. с. 154–158.
12. Шарова, И. Х., Денисова М. И. Сезонная динамика лесных популяций жужелиц рода *Pterostichus* (Coleoptera, Carabidae) // Зоол. журнал. 1997. Т. 76. №4. с. 418–427.

## Углеводороды в поверхностных донных отложениях Каспийского моря вблизи Апшеронского полуострова

Садыхова Лейла Рзагулу кызы, докторант;  
Аминбеков Алигисмат Фейзулла оглу, кандидат химических наук, доцент  
Бакинский государственный университет (Азербайджан)

*Изучено распределение нефтяных углеводородов, n-алканов, изопреноидных алканов (пристан, фитан) в образцах донных отложений. Для количественного анализа использовался метод газовой хроматографии. В общей сложности были собраны 19 образцов с использованием дночерпателя модели Van Veen. Общее содержание нефтяных углеводородов менялось в пределах от 25.5 мкг/г до 287000 мкг/г в расчете на сухой вес. Концентрация хроматографически неразделенной комплексной части варьировала в диапазоне от 21.4 до 242000 мкг/г в пересчете на сухой вес, а n-алканов от 0.65 до 540 мкг/г в пересчете на сухой вес. Наиболее загрязненными были пробы, отобранные в районе Бакинской Бухты. Наличие высокой концентрации хроматографически неразделенной комплексной части, значение соотношения концентрации неразделенной комплексной части к концентрации разделенной, расчеты коэффициента нечетности указывают на значительное загрязнение изучаемого района нефтепродуктами.*

**Ключевые слова:** Каспийское море, донные отложения, нефтяные углеводороды, n-алканы, хроматография.

### 1. Введение

Многие годы прибрежная зона Апшеронского полуострова из-за возрастающей нагрузки с берега, а так же природных условий находится в напряженном с экологической точки зрения состоянии. Ежегодно только Азербайджан сбрасывает в Каспийское море более 500 млн м<sup>3</sup> сильно загрязненных и более 300 млн.м<sup>3</sup> нормативно очищенных вод, в результате чего в море поступает более 3 тыс. тонн нефтепродуктов, 25 тонн фенолов, 28 тыс. тонн взвешенных веществ, 520 тонн синтетических ПАВ и т. д. [1]. Основными источниками поступления антропогенных углеводородов в морскую среду считаются морская добыча нефти, перевозки нефти танкерами, аварийные разливы, промышленные и хозяйственные стоки населенных пунктов, расположенных вдоль прибрежной полосы, речной сток [2].

Из-за слабой растворимости и гидрофобных свойств углеводороды связываясь с взвешенными частицами, транспортируются с поверхности воды в толщу воды и оседают на морское дно [3]. Нефтяные углеводороды, содержащиеся в воздухе и морской воде достигают морского дна благодаря адсорбции и десорбции. В процессе седиментации происходит селективное извлечение высокомолекулярных углеводородов из растворенной формы взвесью путем сорбции. Донные отложения служат роль резервуара для углеводородов [4]. Процесс седиментации проходит в течение долгого времени, поэтому донные отложения могут служить индикаторами изменения экологического состояния со временем [5].

Загрязнение донных отложений нефтяными углеводородами является часто встречающимся явлением для прибрежных регионов и приводит к пагубным последствиям состояния экосистемы. Но при количественных опреде-

лениях углеводородов в рамках изучения экологических последствий нефтяных загрязнений морской среды надо принимать во внимание так же тот факт, что нефть является природным органическим соединением и при анализе углеводородов должна учитываться не только антропогенная точка зрения. Необходимо та же учитывать соотношения природных и антропогенных соединений. Известно, что присутствие углеводородов в морской среде может быть связано также процессами выделения их водными организмами [6].

Будучи индикаторами загрязнения окружающей среды, n-алканы и неразделенная сложная смесь очень часто используются для установления причины загрязнения морской среды. Для определения источника загрязнения изучаемого района часто используется соотношение концентрации нечетных n-алканов к концентрации четных n-алканов — коэффициент нечетности CPI (Carbon Preference Index) [7]. В случае, если значение CPI больше чем 6–10, то загрязнение представлено биогенными источниками. При CPI равном 1, загрязнение имеет петрогенную природу происхождения [8]. Одним из наиболее точных индикаторов петрогенного загрязнения донных отложений и воды является присутствие в образцах хроматографически неразделенной комплексной части UCM (Unresolved Complex Mixture). UCM представляет собой смесь комплексных изомеров и гомологов разветвленных и циклических углеводородов. Хроматографическая разрешающая способность капиллярной колонки не достаточна для разделения этих комплексных соединений [9]. Количество неидентифицируемых соединений в нефти, представляющих собой хроматографически неразделенную комплексную часть, может достигать до 250 000, что указывает на тот факт, что UCM является самой сложной из существующих на Земле ком-



плексных смесей органических соединений [10]. Однако, несмотря на очевидную связь с нефтяными источниками, наличие УСМ в диапазоне низких концентраций, может быть так же связано с бактериальным разложением естественных органических источников, таких как водорослевые отложения [11].

В нашей работе изучено распределение общего содержания Нефтяных Углеводородов (НУ), УСМ, n-алканов и изопреноидных соединений в образцах поверхностных донных отложений, собранных в Каспийском море вблизи Апшеронского полуострова.

## 2. Материалы и методы

### 2.1 Район исследования

С целью изучения закономерностей количественного распределения углеводов, в рамках научно-исследовательской программы в период с 2012 по 2013 г. нами в прибрежной территории Апшеронского полуострова проводился мониторинг состояния морской среды. Материалом исследования послужили донные отложения, отобранные вблизи Апшеронского полуострова с области Бакинской Бухты до западного берега Апшеронского Государственного Заповедника. Точки отбора проб были выбраны с учетом экологических параметров в этом районе.

Бакинская бухта находится на юге Апшеронского полуострова и является наиболее грязным районом всего Каспия. Этому способствует ограниченный водообмен с открытым морем, а так же сброс в течение долгих лет огромного объема городских отходов [12]. Вдоль береговой территории Апшеронского полуострова между Бакинской бухтой и Апшеронским Государственным Заповедником располагаются водоочистительная станция

и станция аэрации, с которых осуществляются сбросы городских сточных вод. Из-за существующего на этой территории кругового течения (Рисунок 2), возник интерес изучения динамики распределения поллютантов в данной акватории.

Во время мониторинга отобраны и исследованы 19 образцов донных отложений (Рисунок 1). Из них 16 образцов были собраны с точек, расположены на четырех разрезах. Разрезы протянулись от морского берега с глубинами в 0.5 метров в сторону центральной части моря с глубинами до 14 м. На каждом разрезе расположено 4 точки отбора образцов. 3 образца были собраны в районе Бакинской Бухты. Донные отложения отбирались с поверхности морского дна дночерпателем модели Van Weep в заранее очищенные органическим растворителем алюминевые контейнеры. Пробы были доставлены в лабораторию и заморожены при  $-20^{\circ}\text{C}$  для последующих анализов.

### 2.2 Экстракция и очистка образцов

Нами была проведена количественная оценка содержания НУ, УСМ и n-алканов. До начала экстракции в образцы донных отложений была добавлена смесь четырех соединений, используемых в качестве внутреннего стандарта. Образцы подверглись трижды экстракции метилен хлоридом на ультразвуковой бане в течение 30 минут каждый раз. Далее экстракты фильтровались в делительную воронку. Для избавления от воды в первый экстракт было добавлено 50 мл метанола, которая далее была отделена от органического слоя в делительной воронке очищенной деионизированной водой (100 мл), заранее добавленной в воронку. После разделения органическая часть была слита. Экстракты были объединены и скон-

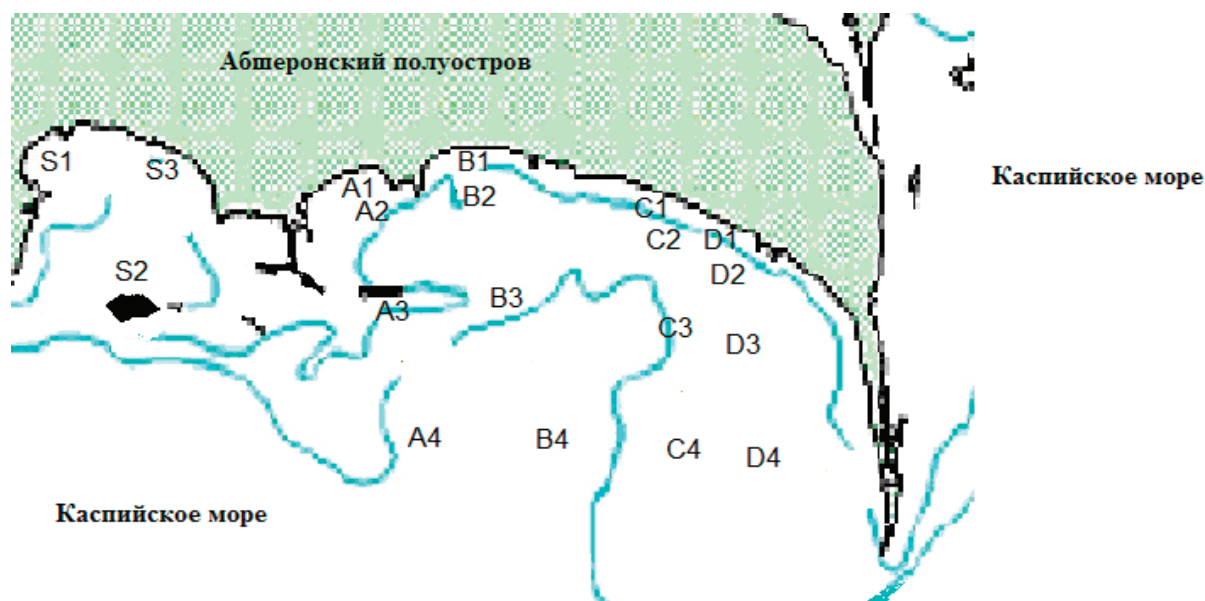


Рис. 1. Карта расположения точек отбора образцов донных отложений

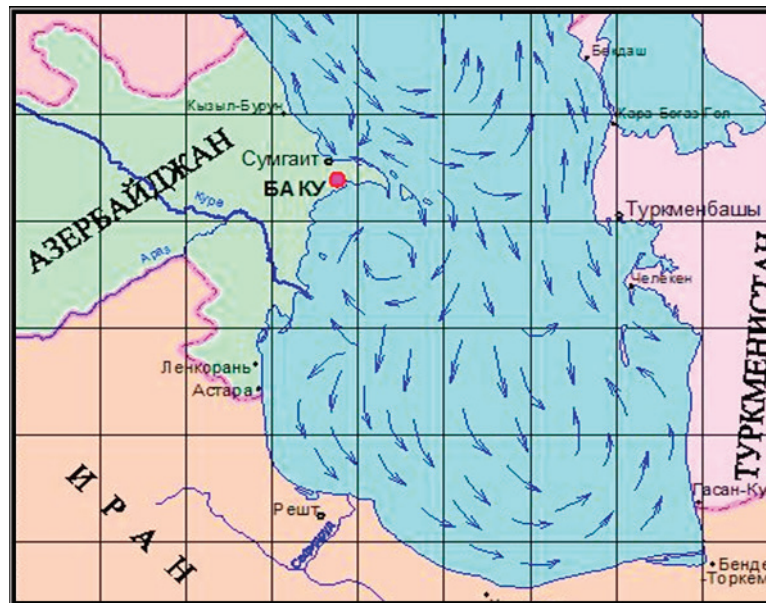


Рис. 2 Схема обобщенных течений в Каспийском море (Р. Маммадов, Институт Географии НАНА. Обобщенная схема поверхностных течений Каспийского моря, 2000–12–31)

центрированы с помощью ротарного испарителя при температуре 30°C. Концентрированные экстракты подверглись очистке колоночной хроматографией с использованием предварительно активированного силикагеля (Silica gel 60, 0.063–0.200 mm for column chromatography, Merck). После перенесения экстракта, в колонку было залито 35 мл элютанта. В качестве элютанта использовалась смесь пентан: дихлорметан. Очищенные экстракты были сконцентрированы в начале с помощью ротарного испарителя, далее под тонкой струей азота и перенесены в пробоотборники (1 мл). Для десульфуризации использовалась активированная медь.

Во время анализа образцов использовались растворители дихлорметан (Rathburn, Scotland), метанол (Promochem, LGC standards GmbH, Germany) и н-пентан (HiPerSolv for HPLC, BDH, England) с хроматографической степенью чистоты.

### 2.3 Аналитические методы

Для анализа очищенных и концентрированных экстрактов применялся метод газовой хроматографии. Анализы Нефтяных Углеводородов (НУ), неразделенной сложной смеси и н-алканов проводились с использованием Газового Хроматографа с Пламенно-Ионизационным Детектором ГХ-ПИД 6890 (Agilent, USA), оснащенный колонкой DB-1 (J & W Scientific, Agilent Technologies, USA). Спецификации колонки DB-1 следующие — диметилполисилоксановая капиллярная колонка, длина — 60 м, внутренний диаметр — 0.32 мм, толщина пленки — 0.25 мкм. В качестве газа-носителя использовался гелий. Ввод пробы проводился без деления потока. Программирование подъема температуры осуществлялось в следующей последовательности: 60°C на 1 мин, 120–300°C при 10°C/

мин на 30 мин, 300–330°C при 6°C/мин на 5 мин. Температура детектора 300°C. Вводимый объем экстракта 1 мкл.

Четыре соединения (гептаметилнонан, гексадекан, 1-хлороктадекан, свалан) использовались в качестве внутреннего стандарта для анализа углеводородов нефти, неразделенной сложной смеси и н-алканов. До начала анализов прибор был откалиброван на калибровочных растворах. Для приготовления калибровочных растворов в качестве стандартного образца использовалась смесь н-алканов (Florida TRPH Standard, Restek) с концентрацией каждого компонента в гексане 500 мг/л. Для контроля качества анализа использовались холостой и сертифицированный образцы (CRM, Oil in soil, VKI). Количественные данные были определены путем сравнения площади пика внутренних четырех стандартов с площадью пиков, представляющих интерес. Схема подготовки и анализа образцов на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором представлена на Рисунке 3.

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1 Нефтяные углеводороды и УСМ в донных отложениях

Результаты анализа представлены в Таблице 2. Концентрация нефтяных углеводородов в образцах менялась от 25.5 мкг/г до 287000 мкг/г в расчете на сухой вес с максимальным значением в образце S3. Согласно Коршенко и Гюль [13] в период с 1978–1994 концентрация нефтяных углеводородов в районе Бакинской Бухты менялась от 0.75 мг/г до 98.0 мг/г с тенденцией уменьшения. В нашей работе, как показано в Таблице 1, уровни содержания нефтяных углеводородов в образцах, собранных в районе Бакинской Бухты (станции S1, S2 и S3), отно-



Рис. 3. Схема подготовки и анализа образцов донных отложений на ГХ-ПИД

сительно высоки в сравнении с другими частями изученного района моря. Этому может способствовать повышение индустриальной активности в течение последних лет. Наибольшая концентрация нефтяных углеводородов обнаружена в образце S3, который отобран близко к береговой линии. В образцах, собранных с точек, расположенных по разрезам максимальная концентрация НУ наблюдается в А3, В3, С3 и D3.

В дополнение к хроматографически разделенным соединениям, во всех образцах присутствует неразделенная комплексная часть углеводородов (UCM), что можно наблюдать по ГХ хроматограммам (Рисунок 4). Концентрация UCM менялась от 21.4 до 242000 мкг/г в расчете на сухой вес, составляя 49.6 % — 92.4 % от общего содержания нефтяных углеводородов (Таблица 1). Максимальная концентрация UCM так же обнаружена в образце S3. Присутствие хроматографически неразделенной комплексной части указывает на загрязнение изучаемого района остатками деградированной нефти [14, 15]. Это доказывает, что нефть аккумулируется в донных отложениях и остается там на протяжении многих лет.

Концентрация хроматографически разделенной части (R) в образцах варьировала в пределах от 4.1 мкг/г до 45000 мкг/г. Для всех образцов было подсчитано соотношение концентрации неразделенной комплексной части к разделенной (U/R). Значение соотношения U/R используется в качестве показателя источника загрязнения. Источником загрязнения являются продукты нефтяного происхождения, в случае если соотношение  $U/R \geq 2$  согласно Симонейт [16] или  $U/R > 4$  согласно Мазурек и Симонейт [17]. В нашей работе значение соотношения U/R менялось в пределах от 1.0 до 12.2 (Таблица 2). При этом для 17-ти образцов соотношение  $U/R > 4$  с максимальным значением для образца А3; только в двух образцах S1 и D4 значение U/R было ниже 4 и составляло 2.7 и 1.0 соответственно.

### 2.1 Н-алканы и изопреноиды

н-Алканы были обнаружены только в образцах S1, S2, S3, C1, C2 и D1. Полученные результаты показывают распределение н-алканов от н-С10 до н-С30. Концентрация общих н-алканов меняется в пределах от 0.65

Таблица 1. Концентрация НУ, УСМ, n-алканов и изопреноидов в донных отложениях Каспийского моря, мкг/г в расчете на сухой вес

Образец	НУ	УСМ	%УСМ	R	U/R	∑ n-алканы	Pr/Ph	nC17/Pr	nC18/Ph	CPI
S 1	1560	1140	73.0	420	2.7	7.8	0.92	0.15	0.13	1.8
S 2	6350	5540	87.2	810	6.8	2.9	0.56	2.2	0.36	2.0
S 3	287000	242000	84.3	45000	5.4	540	1.1	0.02	0.03	2.0
A 1	1321	1179	89.2	142	8.3	-	-	-	-	-
A 2	368	330	89.7	37.9	8.7	-	-	-	-	-
A 3	1474	1363	92.4	111	12.2	-	-	-	-	-
A 4	1133	1039	91.7	94.4	11.0	-	-	-	-	-
B 1	458	411	89.8	46.7	8.8	-	-	-	-	-
B 2	291	264	90.5	27.6	9.6	-	-	-	-	-
B 3	770	691	89.8	78.6	8.8	-	-	-	-	-
B 4	649	575	88.5	74.4	7.7	-	-	-	-	-
C 1	40.7	36.5	89.6	4.2	8.7	0.65	0.85	0.82	0.69	1.5
C 2	28.2	23.4	83.0	4.8	4.9	0.69	0.94	0.12	0.11	1.6
C 3	1058	958	90.5	100	9.5	-	-	-	-	-
C 4	308	281	91.5	26.1	10.8	-	-	-	-	-
D 1	25.5	21.4	83.9	4.1	5.2	0.66	0.74	0.08	0.09	0.7
D 2	557	490	88.0	66.7	7.3	-	-	-	-	-
D 3	772	665	86.1	107	6.2	-	-	-	-	-
D 4	110	54.8	49.6	55.5	1.0	-	-	-	-	-

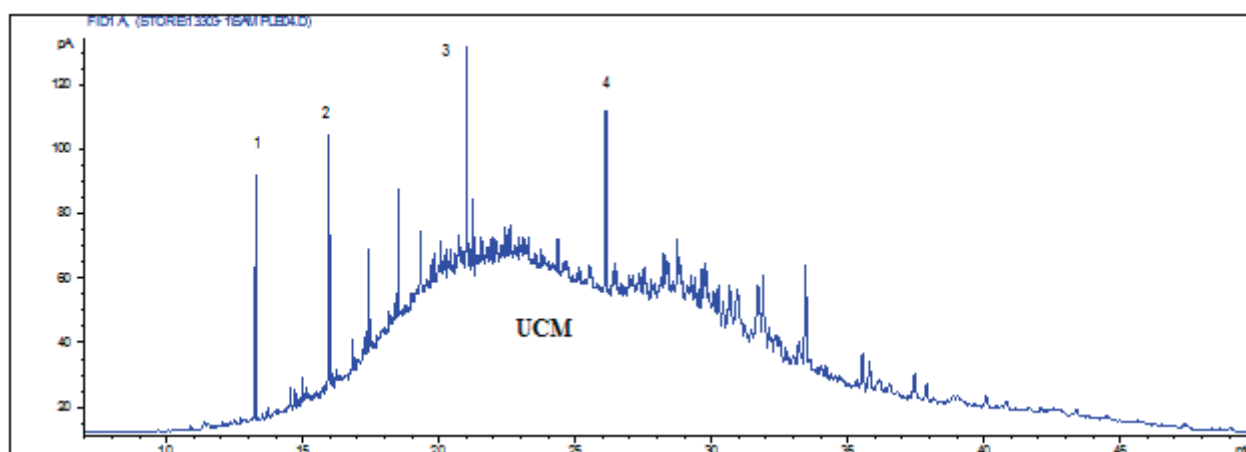


Рис 4. ГХ-ПВД хроматограмма образца A1. Индексация пиков: 1-Гептаметилнонан, 2-Гексадекан, 3-Хлороктадекан, 4 — Сквалан — пики внутренних стандартов

до 540 мкг/г в расчете на сухой вес (Таблица 1). Образец S3 содержит n-алканы нормального строения nC10-nC30 с наивысшей общей концентрацией 540 мкг/г (Таблица 1). В этих же образцах обнаружены изопреноидные пристан и фитан. Максимальная концентрация пристана и фитана определено в образце S3. Как известно При-

стан (Pr) (2,6,10,14-тетраметил пентадекан) и Фитан (Ph) (2,6,10,14-тетраметил гексадекан) являются наиболее распространенными изопреноидными соединениями, встречающимися в воде и донных отложениях. Изопреноиды называют реликтовыми углеводородами, а их присутствие используется в качестве индикатора условий

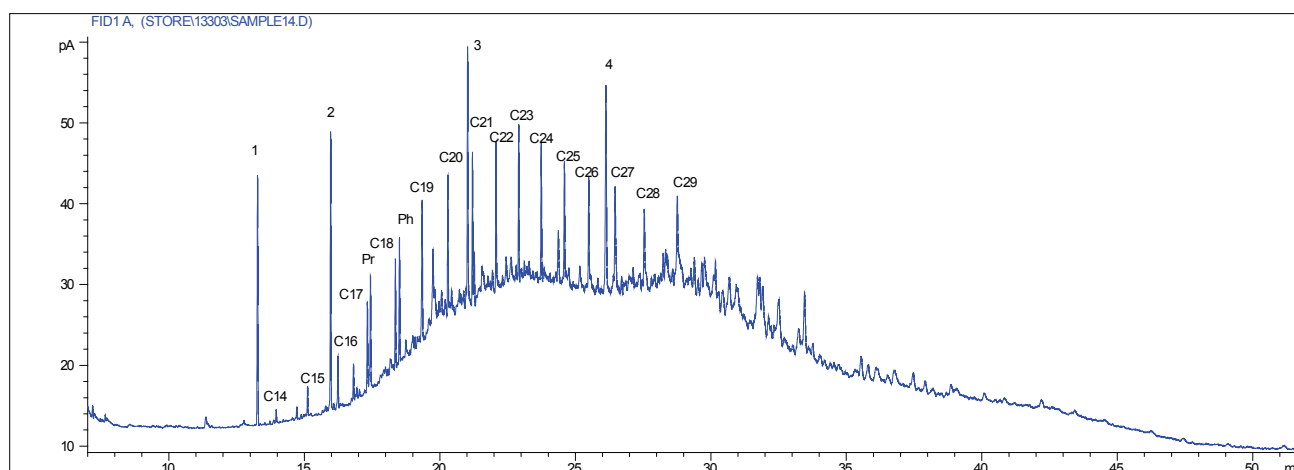


Рис. 5. ГХ-ПИД хроматограмма образца С1. Индексация пиков: 1 — Гептаметилнонан, 2 — Гексадекан, 3 — Хлороктадекан, 4 — Сквалан — пики внутренних стандартов

осадконакопления. Пристан и фитан являются доминирующими компонентами в сильно выветренной сырой нефти до тех пор пока они не деградируют [18]. Соотношение Пристан / Фитан (Pr/Ph) является одним из наиболее часто используемых параметров. В образцах S1, S3, C1, C2 и D1 соотношение Pr/Ph близка к 1, что подтверждает петрогенный источник загрязнения. В незагрязненных донных отложениях соотношение Pr/Ph выше, как правило, между 3 и 5 [19]. Для этих образцов рассчитаны также соотношения C17/Pr и C18/Ph, используемые в качестве показателей деградации углеводородов. Соотношения C17/Pr меняется от 0.02 до 2.2, C18/Ph от 0.03 до 0.69. Такие низкие значения соотношений указывают на тот факт, что с момента загрязнения прошло много времени и углеводороды успели деградировать.

Профиль хроматограмм указывает на относительно равномерное распределение между четным и нечетным числом атомов углерода без каких-либо преобладаний. Этот факт подтверждается так же значениями коэффициента нечетности CPI (0.7–2,0) (Таблица 2). Коэффициент нечетности был рассчитан согласно Gray и Evans [20]. Важный геохимический параметр CPI (характеризует зрелость органического вещества) — соотношение нечетных углеводородов к четным. Значения CPI еще раз доказывают петрогенное происхождение загрязнения в образцах S1, S3, C1, C2 и D1. Большое количество следов различных алканов разветвленного строения было обнаружено и в других образцах, но в связи с их низкой концентрацией, лежащей ниже чувствительности приборов, количественную характеристику их наличия провести не удалось. Расчеты отдельных фракций n-алканов показали, что доминирующей во всех образцах является фракция nC21-nC30.

Содержание поллютантов в донных отложениях зависит не только от глубины взятия образца, расстояния от берега, подводных течений, но во многом зависит от степени дисперсности грунта, т. е. фракционного состава донного отложения. Согласно имеющимся данным [21],

в южном Каспии концентрация нефтяных углеводородов в донных отложениях песочного типа менялась от гравелистых (0.01 мг/г) к пылеватым фракциям (0.26 мг/г). Такая же тенденция прослеживалась в донных отложениях глинистого типа. Так, концентрация НУ менялась от супесчаных (9.6 мг/г) к глинистым илам (12.3 мг/г). В нашей работе относительно высокие концентрации НУ наблюдается в образцах с большим содержанием ила+глины. Так, в образцах S1 с концентрацией НУ 1.56 мг/г содержание глина+ил составляет 35 %, в S2 (НУ 6.35 мг/г) глина+ил — 44 %, в S3 (НУ 287 мг/г) глина+ил — 17 %, в А3 (НУ 1.474 мг/г) глина+ил — 33 %, в А4 (НУ 1.133 мг/г) глина+ил — 39 %, в С3 (НУ 1.058 мг/г) глина+ил — 23 %, в D3 (НУ 0.772 мг/г) глина+ил — 28 %, в D4 (НУ 0.110 мг/г) глина+ил — 32 % (Таблица 3). Все образцы представлены в виде песка с размером частиц по шкале Wentworth от очень мелкозернистого до очень крупнозернистого.

#### 4. Заключение

Результаты исследований показали, что грунты на исследованной площади нельзя отнести к категории чистых. Содержание углеводородов в поверхностных слоях грунта в большей части изученного района Каспийского моря находится выше допустимого уровня. Это обусловлено сорбцией углеводородов антропогенного происхождения грубодисперсной взвесью. Существующие уровни концентрации НУ и UCM в грунтах изучаемого района обусловлены воздействием антропогенных источников загрязнения. Наличие UCM свидетельствует о нефтяном источнике загрязнения в изученных образцах. Рассчитанные соотношения Pr/Ph, близкой к 1, также свидетельствуют о антропогенном загрязнении петрогенного происхождения. Наиболее загрязненные донные осадки соответствуют участкам Бакинской бухты, что может быть связано индустриальной активностью.

Таблица 3. Фракционный состав донных отложений Каспийского моря, %

Образец	Средний диаметр, Х мкм	Ил/Глина (<63 мкм), %	Ил (63–3.9 мкм), %	Глина (<3.9 мкм), %	ΣФракции 4 мм–63 мкм, %	Тип донных отложений (Шкала Wentworth)
S 1	111	34.9	26.4	8.5	65.1	Очень мелкозернистый песок
S 2	1240	44.3	25.6	18.7	55.2	Очень крупнозернистый песок
S 3	940	16.6	10.3	6.4	83.2	Крупнозернистый песок
A1	740	0.60	0.18	0.42	99.3	Крупнозернистый песок
A2	609	1.90	0.82	1.08	98.1	Крупнозернистый песок
A3	199	32.8	18.9	13.9	65.4	Мелкозернистый песок
A 4	155	39.3	29.7	9.57	62.3	Мелкозернистый песок
B 1	165	6.64	5.51	1.13	93.4	Мелкозернистый песок
B2	564	3.68	0.34	3.34	96.3	Крупнозернистый песок
B 3	415	10.58	6.89	3.69	89.4	Среднезернистый песок
B 4	496	10.92	6.38	4.54	90.9	Среднезернистый песок
C 1	302	0.31	0.01	0.30	99.7	Среднезернистый песок
C 2	261	0.30	0.03	0.27	99.7	Среднезернистый песок
C 3	665	23.4	18.2	5.15	76.6	Крупнозернистый песок
C 4	602	6.87	0.19	6.68	93.1	Крупнозернистый песок
D1	241	0.25	0.01	0.24	99.6	Мелкозернистый песок
D 2	1452	11.24	6.62	4.62	89.0	Очень крупнозернистый песок
D 3	262	22.7	12.85	9.88	79.6	Среднезернистый песок
D 4	171	31.9	19.81	12.05	67.4	Мелкозернистый песок

## Литература:

1. Гаврилов, В. П. Экологические проблемы Каспийского моря // Труды РГУ Нефти и Газа имени И. М. Губкина, 2011, №4 (265), с. 37–45.
2. Каспийское море. Состояние окружающей среды. 2011 // Доклад временного Секретариата Рамочной конвенции по защите морской среды Каспийского моря и бюро управления и координации проекта «КАСПЭКО», 2010.
3. Santschi, P. H., Presley B. J., Wade T. L., Garcia-Romero B., Baskaran M. Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi River Delta, Galveston Bay and Tampa Bay sediment cores // Marine Environmental Research, 2001, Vol. 52, Iss. 1, pp. 51–79.
4. Michael, S., McLachlan G. C., Frank W. The influence of vertical sorbed phase transport on the fate of organic chemicals in surface soils // Environ. Sci. Technol., 2002, 36, pp. 4860-4867.
5. Van Metre P. C., Mahler B. J. Trends in hydrophobic organic contaminants in urban and reference lake sediments across the United States, 1970–2001 // Environmental Science and Technology, 2005, 39, pp. 5567–5574.
6. Minas, W., Gunkel W. Oil pollution in the North Sea — a microbiological point of view // Helgolander Meeresuntersuchungen, 1995, Vol.49, №1–4, pp. 143–158.
7. Ota vio L. G. Maioli, Kamila C. Rodrigues, Bastiaan A. Knoppers, Debora A. Azevedo Distribution and sources of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter in water from two Brazilian estuarine systems // Continental Shelf Research, 2011, 31, pp. 1116–1127.
8. Didyk, B. M., Simoneit B. R. T., Pezoa L. A., Riveros M. L., Flores A. A. Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization // Atmos. Environ., 2000, 34, pp. 1167–1179.

9. Gough, M. A., Rowland S. J. Characterization of unresolved complex mixtures of hydrocarbons in petroleum // *Nature*, 1990, 344, pp. 648–650.
10. Sutton, P. A., Lewis C. A., Rowland S. J. Isolated of individual hydrocarbons from the unresolved complex hydrocarbon mixture of a biodegraded crude oil using preparative capillary gas chromatography // *Organic Geochemistry*, 2005, 36, pp. 963–970.
11. Venkatesan, M. I. and Kaplan I. R. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan Outer Continental Shelf // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, Vol. 46, Iss. 11, pp. 2135–2149.
12. Ежегодные гидрохимические данные о качестве вод Каспийского моря а 1978–1995 гг., Азкомгидромет, Баку.
13. Korshenko, A. N. and Gul A. G. "Pollution of the Caspian Sea," in *The Caspian Sea Environment*, Ed. by A. G. Kostianoy and A. N. Kosarev, Berlin, Springer-Verlag, 2005, pp. 109–142.
14. Bouloubassi, I., Fillaux J., Saliot A., Hydrocarbons in Surface Sediment from the Changjiang (Yangtze River) Estuary, East China Sea // *Marine Pollution Bulletin*, 2001, Vol. 42, No. 12, pp. 1335–1346.
15. Readman, J. W., Fillmann G., Tolosa I., Bartocci J., Villeneuve J. P., Catinni C, Mee L. D. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea // *Marine Pollution Bulletin.*, 2002, 44, pp. 48–62.
16. Simoneit, B. R. T. Characterization of organic constituents in aerosols in relation to their origin and transport: a review // *Int J Environ Anal Chem*, 1986, 23, pp. 207–237.
17. Mazurek, M. A. and Simoneit B. R. T. Characterization of Biogenic and Petroleum-Derived Organic Matter in Aerosols over Remote, Rural and Urban Areas, In: L. H. Keith (Ed.), *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Air*, Ann Arbor Science/ Butterworth, Boston, 1984, pp. 353–370.
18. Moustafa, Y. Environmental assessment of petroleum contamination of Gamasa-Damiette Beaches // *Oriental journal of chemistry*, 2004, Vol. 20, No. 2, pp. 219–226.
19. Steinhauer, M. S. and Boehm P. D. The Composition and Distribution of Saturated and Aromatic Hydrocarbons in Nearshore Sediments, River Sediments and Coastal Peat of Alaskan Beaufort Sea: Implication for Detecting Anthropogenic Hydrocarbon Inputs // *Marine Environmental Research*, 1992, Vol. 33, No. 4, pp. 223–253.
20. Bray, E. E., Evans E. D. Distribution of n-parafins as a clue to recognition of source beds // *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1961, 22, pp. 2–15.
21. Ежегодные гидрохимические данные о качестве вод Каспийского моря за 1978–1992, Азкомгидромет, Баку.

# Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 19 (78) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметова Г. Д.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Авдеюк О. А.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Игнатова М. А.  
Каленский А. В.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенюшкин Н. С.  
Ткаченко И. Г.  
Яхина А. С.

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Игисинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
Ребезов М. Б. (Россия)  
Сорока Ю. Г. (Украина)  
Узаков Г. Н. (Узбекистан)  
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)  
Хоссейни А. (Иран)  
Шарипов А. К. (Казахстан)

**Художник:** Шишков Е. А.

**Верстка:** Голубцов М. В.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4