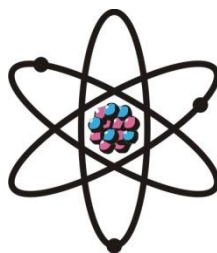


ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 3 (172)
2018 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Х.Х.Муминов – главный редактор, академик, доктор физико-математических наук, профессор; **Г.И.Кохирова** – зам.главного редактора, член-корреспондент, доктор физико-математических наук; **Н.Г.Сапожников** – ответственный секретарь; **Х.М.Ахмедов** – академик, доктор химических наук; **П.Б.Бабаджанов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **И.Н.Ганиев** – академик, доктор химических наук, профессор; **М.И.Илолов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.В.Кобулиев** – член-корреспондент, доктор технических наук, профессор; **Р.М.Марупов** – академик, доктор технических наук, профессор; **У.М.Мирсаидов** – академик, доктор химических наук, профессор; **С.Х.Негматуллаев** – академик, доктор технических наук; **С.О.Одинаев** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **Н.Р.Раджабов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **Ф.Рахими** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.Х.Рахмонов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.Д.Усманов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **А.Р.Файзиев** – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, профессор; **Д.Х.Халиков** – академик, доктор химических наук, профессор.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

М.Ш.Шабозов, Ф.М.Мадимарова. Среднеквадратическое наилучшее приближение с весом Чебышева некоторых классов функций двух переменных 7
П.А.Дадабоев. Оценка остатка усложненных квадратурных формул приближённого вычисления криволинейных интегралов первого рода на классах функций малой гладкости..... 19

ИНФОРМАТИКА

М.М.Фозилов, Т.Б.Чистякова, А.Н.Полосин. Программный комплекс для цифровой обработки изображений полимерных плёнок с помощью кроссплатформенного языка ImageScript 28

ФИЗИКА

Т.М.Алидодов, Х.Х.Мунинов. Методика определения и расчета внутреннего напряжения в активном слое гетероструктур GaInAsP/InP..... 36

Н.Султонов, А.Т.Акобиров, Р.Б.Хамрокулов, М.Г.Лукашевич, В.И.Головчук. Структура, морфология и электрические свойства пленок теллурида кадмия..... 42

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

И.И.Каландарбеков, Д.Н.Низомов, И.К.Каландарбеков. Численное построение спектров Фурье и реакций сейсмических воздействий..... 50

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Т.Б.Бобокалонов, С.М.Сафармамадов. Комплексообразование железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом..... 59

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.М.Хайдаров, Б.Б.Эшов, Б.Ш.Рахмонов, Ш.Х.Пирова, А.Бадалов. Закономерности изменения термодинамических характеристик интерметаллидов систем свинец – лантаниды цериевой подгруппы и их моделирование 66

Ш.Б.Назаров, Х.Э.Бобоев, А.Ш.Ахмадов, Ж.А.Мисратов, У.М.Мирсаидов. Физико-химические основы получения коагулянтов для очистки вод из алюмосиликатных руд Таджикистана..... 74

ФАРМАКОЛОГИЯ

З.Г.Сангов, Т.М.Салимов, К.Х.Хайдаров. Эмбриотоксичность и тератогенность 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина 80

ГЕОЛОГИЯ

М.С.Бахтиёри, Дж.Ш.Зияев. Состояние геологической изученности участка строительства Рогунского гидроузла..... 84

ЭКОЛОГИЯ

Х.Б.Бобоев, Ш.Б.Назаров, С.Ж.Иброхимов. Определение количества и состава биогаза, образующегося на полигоне твёрдых бытовых отходов города Душанбе .. 91

ТЕХНИКА

С.Салимджанов, М.В.Изатов. Вымываемость серицина и других веществ из коконов при автоматическом кокономотании 98

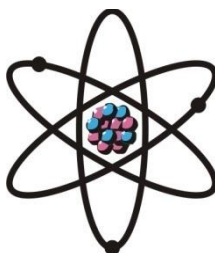
ПАМЯТИ УЧЕНОГО

С.У.Умаров (к 110-летию со дня рождения)..... 103

А.А.Адхамов (к 90-летию со дня рождения) 109

ШҮЪБАИ
ИЛМҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз моҳи
январӣ соли 1952
нашр мешавад



№ 3 (172)
с. 2018

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

Ҳ.Ҳ.Муминов – сармуҳаррир, академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Кохирова Г.И.** – муовини сармуҳаррир, узви вобаста, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Н.Г.Сапожников** – котиби масъул; **Ҳ.М.Аҳмедов** – академик, доктори илми химия; **П.Б.Бобочонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **И.Н.Ғаниев** – академик, доктори илми химия, профессор; **М.И.Илолов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.В.Кобулиев** – узви вобаста, доктори илмҳои техникӣ, профессор; **Р.М.Марупов** – академик, доктори илмҳои техникӣ, профессор; **Ҷ.М.Мирсаидов** – академик, доктори илми химия, профессор; **С.Х.Неъматуллоев** – академик, доктори илмҳои техникӣ; **С.О.Одинаев** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Ф.Раҳимӣ** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.Ҳ.Раҳмонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Н.Р.Рачабов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.Ҷ.Усмонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **А.Р.Ғайзиев** – узви вобаста, доктори илмҳои геология ва минералогия, профессор; **Ҷ.Х.Холиқов** – академик, доктори илми химия, профессор.

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

М.Ш.Шабозов, Ф.М.Мадимарова. Наздиққунии беҳтарини миёнаи квадратӣ бо
вазни чебишеви баъзе синфҳои функсияҳои дугағйирёбанда 7
П.А.Дадабоев. Баҳои аниқи хатои формулаи квадратурии мураккабкардашудаи
тақрибан ҳисоб намудани интегралҳои қачхатаи ҷинси яқум барои синфи
функсияҳои камсуфта 19

ИНФОРМАТИКА

М.М.Ғозилов, Т.Б.Чистякова, А.Н.Полосин. Барномаи комплексӣ барои
коркарди тасвирҳои рақамии плёнкахои полимерӣ бо ёрии забони
кроссплатформавии ImageScript 28

ФИЗИКА

- Т.М.Алидодов, Х.Х.Муминов.** Усули муайянкунӣ ва ҳисоб кардани шиддати дохилӣ дар қабати фаъоли гетеросохтори GaInAsP/InP..... **36**
- Н.Султонов, А.Т.Акобиров, Р.Б.Ҳамрокулов, М.Г.Лукашевич, В.И.Головчук.** Сохтор, морфология ва ҳосиятҳои электрикии пардаҳои теллуриди кадмий **42**

МЕХАНИКАИ БИНОКОРӢ

- И.И.Қаландарбеков, Ҷ.Н.Низомов, И.Қ.Қаландарбеков.** Сохтани спектрҳои Фурье ва ақсуламалҳои таъсироти сейсмикӣ бо усулҳои ададӣ..... **50**

ХИМИЯИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ

- Т.Б.Бобокалонов, С.М.Сафармамадов.** Комплексиосилкунии оҳан (III) бо 1-формил-3-тиосемикарбазид **59**

ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ

- А.М.Ҳайдаров, Б.Б.Эшов, Б.Ш.Рахмонов, Ш.Х.Пирова, А.Бадалов.** Қонуниятҳои тағйирёбии тавсифоти термохимиявии интерметаллидҳои системаҳои сурб-лантанидҳои зергурӯҳи серий ва моделкунонии онҳо..... **66**
- Ш.Б.Назаров, Х.Э.Бобоев, А.Ш.Ахмадов, Ҷ.А.Мисратов, Ҷ.М.Мирсаидов.** Асосҳои физикию химиявии истехсоли коагулянтҳо барои тоза намудани об аз маъданҳои алюмосиликати Тоҷикистон..... **74**

ФАРМАКОЛОГИЯ

- З.Г.Сангов, Т.М.Салимов, К.Ҳ.Ҳайдаров.** Эмбриотоксикӣ ва тератогеннии 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазол[3,2-а]пиримидин **80**

ГЕОЛОГИЯ

- М.С.Бахтиёри, Ҷ.Ш.Зияев.** Вазъи омӯзиши геологии минтақаи нерӯгоҳи барқи обии Роғун **84**

ЭКОЛОГИЯ

- Ҳ.Б.Бобоев, Ш.Б.Назаров, С.Ҷ.Иброҳимов.** Муайян намудани миқдор ва таркиби биогази дар партовгоҳи партовҳои саҳти маишӣ шаҳри Душанбе ҳосилшаванда **91**

ТЕХНИКА

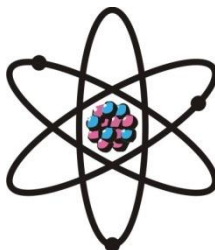
- С.Салимджанов, М.В.Изатов.** Шусташавандагии серитсин ва дигар моддаҳо аз пиллаҳо ҳангоми пиллакашии автоматӣ..... **98**

ЁДБУДИ ОЛИМ

- С.У.Умаров** **103**
- А.А.Адхамов** **109**

**DEPARTMENT OF
PHYSICAL, MATHEMATICAL, CHEMICAL,
GEOLOGICAL AND TECHNICAL SCIENCES**

The journal was established
in January 1952



№ 3 (172)
2018

EDITORIAL BOARD

Prof. **Kh.Kh.Muminov**, Doctor of Physical and Mathematical, Editor-in-Chief; **G.I.Kokhirova**, Doctor of Physical and Mathematical, Deputy Editor-in-Chief; **N.G.Sapozhnikov**, Secretary; **Kh.M.Akhmedov**, Doctor of Chemistry; Prof. **P.B.Babadzhanov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **A.R.Faysiev**, Doctor of Geology and Mineralogy; Prof. **M.I.Iolov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **I.N.Ganiev**, Doctor of Chemistry; Prof. **D.Kh.Khalikov**, Doctor of Chemistry; Prof. **Z.V.Kobuliev**, Doctor of Engineering; Prof. **R.M.Marupov**, Doctor of Engineering; Prof. **U.M.Mirsaidov**, Doctor of Chemistry; **S.Kh.Negmatullaev**, Doctor of Engineering; Prof. **S.O.Odinaev**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **N.R.Rajabov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **F.Rakhimi**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Z.Kh.Rakhmonov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Z.D.Usmanov**, Doctor of Physical and Mathematical.

CONTENTS

MATHEMATICS

- M.Sh.Shabozov, F.M.Madimarova.** The mean squared of best approximation with Chebyshev weight of certain classes of functions of two variables **7**
- P.A.Dadaboev.** Estimates of the remainder of complication quadrature formulas of approximate calculation of curvilinear integrals of first kind on classes of functions of low smoothness **19**

INFORMATICS

- M.M.Fozilov, T.B.Chistyakova, A.N.Polosin.** Program complex for digital processing of images of polymeric materials by the cross-platform language ImageScript **28**

PHYSICS

- T.M.Alidodov, Kh.Kh.Muminov.** Calculation of the internal stress of the active layer in GaInAsP/InP heterostructures..... **36**

N.Sultonov, A.T.Akobirova, R.B.Hamroqulov, M.G.Lukashevich, V.I.Golovchuk. Structure, morphology and electric characteristics of cadmium telluride films..... **42**

STRUCTURAL MECHANICS

I.I.Kalandarbekov, J.N.Nizomov, I.K.Kalandarbekov. Numerical construction of Fourier and reaction spectra of seismic effects..... **50**

INORGANIC CHEMISTRY

T.B.Bobokalonov, S.M.Safarmamadov. Complexation of iron (III) with 1-formil-3-thiosemicarbazide..... **59**

PHYSICAL CHEMISTRY

A.M.Haydarov, B.B.Eshov, B.Sh.Rakhmonov, Sh.K.Pirova, A.Badalov. Regularities of changes of thermochemical characteristics of intermetallic systems of lead-lanthanids of the cerium subgroup and their modeling **66**

Sh.B.Nazarov, Kh.E.Boboiev, A.Sh.Ahmadov, J.A.Misratov, U.M.Mirsaidov. Physical-chemical basis of coagulant producing for water treatment from aluminum-silicat ores of Tajikistan **74**

PHARMACOLOGY

Z.G.Sangov, T.M.Salimov, K.Kh.Haidarov. Embryotoxicity and teratogenicity of 2-bromo-7-methyl-5-oxo-5H-1,3,4-thiadiazolo [3,2-a] pyrimidine **80**

GEOLOGY

M.S.Bakhtiyori, J.Sh.Ziyaev. State of the geological study of the Roghun hydropower construction's site..... **84**

ECOLOGY

Kh.B.Boboiev, Sh.B.Nazarov, S.Z.Ibrohimov. Determination of the quantity and composition of the biogas educational on the range of solid waste wastes of the city Dushanbe **91**

TECHNICS

S.Salimjonov, M.V.Izatov. Washability of sericin and other substances from cocoons with automatic cocooning..... **98**

MEMORY OF SCIENTIST

S.U.Umarov..... **103**

A.A.Adhamov **109**

УДК 517.5

М.Ш.ШАБОЗОВ, Ф.М.МАДИМАРОВА

**СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ НАИЛУЧШЕЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ С ВЕСОМ
ЧЕБЫШЕВА НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИЙ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 21.12.2018 г.

Найдены некоторые точные неравенства между наилучшими приближениями функций двух переменных «углами» и усредненными значениями смешанных модулей непрерывности двух переменных r -ых производных $D^r f (r \in Z_+)$, где D – дифференциальный оператор второго порядка Чебышева в метрике пространства $L_{2,\mu}(Q)$, $Q = \{(x, y) := -1 \leq x, y \leq 1\}$ с весом Чебышева $\mu(x, y) = 1/\sqrt{(1-x^2)(1-y^2)}$.

Ключевые слова: среднеквадратическое приближение, чебышевский вес, дифференциальный оператор, гильбертово пространство, оператор обобщенного сдвига, модуль непрерывности.

1. Пусть в $L_{2,\mu} := L_{2,\mu}(Q)$ – пространство суммируемых с квадратом функций $f(x, y)$ двух переменных в квадрате $Q = \{(x, y) := -1 \leq x, y \leq 1\}$ с весом $\mu(x, y) = 1/\sqrt{(1-x^2)(1-y^2)}$ и нормой

$$\|f\|_{2,\mu} := \|f\|_{L_{2,\mu}(Q)} = \left(\iint_{(Q)} \mu(x, y) f^2(x, y) dx dy \right)^{1/2}.$$

В пространстве $L_{2,\mu}$ рассмотрим оператор

$$F_h(f) = F_h f(x, y) = \frac{1}{4} \left[(f(x \cos h + \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h + \sqrt{1-y^2} \sin h) + \right.$$

Адрес для корреспонденции: Мадимарова Фавзия Мадимаровна. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: fawzi93@mail.ru

$$\begin{aligned}
& + f \left(x \cos h + \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h - \sqrt{1-y^2} \sin h \right) + \\
& + f \left(x \cos h - \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h + \sqrt{1-y^2} \sin h \right) + \\
& + f \left(x \cos h - \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h - \sqrt{1-y^2} \sin h \right) + \\
& + f \left(x \cosh - \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cosh - \sqrt{1-y^2} \sin h \right), \tag{1}
\end{aligned}$$

который будем называть оператором обобщённого сдвига.

Символом $F_t^x(f)$ (соответственно $F_t^y(f)$) обозначим действие оператора обобщённого сдвига (1) на функцию $f \in L_{2,\mu}$ как на функцию от переменной x (соответственно y) при фиксированном значении переменной y (соответственно x). При этом полагаем

$$F_t^{\nu,x}(f) := F_t^{1,x}(F_t^{\nu-1,x}(f)), \text{ где } \nu \in N, F_t^{0,x}(f) = f, F_t^{1,x}(f) = F_t^x(f).$$

Аналогичным образом полагаем

$$F_t^{\mu,y}(f) := F_t^{1,y}(F_t^{\mu-1,y}(f)), \text{ где } \mu \in N, F_t^{0,y}(f) := f, F_t^{1,y}(f) := F_t^y(f).$$

Определим обобщенные конечные разности первого и высших порядков по переменной x , используя оператор (1). Полагаем

$$\Delta_t^x(f) := F_t^x(f) - (f) = (F_t^x - \mathbb{I})f, \text{ где } \mathbb{I} - \text{единичный оператор в пространстве } L_{2,\mu}(Q) \text{ и для } k \geq 2, k \in N, \text{ запишем общую формулу}$$

$$\Delta_t^{k,x}(f) := \Delta_t^{1,x}(\Delta_t^{k-1,x}(f)) = (F_t^x - \mathbb{I})^k f = \sum_{i=0}^k (-1)^{k-1} \binom{k}{i} F_t^{i,x}(f). \tag{2}$$

Аналогично для $l \geq 2, l \in N$ будем иметь

$$\Delta_t^{l,y}(f) := \Delta_t^{1,y}(\Delta_t^{l-1,y}(f)) = (F_t^y - \mathbb{I})^l f = \sum_{j=0}^l (-1)^{l-j} \binom{l}{j} F_t^{j,y}(f) \tag{3}$$

Из соотношений (2) и (3), следуя схеме рассуждений [1,2], запишем

$$\begin{aligned}
\Delta_t^x(\Delta_t^y(f)) &= \Delta_t^x(F_t^y(f) - f) = \Delta_t^x(F_t^y - (f)) - \Delta_t^x(f) = \\
&= F_t^x(F_t^y) - F_t^y(f) - F_t^x(f) + f = (F_t^x - \mathbb{I})(F_t^y - \mathbb{I})f,
\end{aligned}$$

и для введенных смешанных конечных разностей по x и по y высших порядков получаем

$$\begin{aligned}
\Delta_t^{k,x}(\Delta_\tau^{l,y}(f)) &= \Delta_t^{1,x}(\Delta_t^{k-1,x}(\Delta_\tau^{l,y}(f))) = \\
&= \Delta_\tau^{k,x}(\Delta_\tau^{l,y}(\Delta_\tau^{l-1,y}(f))) = (F_t^x - \mathbb{I})^k (F_\tau^y - \mathbb{I})^l f = \\
&= \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^l (-1)^{k+l-(i+j)} \binom{k}{i} \binom{l}{j} F_t^{i,x} (F_\tau^{j,y}(f)).
\end{aligned}$$

Из этого равенства сразу следует, что

$$\Delta_t^{k,x}(\Delta_\tau^{l,y})(f) = \Delta_\tau^{l,y}(\Delta_t^{k,x}(f)).$$

Величину

$$\Omega_{k,l}(f; \delta, \eta)_{2,\mu} = \sup\{\|\Delta_t^{k,x}(\Delta_\tau^{l,y}(f))\|_{2,\mu} : |t| \leq \delta, |\tau| \leq \eta\}, \quad (4)$$

где $0 \leq \delta, \eta \leq 1$, будем называть обобщенным смешанным модулем непрерывности порядка k по x и порядка l по y функции $f \in L_{2,\mu}(Q)$.

Пусть далее $T_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, $T_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos(n \arccos x)$, $n = 1, 2, \dots$ есть ортонормированная система многочленов Чебышева (см.[3,с.91]) в пространстве $L_{2,\mu} := L_2((-1,1), (\sqrt{1-x^2})^{-1})$ и

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} c_{ij}(f) T_i(x) T_j(y),$$

– двойной ряд Фурье-Чебышева, где

$$c_{ij}(f) = \iint_{(Q)} \mu(x, y) f(x, y) T_i(x) T_j(y) dx dy.$$

Следуя схеме рассуждений, приведенной в [4,5], легко доказать, что для произвольной $f \in L_{2,\mu}$ в смысле сходимости в метрике $L_{2,\mu}(Q)$ имеет место равенство

$$\Delta_t^{k,x}(\Delta_\tau^{l,y}(f); x, y) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} c_{ij}(f) (\cos it - 1)^k (\cos j\tau - 1)^l T_i(x) T_j(y). \quad (5)$$

Из (4), учитывая соотношение (5), после несложных вычислений получаем

$$\Omega_{k,l}(f; \delta, \eta)_{2,\mu} := \sup_{\substack{|t| \leq \delta \\ |\tau| \leq \eta}} \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (1 - \cos it)^{2k} (1 - \cos j\tau)^{2l} c_{ij}^2(f) \right\}^{1/2}. \quad (6)$$

Всюду далее

$$D := (1-x^2) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + (1-y^2) \frac{\partial^2}{\partial y^2} - x \frac{\partial}{\partial x} - y \frac{\partial}{\partial y}$$

– дифференциальный оператор второго порядка Чебышева.

Через $L_{2,\mu}^{(r)} = L_{2,\mu}^{(r)}(Q, D)$ обозначим класс функций $f \in L_{2,\mu}$, у которых частные производные

$$\frac{\partial^m f}{\partial x^k \partial y^l}, \quad k+l=m, \quad m=1, 2, \dots, 2r$$

принадлежат также $L_{2,\mu}$. При этом, как обычно, полагаем

$$D^r f := D(D^{r-1} f) \in L_{2,\mu}, \quad D^1 := D; \quad D^0 f = f, \quad L_{2,\mu}^{(0)} = L_{2,\mu}.$$

В [2] доказано, что для коэффициентов Фурье-Чебышева произвольной функции $f \in L_{2,\mu}^{(r)}$ имеет место равенство

$$c_{ij}(f) = (-1)^r (i^2 + j^2)^{-r} c_{ij}(D^r f), \quad i, j \in N, \quad r \in Z_+. \quad (7)$$

Учитывая формулу (7), из равенства (5) получаем

$$\begin{aligned} \Delta_i^{k,x}(D_\tau^{l,y}(D^r f); x, y) &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} c_{ij}(D^r f) (\cos i\tau - 1)^k (\cos j\tau - 1)^l T_i(x) T_j(y) = \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^r (i^2 + j^2)^r (\cos i\tau - 1)^k (\cos j\tau - 1)^l c_{ij}(f) T_i(x) T_j(y). \end{aligned} \quad (8)$$

Из соотношения (4), в силу формулы (8), получаем

$$\Omega_{k,l}(D^r f; \delta, \eta) := \sup_{|\tau| \leq \delta} \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (i^2 + j^2)^{2r} (1 - \cos i\tau)^{2k} (1 - \cos j\tau)^{2l} c_{ij}^2(f) \right\}^{1/2}. \quad (9)$$

2. Символом $L_{2,\mu(x)}[-1, 1]$, где $\mu(x) = 1/\sqrt{1-x^2}$, обозначим пространство измеримых функций f таких, что $\mu^{1/2} f$ интегрируема с квадратом в пространстве $L_2[-1, 1]$. Аналогичный смысл имеет пространство $L_{2,\mu(y)}[-1, 1]$. Пусть $U_{m+1} \subset L_{2,\mu(x)}[-1, 1]$ и $V_{n+1} \subset L_{2,\mu(y)}[-1, 1]$ – конечномерные подпространства с базисами $\{T_i(x)\}_{i=0}^m$ и $\{T_j(y)\}_{j=0}^n$ соответственно. Исходя из пространства $L_{2,\mu(x)}[-1, 1]$ и $L_{2,\mu(y)}[-1, 1]$, вводим пространство $L_{2,\mu(x,y)}(Q)$, состоящее из множества функций

$$G(U_{m+1}, V_{n+1}) := L_{2,\mu(x)}[-1, 1] \otimes U_{m+1} \oplus L_{2,\mu(y)}[-1, 1] \otimes V_{n+1}, \quad (10)$$

где символами " \otimes " и " \oplus " обозначены соответственно операции тензорного произведения и прямой суммы множеств. Элементы множества (2) представимы в виде

$$g_{m,n}(x, y) := \sum_{i=0}^{\infty} \varphi_i(y) T_i(x) + \sum_{j=0}^n \psi_j(x) T_j(y), \quad (11)$$

где $\{\varphi_i(y)\}_{i=0}^m \subset L_{2,\mu(y)}[-1,1]$ и $\{\psi_j(x)\}_{j=0}^n \subset L_{2,\mu(x)}[-1,1]$ – произвольные наборы функций из соответствующих подпространств. Функции вида (2) впервые в целях аппроксимации функции многих переменных линейными комбинациями более простых функций меньшего числа переменных введены М.К.Потаповым [6] и в дальнейшем использовались многими математиками [7-10]. Далее при изложении основных результатов данной статьи будем следовать схеме рассуждений, приведенной в [5]. Для произвольной функции $f \in L_{2,\mu}$ равенством

$$\mathcal{E}_{m,n}(f)_{2,\mu} := \inf \left\{ \|f - g_{m,n}\|_{2,\mu} : g_{m,n} \in G(U_{m+1}, V_{n+1}) \right\} \quad (12)$$

определим наилучшее приближение элементами (11) из множества (1) в пространстве $L_{2,\mu}$. В [11] доказано, что среди всех элементов $g_{m-1,n-1}(x, y)$ вида (11), принадлежащих множеству (10), наилучшее приближение функции f доставляет ее обобщенный полином Фурье-Чебышева

$$\begin{aligned} \sigma_{m,n}(f; x, y) = & \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{\infty} c_{ij}(f) T_i(x) T_j(y) + \\ & + \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^n c_{ij}(f) T_i(x) T_j(y) - \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij}(f) T_i(x) T_j(y). \end{aligned}$$

При этом,

$$\mathcal{E}_{m,n}(f)_{2,\mu} := \|f - \sigma_{m-1,n-1}(f)\|_{2,\mu} = \left\{ \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} c_{ij}^2(f) \right\}^{1/2}. \quad (1)$$

Имеет место следующая

Теорема 1. Для любых $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in Z_+$ удовлетворяющих неравенства $0 \leq mu \leq \pi/2$, $0 < nv \leq \pi/2$, при любом $k \in \mathbb{N}$ справедливо соотношение

$$\sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^u \int_0^v \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dt d\tau \right\}^k} = \left\{ \frac{mn}{(mu - \sin mu)(mv - \sin mv)} \right\}^k. \quad (2)$$

Существует функция $f_o(x, y) \in L_{2,\mu}^{(r)}$, для которой верхняя грань достигается в соотношении (14).

Доказательство. Сначала докажем, что для любой функции $f \in L_{2,\mu}^{(r)}$ имеет место неравенство

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu} - \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (\cos it + \cos j\tau - \cos it \cdot \cos j\tau) c_{ij}^2(f) &\leq \\ &\leq (m^2 + n^2)^{-2r} (\mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu})^{2-1/k} \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu}. \end{aligned} \quad (15)$$

В самом деле, если полагать в (9) $k = l$, то имеем

$$\Omega_{k,k}^2(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} = \sup_{|h| \leq t} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (i^2 + j^2)^{2r} (1 - \cos ih)^{2k} (1 - \cos j\eta)^{2k} c_{ij}^2(f).$$

Используя неравенство Гельдера для сумм, с учетом (13), получаем

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu} - \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (\cos it + \cos j\tau - \cos it \cdot \cos j\tau) c_{ij}^2(f) &= \\ &= \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (1 - \cos it - \cos j\tau + \cos it \cdot \cos j\tau) c_{ij}^2(f) = \\ &= \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (1 - \cos it) \cdot (1 - \cos j\tau) c_{ij}^2(f) = \\ &= \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (c_{ij}^2(f))^{1-1/(2k)} \cdot (c_{ij}^2(f))^{1/(2k)} (1 - \cos it)(1 - \cos j\tau) \leq \\ &\leq \left(\sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} c_{ij}^2(f) \right)^{1-1/(2k)} \cdot \left(\sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (1 - \cos it)^{2k} (1 - \cos j\tau)^{2k} c_{ij}^2(f) \right)^{1/(2k)} = \\ &= \left(E_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu} \right)^{2-1/k} \cdot \left(\sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} (i^2 + j^2)^{-2r} (i^2 + j^2)^{2r} \cdot \right. \\ &\quad \left. (1 - \cos it)^{2k} (1 - \cos j\tau)^{2k} c_{ij}^2(f) \right)^{1/(2k)} \leq \\ &\leq (m^2 + n^2)^{-r/k} \left(E_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu} \right)^{2-1/k} \cdot \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu}, \end{aligned}$$

откуда и следует неравенство (15). Интегрируя обе части неравенства (15) по прямоугольнику $(0 \leq t \leq u, 0 \leq \tau \leq v)$ и поделив полученное соотношение на $u \cdot v$, будем иметь

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu} - \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} \left(\frac{\sin iu}{iu} + \frac{\sin jv}{jv} - \frac{\sin iu}{iu} \cdot \frac{\sin jv}{jv} \right) c_{ij}^2(f) &\leq \\ &\leq (m^2 + n^2)^{-r/k} (E_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu})^{2-1/k} \iint_{00}^{uv} \Omega(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dt d\tau. \end{aligned} \quad (16)$$

Теперь заметим, что при $0 < mu \leq \pi/2, 0 < nv \leq \pi/2$ имеет место равенство

$$\begin{aligned} \max \left\{ \left| \frac{\sin t}{t} + \frac{\sin \tau}{\tau} - \frac{\sin t}{t} \cdot \frac{\sin \tau}{\tau} \right| : t \geq mu, \tau \geq nv \right\} &= \\ &= \frac{\sin mu}{mu} + \frac{\sin nv}{nv} - \frac{\sin mu}{mu} \cdot \frac{\sin nv}{nv}. \end{aligned} \quad (17)$$

Воспользуясь соотношением (17), из (16) получаем

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu} \cdot \left(1 - \frac{\sin mu}{mu} \right) \left(1 - \frac{\sin nv}{nv} \right) &\leq \\ &\leq (m^2 + n^2)^{-r/k} (E_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu})^{2-1/k} \iint_{00}^{uv} \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dt d\tau, \end{aligned}$$

откуда запишем

$$\begin{aligned} (m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu} &\leq \\ &\leq \left\{ \frac{mn}{(mu - \sin mu)(nv - \sin nv)} \right\}^k \cdot \left\{ \iint_{00}^{uv} \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dt d\tau \right\}^k. \end{aligned} \quad (18)$$

Из неравенства (18), для произвольной функции $f \in L_{2,\mu}^{(r)}$ получаем оценку сверху величины, стоящей в левой части равенства (14):

$$\sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot E_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \iint_{00}^{uv} \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dt d\tau \right\}^k} \leq \left\{ \frac{mn}{(mu - \sin mu)(nv - \sin nv)} \right\}^k. \quad (19)$$

Для получения оценки снизу той же величины введем в рассмотрение функцию

$$f_0(x, y) = T_n(x)T_m(y) \in L_{2,\mu}^{(r)},$$

и в силу формул (13) и (9) получаем

$$E_{m-1,n-1}(f_0)_{2,\mu} = 1, \quad (20)$$

$$\Omega_{k,k}(D^r f_0; t, \tau)_{2,\mu} dtd\tau = (m^2 + n^2)^r \cdot (1 - \cos mt)^k (1 - \cos n\tau)^k. \quad (21)$$

Интегрируя равенство (22) в прямоугольнике $[0, u] \times [0, v]$, имеем

$$\int_0^u \int_0^v \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f_0; t, \tau)_{2,\mu} dtd\tau = (m^2 + n^2)^{r/k} \frac{(mu - \sin mu)(nv - \sin nv)}{mn}. \quad (22)$$

Воспользуясь полученными равенствами, запишем оценку снизу

$$\begin{aligned} \sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^u \int_0^v \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dtd\tau \right\}^k} &\geq \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f_0)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^u \int_0^v \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dtd\tau \right\}^k} = \\ &= \frac{(m^2 + n^2)^r}{(m^2 + n^2)^r \left\{ \int_0^u \int_0^v (1 - \cos nt)(1 - \cos n\tau) dtd\tau \right\}^k} = \\ &= \left\{ \frac{mn}{(mu - \sin mu)(nv - \sin nv)} \right\}^k. \end{aligned} \quad (23)$$

Требуемое равенство (14) вытекает из сопоставления оценки сверху (19) с оценкой снизу (23), чем и завершаем доказательство теоремы 1.

Из теоремы 1 вытекает

Следствие 1. В условиях теоремы 1 при $u = \pi / (2m)$, $v = \pi / (2n)$, $m, n \in \mathbb{N}$ имеет место равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ mn \int_0^{\pi/(2m)} \int_0^{\pi/(2n)} \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; t, \tau)_{2,\mu} dtd\tau \right\}^k} = \left(\frac{2}{\pi - 2} \right)^{2k}.$$

Теорема 2. Для любых $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, удовлетворяющих неравенства $0 \leq mh \leq \pi$, $0 \leq n\eta \leq \pi$, при любом $k \in \mathbb{N}$ справедливы равенства

$$\begin{aligned} \sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^h \int_0^\eta (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; u, v)_{2,\mu} dudv \right\}^k} &= \\ &= \left(\frac{h\eta}{2} \right)^{2k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{mh} \sin \frac{mh}{2} \right)^2 \right)^{-k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{n\eta} \sin \frac{n\eta}{2} \right)^2 \right)^{-k}. \end{aligned} \quad (24)$$

Существуют функция $f_0(x, y) \in L_{2,\mu}^{(r)}$, реализующая знак равенства в (24).

Доказательство. Умножим обе части неравенства (16) на $u \cdot v$ и интегрируем по u от 0 до h и по v от 0 до η и поделим обе части полученного неравенства на $(h^2 \cdot \eta^2) / 4$, в результате приходим к следующему неравенству

$$\begin{aligned} & \mathcal{E}_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu} - \sum_{i=m}^{\infty} \sum_{j=n}^{\infty} c_{ij}^2(f) \cdot \\ & \left(\frac{2(1-\cos ih)}{(ih)^2} + \frac{2(1-\cos j\eta)}{(j\eta)^2} - \frac{4(1-\cos ih)(1-\cos j\eta)}{(ih)^2 \cdot (j\eta)^2} \right) \leq \\ & \leq (m^2 + n^2)^{-r/k} \cdot (\mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu})^{2-1/k} \cdot \frac{4}{h^2 \eta^2} \cdot \\ & \cdot \iint_{00}^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; u, v) dudv. \end{aligned}$$

Отсюда, как и в теореме 1, получаем

$$\begin{aligned} & \left(1 - \left(\frac{2}{mh} \sin \frac{mh}{2} \right)^2 \right) \left(1 - \left(\frac{2}{n\eta} \sin \frac{\eta}{2} \right)^2 \right) \cdot E_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu} \leq \\ & \leq (m^2 + n^2)^{-r/k} \cdot (E_{m-1,n-1}^2(f)_{2,\mu})^{2-1/k} \cdot \\ & \cdot \frac{4}{h^2 \eta^2} \iint_{00}^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; u, v)_{2,\mu} dudv, \end{aligned}$$

или что то же

$$\begin{aligned} & \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \iint_{00}^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k}(D^r f; u, v)_{2,\mu} dudv \right\}^k} \leq \\ & \leq \left(\frac{h\eta}{2} \right)^{2k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{mh} \sin \frac{mh}{2} \right)^2 \right)^{-k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{n\eta} \sin \frac{n\eta}{2} \right)^2 \right)^{-k}. \end{aligned} \quad (25)$$

Чтобы получить аналогичную оценку снизу, вновь рассмотрим функцию $f_0(x, y) = T_m(x)T_n(y)$, которую ввели в конце теоремы 1.

Для этой функции, учитывая равенство (21), непосредственным вычислением получаем

$$\int_0^{h\eta} \int_0^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k} (D^r f_0; u, v) dudv =$$

$$= \left(\frac{h\eta}{2}\right)^2 \left(1 - \left(\frac{2}{mh} \sin \frac{mh}{2}\right)^2\right) \left(1 - \left(\frac{2}{n\eta} \sin \frac{n\eta}{2}\right)^2\right) \cdot (m^2 + n^2)^{r/k},$$

используя которое получаем оценку снизу

$$\sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^{h\eta} \int_0^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k} (D^r f; u, v)_{2,\mu} dudv \right\}^k} \geq$$

$$\geq \frac{(m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f_0)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^{h\eta} \int_0^{h\eta} (h-u)(\eta-v) \Omega_{k,k}^{1/k} (D^r f_0; u, v)_{2,\mu} dudv \right\}^k} =$$

$$= \left(\frac{h\eta}{2}\right)^{2k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{mh} \sin \frac{mh}{2}\right)^2\right)^{-k} \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{n\eta} \sin \frac{n\eta}{2}\right)^2\right)^{-k} \quad (26)$$

Сопоставляя неравенства (25) и (26), получаем требуемое равенство (24). Теорема 2 доказана.

Следствие 2. В условиях теоремы при $h = \pi/m, \eta = \pi/n$ имеет место равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\mu}^{(r)}} \frac{(mn)^{2k} (m^2 + n^2)^r \cdot \mathcal{E}_{m-1,n-1}(f)_{2,\mu}}{\left\{ \int_0^{\pi/m} \int_0^{\pi/n} (\pi/m - u)(\pi/n - v) \Omega_{k,k}^{1/k} (D^r f; u, v)_{2,\mu} dudv \right\}^k} =$$

$$= \left(\frac{\pi^4}{2(\pi^2 - 4)}\right)^{2k}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Абилов В.А., Абилова Ф.В. Об одной квадратурной формуле. – ЖВМ и МФ, 2002, т. 42, №4, с. 451-458.
2. Абилов В.А., Каримов М.К. Об оценках остаточных членов кратных рядов Фурье-Чебышева и кубатурных формул чебышевского типа. – ЖВМ и МФ, 2003, т. 43, №5, с. 643-663.
3. Суетин П.К. Классические ортогональные многочлены. – М.:Наука, 1979, 416 с.
4. Есмаганбетов М.Г. – Изв.вузов, Математика, 2007, №2 (537), с. 3-9.

5. Вакарчук С.Б., Швачко.А.В. О наилучшем приближении "углом" в среднем на плоскости R^2 с весом Чебышева-Эрмита. – Сборник праць Інституту математики НАН України, 2014, т. 11, №3, с. 35-46.
6. Потапов М.К. О приближении "углом". – Proc of the Conf. on Constructive Theory of Functions, Budapest, 1972, pp. 371-399.
7. Томич М. О приближении "углом" функций с доминирующим модулем гладкости. – Publ.Delinst.Math.(Beograd), 1978, т. 28(37), с. 193-206.
8. Вакарчук С.Б. О наилучшем приближении обобщенными полиномами в одном пространстве аналитических функций двух комплексных переменных. – Изв.вузов, Матем., 1991, т. 48, №7, с. 14-25.
9. Темляков В.Н. Приближение функций с ограниченной смешанной производной. – Труды матем.ин-та АН СССР, 1986, т.178, с. 1-113.
10. Вакарчук С.Б., Швачко.А.В. Неравенство колмогоровского типа для производных функций двух переменных и их приложение к аппроксимации "углом". – Известия вузов. Математика, 2015, №11, с. 3-22
11. Мадимарова Ф.М., О наилучшем приближении в среднем с весом Чебышева некоторых классов дифференцируемых функций двух переменных. – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат.,хим., геол. и техн. н., 2017, №3(168), с. 16-25

М.Ш.ШАБОЗОВ, Ф.М.МАДИМАРОВА

НАЗДИККУНИИ БЕХТАРИНИ МИЁНАИ КВАДРАТӢ БО ВАЗНИ ЧЕБИШЕВИ БАЪЗЕ СИНФӢОИ ФУНКСИЯӢОИ ДУТАӢИРӢБАНДА

Донишгоҳи милли Тоҷикистон

Дар мақола баъзе нобаробариҳои аниқ байни наздиккунии беҳтарини функсияи дутағйирёбанда ба воситаи «кунҷо» ва қимати миёнакардашудаи модули бифосилагии омехтаи r -уми $D^r f (r \in Z_+)$, ки дар ин ҷо D -оператори дифференсиалии тартиби дуҷуми Чебишов мебошад, дар метрикаи фазои $L_{2,\mu}(Q)$, $Q = \{(x, y) := -1 \leq x, y \leq 1\}$ бо вазни $\mu(x, y) = 1/\sqrt{(1-x^2)(1-y^2)}$ ёфта шудааст.

Калимаҳои калидӣ: наздиккунии миёнаи квадратӣ, вазни Чебишов, оператори дифференсиалӣ, фазои гилбертӣ, оператори речиси умумишуда, модули бифосилагӣ.

M.SH.SHABOZOV, F.M.MADIMAROVA

**THE MEAN SQUARED OF BEST APPROXIMATION WITH CHEBYSHEV
WEIGHT OF CERTAIN CLASSES OF FUNCTIONS OF TWO VARIABLES**

Tajik National University

In this paper the sharp inequalities between the best approximation of functions of two variables by «angle» and averaged values of mixed modulus of continuity of two variables of r th derivatives $D^r f (r \in \mathbb{Z}_+)$, D - Chebyshev's differential operator of second-order in metric of the space $L_{2,\mu}(Q)$, $Q = \{(x, y) := -1 \leq x, y \leq 1\}$ with Chebyshev weight $\mu(x, y) = 1/\sqrt{(1-x^2)(1-y^2)}$ were found.

Key words: the mean squared of approximation, Chebyshev's weight, differential operator, Hilbert space, generalized shift operator, modulus of continuity.

УДК 517.5

П.А.ДАДАБОВ

ОЦЕНКА ОСТАТКА УСЛОЖНЕННЫХ КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ
ПРИБЛИЖЁННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛОВ
ПЕРВОГО РОДА НА КЛАССАХ ФУНКЦИЙ МАЛОЙ ГЛАДКОСТИ

*Институт математики им. А.Джураева АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 27.08.2018 г.*

Получена точная оценка погрешности усложненных квадратурных формул для приближенного вычисления криволинейного интеграла первого рода на классе функций малой гладкости, задаваемой мажорантой модуля непрерывности.

Ключевые слова: усложненные квадратурные формулы, криволинейный интеграл, модуль непрерывности, класс функций.

1. Пусть функция $f(M) = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ определена и интегрируема вдоль кривой Γ , лежащей в m -мерном евклидовом пространстве R^m , и

$$\mathcal{J}(f, \Gamma) := \int_{\Gamma} f(M) dt = \int_{\Gamma} f(x_1, x_2, \dots, x_m) dt. \quad (1)$$

Будем предполагать, что на кривой Γ установлено положительное направление, так что положение точки $M = M(x_1, x_2, \dots, x_m)$ на кривой может быть определено длиной

дуги $t = \overset{\smile}{AM}$, отсчитываемой от начальной точки A . В таком случае кривая Γ параметрически выразится уравнениями

$$x_1 = \varphi_1(t), x_2 = \varphi_2(t), \dots, x_m = \varphi_m(t), 0 \leq t \leq L, \quad (2)$$

Адрес для корреспонденции: Дадабоев Парвиз Абдусаломович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Институт математики АН РТ. E-mail: dadaboev.8888@mail.ru

а функция $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$, заданная в точках кривой, сведётся к сложной функции $F(t) := f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t))$ от переменной t и тогда, как известно, интеграл (1) запишется в виде следующего определённого интеграла

$$\mathcal{J}(f, \Gamma) = \int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt. \quad (3)$$

Всякая квадратурная формула вида

$$\begin{aligned} \mathcal{J}(f, \Gamma) &= \sum_{k=1}^N p_k f(\varphi_1(t_k), \varphi_2(t_k), \dots, \varphi_m(t_k)) + R_N(f, \Gamma) = \\ &= \mathcal{L}_N(f; \Gamma; P, T) + R_N(f, \Gamma) \end{aligned} \quad (4)$$

для приближённого вычисления интеграла (3) заданного векторами коэффициентов $P := \{p_k\}_{k=1}^N$ и узлов $T := \{t_k : 0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_N \leq L\}$, где $p_i (i = \overline{1, N})$ – произвольные действительные числа, $R_N(f, \Gamma)$ – погрешность квадратурной формулы (4) на функции f , определённой на кривой Γ . Напомним правило построения усложненных квадратурных формул для приближённого вычисления интеграла (3). Построим аналоги известных из курса анализа квадратурных формул прямоугольников, трапеции и Симпсона для интеграла (3). С этой целью отрезок $[0, L]$ делим на N равных частей точками $t_k = kh, h = L/N, k = \overline{0, N}$ и на каждом интервале (t_{k-1}, t_k) применяем заранее выбранную квадратурную формулу с узлами

$$t_{k-1} \leq \xi_1 < \xi_2 < \dots < \xi_m \leq t_k, \quad k = \overline{1, N}$$

и коэффициентами $q_i (i = \overline{1, m})$. В результате получим усложненную квадратурную формулу

$$\int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt := \sum_{k=1}^N \mathcal{L}(t_{k-1}, t_k; f) + R_n(f, \Gamma; P, T), \quad (5)$$

где

$$\mathcal{L}(t_{k-1}, t_k; f) = \sum_{i=1}^m q_i f(\varphi_1(\xi_i), \dots, \varphi_m(\xi_i)). \quad (6)$$

По аналогии с известными классическими формулами [1, с.36-45] из (5) и (6) получаем усложненные квадратурные формулы:

а) прямоугольников

$$\int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt = \quad (7)$$

$$= \frac{L}{N} \sum_{k=1}^N f\left(\varphi_1\left(\frac{2k-1}{2N}L\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{2k-1}{2N}L\right)\right) + R_{N,\Pi}(f, \Gamma);$$

б) трапеций

$$\int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt = \frac{L}{N} \left\{ \frac{f(\varphi_1(0), \dots, \varphi_m(0)) + f(\varphi_1(L), \dots, \varphi_m(L))}{2} + \right. \quad (8)$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{N-1} f\left(\varphi_1\left(\frac{kL}{N}\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{kL}{N}\right)\right) \right\} + R_{N,T}(f, \Gamma);$$

в) Симпсона

$$\int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt = \frac{L}{6N} \{ f(\varphi_1(0), \dots, \varphi_m(0)) + f(\varphi_1(L), \dots, \varphi_m(L)) + \quad (9)$$

$$+ 4 \sum_{k=1}^N f\left(\varphi_1\left(\frac{2k-1}{2N}L\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{2k-1}{2N}L\right)\right) +$$

$$+ 2 \sum_{k=1}^{N-1} f\left(\varphi_1\left(\frac{kL}{N}\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{kL}{N}\right)\right) \} + R_{N,C}(f, \Gamma).$$

Известно [1], что усложнённые квадратурные формулы прямоугольников (7) и трапеций (8) точны на множестве многочленов первой степени, а формула Симпсона (9) точна на множестве многочленов третьей степени. Для сложной функции $F(t) = f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t))$ введём операторное обозначение

$$F'(t) := \nabla F := \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{\partial F}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{d\varphi_2}{dt} + \dots + \frac{\partial F}{\partial \varphi_m} \cdot \frac{d\varphi_m}{dt},$$

и через $W^{(1)}H^\omega := W^{(1)}H^\omega[0, L]$ обозначим класс $F(t)$, имеющих непрерывные производные $\partial F / \partial \varphi_i (i = \overline{1, m})$ всюду на отрезке $[0, L]$ и для любых двух точек t' и t'' из $[0, L]$ удовлетворяющих условию

$$|F'(t') - F'(t'')| \leq \omega(|t' - t''|),$$

где $\omega(t)$ – заданный модуль непрерывности, то есть непрерывная неубывающая функция, в нуле равна нулю и удовлетворяющая условию

$$0 \leq \omega(t'') - \omega(t') \leq \omega(|t' - t''|), \quad 0 \leq t' \leq t'' \leq L.$$

Легко проверить, что для произвольной функции $f \in W^{(1)}H^\omega$ имеет место следующий аналог формулы Маклорена с интегральным остатком

$$f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) = f(\varphi_1(0), \dots, \varphi_m(0)) + \int_0^L (t-s)_+^0 \nabla f(\varphi_1(s), \dots, \varphi_m(s)) ds, \quad (10)$$

где $(t-s)_+^0 = [\max(0, t-s)]^0$. Отметим, что, пользуясь формулой (10) в работах [2,3] для усложненных квадратурных формул прямоугольников (7) и трапеций (8), на классе $W^{(1)}H^\omega$ доказаны асимптотически точные оценки погрешности. В данной работе в качестве основного объекта исследования будем рассматривать следующую квадратурную формулу

$$\begin{aligned} \int_0^L f(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)) dt &= \frac{L}{2N} \left\{ \frac{1}{2} f(\varphi_1(0), \dots, \varphi_m(0)) + \right. \\ &+ \sum_{k=1}^N f\left(\varphi_1\left(\frac{2k-1}{2N}L\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{2k-1}{2N}L\right)\right) + \\ &+ \left. \sum_{k=1}^{N-1} f\left(\varphi_1\left(\frac{kL}{N}\right), \dots, \varphi_m\left(\frac{kL}{N}\right)\right) + \frac{1}{2} f(\varphi_1(L), \dots, \varphi_m(L)) \right\} + R_N^{(1)}(f, \Gamma). \end{aligned} \quad (11)$$

Наша задача состоит в отыскании точной оценки погрешности на классе $W^{(1)}H^\omega$ формулы (11) и формулы Симпсона (9). Имеет место следующая

Теорема 1. Для погрешности квадратурной формулы (11) на всём классе функций $W^{(1)}H^\omega$, где $\omega(t)$ – выпуклый модуль непрерывности, имеет место точная оценка

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_N(W^{(1)}H^\omega) &:= \\ &= \sup\{|R_N^{(1)}(f, \Gamma)| : f \in W^{(1)}H^\omega\} = \frac{L^2}{8N} \int_0^L t \omega\left(\frac{Lt}{2N}\right) dt. \end{aligned} \quad (12)$$

В частности, для класса Γ , при $\omega(t) = t^\alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$) имеем

$$\mathcal{E}_N(W^{(1)}H^\alpha) = \frac{L^{2+\alpha}}{8 \cdot 2^\alpha (2+\alpha)} \cdot \frac{1}{N^{1+\alpha}}.$$

Доказательство. Используя формулу (8), с учётом точности формулы (11) на множестве многочленов первой степени, остаток квадратурной формулы (11) представим в интегральном виде

$$R_N^{(1)}(f, \Gamma) = \int_0^L K(t) \nabla f(\varphi_1(t), \dots, \varphi_m(t)) dt, \quad (13)$$

где ядро $K(t)$ – кусочно-линейная функция, имеющая вид

$$K(t) = L - t - \frac{L}{2N} \left\{ \sum_{k=1}^N \left(\frac{2k-1}{2N} L - t \right)_+^0 + \sum_{k=1}^{N-1} \left(\frac{kL}{N} - t \right)_+^0 + \frac{1}{2} (L - t) \right\}. \quad (14)$$

В правой части равенства (13), полагая $F'(t) = \nabla f(\varphi_1(t), \dots, \varphi_m(t))$, равенство (13) с учётом (14) после некоторых простых вычислений запишем

$$R_N^{(1)}(f, \Gamma) = - \int_0^L K_1(t) F'(t) dt, \quad (15)$$

где

$$K_1(t) = t - (2k-1)h, \quad (2(k-1)h \leq t < 2kh), \quad k = \overline{1, 2N}, \quad h = L/(4N).$$

Из определения функции $K_1(t)$ вытекает, что

$$K_1(2(2k-1)h - t) = -K_1(t), \quad k = \overline{1, 2N}, \quad h = L/(4N). \quad (16)$$

Для $2(k-1)h \leq t < 2kh$, полагая $t = 4(2k-1)h$ и учитывая соотношения (16), из равенства (15) будем иметь

$$\begin{aligned} |R_N^{(1)}(f, \Gamma)| &= \left| \sum_{k=1}^{2N} \int_{2(k-1)h}^{2kh} K_1(t) F'(t) dt \right| = \\ &= \left| \sum_{k=1}^{2N} \left(\int_{2(k-1)h}^{(2k-1)h} K_1(t) F'(t) dt + \int_{(2k-1)h}^{2kh} K_1(t) F'(t) dt \right) \right| = \\ &= \left| \sum_{k=1}^{2N} \left\{ \int_{2(k-1)h}^{(2k-1)h} K_1(t) F'(t) dt + \int_{(2k-1)h}^{2kh} K_1[2(2k-1)h - u] \cdot F'[2(2k-1)h - u] du \right\} \right| = \\ &= \left| \sum_{k=1}^{2N} \left\{ \int_{2(k-1)h}^{(2k-1)h} [F'(t) - F'(2(2k-1)h - t)] K_1(t) dt \right\} \right| \leq \\ &\leq \sum_{k=1}^{2N} \int_{2(k-1)h}^{(2k-1)h} |F'(t) - F'(2(2k-1)h - t)| K_1(t) dt = \end{aligned}$$

$$= \sum_{k=1}^{2N} \int_0^h t \omega(2t) dt = 2N \int_0^h t \omega(2t) dt = \frac{L^2}{8N} \int_0^1 t \omega\left(\frac{Lt}{2N}\right) dt, \quad (17)$$

причём полученная оценка верна для любого модуля непрерывности. Но, если $\omega(t)$ – выпуклый модуль непрерывности, то есть удовлетворяет условию

$$\frac{1}{2}[\omega(t') + \omega(t'')] \leq \omega[(t' + t'')/2], \quad \forall t', t'' \in [0, L],$$

то положим

$$\varphi(t) := \frac{1}{2} \begin{cases} \omega[2(t - 2(k-1)h)], & 2(k-1)h \leq t < (2k-1)h, \\ \omega[2(2kh - t)], & (2k-1)h \leq t < 2kh \end{cases}$$

и далее с помощью равенств

$$\begin{aligned} \varphi\left(\frac{L}{2N} + t\right) &= \varphi\left(\frac{L}{2N} - t\right), \quad \left(0 \leq t \leq \frac{L}{2N}\right), \\ \varphi\left(\frac{k}{N}L + t\right) &= \varphi(t) \quad \left(0 \leq t \leq \frac{L}{2N}, \quad k = \overline{1, N-1}\right) \end{aligned}$$

продолжим функцию φ на всем отрезке $[0, L]$.

Пусть $F_0(t) = f_0(\varphi_1(t), \dots, \varphi_m(t))$ – функция, для которой $F_0'(t) = \varphi(t)$. Нетрудно проверить, что $\varphi \in H^\omega[0, L]$ и, следовательно,

$$F_0(t) = f_0(\varphi_1(t), \dots, \varphi_m(t)) \equiv \varphi_0(t) \in W^{(1)}H^\omega[0, L].$$

Несложные вычисления приводят к равенству

$$R_N(F_0, \Gamma) = \int_0^L K_1(t) F_0'(t) dt = \frac{L^2}{8N} \int_0^1 t \omega\left(\frac{Lt}{2N}\right) dt,$$

чем завершаем доказательство теоремы 1.

Аналогичным образом доказывается

Теорема 2. Для погрешности усложненной квадратурной формулы Симпсона (9) на всем классе функций $W^{(1)}H^\omega$, где $\omega(t)$ – выпуклый модуль непрерывности, имеет место точная оценка

$$\mathcal{E}_{N,C}(W^{(1)}H^\omega) = \frac{L}{36N} \int_0^1 \omega\left(\frac{Lt}{3N}\right) (2 + Lt) dt. \quad (18)$$

Доказательство. В самом деле, пользуясь квадратурной формулой Симпсона (9), остаток формулы представим в интегральной форме

$$R_{N,C}(f, \Gamma) = \int_0^L \Phi(t) \nabla f(\varphi_1(t), \dots, \varphi_m(t)) dt, \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned} \Phi(t) = L - t - \frac{L}{6N} \left\{ 4 \sum_{k=1}^N \left(\frac{2k-1}{2N} L - t \right)_+^0 + \right. \\ \left. + 2 \sum_{k=1}^{N-1} \left(\frac{kL}{N} - t \right)_+^0 + (L-t) \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

Как и при доказательстве теоремы 1, остаток (19) может быть записан в виде

$$R_{N,C}(f, \Gamma) = - \int_0^L \Phi_1(t) F'(t) dt, \quad (21)$$

где

$$\Phi_1(t) = \begin{cases} t - (6k+1)h, & 6kh \leq t < (6k+3)h, \\ t - (6k+5)h, & (6k+3)h \leq t < 6(k+1)h, \end{cases}$$

где $k = \overline{0, N-1}$, $h = L/(6N)$. Непосредственной проверкой убедимся, что

$$\Phi_1((6k+3)h - u) = -\Phi_1((6k+3)h + u), \quad k = \overline{0, N-1}, \quad 0 \leq u \leq 3h, \quad (22)$$

$$\Phi_1\left(\frac{kL}{N} + u\right) = \Phi_1(u), \quad k = \overline{0, N-1}, \quad 0 \leq u \leq L/N.$$

Полагая

$$\delta_k := [6kh, (6k+2)h], \quad \Delta_k := [(6k+2)h, (6k+4)h], \quad k = \overline{0, N-1}$$

и учитывая отмеченные выше свойства функции Φ_1 , будем иметь (см. схему рассуждений в [4]):

$$|R_{N,C}(f, \Gamma)| \leq 2N \left| \int_{\delta_k} \Phi_1(t) F'(t) dt \right| + N \left| \int_{\Delta_k} \Phi_1(t) F'(t) dt \right|. \quad (23)$$

Проводя аналогичные вычисления, приведенные при доказательстве теоремы 1, с учётом свойств функции Φ_1 , для любого модуля непрерывности получим оценку сверху

$$|R_{N,C}(f, \Gamma)| \leq \frac{L}{36N} \int_0^1 \omega\left(\frac{Lt}{3N}\right) (2 + Lt) dt,$$

которая для выпуклого модуля непрерывности обращается в равенство. Теорема 2 доказана.

Следствие. В условиях теоремы 2 для $\omega(t) = t^\alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$) имеет место равенство

$$\mathcal{E}_{N,C}(W^{(1)}H^{(\alpha)}) = \frac{L^{1+\alpha}}{36 \cdot 3^\alpha \cdot N^{1+\alpha}} \cdot \left(\frac{2}{1+\alpha} + \frac{L}{2+L} \right).$$

В завершение работы отметим, что наилучшие квадратурные формулы приближ вычисления криволинейного интеграла для других классов функций и кривых, заданные модулями непрерывности, найдены в [4,5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Никольский С.М. Квадратурные формулы. – М.: Наука, 1988.
2. Файзмамадова Л.Г. О численном интегрировании криволинейных интегралов первого рода. – ДАН РТ, 2012, т. 55, №7, с. 533-539.
3. Шабозов М.Ш., Файзмамадова Л.Г. Наилучшая формула численного интегрирования криволинейного интеграла первого рода для некоторых классов функций и кривых. – Изв.АН РТ. Отд. физ.-мат. хим., геол. и техн.н., 2012, №2 (147), с. 7-15
4. Шабозов М.Ш. О наилучших квадратурных формулах для вычисления криволинейных интегралов на некоторых классах функций и кривых. – Матем.заметки, 2017, т. 96, №7, с. 637-640.
5. Шабозов М.Ш., Тухлиев К. Наилучшие квадратурные формулы вычисления криволинейных интегралов первого рода на некоторых классах функций и кривых, задаваемых модулями непрерывности. – Вестник Санкт-Петербургского государственного университета, 2015, сер.1, т. 2(60), вып.4, с. 72-85.

П.А.ДАДАБОЕВ

БАҲОИ АНИҚИ ХАТОИ ФОРМУЛАИ КВАДРАТУРИИ МУРАККАБКАРДАШУДАИ ТАҚРИБАН ҲИСОБ НАМУДАНИ ИНТЕГРАЛИ КАЧХАТАИ ЧИНСИ ЯКУМ БАРОИ СИНФИ ФУНКСИЯҲОИ КАМСУФТА

*Институти математикаи ба номи А. Ҷӯраеви
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Баҳои аниқи хатои формулаи квадратурии мураккабкардашудаи тақрибан ҳисоб намудани интегралҳои качхатаи чинси якум барои синфи функсияҳои камсуфта, ки бо мажорантаи модули бифосилагӣ дода шудаанд, ёфта шудааст.

Калимаҳои калидӣ: формулаи квадратурии мураккабкардашуда, интегралҳои качхата, модули бифосилагӣ, синфи функсияҳо.

P.A.DADABOEV

**ESTIMATES OF THE REMAINDER OF COMPLICATION QUADRATURE
FORMULAS OF APPROXIMATE CALCULATION OF CURVILINEAR
INTEGRALS OF FIRST KIND ON CLASSES OF FUNCTIONS OF LOW
SMOOTHNESS**

A.Dzhuraev Institute of Mathematics, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

An accurate estimate of the error of complicated quadrature formulas for approximate calculation of curvilinear integral of the first kind, on the class of functions of small smoothness given by the majorant of the modulus of continuity is obtained.

Key words: complicated quadrature formulas, curvilinear integral, modulus of continuity, class of functions.

УДК 004.932: 678.01

М.М.ФОЗИЛОВ, Т.Б.ЧИСТЯКОВА, А.Н.ПОЛОСИН

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК С ПОМОЩЬЮ
КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ЯЗЫКА IMAGESCRIPT**

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(Технический университет)*

Поступила в редакцию 29.08.2018 г.

В статье рассмотрены технология обработки полимерной пленки на языке ImageScript. Предложен и разработан последовательный и параллельный алгоритмы обработки изображения оператора Собеля с применением технологии OpenCL. Показан процесс разделения изображения на потоки и минимизирована связь между ними для доступа. Разработанная технология повышает эффективность обработки изображения в несколько раз.

Ключевые слова: полимерные плёнки, обработка изображения, медианный фильтр, оператор Собеля, язык ImageScript.

1. Введение

Полимерные плёнки широко используются в строительстве, промышленности, сельском хозяйстве, а также из них производят широкий ассортимент изделий бытового назначения и т.д. Поэтому обработка и управление качеством полимерных плёнок являются актуальной задачей.

Главным показателем качества полимерной пленки является отсутствие дефектов. Ряд показателей качества полимерных пленок оценивается визуально, что приводит к снижению качества. Для определения дефектов полимерных пленок, таких как черные точки, «рыбий глаз», деструкционные полосы, применяется техническое зрение [1].

При решении таких задач возникают проблемы, основными из которых являются плохая переносимость и масштабируемость программных средств анализа и обработки

Адрес для корреспонденции: Фозилов Муким Мухторович. Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Московский просп., 24-26/49, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет). E-mail: fozilov.mukim@yandex.ru

изображений, недостаточная производительность используемых вычислительных устройств. На сегодняшний день существуют различные методы обнаружения объектов на изображениях [2,3]. Но эти методы требуют значительных временных и вычислительных ресурсов для их переноса с одной аппаратной платформы на другую.

Таким образом, актуальной является задача разработки кроссплатформенного языка программирования, реализуемого на виртуальных и аппаратных платформах со стековой организацией вычислений (ImageScript). Применение языка позволит создавать аппаратурно-независимые и эффективные программы, предназначенные для анализа, обработки и распознавания изображений.

2. Технология обработки изображения на языке ImageScript

Язык ImageScript – это интерпретируемый язык программирования. Как и все другие языки программирования, язык ImageScript содержит стандартное множество встроенных типов данных, таких как числа, массивы и строки, а также основные элементы управления, такие как условия, циклы, блоки команд. Данные представляются в виде объектов. Простые объекты хранятся в стеке, сложные – в виртуальной памяти, а указатели на них хранятся в стеке [2]. Технология обработки изображения на языке ImageScript представлена на рис. 1.

На входе задается команда алгоритма обработки и распознавания изображений [3]. Затем программа ImageScript проверяет, есть ли данная команда в словаре. Если есть, то команда передается интерпретатору ImageScript, если такой команды в словаре нет, то программа ImageScript переопределяет её как новую команду и передает интерпретатору ImageScript.

Интерпретатор ImageScript работает с универсальными и специальными микропроцессорами [4]. В качестве универсального микропроцессора может выступать графический процессор (GPU).

Специализированные микропроцессоры включают микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры.

После реализации всех этапов на выходе получаем обработанное изображение.

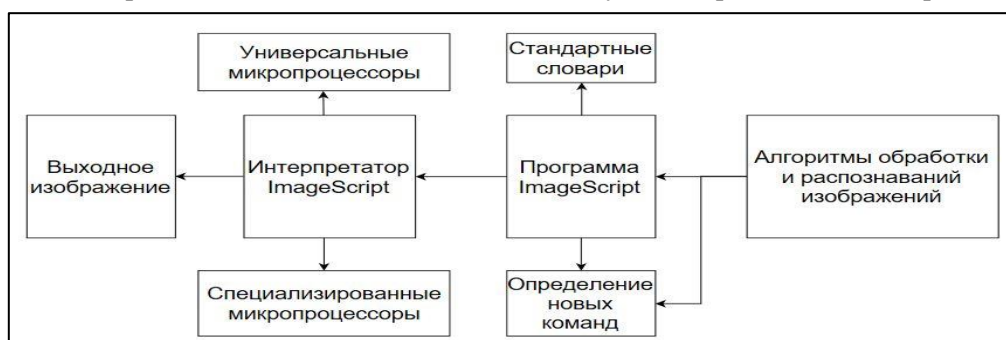


Рис. 1. Технология обработки изображения на языке ImageScript.

3. Обработка изображений, полученных с полимерной пленки, с помощью языка ImageScript

Полимерные пленки отличаются гладкостью, прозрачностью. При искусственном освещении на пленке будут видны разные типы дефектов. Для получения изображения обычно используются ПЗС-сенсоры (прибор с зарядовой связью), которые являются не только простыми в использовании, но и недорогими.

Обнаружение и идентификация дефектов полимерной пленки включает предварительную обработку изображений, выделение границ, определение типа дефектов.

3.1. Предварительная обработка изображения полимерной пленки

Большинство типов дефектов полимерной пленки в зависимости от источника дефектов (на этапе основного производства пленки на каландровой линии, на этапе подготовки экструдата и т.д.) могут быть разделены на посторонние вещества, такие как пыль, линт, масло и т.д. Также дефекты определяются по наличию на поверхности пленки черных точек, деструкционных полос, «рыбьего глаза», трещин (от лопнувших воздушных пузырей), длинных структурных дефектов (отношение длины к ширине больше 3), инородных тел, капель конденсата, отклонений цвета от эталона. Оценка количества и типов дефектов ведется на площади пленки в 10 м^2 [1]. В настоящей работе исследуется обнаружение дефекта типа «рыбий глаз», длинных структурных дефектов и дефектов типа «черная точка». На рис. 2 показаны дефекты полимерной пленки.

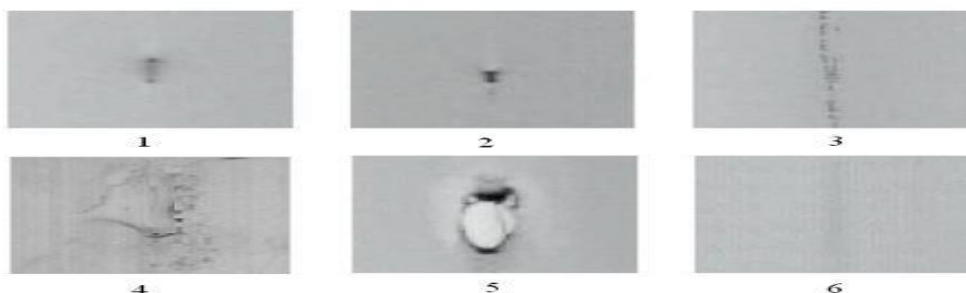


Рис. 2. Дефекты поверхности полимерной пленки.

1 – включения нерасплавленного полимера («рыбий глаз»); 2 – черная точка;
3 – структурные дефекты; 4 – конденсат; 5 – дырка; 6 – деструкционная полоса

3.2. Очистка изображения от шума

В процессе получения изображения, из-за погрешности камеры, условий освещения и других факторов, полученное изображение будет представлять собой случайный шум. Поэтому необходимо очистить изображение от шума или сгладить изображение. Простым способом очистки изображения от шума является медианный фильтр.

Медианный фильтр с окном U можно определить следующим образом:

$$f(x, y) = med \{g(s, t), (s, t) \in U\},$$

где $f(x,y)$ – значение обработанного пикселя изображения; $g(s,t)$ – значение пикселей оригинального изображения; U – медианный фильтр с окном U с центром в точке (x, y) .

3.3. Сегментация изображения

Сегментация изображения – это процесс разделения изображения на множество областей или наборов пикселей. Разделение изображения проводится на основе пороговой обработки по яркости (бинаризации). Пороговое изображение получается следующим образом:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

где $g(x,y)$ и $f(x,y)$ – уровни яркости пикселей изображения, T – пороговый уровень яркости.

Пороговое значение непосредственно влияет на результаты сегментации изображения. После нескольких экспериментов выбрано пороговое значение $T=75$.

После того как определен порог изображения, необходимо определить границу дефекта полимерной пленки. Для этого применяется оператор Собеля (iSobel) языка ImageScript.

3.4. Определение границы дефекта пленки

Рассматривается входное изображение градиента серого цвета из n строк и m столбцов. Каждый пиксель в точке (x,y) имеет интенсивность между 0 (черный) и 255 (белый). Пусть входное изображение будет присвоено двумерной матрице I того же размера. Идея оператора Собеля состоит в том, чтобы найти значение границ в каждом пикселе, аппроксимируя вычисления вектора градиента. Вектор градиента состоит из двух компонент вдоль оси Ox и оси Oy изображения, как определено в уравнении (3).

$$\nabla f = \begin{pmatrix} \frac{df}{dx} \\ \frac{df}{dy} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Поэтому величину вектора градиента можно вычислить следующим образом:

$$|\nabla f| = \sqrt{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2}.$$

Последовательный алгоритм оператора Собеля

Последовательный алгоритм оператора Собеля, который реализован на языке ImageScript, представлен в табл.1.

Горизонтальные и вертикальные аппроксимации градиента S_x и S_y вычисляются следующим образом:

$$S_x(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 P_x(i, j) \cdot I(x + i, y + j), \quad (2)$$

$$S_y(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 P_y(i, j) \cdot I(x + i, y + j), \quad (3)$$

где веса $P_x(i, j)$ и $P_y(i, j)$ соответствуют элементам маски Собеля $P_x(i + 1, j + 1)$ и $P_y(i + 1, j + 1)$.

Тогда величина вектора градиента аппроксимируется с использованием значений S_x и S_y :

$$|\nabla f| \approx |S_x| + |S_y|. \quad (4)$$

Таблица 1

Последовательный алгоритм (листинг 1)

Последовательный алгоритм
1 Входные данные:
2 Считываем изображение и конвертируем его из формата RGB в HSV с помощью команды <code>iHsv</code> . Затем преобразуем изображение в двухмерную матрицу $I(x, y)$, $0 \leq x \leq m-1$, $0 \leq y \leq n-1$.
3 Выходное значение:
4 Бинарное изображение $G(x, y)$ размера $n * m$, которое вычисляется по величине градиента изображения.
5 Вычисление:
6 for $i=1$ to $n-2$ do
7 for $j=1$ to $m-2$ do
8 В точке $I(x, y)$ вычисляем горизонтальные и вертикальные аппроксимации градиента S_x и S_y заданными уравнениями (2) и (3).
9 Находим величину градиента с помощью уравнения (4).

Параллельный алгоритм оператора Собеля

Для того чтобы ускорить процесс обработки изображения на языке ImageScript применена технология OpenCL. Этот алгоритм нацелен на системы с общей памятью, в частности на одночиповые процессоры, состоящие из многоядерных и графических процессоров. Поэтому данные, обработанные ядрами или потоками, считаются хранящимися в одной глобальной общей памяти. Основная проблема заключается в том, как разделяемые данные будут разбиты на рабочие элементы и назначены доступным потокам таким образом, чтобы связь между потоками была минимизирована. Описание алгоритма приведено в табл.2.

На вход подается матрица I размером $n \times m$ и группа логических потоков, созданная и управляемая библиотекой OpenCL.

На выходе получим матрицу G размером $n \times m$, представляющую пиксели границы, вычисленные командой потоков. Этап разделения отвечает за входные и выходные матрицы на блоке, которые должны быть назначены доступными команде потоков.

Этап разделения отвечает за распределение каждой пары блоков (I_j, G_j) на один из потоков.

Таблица 2

Параллельный алгоритм (листинг 2)

Параллельный алгоритм
1 Входные данные:
2 Матрица $I(x,y)$ из n строк и m столбцов
3 Рабочий блок (обрабатываемые потоки) $N_T > 1$.
4 Выходное значение: Бинарное изображение $G(x,y)$ размера $n * m$, которое вычисляется по величине градиента изображения.
5 Делить: Разделим входную матрицу I в I_j на блоки, $0 < I_j < N_B - 1$.
6 Разделим выходную матрицу G в G_j на блоки, $0 < G_j < N_B - 1$.
7 Присваивать: Назначим потоки T_i , $0 < G_j < N_T - 1$.
8 Вычисление: Каждый поток T_i вычисляет величину градиента $ \nabla f $ для всех пикселей в каждом назначенном блоке I_j и обновляет пиксели соответствующих блоков вывода G_j

Последним шагом алгоритма является этап вычисления, на котором рассчитываются градиентные пиксели и обновляется выходное изображение. На этом этапе каждый поток вычисляет градиент в каждом пикселе назначенного блока и обновляет соответствующий блок в выходной матрице. На рис. 3 показан результат работы параллельного алгоритма.

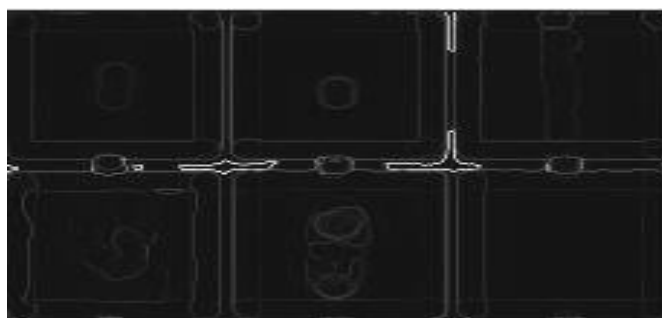


Рис. 3. Результат работы оператора Собеля.

4. Результаты тестирования и оценка эффективности

Для тестирования последовательного и параллельного алгоритмов оператора Собеля на языке ImageScript были использованы изображения нецветных упаковочных полимерных пленок, производимых на заводах корпорации Klöckner Pentaplast. Размер изображения варьировался от 512 до 2048 пикселей. Для определенного количества физических ядер, используемых в исполнении, мы запускаем наши коды с различными коли-

чествами потоков, чтобы увидеть влияние на производительность. Входное изображение разделено на несколько блоков по числу созданных потоков. Количество логических потоков варьируется от 1 до 32. Ускорения оператора Собеля приведены в табл. 3.

Таблица 3

Время работы фильтра Собеля с CPU и GPU

Размер изображения в пикселях	CPU (мс)	GPU (мс)	CPU/GPU
512x512	102.14	2.15	48.5
1024x1024	376.01	11.43	32.8
2048x2048	2788.04	84.02	33.1

5. Заключение

В статье представлена технология обработки изображения полимерных пленок на языке ImageScript. Приведены основные этапы обработки изображений для определения дефектов полимерных пленок. Предложены последовательный и параллельный алгоритмы обработки изображения оператора Собеля с применением технологии OpenCL. Таким образом, разработанная технология повышает скорость обработки изображений в зависимости от размера изображения (например 512x512 в 49 раз).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистякова Т.Б., Тетерин М.А. Алгоритм интеллектуального анализа больших данных и управления качеством полимерных материалов. – Известия СПбТИ(ТУ), 2017, № 40, с.94-101.
2. Выхованец В.С., Фозилов М.М. Язык ImageScript для кроссплатформенного анализа, обработки и распознавания сигналов и изображений. «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2016) – М.: ИПУ РАН, 2016, 249-253.
3. Фозилов М.М. Язык ImageScript для анализа, обработки и распознавания изображений. Молодежный научно-технический вестник, 2016, № 7, 15 с.
4. Фозилов М.М. Виртуальная машина ImageScript для анализа, обработки и распознавание сигналов и изображений. – Научный альманах, 2017, № 2-3(28), 217 с.

М.М.ФОЗИЛОВ, Т.Б.ЧИСТЯКОВА, А.Н.ПОЛОСИН

БАРНОМАИ КОМПЛЕКСӢ БАРОИ КОРКАРДИ ТАСВИРӢ РАКАМИИ ПЛӢНКАӢОИ ПОЛИМЕРӢ БО ӢРИИ ЗАБОНИ КРОССПЛАТФОРМАВИИ IMAGESCRIPT

*Донишқадаи давлатии технологияи Санкт-Петербург
(Донишгоҳи техникӣ)*

Дар ин мақола технологияи коркарди тасвирҳои рақамии плёнкаи полимерӣ ба воситаи забони барномасозии ImageScript оварда шудааст. Алгоритми пайдархамӣ ва параллелӣ барои коркарди тасвирии оператори Sobel бо истифода аз технологияи OpenCL пешниҳод карда мешаванд. Раванди тақсим кардани тасвир ба

чараёнхо ва робитаи байни онҳо нишон дода шудааст. Технологияи таҳияшуда самаранокии коркарди тасвириро якчанд маротиба зиёд мекунад.

Калимаҳои калидӣ: плёнкахои полимерӣ, коркарди тасвир, филтери миёна, оператори Собел, забони барномасозии ImageScript.

M.M.FOZILOV, T.B.CHISTYAKOVA, A.N.POLOSIN

**PROGRAM COMPLEX FOR DIGITAL PROCESSING OF IMAGES
OF POLYMERIC MATERIALS BY THE CROSS-PLATFORM LANGUAGE
IMAGESCRIPT**

Saint-Petersburg State Institute of Technology

The article discusses the technology of processing of polymeric films by the ImageScript language. Serial and parallel algorithms for image processing of the Sobel operator using the OpenCL technology are proposed and developed. The process of dividing an image into streams is shown and the connection between them for access is minimized. The developed technology increases the efficiency of image processing several times.

Key words: polymeric films, image processing, median filter, Sobel operator, ImageScript language.

УДК 621.315.59

Т.М.АЛИДОДОВ, Х.Х.МУМИНОВ

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РАСЧЕТА ВНУТРЕННЕГО
НАПРЯЖЕНИЯ В АКТИВНОМ СЛОЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР GaInAsP/InP**

*Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 18.06.2018 г.*

В работе представлена методика определения и расчета внутренних напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP с различной толщиной активного слоя $d > 0.1$ мкм. Изучены особенности распределения напряжений в активном слое. Исследовался ряд двусторонних гетероструктур с различными уровнями внутренних напряжений методом люминесценции.

Ключевые слова: гетероструктуры GaInAsP/InP, внутреннее напряжение, упругая деформация, линейная поляризация.

Внутреннее напряжение в гетероструктурах GaInAsP/InP возникает вследствие различия периодов решетки эпитаксиальных слоев и подложки. Возможны различные исходные состояния слоев (растяжение или сжатие) из-за нарушения условия изопериодичности в ту или иную сторону [1,2].

Ранее было показано, что упругие напряжения приводят к улучшению излучательных параметров гетероструктур GaInAsP/InP, что может найти своё применение для создания инжекционных лазеров [3-5].

Следовательно, определение, расчет и управление уровнями пластического напряжения в гетероструктурах представляют интерес с целью оптимизации напряженно-го состояния гетероструктур по излучательным параметрам, например по пороговому току, дифференциальной эффективности и поляризации излучения.

В работе [2] было показано, что упругая деформация под действием одностороннего сжатия создает в определённом диапазоне давления такое же состояние кристаллической решетки, какое возникает в активном слое двусторонней гетероструктуры, если период решетки в подложке больше, чем в активном слое (то есть, когда $\Delta a/a > 0$). Возни-

Адрес для корреспонденции: Алидодов Тугишо Мералишоевич. 734065, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: t.alidodov@gmail.com

кающее при этом внутреннее напряжение, созданное внешнем сжатием, сравнимо с внутренним остаточным напряжением, возникающим в результате относительного несоответствия периодов решетки сопрягаемых слоев. Однако технически возможно только сжатие по одной оси, нормальной к активной плоскости, причем только одного знака. Для выявления основных закономерностей, связанных с влиянием рассогласования периодов решетки, требуется иная методика определения внутреннего напряжения обоих знаков.

Представленная работа посвящена методике определения и расчета внутренних напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP с различной толщиной активного слоя $d > 0.1 \mu\text{м}$.

Разработана методика моделирования напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP, изучение особенностей распределения напряжений в активном слое проведено методом люминесценции [6].

В гетероструктурах с $d > 0.1 \mu\text{м}$ величина внутреннего напряжения и относительного несоответствия периодов решетки сопрягаемых слоев определяется из анализа спектральной зависимости степени линейной поляризации спонтанного излучения [2,3]

$$\rho_{\pi} = \frac{3}{8} \Delta \left[\frac{1}{KT} - \gamma + \frac{d \ln I(\hbar\omega)}{d(\hbar\omega)} \right], \quad (1)$$

где Δ – величина расщепления верхушки валентной зоны в точке $k=0$, γ – константа, характеризующая рабочие квантовые состояния, K – постоянная Больцмана, T – температура, $I(\hbar\omega)$ – интенсивность излучения.

Измерения ρ_{π} вдоль контура полосы люминесценции позволяет рассчитывать Δ и γ . В области упругой деформации решетки, то есть в пределах когерентности гетерограниц, величину Δ можно однозначно связать с относительным несоответствием периодов решетки $\left(\frac{\Delta a}{a}\right)_{\perp}$ в следующем виде

$$\left(\frac{\Delta a}{a}\right)_{\perp} = \frac{\Delta_{100}}{2b}, \quad (2)$$

где Δ_{100} – расщепление верхушки валентной зоны в кристаллографическом направлении (100), b – сдвиговая константа деформационного потенциала для соответствующего направления.

Величина Δ_{100} связана с величиной внутреннего упругого напряжения σ_{xx} следующим образом:

$$\sigma_{xx} = \frac{1}{s_{11}-s_{12}} \cdot \frac{\Delta_{100}}{2b} = \frac{1}{s_{11}-s_{12}} \cdot \left(\frac{\Delta a}{a}\right)_{\perp}, \quad (3)$$

где S_{11} и S_{12} – постоянные упругой податливости полупроводникового материала.

При расчетах для S_{11} и S_{12} использовались значения $S_{11} = 11.688 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{н}$; $S_{12} = -4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{н}$, полученные по линейной интерполяции постоянных упругой податливости бинарных соединений, входящих в состав $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}\text{As}_y$ при $x=0.26$; $y=0.62$ (состав, соответствующий излучению гетероструктуры на длине волны $\sim 1.3 \text{ мкм}$ при 300 К).

Спектры поляризации спонтанного излучения лазерных диодов снимались при токах значительно ниже порогового тока генерации, чтобы исключить влияние стимулированного излучения на линейную поляризацию излучения. Подобные спектры ранее рассматривались в [1].

На рис.1. представлен спектр спонтанного излучения гетеродиода в структуре с сильно сжатым активным слоем в направлении (100) и спектральной зависимостью степени линейной поляризации ρ_π вдоль контура полосы электролюминесценции, рассчитанный по формуле (1) (сплошная кривая) и экспериментальные данные (точки).

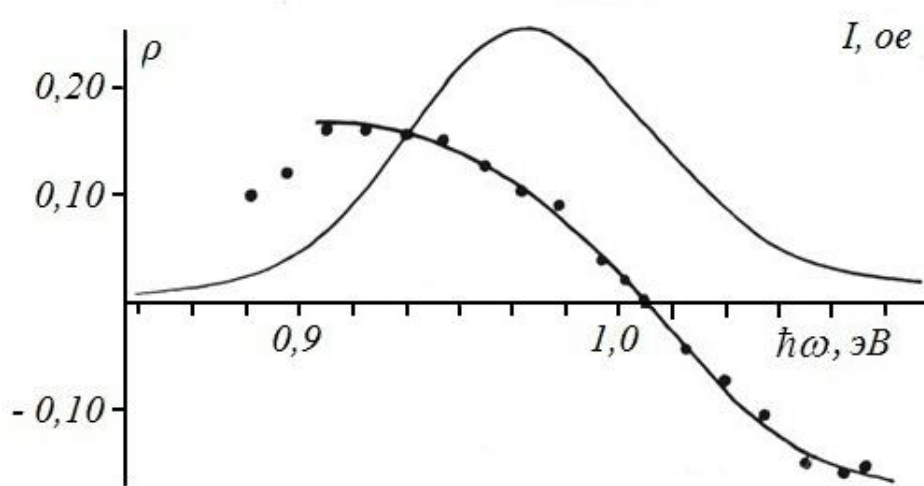


Рис.1. Спектр электролюминесценции ДГС GaInAsP/InP и спектральные зависимости степени линейной поляризации ρ при 300 К для излучателя с сжатой активной областью по плоскости активного слоя.

Как видно из рис. 1, на коротковолновой стороне $\frac{dI}{d(\hbar\omega)} > 0$ и излучение преимущественно поляризовано по направлению параллельной оси деформации и $\rho_\pi < 0$, что соответствует состоянию сжатия и $\Delta < 0$.

Сплошная теоретическая кривая, рассчитанная по формуле (1), удовлетворительно согласуется с экспериментальными результатами при $\Delta = -4.5 \text{ мэВ}$, $\Delta\gamma = -0.04$.

Исследовался ряд двусторонних гетероструктур с различными уровнями внутренних напряжений. Для них рассчитывались значения величины $(\Delta a/a)$, а затем σ_{xx} по формулам (2) и (3). Некоторые параметры и результаты расчетов представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что активный слой образцов из партии №1-4 имеет деформацию сжатия, из партии №5-6 – деформацию растяжения по нормали в плоскости активно-го слоя.

Таблица 1

Параметры и результаты расчетов

№ партии	λ_g , нм	d, нм	Δ , мэв	$\left(\frac{\Delta a}{a}\right)_\perp$	σ_{xx} н/м ²	$J_{пор}$ кА/см	Тип поляризации
1	1356	1800	6.8	$3 \cdot 10^{-3}$	$1.42 \cdot 10^8$	2.0	ТЕ
2	1320	2000	0.5	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^7$	4.2	ТЕ
3	1380	1000	8.0	$3.65 \cdot 10^{-3}$	$1.67 \cdot 10^8$	1.5	ТЕ
4	1350	1500	5.5	$2.48 \cdot 10^{-3}$	$1.14 \cdot 10^8$	3.5	ТЕ
5	1340	1300	-4.5	$-2.5 \cdot 10^{-3}$	$-1.28 \cdot 10^8$	2.5	ТМ
6	1330	1200	-3.0	$-1.25 \cdot 10^{-3}$	$-0.6 \cdot 10^8$	3.2	ТМ

Расчётные данные показывают, что в образцах с большими значениями σ_{xx} , то есть сильно деформированных, пороговые токи меньше, а длина волны генерации сдвинута в область меньшей энергии.

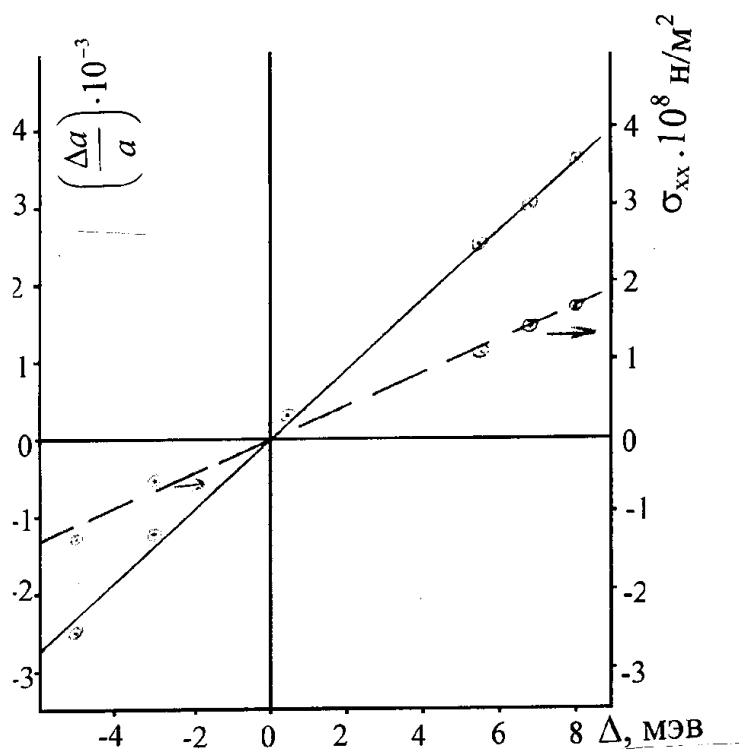


Рис.2. Зависимость $\left(\frac{\Delta a}{a}\right)_\perp$ (1) и внутренних напряжений σ_{xx} (2) от величины энергетического расщепления Δ при 300 К для кристаллического направления «100».

На рис. 2 представлены зависимости $(\Delta a/a)_{\perp}$ и σ_{xx} от Δ для всех исследованных образцов гетероструктур, из которых следует, что эти зависимости являются линейными и прямая линия проходит через $\Delta=0$, что соответствует полному совпадению параметров решетки и отсутствию внутреннего напряжения. В интервале изменения $(\Delta a/a)_{\perp} = 0-3.6 \cdot 10^{-3}$, $\Delta = 0 - 8$ Мэв сохраняется линейность, что свидетельствует об упругом характере деформации активного слоя гетероструктуры.

Таким образом, с использованием поляризационной методики рассчитаны величины внутреннего напряжения в активном слое гетероструктуры GaInAsP/InP с толщиной $d > 0.1$ мкм и показано, что в пределе до уровня напряжения $1.7 \cdot 10^8$ н/м² активный слой упруго деформируется. При этом наблюдается улучшение излучательных характеристик (снижение порогового тока, повышение дифференциальной эффективности и поляризации излучения) лазерных диодов, изготовленных на основе двойной гетероструктуры GaInPAs/InP.

Применение этой методики позволяет рассчитать уровень упругой деформации излучающего слоя и установить взаимосвязь между излучательными и деформационными параметрами гетероструктур.

Применение поляризационной методики возможно для определения и расчета упругих напряжений в сравнительно толстых слоях, когда толщина слоя больше 0.1 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олсен Г.-Х., Эттенберг М. – Рост кристаллов. Вып.2. Под ред. К.Гудмана. – М.: Мир, 1981, с. 9-75
2. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н, Шохуджаев Н. Влияние анизотропной деформации на излучательные характеристики лазеров на основе GaInPAs/InP. – Препринт ФИАН №107. – М., 1984, 64 с.
3. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н., Шохуджаев Н. – Квантовая электроника, 1984, т. 11, №6, с. 1665-1667.
4. Голинова Е.Г., Дураев В.П., Козиков С.А. и др. – Квантовая электроника, 1995, т. 22, №2, с. 105
5. Акимова И.В., Елисеев П.Г., Коняев В.П., Швейкин В.И. – Квантовая электроника, 1994, т. 21, №5, с. 405
6. Шохуджаев Н., Алидодов Т.М. Расчет упругих напряжений в активном слое гетероструктур GaInAsP/InP. – Тез. докл. международ. конф. по физике конденсированного состояния и экологических систем, ФТИ АН РТ. – г. Душанбе, 2004, с. 76

Т.М.АЛИДОДОВ, Х.Х.МУМИНОВ

УСУЛИ МУАЙЯНКУНӢ ВА ҲИСОБ КАРДАНИ ШИДДАТИ ДОХИЛӢ ДАР ҚАБАТИ ФАЪОЛИ ГЕТЕРОСОХТОРИ GaInAsP/InP

*Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Мақолаи мазкур ба усули муайянкунӣ ва ҳисобкунии шиддати дохилӣ дар гетеросохтори GaInAsP/InP бо ғафсии гуногуни қабати фаъоли он ($d > 0,1$ мм) бахшида шудааст. Хусусияти тақсими шиддати чандирӣ дар қабати фаъол омӯхта мешавад. Як қатор гетеросохторҳои дучониба бо сатҳҳои гуногуни шиддати дохилӣ бо усули люминиссенсия тадқиқ карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: гетеросохтори GaInAsP/InP, шиддати дохилӣ, деформацияи чандирӣ, поляризацияи хаттӣ.

T.M.ALIDODOV, KH.KH.MUMINOV

CALCULATION OF THE INTERNAL STRESS OF THE ACTIVE LAYER IN GaInAsP/InP HETEROSTRUCTURES

S.U.Umarov Physical-Technical Institute, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

The present paper is devoted to the method for determining and calculating the internal stresses in GaInAsP/InP heterostructures with different active layer thickness $d > 0.1$ μm . The features of the stress distribution in the active layer are studied. A series of bilateral heterostructures with different levels of internal stresses was investigated by the luminescence method.

Key words: heterostructures GaInAsP/InP, internal stress, elastic deformation, linear polarization.

УДК 621.315.592

Н.СУЛТОНОВ, А.Т.АКОБИРОВА, Р.Б.ХАМРОКУЛОВ, М.Г.ЛУКАШЕВИЧ*,
В.И.ГОЛОВЧУК*

**СТРУКТУРА, МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК
ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ**

*Таджикский национальный университет,
*Белорусский государственный университет
Поступила в редакцию 16.05.2018 г.*

В работе приведены результаты синтеза и изучения структурно-морфологических характеристик пленок теллурида кадмия, синтезированных на кремниевых подложках разного структурного совершенства методом вакуумного напыления в квазизамкнутом объеме, и нахождения их взаимосвязи с электрическими свойствами. Получены пленки толщиной от 110 до 200 мкм с удельным сопротивлением в интервале $2 \times 10^8 - 5.2 \times 10^9$ Ом.см. На основе данных атомно-силовой микроскопии (АСМ), растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноструктурного анализа (РСА) установлено, что пленки CdTe имеют поликристаллическую структуру с размерами кристаллитов интервале от 1.5 до 2 мкм в зависимости от морфологии поверхности подложки. Показано, что морфология подложки существенно влияет на размер формирующихся кристаллитов и удельное сопротивление пленок.

Ключевые слова: теллурид кадмия, поликристаллическая пленка, морфология поверхности, рентгеноструктурный анализ, напыление, квазизамкнутый объем.

При выращивании пленок необходимо контролировать целый ряд параметров, таких как материал и структура подложки, ее температура, состав пара, интенсивность его поступления [1-4]. Обычно эти параметры подбирают эмпирически для получения нужных структур и состава пленки [5, 6].

В настоящее время ведётся интенсивный поиск материалов для изготовления высокочувствительных, радиационностойких, надёжных и дешевых детекторов ядерных излучений. Одним из наиболее эффективных материалов для таких целей может быть теллурид кадмия. Практика показала, что детекторы ядерного излучения на монокристалли-

Адрес для корреспонденции: Султонов Низом. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: h.rajabmurod@mail.ru

ческом теллуриде кадмия очень надёжны и высокоэффективны, но высокая стоимость изготовления является главным препятствием к их широкому распространению. Наилучшим вариантом в этом случае может быть использование аморфных или поликристаллических пленок.

В связи с этим большой интерес представляет получение пленок теллурида кадмия на подложках из разных материалов с разным структурным совершенством с целью получения пленок заданных размеров и толщины с требуемыми электрофизическими свойствами.

Целью настоящей работы является синтез пленок теллурида кадмия на монокристаллических подложках кремния разного структурного совершенства (в дальнейшем CdTe-Si) и исследование их структурно-морфологических и электрических свойств.

Пленки толщиной в интервале 100-200 мкм были получены методом вакуумного напыления в реакторе с квазизамкнутым объемом, представляющем собой кварцевую трубу с внутренним диаметром 83 мм и длиной 120 мм. На трубу ложится подложка на соответствующем трафарете. Оптимизированная температура подложки для синтеза пленок теллурида кадмия была $220 \pm 10^\circ\text{C}$. Синтез проводился в вакууме $\sim 10^{-5}$ мм рт.ст.

Для сублимации теллурида кадмия использовался ленточный танталовый испаритель с рабочим объемом $10 \times 12 \times 15$ мм³. В зависимости от расположения подложки относительно испарителя с веществом была получена разная толщина пленок при одинаковом времени синтеза. Максимальная толщина образуется на подложке, находящейся непосредственно над испарителем. По мере удаления от центра пленка становится тоньше: в среднем на 10-15 мкм. Охлаждение пленки также производилось в вакууме в течение трех часов. Охлаждение происходит путём излучения тепла, теплопередача практически отсутствует. При попытке резко остудить, то есть вынуть образец на воздух, происходило частичное или полное отслаивание пленки от подложки.

Морфология поверхности плёнок исследовалась методом атомно-силовой микроскопии при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме на частоте 145 кГц прибором Solver P47HT-МДТ. Использовались кантилеверы серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм. Величина шероховатости поверхности определялась как среднее арифметическое значение высоты микронеровностей, измеренное от средней линии профиля (по модулю) в пределах заданной длины по проведенным не менее пяти раз измерениям на одном образце диаметром 5 мм.

Таблица 1

Влияние технологических условий напыления на удельное сопротивление пленок CdTe-Si, полученных на кремниевых подложках с разным совершенством поверхности

№ п/п	Вид обработки подложки. Шероховатость, нм	Условия напыления	Толщина пленки CdTe, мкм	Удельное сопротивление, Ом·см
1	Шлифованная, $R_a = 8.6 \text{ нм}$	Температуры подложки 493 К. Расстояние испаритель-подложка 8 см. Время напыления 16 мин.	110	$3.4 \cdot 10^8$
2	Полированная $R_a = 2.7 \text{ нм}$	Температуры подложки 493 К. Расстояние испаритель-подложка 8 см. Время напыления 24 мин.	110	$2 \cdot 10^8$
3	Шлифованная $R_a = 8.6 \text{ нм}$	Температуры подложки 493 К. Расстояние испаритель-подложка 8 см. Время напыления 16 мин.	200	$5.2 \cdot 10^9$
4	Полированная $R_a = 2.7 \text{ нм}$	Температуры подложки 493 К. Расстояние испаритель-подложка 8 см. Время напыления 24 мин.	200	$3.9 \cdot 10^9$

В табл. 1 приведены результаты влияния технологических условий синтеза в квазизамкнутом объеме. Как видно, полученные пленки являются высокоомными и удельное сопротивление пленок, полученных на шлифованной поверхности кремния, в 1.5-2 раза больше, чем у пленок, синтезированных на полированной подложке.

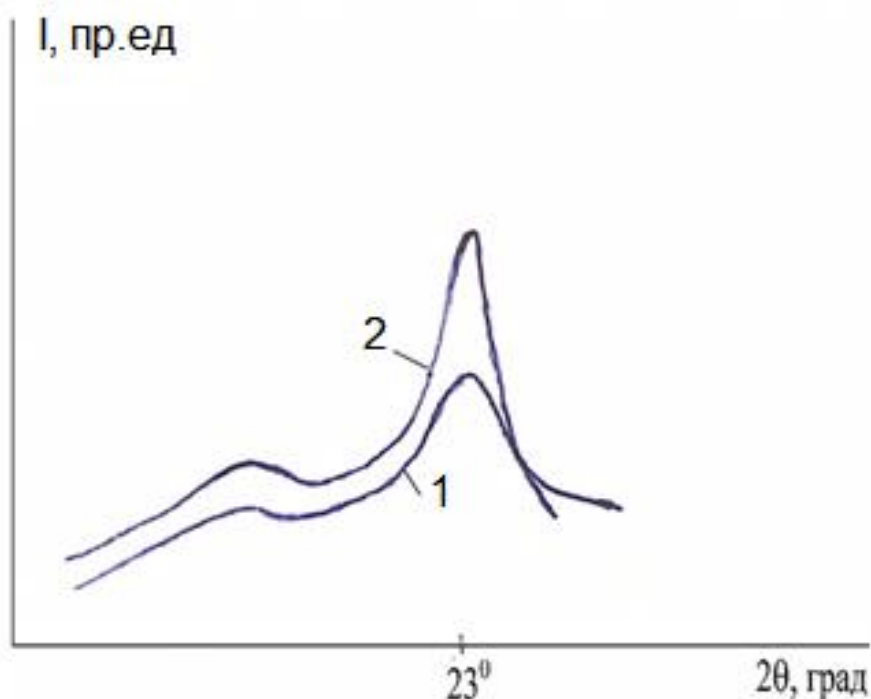


Рис. 1. Дифрактограммы пленок CdTe, полученных на шлифованной (1) и полированной (2) кремниевых подложках.

Таблица 2

Структурные характеристики пленок, полученных на разных подложках из Si

Подложка	Толщина, мкм	Температура подложки, К	Интенсивность рефлекса (И), отн. ед.	Размеры кристаллитов h_k , мкм	Межплоскостное расстояние d , Å
Si шлифованная	110	493	44	1.25	3.7950
Si полированная	110	493	55	1.45	3.7949

Как следует из профиля рентгеновских рефлексов и данных, приведенных в табл. 2, пленки являются поликристаллическими с размерами кристаллитов около 1.3 мкм для шлифованной и 1.5 мкм для полированной подложек. Большая интенсивность рефлекса (111) и больший размер кристаллитов для рефлекса (111) пленки CdTe на полированной подложке по сравнению с пленкой, полученной на шлифованной поверхности, связаны с ее меньшей шероховатостью и, как следствие, лучшими условиями зарождения кристаллита и миграции атомов кадмия и теллура по полированной поверхности кремниевой подложки в процессе синтеза.

На рисунках 2 и 3 показано трехмерное АСМ изображение шлифованной (рис. 2а) и полированной (рис. 3а) монокристаллических пластин Si и выращенных на них пленок CdTe (рис. 2б и рис. 3б) соответственно. Как видно, на поверхности полированной пластины Si отсутствуют царапины и ее шероховатость составляет $R_a=2.7$ нм, что значительно меньше, чем у шлифованной подложки, где наблюдаются царапины глубиной до 140 нм и шероховатость $R_a = 8.6$ нм (рис. 2а и 3а). Оцененный размер кристаллитов для пленок, синтезированных на шлифованной и полированной поверхностях, составил 1.1-1.2 мкм и 1.3-1.45 мкм, соответственно.

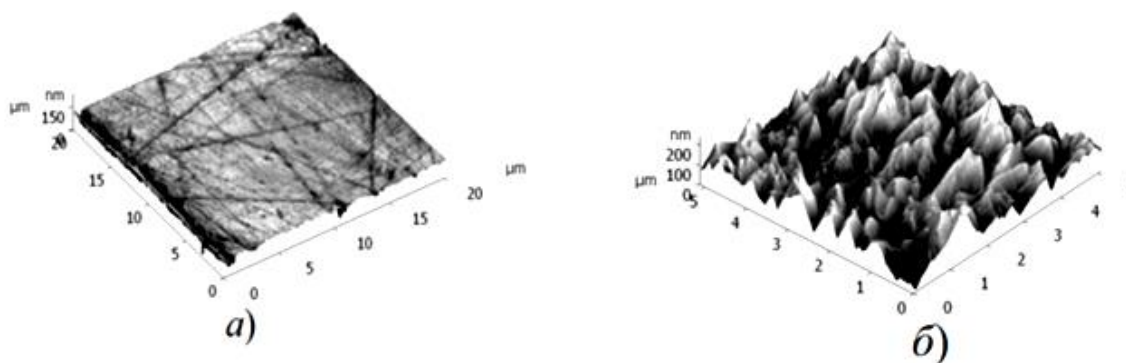


Рис. 2. Трехмерное АСМ изображение поверхности шлифованной кремниевой подложки (а) и выращенной на ней пленки теллурида кадмия (б).

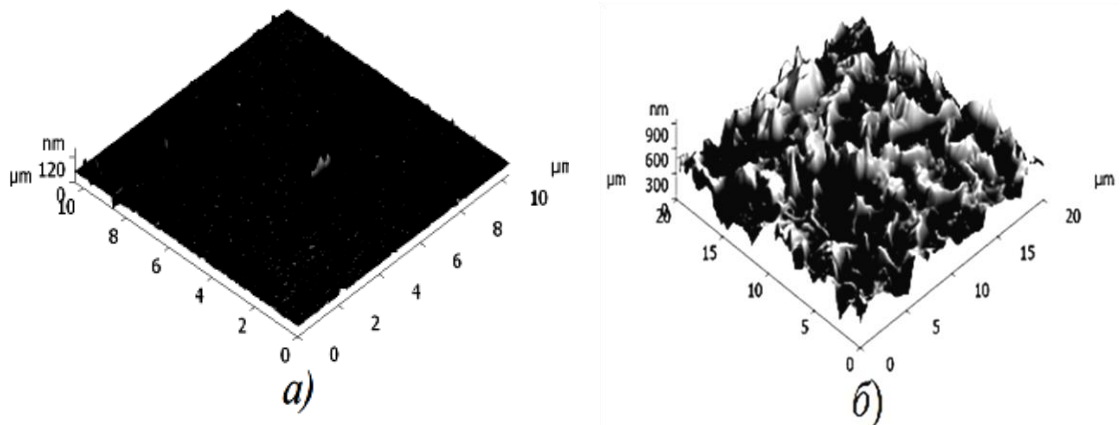


Рис. 3. Трехмерное АСМ изображение полированной поверхности кремниевой подложки (а) и выращенной на ней пленки теллурида кадмия (б).

Изображения растрового электронного микроскопа поверхности пленки теллурида кадмия, выращенной на шлифованной и полированной пластинах кремния, показаны на рис. 4 (а) и (б) соответственно.

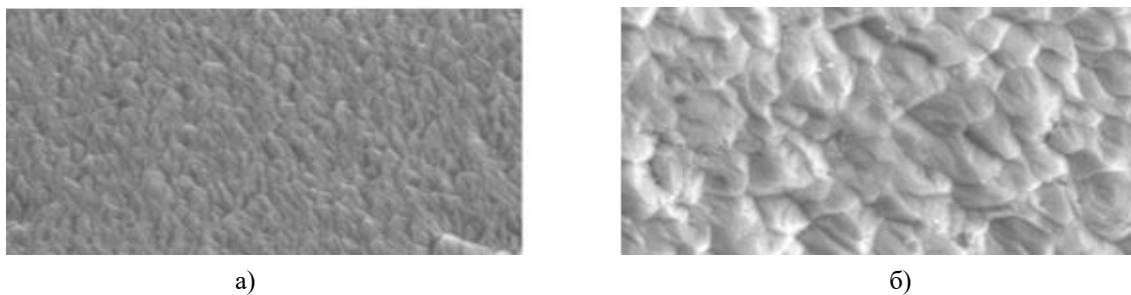


Рис. 4. Изображения растрового электронного микроскопа поверхности пленки теллурида кадмия на шлифованной (а) и полированной (б) подложках кремния.

Хорошо видно, что размер кристаллитов пленки на полированной подложке значительно больше, и, кроме того, на рис. 4(б) отчетливо наблюдаются ступеньки роста кристаллов. Из сравнения размеров кристаллитов, полученных методами АСМ и РЭМ а также данных РСА можно заключить, что для всех использованных методик исследования они достаточно хорошо коррелируют.

На рис. 5 в логарифмических координатах представлены вольтамперные характеристики для пленок теллурида кадмия, синтезированных на вышеописанных подложках. Как и следовало ожидать вольтамперная характеристика пленки на полированной подложке лежит выше. Кроме того, точка излома вольтамперной характеристики для пленки на полированной подложке смещена в сторону больших значений напряжения.

Как видно из рисунка 5, возрастание тока в пленке в зависимости от приложенного напряжения подобно диодным вольтамперным характеристикам с экспоненциальной зависимостью тока от приложенного напряжения.

Согласно модели электростатических потенциальных барьеров в поликристаллических пленках возрастание тока связано с их понижением, что способствует переходу носителей заряда через барьер. Так как кристаллиты на полированной подложке более совершенны, что подтверждается рентгеноструктурным анализом и растровой электронной микроскопией, то можно ожидать большей высоты потенциального барьера в пленках на полированной подложке. Область резкого увеличения тока в сильном электрическом поле может быть обусловлена ударной ионизацией в межкристаллитных барьерах.

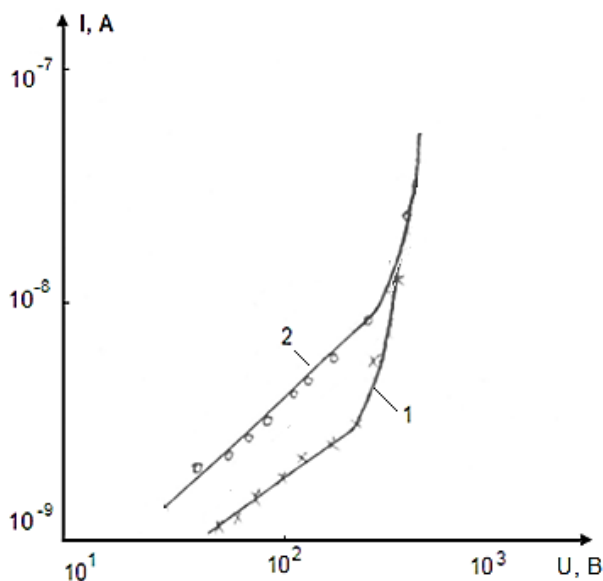


Рис. 5. Вольтамперная характеристика пленок CdTe толщиной 110 мкм на шлифованной (1) и полированной (2) кремниевых подложках.

Таким образом, анализ изображений АСМ, РЭМ и РСА пленок теллурида кадмия, полученных методом напыления в квазизамкнутом объеме на кремниевых подложках с разной морфологией поверхности, позволяет утверждать, что предложенным методом можно получать поликристаллические пленки теллурида кадмия с разной морфологией поверхности, а именно, пленки с размерами кристаллитов в интервале 1.1-1.2 мкм и 1.3-1.45 мкм для шлифованных и полированных подложек соответственно. Установлено, что пленки на полированной поверхности кремния имеют меньшее удельное сопротивление и обусловленное ударной ионизацией резкое возрастание тока наблюдается в более сильных электрических полях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акобирова А.Т., Султонов Н.С., Азизов К.Д., Хамрокулов Р.Б. Влияние режима напыления на электропроводность и фоточувствительность пленок CdTe. – Мат-лы науч.-теор. конф. профес.-препод. состава и студентов, посвящ. 10-летию 16 сессии Верховного совета РТ 12-го созыва. – Душанбе, 2002, с. 28.

2. Ақобирова А.Т., Султонов Н.С., Ҳамроқулов Р.Б. Влияние режима напыления на характеристики пленок CdTe. – Мат-лы науч.-теор. конф. профес.-препод. состава и студентов, посвящ. 60-летию Победы в Великой Отечественной войне «Во имя мира и счастья на земле». – Душанбе, 2005, с. 42-43.
3. Ақобирова А.Т., Султонов Н.С., Ҳамроқулов Р.Б., Давлатов М. Влияние условий получения пленок теллурида кадмия на их фотопроводимость. – Программа и тезисы докладов науч.-теор. конф. «Проблемы современной физики», посвящ. 65-летию со дня рождения доктора физ.-мат. наук, проф. Саидова Д.С. – Душанбе, 9 декабря 2006, 37 с.
4. Аркадьева Е.Н., Маслова Л.В., Матвеев О.А., Прокофьев С.В., Рывкин С.М., Хусаинов А.Х. Спектрометрические детекторы гамма-квантов на основе кристаллов теллурида кадмия – ДАН СССР, 1975, т. 221, №1, с. 77-80.
5. Трофимов В.И., Осадченко В.А. Ростиморфология тонких пленок.– М.: Энергоатомиздат, 1993, 272 с.
6. Чернов А.А. Современная кристаллография. – М.: Наука, 1980, т. 3, 407 с.

**Н.СУЛТОНОВ, А.Т.АҚОБИРОВА, Р.Б.ҲАМРОҚУЛОВ,
М.Г.ЛУКАШЕВИЧ*, В.И.ГОЛОВЧУК***

СОҲТОР, МОРФОЛОГИЯ ВА ҲОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ ПАР- ДАҲОИ ТЕЛЛУРИДИ КАДМИЙ

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон,

**Донишгоҳи давлатии Белоруссия*

Дар кори мазкур натиҷаҳои омӯзиши хусусиятҳои сохторию морфологии пардаҳои теллуриди кадмий дар зерлаҳҳои монокристаллии силитсий ва алоқамандии он бо хосиятҳои электрикӣ оварда шудааст. Дар асоси натиҷаҳои микроскопия атомию қуввагӣ, микроскопияи электронӣ ва таҳлили рентгенӣ муайян карда шудааст, ки пардаҳои теллуриди кадмий дорои сохтори поликристаллии андозаҳои кристаллитҳояшон 1.5-2 мкм аст, ноқилияти онҳо аз андозаи кристаллитҳо ва баландии сатҳи потенциалӣ байнокристаллитӣ вобаста мебошад. Таъсири сохторӣ ва морфологии пардаҳои дар сатҳи зерлаҳҳои силитсий суфта ва сайқалкардашуда омӯхта шуд.

Калимиҳои калидӣ: морфология, пардаҳои поликристаллӣ, теллуриди кадмий, таҳлили рентгенӣ, сохтор, ҳаҷми квазимаҳдуд.

N.SULTONOV, A.T.AKOBIROVA, R.B.HAMROQULOV, M.G.LUKASHEVICH*,
V.I.GOLOVCHUK*

STRUCTURE, MORPHOLOGY AND ELECTRIC CHARACTERISTICS OF CADMIUM TELLURIDE FILMS

Tajik National University,

**Belarussian State University*

In this work the results of studies of structural and morphological features of cadmium telluride films, which have been obtained by vacuum deposition method in quasi-close volume, and their interrelation with electric characteristics, have been presented. In the basis of AFM (atomic-force microscopy), REM (raster-electron microscopy), and X-ray data it is determined that CdTe films have polycrystalline structure of $1.5-2\mu m$ crystallite size, their conduction is determined by the size of crystal and intercrystalline potential barrier. The structure and morphology characteristic of films, which have been obtained in planished and polished surface of silicon substrate, have been studied

Key words: morphology, polycrystalline, film, cadmium telluride, X-ray structural analysis, quasi-closed volume.

УДК 624.042

И.И.КАЛАНДАРБЕКОВ, Д.Н.НИЗОМОВ, И.К.КАЛАНДАРБЕКОВ

**ЧИСЛЕННОЕ ПОСТРОЕНИЕ СПЕКТРОВ ФУРЬЕ И РЕАКЦИЙ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 21.05.2018 г.

Разработаны алгоритмы и программы численного решения задач спектрального анализа сейсмических воздействий в виде записей акселерограмм. Численным моделированием получены спектры Фурье и реакций и проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: амплитудный спектр, сейсмическая опасность, спектральная плотность, синтезированная акселерограмма, энергетический спектр, сейсмическое ускорение, спектральный анализ.

Наиболее важным параметром колебаний поверхности земли при землетрясениях является амплитудный спектр Фурье, который широко используется при оценке сейсмической опасности и для прогноза характеристик сильных движений. Определение спектральных характеристик и установление их зависимости от параметров землетрясений (магнитуда, эпицентрального расстояние, глубина очага, грунтовые и геологические условия) представляет практический интерес.

Спектры Фурье. На основе спектрального анализа определяются преобладающие периоды записей акселерограмм землетрясений. В отличие от [1], здесь вместо акселерограммы землетрясения EL Centro рассматривается Иранское землетрясение 1981г., интенсивностью 9 баллов (таблица). Спектральная плотность $F(\omega)$ в общем случае комплексной функцией частоты может быть представлена в алгебраическом и показательном виде [1].

Адрес для корреспонденции: Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович, Низомов Джахонгир Низомович, Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович. 734029, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: iftikhor791@mail.ru, tiees@mail.ru, kalandarbekov-55@mail.ru

$$F(\omega) = \int_{t=-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt = a(\omega) - ib(\omega), \quad F(\omega) = |F(\omega)| e^{-i\varphi(\omega)}, \quad (1)$$

$$a(\omega) = \int_{t=-\infty}^{\infty} f(t) \cos \omega t dt, \quad b(\omega) = \int_{t=-\infty}^{\infty} f(t) \sin \omega t dt, \quad (2)$$

$$|F(\omega)| = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)}, \quad \varphi(\omega) = \arctg[b(\omega) / a(\omega)]. \quad (3)$$

где $a(\omega)$, $b(\omega)$ – составляющие спектральной плотности (коэффициенты Фурье), модуль $|F(\omega)|$ определяет амплитудный, а аргумент $\varphi(\omega)$ – фазовый спектр сигнала $f(t)$. Полная энергия сигнала $f(t)$, определяется как интеграл квадрата модуля его амплитудного спектра по [2].

Для численного интегрирования использована формула Симпсона, которая обладает повышенной точностью для полиномов не только второй, но и третьей степени [3], то интегралы (2) представляются в виде

$$\begin{aligned} a(\omega) &= \sum (t - 2\Delta\tau) + \frac{\Delta\tau}{2\psi} \left[f(t - 2\Delta\tau) \cdot \cos \omega(t - 2\Delta\tau) + \right. \\ &\quad \left. + 4f(t - \Delta\tau) \cdot \cos \omega(t - \Delta\tau) + f(t) \cdot \cos \omega(t) \right], \\ b(\omega) &= \sum (t - 2\Delta\tau) + \frac{\Delta\tau}{2\psi} \left[f(t - 2\Delta\tau) \cdot \sin \omega(t - 2\Delta\tau) + \right. \\ &\quad \left. + 4f(t - \Delta\tau) \cdot \sin \omega(t - \Delta\tau) + f(t) \cdot \sin \omega(t) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

$$|F(\omega)| = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)},$$

где $\sum (t - 2\Delta\tau)$ – результат суммирования для предшествующего интервала времени $t - 2\Delta\tau$, $\Delta\tau$ – шаг интегрирования, $\psi = 3$. Численный процесс суммирования осуществляется в конце каждого шага $2\Delta\tau$, который разбивается на 2 равных частей. Численное интегрирование в (4) производится при $\omega_k = k\Delta\omega$, $k = 0, 1, 2, \dots, N$, а затем по формулам (3) вычисляются амплитудные и фазовые спектры функции $f(t)$.

Таблица

Основные характеристики акселерограмм

№пп	Землетрясение	T_0 , с	A_{\max} , см/с ²	Δt , с	I , балл
1	Иранское 16.09.1978 г	20	915.3	0.02	10
2	Иранское 1981 г.	4	713.19	0.02	9
3	СА - 482	4.36	392.4	0.005	9
4	Холестер 09.03.1949 г.	9	127.79	0.01	7
5	Гиссарское 23.01.1989 г	12	62.8	0.025	6

На рис.1 представлены графики амплитудного спектра в зависимости от периода $T = 2\pi / \omega$, полученные при $\Delta T = T_{\max} / N$, где $T_{\max} = 2$ с, $N = 120$; обозначение кривых соответствует порядковой нумерации в табл. Из полученных результатов следует, что амплитудно-частотная характеристика Иранского землетрясения 1978 г. (кривая 1) имеет достаточно сложный характер изменения, наибольший максимум соответствует периоду $T = 0.78$ с. Высокочастотный характер изменения наблюдается в пределах от $T = 0.1$ до $T = 0.8$ с. Пики $|F(\omega)|$ Иранского землетрясения 1981 г. (кривая 2) соответствуют периодам $T = 0.32$ и $T = 0.75$ с. Синтезированная акселерограмма имеет относительно гладкий характер изменения (кривая 3) с максимальной амплитудой 162 см/с.. Максимальные амплитуды спектров акселерограмм №4 и №5 соответственно равняются 64.3 и 28.0 см/с.

С целью сравнения численным интегрированием по формуле (5.8.6) [4] определены энергии пяти акселерограмм (таблица):

$$E_1 = 0.1027 \cdot 10^7; E_2 = 0.1875 \cdot 10^6; E_3 = 0.1331 \cdot 10^6 \text{ см}^2/\text{с}^3;$$

$$E_4 = 0.9239 \cdot 10^4; E_5 = 0.1790 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{с}^3.$$

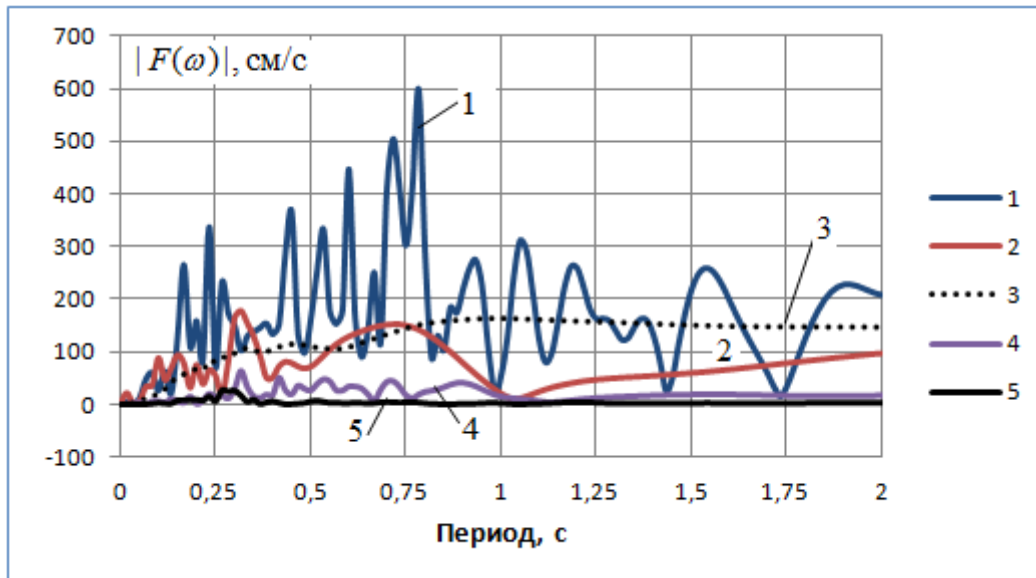


Рис.1. Амплитудные спектры различных акселерограмм землетрясений.

Спектры реакций. Данные спектры необходимы для определения сейсмических сил. Наиболее точной мерой интенсивности сейсмического воздействия на здания и сооружения являются спектры реакций. Спектры реакции – это графики зависимости параметров реакции от собственной частоты при различных величинах затухания. Далее рассмотрим численное решение задачи по расчету спектра реакций. В отличие от [2], здесь, на основе разработанной программы, получены спектры кинематических реакций от сейсмических воздействий, указанных в таблице. Проведено сравнение полученных спектров скоростей реакций с данными амплитудного спектра Фурье. Для построения спектров реакций решается дифференциальное уравнение сейсмических колебаний системы с одной степенью свободы [4]

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_0, \text{ или } \ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = -\ddot{y}_0(t), \quad (5)$$

где m – масса; c – коэффициент вязкого затухания; k – коэффициент жесткости; $\ddot{y}_0(t)$ – ускорение грунта основания; $\omega = \sqrt{k/m}$ – круговая частота свободных колебаний без учета затухания; $\xi = c/c_c = c/2m\omega$ – параметр затухания; $c_c = 2m\omega$ – минимальная величина затухания, при котором перемещение стремится к нулю по экспоненте и не происходит свободные колебания (критическое затухание). Решение уравнения (5) приведено в [5].

Из уравнения (5) следует, что если пренебречь малой по сравнению с $\omega^2 y$ величиной $2\xi\omega\dot{y}$ [6], то полное ускорение массы относительно неподвижной системы координат ($\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \ddot{y}$) при $\omega_1 \approx \omega$ и с учетом (2) представляется в виде

$$\begin{aligned}
W(t, \xi, T) &= \ddot{y}_1(t) = -\omega^2 y(t) = -\omega \int_0^t \ddot{y}_0(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \sin \omega(t-\tau) d\tau = \\
&= -\omega^2 [A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t], \tag{6}
\end{aligned}$$

где $W(t, \xi, T)$ – сейсмическое ускорение линейного осциллятора с периодом $T = 2\pi / \omega$ и параметром затухания ξ . Максимальное во времени значение сейсмической силы инерции выражается формулой

$$S(t, \xi, T)_{\max} = m |W(t, \xi, T)|_{\max} = m C_W(\xi, T), \tag{7}$$

$$C_W(\xi, T) = |W(t, \xi, T)|_{\max} = \left| \omega^2 [A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t] \right|_{\max}, \tag{8}$$

здесь $C_W(\xi, T)$ называется спектром ускорения, который характеризует максимальное ускорение массы системы при сейсмическом воздействии $\ddot{y}_0(t)$ и затухания ξ для данного значения T . Полученный ряд чисел из (8) при различных значениях T и фиксированном значении ξ позволяет построить график спектра ускорения функции $\ddot{y}_0(t)$. Спектры скоростей C_V и смещений C_Y можно получить из следующей зависимости [6,7]:

$$C_W(\xi, T) = \omega C_V(\xi, T) = \omega^2 C_Y(\xi, T), \tag{9}$$

$$C_V(\xi, T) = C_W(\xi, T) / \omega = \left| \omega [A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t] \right|_{\max}, \tag{10}$$

$$C_Y(\xi, T) = C_W(\xi, T) / \omega^2 = \left| A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t \right|_{\max}, \tag{11}$$

здесь $C_V(\xi, T)$ называется спектром псевдоскорости [8]. Производя интегрирование по частям дважды в формуле скорости

$$V(t, \xi, T) = W(t, \xi, T) / \omega = \int_0^t \ddot{y}_0(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \sin \omega(t-\tau) d\tau, \tag{12}$$

можно получить зависимость $V(t, \xi, T)$ от смещения грунта $y_0(t)$ и для построения спектров использовать сейсмограммы [9]

$$\begin{aligned}
V^*(t, \xi, T) &= \omega y_0(t) - \omega^2 (1 - \xi^2) \int_0^t y_0(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \sin \omega(t-\tau) d\tau - \\
&\quad - 2\xi\omega^2 \int_0^t y_0(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] \cos \omega(t-\tau) d\tau. \tag{13}
\end{aligned}$$

Откуда, пренебрегая величиной ξ^2 , получим спектр псевдоскорости сейсмического воздействия, представленный сейсмограммой землетрясения

$$C_V^*(\xi, T) = \left| \omega y_0(t) - \omega^2 \int_0^t y_0(\tau) \exp[-\xi\omega(t-\tau)] [\sin \omega(t-\tau) + 2\xi \cos \omega(t-\tau)] d\tau \right|_{\max} \quad (14)$$

Спектры смещений и ускорений на сейсмическое воздействие в виде сейсмограммы вычисляются из зависимости (9):

$$C_Y^*(\xi, T) = C_V^*(\xi, T) / \omega, \quad C_W^*(\xi, T) = \omega C_V^*(\xi, T).$$

Таким образом, спектры реакций характеризуют поведение реальной системы с одной степенью свободы (с определенным периодом T и затуханием ξ) и непосредственно показывают значения ее реакции при землетрясении.

На основе разработанной программы проведены численные эксперименты и получены спектры кинематических реакций от заданных функций $\ddot{y}_i(t)$ (таблица). На рис.2 представлены спектры скоростей реакций, полученные по формуле (10) при нулевом демпфировании и $\Delta T = 0.0167$ с. Сравнение этих графиков с данными амплитудного спектра Фурье (рис.1) показывает их достаточно близкое соответствие, как по амплитудным, так и частотным характеристикам.

На рис.3 сопоставляются спектры скоростей, полученные по формулам (5) и (10) при различных значениях параметра затухания: $\xi = 5$ и $\xi = 20\%$. Видно, что кривые псевдоскорости и действительной скорости практически совпадают.



Рис.2. Спектры скоростей реакций пяти акселерограмм без учета затухания ($\xi = 0$).

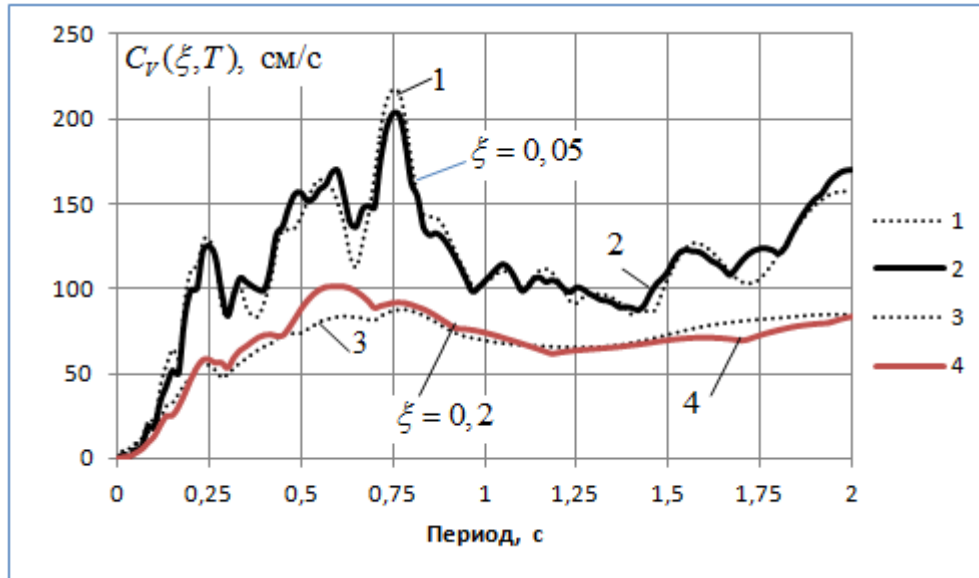


Рис.3. Сравнение спектров скоростей при различных параметрах затухания (1, 3 – псевдаскорость; 2,4 - действительная скорость) акселерограммы №1.

Спектры ускорений, представленные на рис.4, показывают, что амплитуда спектра акселерограммы землетрясения Иран (1978 г., А-1) примерно в три раза больше амплитуды спектра синтезированной акселерограммы СА-482. Если разделить спектры (рис.4) на ускорение $0.4g$, то например, спектральный коэффициент динамичности $\beta(\xi, T)$ для СА-482 будет иметь максимальное значение на отрезке от $T = 0.125$ до $T = 0.5$ с, равное примерно 3, а для А-1 этот коэффициент при $T = 0.2$ с равняется 8.75.

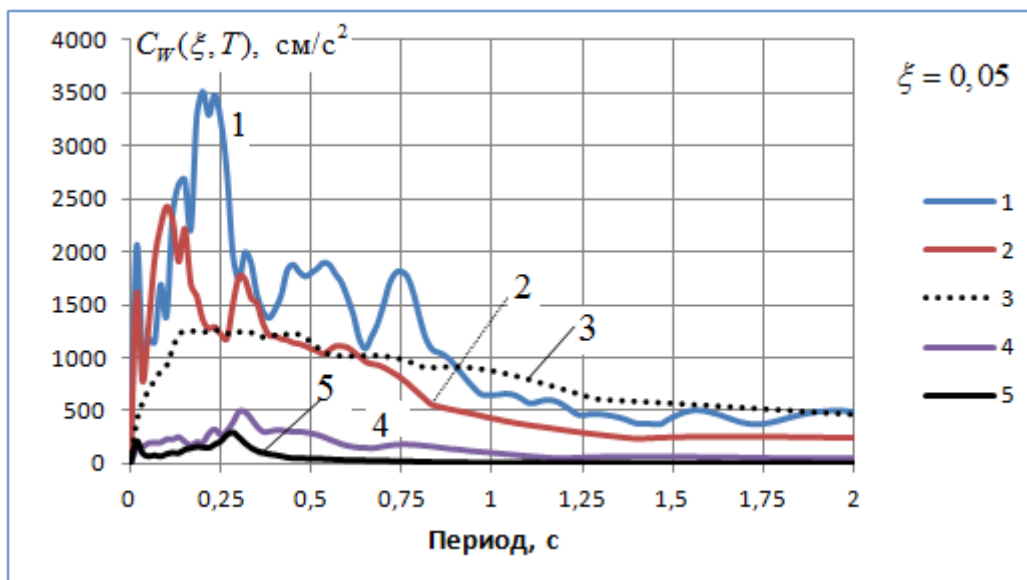


Рис.4. Сравнение спектров ускорений пяти акселерограмм при $\xi = 0.05$.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод, что разработанные алгоритмы и программы численного построения спектров Фурье и реакций позволяют проводить исследования по спектральному анализу сейсмических воздействий. Разработанные компьютерные программы могут быть использованы для спектрального анализа различных физических, геофизических и других сигналов, представленных в виде ряда наблюдаемых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Каландарбеков И.И. Спектры сейсмических колебаний на воздействие в виде заданной акселерограммы – ДАН РТ, 2017, т 60, №3-4, с. 151-156.
2. Бат Маркус. Спектральный анализ в геофизике. – М.: Недра, 1980, 535 с.
3. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970, 664 с.
4. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. – Душанбе: Дониш, 2015, 436 с.
5. Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Ходжибоев А.А. Спектральный анализ сейсмических колебаний. – ДАН РТ, 2015, т 58, №11, с. 1009-1016.
6. Завриев К.С., Назаров А.Г., Айзенберг Я.М. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений, т.2. – М.: Стройиздат, 1970, 224 с.
7. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции. – М.: Высшая школа, 1983, 304 с.
8. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства. – М.: Стройиздат, 1980, 344 с.
9. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. – М.: Госстройиздат, 1962, 284 с.

И.И.ҚАЛАНДАРБЕКОВ, Ҷ.Н.НИЗОМОВ, И.Қ.ҚАЛАНДАРБЕКОВ СОХТАНИ СПЕКТРҲОИ ФУРЬЕ ВА АКСУЛАМАЛҲО ТАЪСИРОТИ СЕЙСМИКӢ БО УСУЛҲОИ АДАДӢ

*Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Алгоритм ва барномаи ҳалли ададии масъалаҳои таҳлили спектралӣ таъсири заминчунбӣ ба намуди акселерограмма коркард шудааст. Бо моделкунонии ададӣ спектрҳои Фурье ва аксуламалҳо ба даст оварда шудааст ва таҳлили муқоисавӣ гузаронида шудааст.

Қалимаҳои калидӣ: спектри амплитудавӣ, ҳатари сейсмикӣ, зичии спектралӣ, акселерограммаи сунӣ, спектри энергетикӣ, басомади сейсмикӣ, таҳлили спектралӣ.

I.I.KALANDARBEKOV, J.N.NIZOMOV, I.K.KALANDARBEKOV

**NUMERICAL CONSTRUCTION OF FOURIER AND REACTION SPECTRA
OF SEICMIC EFFECTS**

*Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

Algorithms and programs for numerical solution of problems of spectral analysis of seismic effects in the form of accelerogram records have been developed. Fourier spectra and reactions were obtained by numerical simulation and a comparative analysis was performed.

Key words: amplitude spectrum, seismic hazard, spectral density, synthesized accelerogram, energy spectrum, seismic acceleration, spectral analysis.

УДК 547.432:547.673

Т.Б.БОБОКАЛОНОВ, С.М.САФАРМАМАДОВ

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗА (III)
С 1-ФОРМИЛ-3-ТИОСЕМИКАРБАЗИДОМ**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 24.01.2018 г.

Методом потенциометрического титрования исследован процесс комплексообразования железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом в интервале температур 278-308 К. Установлено, что железо (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом образует две комплексные формы. Рассчитаны значения общих и ступенчатых констант устойчивости. Показано, что с возрастанием температуры в этом интервале устойчивость комплексов увеличивается. Рассчитаны значения ΔH , ΔG и ΔS образования комплексов.

Ключевые слова: 1-формил-3-тиосемикарбазид, железо (III), тиосемикарбазид, комплексообразование, константы устойчивости.

В [1] имеются сведения о комплексообразовании ртути (II) и серебра (I) с тиосемикарбазидом в растворах. Установлено, что ртуть (II) с тиосемикарбазидом (TS) образует комплексную частицу состава $[\text{Hg}(\text{TS})_4]^{2+}$, устойчивость которой с возрастанием температуры уменьшается. Показано, что среднее значение ΔH для этого комплекса равно -41 ккал. Серебро (I) с TS образует комплексную частицу состава $[\text{Ag}(\text{TS})_3]^+$. ΔH образования комплекса равно -18 ккал. В работе [2] приведены данные потенциометрического исследования комплексообразования серебра (I) с ацилпроизводными тиосемикарбазида. Показано, что серебро (I) с 1-формил и 1-ацетил-3-тиосемикарбазидом в водных растворах образует три комплексные формы. Для каждой комплексной формы определены значения общих и ступенчатых констант устойчивости. Показано, что устойчивость 1-ацетил-3-тиосемикарбазидных комплексов серебра (I) больше, чем у 1-формил-3-тиосемикарбазидных. Комплексообразованию железа (III) с тиосемикарбазидом посвя-

Адрес для корреспонденции: Бобокалонов Тоджиддин Баротмахмадович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет.
E-mail: tojiddin_8989@mail.ru

щены работы [3,4]. Установлено, что Fe (III) с тиосемикарбазидом реагирует ступенчато с образованием двух комплексных форм. Определены общие константы устойчивости комплексов. Величины ступенчатых констант устойчивости комплексов с возрастанием температуры увеличиваются. Показано, что образующиеся комплексные частицы энтропийно стабилизированы.

Анализ литературных данных о комплексообразовании серебра (I) и других переходных металлов с тиосемикарбазидом и его алкилзамещёнными свидетельствует об экзотермичности процесса комплексообразования [1,2]. Вместе с тем наши исследования показывают, что комплексообразование Fe (III) с тиосемикарбазидом протекает с поглощением тепла. В этой связи исследование комплексообразования Fe (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом позволяет, с одной стороны, установить влияние ацильной группы на устойчивость комплексов, а с другой, выявить, как влияет повышение температуры на устойчивость образующихся комплексов.

Цель настоящей работы – исследование процесса комплексообразования железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом при разных температурах, установление влияния ацильной группы и температуры на устойчивость образующихся комплексов.

Экспериментальная часть

В качестве исходных солей для создания окислительно-восстановительной системы Fe(III)/Fe(II) использовали сульфаты $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ и $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, которые перекристаллизовывали из воды [5]. Содержание железа (III) и железа (II) в растворе определяли по методике, описанной в [6]. 1-формил-3-тиосемикарбазид имел марку х.ч. Для потенциометрического титрования использовали гальванический элемент с переносом. В качестве индикаторного электрода использовали систему Fe(III)/Fe(II), а в качестве электрода сравнения - хлорсеребряный электрод. Вспомогательным служил платиновый электрод. Процесс комплексообразования исследовали при pH=1. Измерение потенциала системы при потенциометрическом титровании проводили с помощью цифрового pH-метра марки pH-150МП. Точность измерения потенциала составляла 0.1 мВ. Потенциометрическое титрование при каждой температуре проводили четыре раза. Равновесное значение потенциала на индикаторном электроде устанавливалось в течение 5-7 минут. Температуру в ячейке поддерживали постоянной при помощи водяного термостата ($\pm 0.5^\circ C$).

Равновесную концентрацию иона железа (III) определяли по уравнению (1):

$$\lg[Fe^{+3}] = \lg C_{Fe^{+3}} - \frac{\Delta E}{1.985 \cdot 10^{-4} \cdot T}, \quad (1)$$

где $[Fe^{3+}]$ – равновесная концентрация иона железа в каждой точке титрования; $\Delta E = E_1 - E_2$; E_1 – начальный потенциал системы; E_2 – потенциал системы в каждой точке титрования; $C_{Fe^{3+}}$ – концентрация Fe^{3+} в каждой точке титрования с учетом разбавления.

Равновесную концентрацию 1-формил-3-тиосемикарбазида рассчитывали по уравнению (2):

$$[L] = C_L - n(C_{Fe^{+3}} - [Fe^{+3}]), \quad (2)$$

где C_L – концентрация 1-формил-3-тиосемикарбазида в каждой точке титрования с учетом разбавления; n - количество молекул 1-формил-3-тиосемикарбазида присоединенных железом (III).

Результаты и их обсуждение

Комплексообразование железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом в области 273-308 К исследовали методом потенциометрического титрования, используя ред/окс систему Fe(III)/Fe(II). В качестве примера в табл. 1 приведены данные потенциометрического титрования системы Fe(III)/Fe(II)-1-формил-3-тиосемикарбазид, а также данные по определению равновесной концентрации ионов железа (III), 1-формил-3-тиосемикарбазида и функция $\lg F^0$ при 298 К.

Таблица 1

Данные по определению равновесной концентрации ионов железа (III), 1-формил-3-тиосемикарбазида и функции $\lg F^0$ при 298 К ; $C_L = 8 \cdot 10^{-2}$ моль/л ; $C_{Fe^{3+}} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л

Е, В	ΔЕ, В	[Fe ³⁺] $\cdot 10^{-5}$, моль/л	[L] $\cdot 10^{-4}$, моль/л	lgF ⁰	Е, В	ΔЕ, В	[Fe ³⁺] $\cdot 10^{-5}$, моль/л	[L] $\cdot 10^{-4}$, моль/л	lgF ⁰
0.504					0.367	0.137	0.20	75.041	4.43
0.479	0.024	19.25	-	-	0.365	0.139	0.18	83.710	4.42
0.468	0.036	12.29	-	-	0.361	0.142	0.16	92.031	4.44
0.457	0.047	7.91	-	-	0.355	0.149	0.12	107.716	4.48
0.445	0.058	5.03	1.006	4.94	0.351	0.153	0.10	122.242	4.49
0.437	0.067	3.59	3.158	4.60	0.347	0.156	0.081	135.730	4.51
0.432	0.072	2.95	5.446	4.45	0.345	0.159	0.070	148.290	4.52
0.427	0.076	2.48	7.742	4.38	0.342	0.162	0.062	160.012	4.53
0.422	0.082	1.98	10.012	4.37	0.336	0.167	0.046	181.259	4.57
0.417	0.087	1.61	12.283	4.37	0.329	0.174	0.033	200.006	4.65
0.413	0.091	1.39	14.564	4.36	0.326	0.178	0.027	216.672	4.67
0.407	0.096	1.11	19.090	4.34	0.324	0.180	0.024	231.584	4.68
0.402	0.101	0.91	23.546	4.33	0.319	0.184	0.018	251.223	4.72
0.396	0.107	0.70	27.919	4.36	0.316	0.187	0.015	268.185	4.74
0.393	0.110	0.62	32.234	4.35	0.313	0.190	0.013	282.981	4.77
0.390	0.114	0.53	38.568	4.34	0.310	0.194	0.010	300.002	4.80
0.385	0.119	0.44	44.730	4.35	0.306	0.198	0.008	317.859	4.85
0.379	0.125	0.34	50.729	4.40	0.302	0.202	0.006	332.788	4.90
0.376	0.128	0.30	56.582	4.41	0.299	0.205	0.005	345.455	4.92
0.370	0.133	0.23	66.004	4.43	0.297	0.207	0.004	356.339	4.95

Проведённые исследования показали, что при титровании системы, состоящей из Fe(III)/Fe(II), сернокислым раствором 1-формил-3-тиосемикарбазида потенциал ред/окс системы уменьшается в зависимости от температуры опыта на 180-210 мВ. Этот экспериментальный факт свидетельствует о том, что в реакции комплексообразования с 1-формил-3-тиосемикарбазидом участвует окисленная форма окислительно-восстановительной системы, то есть железо (III).

Для установления количества частиц, образующихся при взаимодействии железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом, использовали методику, предложенную в работе [7]. На рис.1. в качестве примера представлена зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов Fe (III) при 298 К.

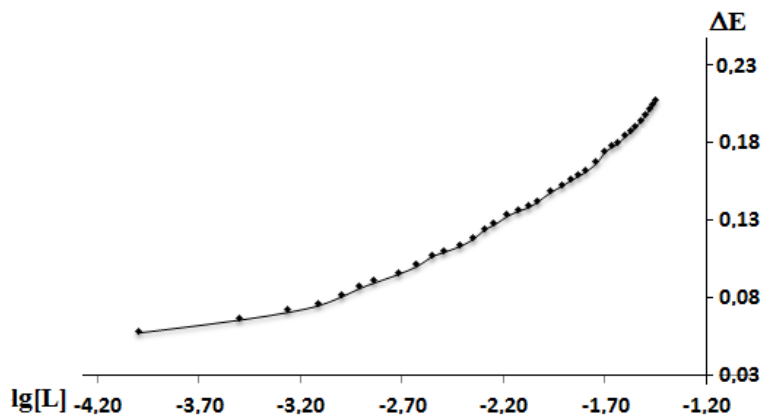


Рис.1. Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III) при 298 К.

Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для системы Fe(III)-1-формил-3-тиосемикарбазид как при 298 К, так и при других температурах имеет нелинейный характер, что указывает на ступенчатое комплексообразование между Fe (III) и 1-формил-3-тиосемикарбазидом. Углы наклонов зависимостей ΔE от $-\lg[L]$ при избытке 1-формил-3-тиосемикарбазид в растворе соответствуют присоединению двух молекул 1-формил-3-тиосемикарбазид к железу (III) при всех изученных температурах. Можно предположить, что Fe (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом последовательно образует две комплексные частицы состава $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{L}]^{3+}$ и $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{L}_2]^{3+}$.

Для определения значения общих констант устойчивости (β_i) 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III) использовали нелинейный метод наименьших квадратов [8]. Ступенчатые константы были определены из общих констант устойчивости делением общих констант на предыдущие ($K_1=\beta_1$, $K_2=\beta_2/\beta_1$).

Таблица 2

Значения общих и ступенчатых констант устойчивости комплексов железа (III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом при 278-308 К

T, К	$\lg\beta_1$	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg K_2$
278	3.81 ± 0.11	3.81	5.73 ± 0.14	1.92
288	4.02 ± 0.11	4.02	5.92 ± 0.13	1.90
298	4.21 ± 0.08	4.21	6.14 ± 0.12	1.93
308	4.37 ± 0.18	4.37	6.35 ± 0.15	1.98

Из данных табл. 2 видно, что с возрастанием температуры значения как общих, так и ступенчатых констант устойчивости увеличиваются. При этом повышение температуры не влияет на количество частиц, образующихся между Fe(III) и 1-формил-3-

тиосемикарбазидом. Возрастание количества молекул 1-формил-3-тиосемикарбазида во внутренней координационной сфере сопровождается уменьшением ступенчатых констант устойчивости комплексов.

С целью контроля правильности полученных значений констант устойчивости проведено сопоставление величин $\Delta E_{\text{теор.}}$, рассчитанных по уравнению $\Delta E_{\text{теор}} = 2.3RT/F \lg(1 + \beta_1[L] + \beta_2[L]^2)$, с экспериментальными данными $\Delta E_{\text{эксп.}}$.

В качестве примера на рис.2. представлена зависимость $\Delta E_{\text{теор}}$ и $\Delta E_{\text{эксп}}$ от $-\lg[L]$ для 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III) при 298 К.

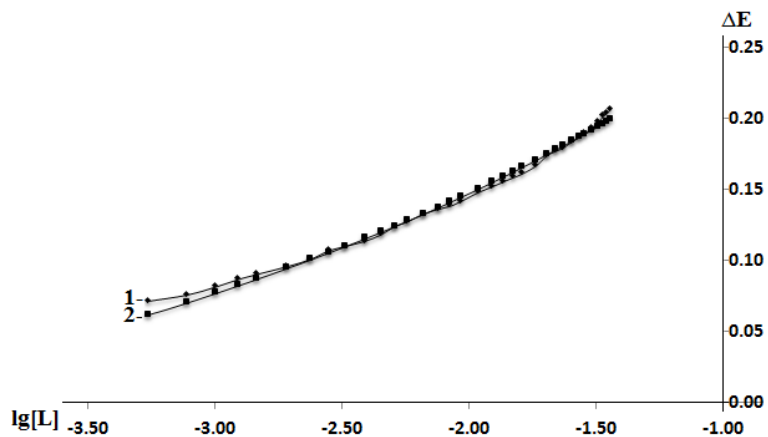


Рис. 2. Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III):
1 – $\Delta E_{\text{эксп}}$; 2 – $\Delta E_{\text{теор.}}$.

Как видно из рис. 3, $\Delta E_{\text{теор}}$ даёт удовлетворительное совпадение с $\Delta E_{\text{эксп.}}$. Разница в значениях $\Delta E_{\text{теор}}$ и $\Delta E_{\text{эксп}}$ не превышает 3-5 мВ.

Одним из наиболее распространённых методов оценки термодинамических функций считается метод температурного коэффициента. На рис.3 приведены зависимости $\lg\beta_i$ от $1/T \cdot 10^{-3}$ для моно- и двухзамещённого комплекса в интервале 278-308 К.

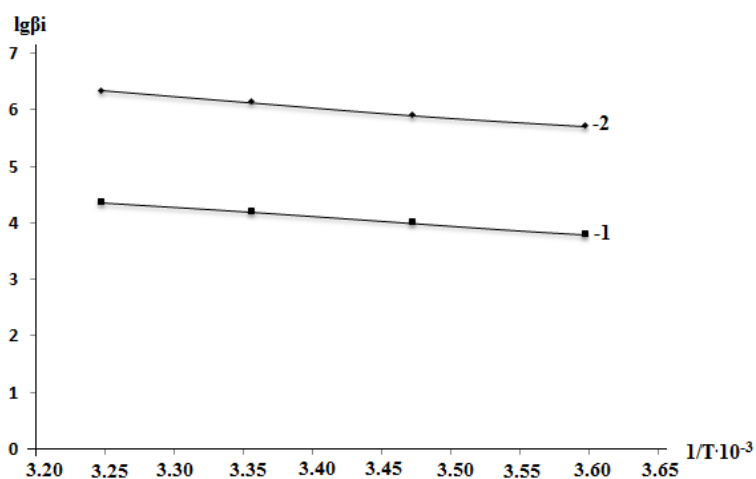


Рис. 3. Зависимость $\lg\beta_i$ от $1/T \cdot 10^{-3}$ для $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5\text{TSK}]^{3+}$ (1) и $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{TSK})_2]^{3+}$ (2).

Величины ΔH и ΔS , определённые из зависимости $\lg \beta_i$ от $1/T \cdot 10^{-3}$ методом температурного коэффициента, а также величина ΔG , рассчитанная из уравнения $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения термодинамических функций процесса образования 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III)

Состав соединения	ΔH , кДж/моль	ΔG , кДж/моль	ΔS , Дж/(моль·К)
$[\text{FeL}(\text{H}_2\text{O})_5]^{3+}$	30.73 ± 2.78	-23.98 ± 0.46	183.60 ± 9.51
$[\text{FeL}_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{3+}$	34.10 ± 5.77	-35.07 ± 0.69	232.11 ± 19.75

Анализ данных табл. 3 показывает, что процесс комплексообразования как на первой, так и на второй стадии протекает с поглощением тепла, что вносит отрицательный вклад в самопроизвольное протекание реакций образования комплексов. В свою очередь, величина ΔS на обеих стадиях комплексообразования положительна и способствует самопроизвольному протеканию реакций образования комплексов, то есть образующиеся комплексы энтропийно стабилизированы.

Анализ диаграммы распределения дал возможность выявить область доминирования той или иной комплексной формы в зависимости от концентрации и температуры (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость положения максимума выхода равновесных форм от температуры для 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III)

Состав соединения	Значения $-\lg[\text{TP}]$ при α_i^{max}			
	278 К	288 К	298 К	308 К
$[\text{FeL}(\text{H}_2\text{O})_5]^{3+}$	3.8	4.0	4.2	4.4
$[\text{FeL}_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{3+}$	1.7	1.8	1.9	2.0

Полученные данные о распределении комплексных форм в зависимости от концентрации органического лиганда и температуры будут использованы нами при синтезе комплексов Fe(III) с 1-формил-3-тиосемикарбазидом.

Сравнение устойчивости тиосемикарбазидных и 1-формил-3-тиосемикарбазидных комплексов железа (III) показало, что введение ацильной группы в молекулу тиосемикарбазиды приводит к уменьшению общих констант устойчивости. Установлено, что повышение температуры оказывает положительное влияние на образование комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Торопова В.Ф., Кириллова Л.С. Исследование комплексных соединений ртути и серебра с тиосемикарбазидом. – Журн. неорг. химии, АН СССР, 1960, вып. 3, т.5, с. 575-579.
2. Аминджанов А.А., Мабаткадамова К.С., Сафармамадов С.М., Содатдинова А.С. Комплексообразование серебра (I) с 1-формил-и 1-ацетил-3-тиосемикарбазидом при 273-328 К. – Изв. вузов. Химия и хим. технология. Иваново, 2014, т.57, №7, с. 62-65.

3. Бобокалонов Т.Б., Сафармамадов С.М. Комплексообразование в системе Fe(III)/Fe(II) – тиосемикарбазид – H₂SO₄. – Вестник ТНУ, №1/5(188), 2015, с. 127-132.
4. Бобокалонов Т.Б., Сафармамадов С.М. Исследование комплексообразования железа (III) с тиосемикарбазидом. – Вестник ТНУ, №1/3(200), 2016, с 156-161.
5. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. – М.: Химия, 1974, 409 с.
6. Коростелёв П.П. Химический анализ в металлургии. – М.: Металлургия, 1988, 384 с.
7. Новаковский М.С. Лабораторные работы по химии комплексных соединений. – Харьковский университет, 1972, 217 с.
8. Капустин Е.И. Решение некоторых классов математических задач в программе Excel. – Невинномысский химический колледж, г. Невинномысск, Интернет ресурсы, (exponep-ta.ru/educat/systemat/Kapustin/014.asp).

Т.Б.БОБОКАЛОНОВ, С.М.САФАРМАМАДОВ
КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ ОҲАН (III)
БО 1-ФОРМИЛ-3-ТИОСЕМИКАРБАЗИД

Донишгоҳи милли Тоҷикистон

Бо усули титронидани потенциометрӣ комплексахосилкунии оҳан (III) бо 1-формил-3-тиосемикарбазид дар ҳудуди ҳароратҳои 278-308 К омӯхта шуд. Муайян карда шуд, ки оҳан (III) бо 1-формил-3-тиосемикарбазид ду шакли комплексӣ ҳосил мекунад. Константаҳои устуворӣ ва зинагии зарраҳои комплексӣ ҳисоб карда шуд. Нишон дода шуд, ки бо зиёдшавии ҳарорат устувории комплексҳо зиёд мешаванд. Қиматҳои ΔH , ΔG ва ΔS барои зарраҳои комплексӣ ҳисоб карда шуд.

Калимаҳои калидӣ: 1-формил-3-тиосемикарбазид, оҳан (III), тиосемикарбазид, комплексахосилкунӣ, константаи устуворӣ.

T.B.BOVOKALONOV, S.M.SAFARMAMADOV
COMPLEXATION OF IRON (III)
WITH 1-FORMIL-3- THIOSEMICARBAZIDE

Tajik national university

The process of complexation of iron (III) has been studied by the method of potentiometric titration with a 1-formil-3-thiosemicarbazide in the interval of temperatures of 278-308 K. It has been established that the iron (III) with a 1-formil-3-thiosemicarbazide creates two complex forms. The value of general and step constants of stability have been calculated. It has shown that the stability of complexes increases with the growth of temperature. The values of ΔH , ΔG and ΔS of the complexes formation are calculated.

Key words: 1-formil-3-thiosemicarbazide, iron (III), thiosemicarbazide, complexation, constants of stability.

УДК 536; 546.650(8); 621.7

А.М.ХАЙДАРОВ, Б.Б.ЭШОВ*, Б.Ш.РАХМОНОВ, Ш.Х.ПИРОВА, А.БАДАЛОВ

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ СИСТЕМ
СВИНЕЦ – ЛАНТАНИДЫ ЦЕРИЕВОЙ ПОДГРУППЫ
И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими,

**Государственное научное учреждения*

«Центр исследования инновационных технологий» при АН Республики Таджикистан

Полуэмпирическими и расчётными методами определены уточнены термодинамические характеристики – температура и энтальпия плавления интерметаллидов (ИМ) систем Pb-Ln составов Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ и Pb_4Ln_5 (где Ln – лантаниды цериевой подгруппы). Получены наиболее полные сведения изучаемых характеристик, проведён системный анализ и установлены закономерности изменения этих характеристик ИМ в зависимости от природы лантанидов цериевой подгруппы. Проведено математическое моделирование данных и получены уравнения установленных закономерностей.

Ключевые слова: интерметаллиды, свинец – лантаниды цериевой подгруппы, температура и энтальпия плавления, системный анализ, закономерности изменения, природа лантанидов.

Свинец и сплавы на его основе широко применяются в различных областях современной техники и технологии. Фундаментальные исследования металлических систем на основе свинца, установление закономерностей изменения физико-химических, электрических и других свойств сплавов свинца с другими металлами, особенно с лантанидами, являются важной научно-прикладной задачей современного материаловедения. Наличие этих сведений способствует разработке рациональных способов получения материалов с заранее заданными прикладными характеристиками.

Наиболее полные сведения об интерметаллидах (ИМ), которые образуются в системах свинец (Pb) – лантаниды (Ln), приведены в фундаментальном справочнике [1].

Адрес для корреспонденции: Эшов Бахтиёр Бадалович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул Айни, 299/2. Государственное научное учреждение «Центр исследования инновационных технологий при Академии наук Республики Таджикистан». E-mail: ishov67@mail.ru

Имеющиеся в литературе сведения о важной прикладной характеристике ИМ – температуре плавления ($T_{пл.}$) заметно отличаются между собой и трудно установить закономерности изменения их в зависимости от природы лантанидов. Сведения по энтальпии плавления ИМ этих систем вовсе отсутствуют.

Экспериментальная часть. Результаты исследования

Нами проведены исследования по изучению электрохимических и термодинамических свойств металлических систем на основе свинца с лантанидами. В продолжение этой тематики в данной работе приведены результаты системного анализа определённых и/или уточнённых значений температуры и энтальпии плавления ИМ систем Pb-Ln составов Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ и Pb_4Ln_5 (где Ln - лантаниды цериевой подгруппы) и установленных закономерностей их изменения в зависимости от природы лантанидов.

Системный анализ проведён полуэмпирическим методом [2,3] (Расчет-1). Расчет произведен по следующему корреляционному уравнению

$$A_{Pb(x)Ln(y)} = A_{Pb(x)La(y)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(Ce - Eu)} (\gamma'' L_{(Tb - Yb)}) \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения (1) учитывают влияние: α – 4f – электронов, β - и γ – спиновых (S) и орбитальных (L) моментов движения атомов и ионов лантаноидов, соответственно, на определяемую величину (A) – температуру плавления ($T_{пл.}$) и энтальпию плавления ИМ ($\Delta H_{пл.}^0$). Коэффициент γ' - относится к лантанидам цериевой подгруппы, γ'' – к металлам иттриевой подгруппы. Метод нами успешно применён для аналогичных металлических систем [4-6] и гидридных соединений лантанидов [7,8].

Отсутствующие в литературе значения температуры плавления указанных составов ИМ для лантана (La), гадолиния (Gd) и лютеция (Lu), которые являются базовыми для данного метода, определены методами сравнительного расчёта [9] и разностей [10]. Такой подход основан на сходстве электронного строения внешних электронных орбиталей ($6s^2 5d^1$) и доминирующем влиянии имеющихся электронов 4f-орбитали ($4f^0$; $4f^7$; $4f^{14}$) на свойства атомов элементов и их соединений [11-13]. При расчётах были исправлены величины температуры плавления некоторых ИМ, обозначенных (*) в табл. 1, которые явно выпадают из установленной общей закономерности. Закономерности изменения температуры плавления ($T_{пл.}$) ИМ La, Gd и Lu в зависимости от их порядкового номера (N) имеют линейный характер (рис. 1). Математическая обработка данных позволила составить уравнения этих закономерностей (табл. 1).

Таблица 1

Температура плавления (К) интерметаллидов лантанидов

Состав ИМ	Лантаниды				Вид уравнений	R ²
	La	Gd	Lu			
1	Pb ₃ Ln	1363	1242	1120	$y = 12.929x + 905.24$	1.0
2	Pb ₂ Ln	1392	1283	1258. 1203*	$y = 11x + 954$	1.0
3	Pb ₄ Ln ₃	1421	1433	1457	$y = 9.1429x + 997.86$	1.0
4	PbLn	1519	1583	1647	$Y = 2.5714x + 1272.4$	0.96
5	Pb ₁₀ Ln ₁₁	1581*	1498. 1658*	1735*	$Y = -13.5x + 2156.7$	0.99
6	Pb ₄ Ln ₅	1642*	1733	1823	$Y = -17.357x + 2352.5$	1.0

Примечание: * - определённые и/или уточнённые нами величины.

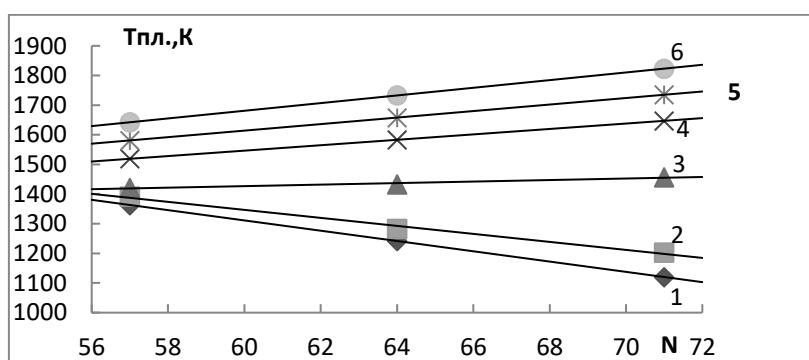


Рис. 1. Графики изменения температуры плавления (Тпл.) ИМ La, Gd и Lu от их порядкового номера (N).

Полученные сведения о температуре плавления ИМ систем Pb–Ln (где Ln - лантаниды цериевой подгруппы) позволили рассчитать значения коэффициентов уравнения (1) по формулам, приведённым в работах [2,3]. Величины коэффициентов уравнения (1), приведенные в табл. 2, позволяют установить долевое участие отдельных компонентов уравнения (1) на величины определяемой характеристики ИМ.

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляционного уравнения (1)

ИМ	Параметр	A	β	γ'
Pb ₃ Ln	$\Delta H_{пл}^0$	-134.36	7.01	87.41
	$T_{пл., К}$	-17.36	0.15	21.78
Pb ₂ Ln	$\Delta H_{пл}^0$	-65.57	-96.00	-100.78
	$T_{пл., К}$	-9.57	-12.00	2.34
Pb ₄ Ln ₃	$\Delta H_{пл}^0$	45.00	-8.29	-120.70
	$T_{пл., К}$	2.57	1.15	4.63
PbLn	$\Delta H_{пл}^0$	109.93	7.00	-340.18
	$T_{пл., К}$	9.14	0	-16.67
Pb ₁₀ Ln ₁₁	$\Delta H_{пл}^0$	0.47	-0.48	-0.01
	$T_{пл., К}$	11.00	0	0
Pb ₄ Ln ₅	$\Delta H_{пл}^0$	0.47	-0.47	0.06
	$T_{пл., К}$	12.86	0	9.29

Полученные температуры плавления ИМ позволили рассчитать энтальпию плавления (расчет – 2) ИМ лантанидов цериевой подгруппы по формуле, приведённой в работах [14,15]:

$$\Delta H_{\text{пл.}}^0 \text{Pb}_x\text{Ln}_y = T_{\text{пл.}}^{\text{ИМ}}(y\Delta H_{\text{пл.}}^{\text{Ln}}/T_{\text{пл.}}^{\text{Ln}} + x\Delta H_{\text{пл.}}^{\text{Pb}}/T_{\text{пл.}}^{\text{Pb}})/x+y \quad (2)$$

Наиболее полные сведения по температуре и энтальпии плавления ИМ изученных составов систем Pb-Ln, где Ln - лантаниды цериевой подгруппы, приведены в табл 3. Отсутствующие в литературе величины температуры плавления виртуальных ИМ оценены нами по уравнению (1).

Таблица 3

Температура ($T_{\text{пл.}}$, К) и энтальпия плавления ($\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/ моль-атомов) интерметаллидов лантанидов цериевой подгруппы

Состав		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
Pb ₃ Ln	T _{пл.}	P-1	1363	1394	1420	1424	1407	1368	1082
		Лит.	1363	1443	1393	-	-	1313	1061
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	11.36	11.36	11.40	11.36	11.23	11.01	9.02
		P-2	11.36	11.30	11.43	11.25	11.27	11.17	9.03
Pb ₂ Ln	T _{пл.}	P-1	1392	1374	1363	1350	1334	1316	1162
		Лит.	-	-	1363	-	-	988	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	11.78	11.30	10.98	10.77	10.65	10.64	9.81
		P-2	11.78	11.20	11.01	10.64	10.71	10.84	9.85
Pb ₄ Ln ₃	T _{пл.}	P-1	1421	1441	1453	1461	1464	1462	1318
		Лит.	-	-	1453	-	-	-	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	12.23	11.95	11.75	11.67	11.72	11.88	11.35
		P-2	12.23	11.83	11.79	11.48	11.78	12.16	11.37
PbLn	T _{пл.}	P-1	1519	1497	1463	1456	1465	1490	1353
		Лит.	1519	-	-	-	-	-	1353
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	13.24	12.44	11.86	11.65	11.76	12.22	11.76
		P-2	13.24	12.36	11.90	11.42	11.81	12.48	11.82
Pb ₁₀ Ln ₁₁	T _{пл.}	P-1	1581*	1603	1614	1625	1636	1647	1621
		Лит.	1581	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	16.01	16.69	16.91	17.13	17.37	17.61	17.87
		P-2	16.01	16.15	16.74	16.70	17.21	17.52	18.89
Pb ₄ Ln ₅	T _{пл.}	P-1	1643*	1697	1728	1750	1763	1767	1664
		Лит.	1643	-	1728	-	-	1733	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$	P-1	17.13	18.06	18.44	18.76	19.01	19.21	19.33
		P-2	17.13	17.61	18.41	18.49	19.02	19.26	19.72

Примечание: * - величины, оценённые нами.

Из данных табл. 3 можно заметить совпадение имеющихся литературных и расчётных значений температуры плавления для относительно изученных ИМ состава Pb₃Ln в пределах 30-40 градусов. Только для состава Pb₂Sm наблюдается сильное расхождение на 328 К. Значения энтальпии плавления ИМ по двум полуэмпирическим методам (P-1) и (P-2) хорошо согласуются между собой. Это свидетельствует о правомочности примененных полуэмпирических методов и достоверности полученных величин.

Проведено математическое моделирование установленных закономерностей изменения термодимических характеристик ИМ систем Pb-Ln в зависимости от природы лантанидов цериевой подгруппы. Математическое моделирование проведено по стандартной программе MICROSOFT EXCEL. При расчётах не учтены значения термодимических характеристик для ИМ европия, так как они выпадают из общих закономерностей, что обусловлено его электронным строением.

Получены математические уравнения зависимости изменения температуры плавления и энтальпии плавления ИМ от природы лантаноидов цериевой подгруппы, которые приведены в табл. 4 и 5, соответственно. Закономерности изменения этих термодимических свойств ИМ имеют идентичный характер. Типичные графики наглядно проиллюстрированы на рис. 2 (а,б) и пронумерованы цифрами в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Уравнения закономерности изменения температуры плавления ($T_{пл., К}$) ИМ от природы лантанидов цериевой подгруппы

Состав ИМ	№	Свойство	Лантаниды цериевой подгруппы		
			Вид уравнений		R ²
Pb ₃ Ln	1	T _{пл}	P-1	$y = -9.3214x^2 + 1111,2x - 31693$	0.9857
Pb ₂ Ln	-	T _{пл}	P-1	$y = -0.3571x^2 + 27.843x + 963.6$	0.9956
Pb ₄ Ln ₃	1'	T _{пл}	P-1	$y = -2.6071x^2 + 318.31x - 8251.4$	0.9989
PbLn	2	T _{пл}	P-1	$y = 7.2679x^2 - 871.96x + 27612$	0.9555
Pb ₁₀ Ln ₁₁	3	T _{пл}	P-1	$y = -0.9821x^2 + 129.45x - 2604.5$	0.9923
Pb ₄ Ln ₅	3'	T _{пл}	P-1	$y = -5.8393x^2 + 719.02x - 20367$	0.9965

Таблица 5

Уравнения закономерности изменения энтальпии плавления ($\Delta H_{пл.}^0$, кДж/ моль-атомов) ИМ от природы лантанидов цериевой подгруппы

Состав ИМ	№	Свойство	Лантаниды цериевой подгруппы		
			Вид уравнений		R ²
Pb ₃ Ln	1	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = -0.0318x^2 + 3.7202x - 97.444$	0.9713
			P-2	$y = -0.0318x^2 + 3.7202x - 97.444$	0.9713
Pb ₂ Ln	3'	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = 0.0563x^2 - 6.9183x + 223.36$	0.9993
			P-2	$y = 0.082x^2 - 9.9406x + 312.08$	0.9767
Pb ₄ Ln ₃	3'	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = 0.0571x^2 - 6.872x + 218.28$	0.9986
			P-2	$y = 0.0939x^2 - 11.201x + 345.51$	0.888
PbLn	2	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = 0.1618x^2 - 19.463x + 596.98$	0.9987
			P-2	$y = 0.1991x^2 - 23.863x + 726.59$	0.9736
Pb ₁₀ Ln ₁₁	3	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = -0.0379x^2 + 4.7981x - 134.4$	0.9751
			P-2	$y = 0.0095x^2 - 0.8208x + 32.027$	0.9567
	4	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	$y = -0.0745x^2 + 9.249x - 268.04$	0.9851
			P-2	$y = -0.0407x^2 + 5.2724x - 151.13$	0.9785

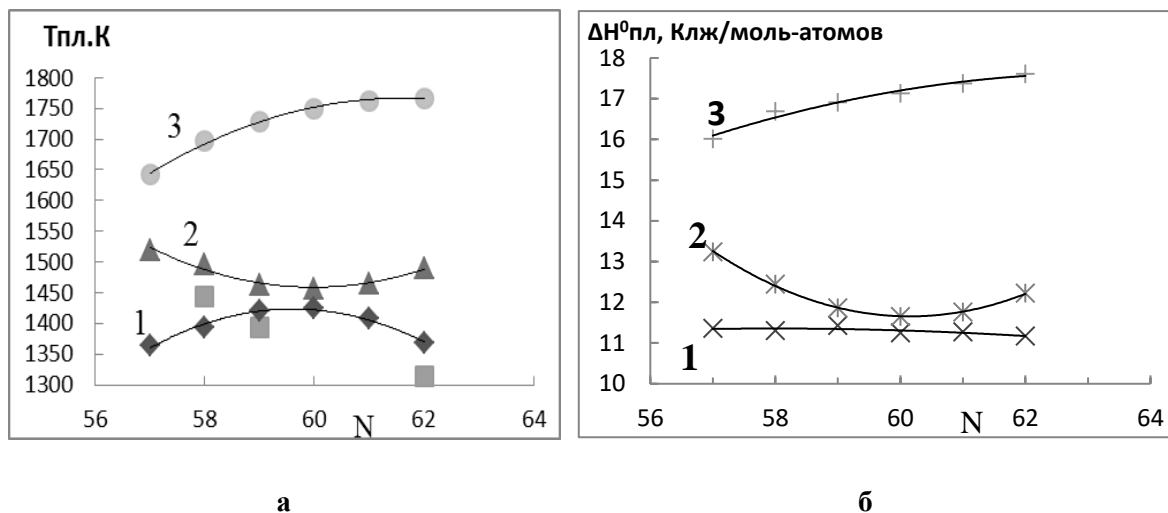


Рис. 2. Кривые закономерности изменения температуры плавления (а) и энтальпии плавления (б) ИМ от природы лантанидов: N - порядковый номер лантанидов, -(P-1), - линия тренда, • - литературные значения.

Обсуждение результатов

Полученные результаты о термодинамических характеристиках – температуре и энтальпии плавления ИМ систем Pb-Ln составов Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ и Pb_4Ln_5 позволили установить закономерности изменения их в зависимости от природы лантанидов в пределах всей группы.

Для ИМ систем Pb-Ln, где Ln- La, Gd и Lu, установлен разный характер изменения свойств ИМ в зависимости от их состава (рис. 1):

- для ИМ богатых свинцом (номера 1 и 2) с ростом порядкового номера Ln наблюдается относительное понижение температуры плавления ИМ, которое составляет $\Delta T = -189; -243$ К для составов Pb_2Ln и Pb_3Ln , соответственно;

- для ИМ состава Pb_4Ln_3 (№ 3) наблюдается незначительное повышение температуры плавления ИМ в ряду $La \rightarrow Gd \rightarrow Lu$, изменение которого составляет $\Delta T = +36$ К;

- для ИМ экваториального состава (№ 4) и богатых лантанидами с ростом порядкового номера и содержания Ln наблюдается относительное повышение температуры плавления ИМ, которое составляет $\Delta T = +128, +154$ и $+180$ К для составов Pb_4Ln_5 , $Pb_{10}Ln_{11}$ и $PbLn$, соответственно.

Для ИМ систем Pb-Ln составов Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ и Pb_4Ln_5 , где Ln – лантаниды цериевой подгруппы, наблюдается схожесть изменения температуры и энтальпии плавления ИМ в зависимости от природы лантанидов (рис. 2).

Полученные сведения пополняют банк термодинамических характеристик металлических систем новыми данными для моделирования физико-химических и технологических свойств сплавов и получения на их основе материалов с заранее заданными эксплуатационными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Н.П.Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т.1-3, 992, 1024, 1320 с.
2. Полуэктов Н.С., Мешкова С.Б., Коровин Ю.В., Оксиденко И.И. Корреляционный анализ в физико-химии соединений трёхвалентных ионов лантаноидов. – ДАН СССР, 1982, т. 266, №5, с.1157-1159.
3. Мешкова, З.Б., Полуэктов Н.С., Топилова З.М., Данилкович М.М. Гадолиниевый излом в ряду трехвалентных лантаноидов. - Коорд. хим., 1986, 12, вып. 4, с.481-484.
4. Исмоилов И.Р., Ахмедов Ш.А., Зоиров Х.А. Бадалов А. Моделирование закономерности изменения термодинамических свойств интерметаллидов систем магний – лантаноиды, богатых магнием. – Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования, ТТУ, 2018, №1 (41), с.104-113.
5. Чаманова М., Бадалов А. Закономерности изменения термодинамических характеристик интерметаллидов систем алюминий – лантаноиды, богатых алюминием. - Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования, ТТУ, 2017, №2(38), с.48-56.
6. Гафуров Б.А., Мирсаидов И.У., Насруллоев Х., Мирсаидов У., Бадалов А. Термодинамические характеристики борогидридных соединений лантаноидов. – Журн. физ. химии, 2014, т.88, №7-8, с.1103-1107.
7. Badalov A.B., Gafurov B.A., Mirsaidov I.U., Hakerov I. Thermal stability and thermodynamic properties of tris tetrahydrofuranates lanthanide borohydrides. – Inter. J. Of Hydrogen energy, 2011, v.36, Iss.I, pp.1217-1219.
8. Ходжаев Ф.К., Эшов Б.Б., Бадалов А. Закономерности изменения термодинамических характеристик интерметаллидов систем свинец – лантаноиды, богатых свинцом. – Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия», 2017,Т.17, №3, с.21-27.DOI:10.14529/met170303.
9. Карапетьянц М.Х. Методы сравнительного расчёта физико-химических свойств. – М.: Наука, 1963, 403 с.
10. Киреев В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций. – М.: Химия, 1975, 536 с.
11. Ионова Г.В., Вохмин В.Г., Спицын В.И. Закономерности изменения свойств лантанидов и актинидов. – М.: Наука, 1990, 240 с.
12. Byrne R.H., Li B. Comparative complexation behavior of the rare earth. - Geochim. Cosmochim. Acta,1995, v. 59, № 22, pp. 4575-4589.
13. Naas J.R., Shock E.L., Sassani D.C. Rare earth elements in hydrothermal systems: Estimates of standard partial molal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures. – Geochim. Cosmochim. Acta, 1995. v. 59, pp. 4329–4350.
14. Баянов А.П. Расчет энтальпии образования соединений редкоземельных элементов на основе кристаллохимических характеристик. – Изв. АН СССР, неорганич. матер., 1973, т. 9, № 6, с. 959-963.
15. Баянов А.П., Славкина В.И. -Материалы конференции, посвященной 100-летию Всесоюзного химического общества им. Д.И.Менделеева. – Новокузнецк, 1969, с. 25-39.

А.М.ХАЙДАРОВ, Б.Б.ЭШОВ*, Б.Ш.РАХМОНОВ, Ш.Х.ПИРОВА, А.БАДАЛОВ

**ҚОНУНИЯТИ ТАҒЙИРЁБИИ ТАВСИФОТИ ТЕРМОХИМИЯВИИ
ИНТЕРМЕТАЛЛИДҲОИ СИСТЕМАҲОИ СУРЪ-ЛАНТАНИДҲОИ
ЗЕРГУРҶҲИ СЕРИЙ ВА МОДЕЛКУНОНИИ ОНҲО**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ,

**Маркази илми таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ*

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Бо усули муҳосибавӣ ва нимтаҷрибӣ тавсифоти термохимиявии ҳарорат ва энталпияи гудозиши интерметаллидҳои системаҳои Pb-Ln таркибҳои Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ (дар ин ҷо Ln лантанидҳои озергурухи серий) муайян карда шудааст. Маълумоти пурра оид ба нишондиҳандаҳои омӯхташаванда ҳосил карда шуда ташҳиси системавӣ гузаронида шудааст ва қонуниятҳои тағйирёбии ин нишондиҳандаҳои интерметаллидҳо дар вобастагӣ аз хусусиятҳои лантанидҳои зергурухи серий муқаррар карда шуда аст. Моделсозии математикии додаҳо гузаронидашуда муодилаи қонуниятҳои аниқ карда шуда ҳосил карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: интерметаллидҳо, суръ-лантанидҳои зергурӯҳи серий, ҳарорат ва энталпияи гудозиш, ташҳиси системавӣ, қонуниятҳои тағйирёби, хусусияти лантаноидҳо.

A.M.HAYDAROV, B.B.ESHOV*, B.SH.RAKHMONOV, SH.K.PIROVA, A.BADALOV

**REGULARITIES OF CHANGES OF THERMOCHEMICAL
CHARACTERISTICS OF INTERMETALLIC SYSTEMS OF LEAD-
LANTHANIDS OF THE CERIUM SUBGROUP AND THEIR MODELING**

M.S.Osimi Tajik Technical University

**State Scientific Institution «Center for Research of Innovative Technologies under the
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan»*

Thermochemical characteristics were determined by using semi-empirical and calculation methods - temperature and melting enthalpy of intermetallic compounds (IM) for Pb-Ln system of Pb_3Ln , Pb_2Ln , Pb_4Ln_3 , $PbLn$, $Pb_{10}Ln_{11}$ and Pb_4Ln_5 composition (where Ln-lanthanide the cerium subgroup). The complete information of the studied characteristics was obtained and a system analysis was carried out, and the regularities of changes in these characteristics of IM were established depending on nature of the lanthanides of the cerium subgroup. Mathematical modeling of the data has been carried out and equations of regularities have been established.

Key words: Intermetallic, lead-lanthanides of the cerium subgroup, melting temperature and enthalpy, system analysis, patterns of change, lanthanide nature.

УДК 546.273÷521.633

Ш.Б.НАЗАРОВ, Х.Э.БОБОЕВ, А.Ш.АХМАДОВ, Ж.А.МИСРАТОВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОАГУЛЯНТОВ ДЛЯ
ОЧИСТКИ ВОД ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА**

Институт химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 20.12.2017 г.

В настоящей работе получены смешанные коагулянты из нефелиновых сиенитов и каолиновых глин и изучены их коагулирующие свойства. Показано, что полученные смешанные коагулянты на основе хлоридов железа и алюминия являются перспективными и могут быть использованы для очистки вод.

Ключевые слова: смешанный коагулянт, хлорид железа, хлорид алюминия, нефелиновые сиениты, каолиновые глины, соляная кислота.

В работах [1-5] изучено разложение алюмосиликатных руд Таджикистана кислотными способами.

В настоящей работе получены смешанные коагулянты из нефелиновых сиенитов и каолиновых глин и изучены их коагулирующие свойства.

Большой эффект при очистке воды даёт применение смешанных коагулянтов, представляющих собой смесь солей алюминия и железа. В этом случае значительно расширяется область оптимальных значений рН благодаря разнообразию продуктов гидролиза и физико-химических свойств последних.

При очистке воды смешанным коагулянтом даже при низкой температуре не наблюдается осадков оксида железа, что обусловлено образованием и осаждением хлопьев до фильтров. Хлопья осаждаются равномернее, чем в случае применения коагулянтов порознь, и в отстойниках достигается более полное осветление, что позволяет значительно уменьшить нагрузку на фильтры. Эффект обработки воды при температуре 20°C сме-

Адрес для корреспонденции: Назаров Шамс Бараталиевич. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: shams_n63@list.ru

шанным коагулянтом близок к эффекту коагуляции сульфатом железа при 50°C и сульфатом алюминия при 80°C [3].

При разработке кислотных способов переработки высококремнистого алюминиевого сырья наибольшее развитие получили солянокислотные способы. Соляная кислота наиболее дешёвая и менее агрессивна.

Для получения смешанных коагулянтов нами были выбраны образцы нефелиновых сиенитов месторождения Турпи и каолиновых глин месторождения Миёнаду. Химический и минералогический составы этих руд представлены в работе [2]. Для нефелиновых сиенитов содержание основных компонентов (в %): Al_2O_3 – 22.4, Fe_2O_3 – 6.4, Na_2O – 6.5, K_2O – 6.6, CaO – 2.5, SiO_2 – 53.0.

Кислотное разложение нефелиновых сиенитов проводили в термостатированном реакторе с обратным холодильником и мешалкой. Механизм процесса вскрытия нефелинов и извлечение в раствор оксидов алюминия, железа, калия и натрия в виде хлоридов определяется рядом внешних факторов, температурным режимом, продолжительностью процесса, концентрацией, дозировкой соляной кислоты, а также размером частиц измельчённой руды.

Содержание компонентов в растворе определяли по общепринятым методикам. Нерастворимый осадок отделяли от маточного раствора, сушили и анализировали.

Установлено, что нефелиновые сиениты начинают вскрываться уже при комнатной температуре (20°C). Руду обрабатывали стехиометрическим количеством 20% соляной кислоты в течение 2 часов. С ростом температуры степень извлечения компонентов в раствор возрастает и при 98°C составляет (в %): K_2O – 40.0; Al_2O_3 – 51.0; Fe_2O_3 – 99.0.

Кислотное разложение каолиновых руд также проводили по методике, описанной выше.

Изучено влияние различных факторов (температуры и продолжительности процесса, концентрации и дозировки кислоты) в широких интервалах изменения параметров на вскрываемость сырья, химический состав которого приводится в [2].

Для необожжённых образцов степени извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 20% соляной кислотой при 2-часовой обработке руды (месторождение Миёнаду) выглядят следующим образом: степень извлечения глинозёма для образцов находится в интервале 10-14%, а извлечение Fe_2O_3 изменяется от 69.3 до 85.4%. Результаты кислотного разложения обожжённых каолиновых руд при 600°C показали, что при концентрации HCl , равной 20%, в течение 60 минут в раствор переходит 60.8% Al_2O_3 и 84.5% Fe_2O_3 .

Полученный коагулянт представляет собой раствор жёлто-бурого цвета, в котором в качестве активных компонентов содержатся в основном соединения алюминия, железа и кремния. Этот коагулянт даёт особенно высокий эффект при большой мутности воды. Он безопасен для использования при очистке питьевой воды, после его применения в воде не остаётся никаких остаточных химических веществ, которые могли бы оказать вредное влияние на здоровье людей.

В процессе коагулирования алюмо-железосодержащим коагулянтом значение рН воды на 20% меньше, чем при использовании сернокислого алюминия. Он обладает хорошей коагулирующей способностью при значении рН=7.0-11.0, особенно при рН исходной воды 7.8-10.0, когда образуются прочные хлопья с хорошими адсорбционными свойствами, быстро оседающие и образующие плотный осадок.

Полученный коагулянт особенно эффективен при большой мутности воды. Например, при мутности воды 3367 мг/л доза коагулянта, равная 40 мг/л (по $Al_2O_3 + Fe_2O_3$), обеспечивает эффект очистки 97.5%. Он эффективно устраняет тяжёлые металлы, позволяет получать воду с меньшим содержанием ионов, кроме того, замена иона SO_4^{2-} на Cl^- в питьевой воде целесообразна и с гигиенической точки зрения. Повышение концентрации хлоридов и гидрокарбонатов в воде способствует упрочению структуры хлопьев, тогда как сульфаты, наоборот, понижают их прочность.

На рис.1 и 2 приведены принципиальные технологические схемы получения смешанных коагулянтов из каолиновых глин и нефелиновых сиенитов месторождения Турпи. Как видно из технологических схем, они довольно не сложны и состоят из 5-6 процессов, так как не требуется процесса разделения хлоридов железа и алюминия.

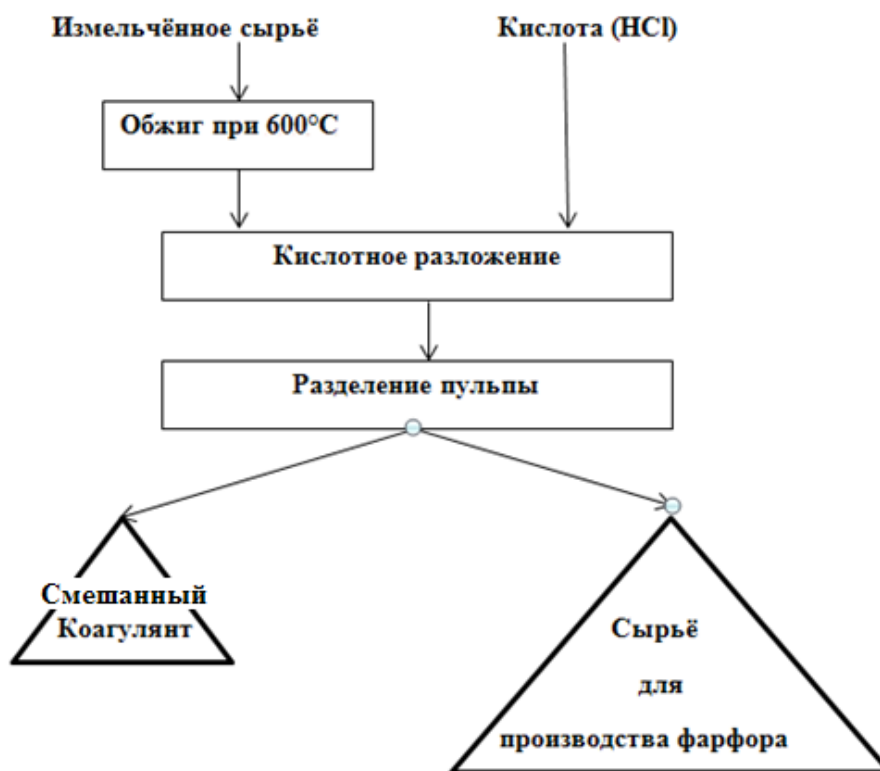


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения смешанного коагулянта из каолиновых глин.

На основании выполненных исследований разработаны солянокислотные способы переработки нефелиновых сиенитов и каолиновых глин с получением эффективных коагулянтов и высококачественного сырья для фарфорового производства.

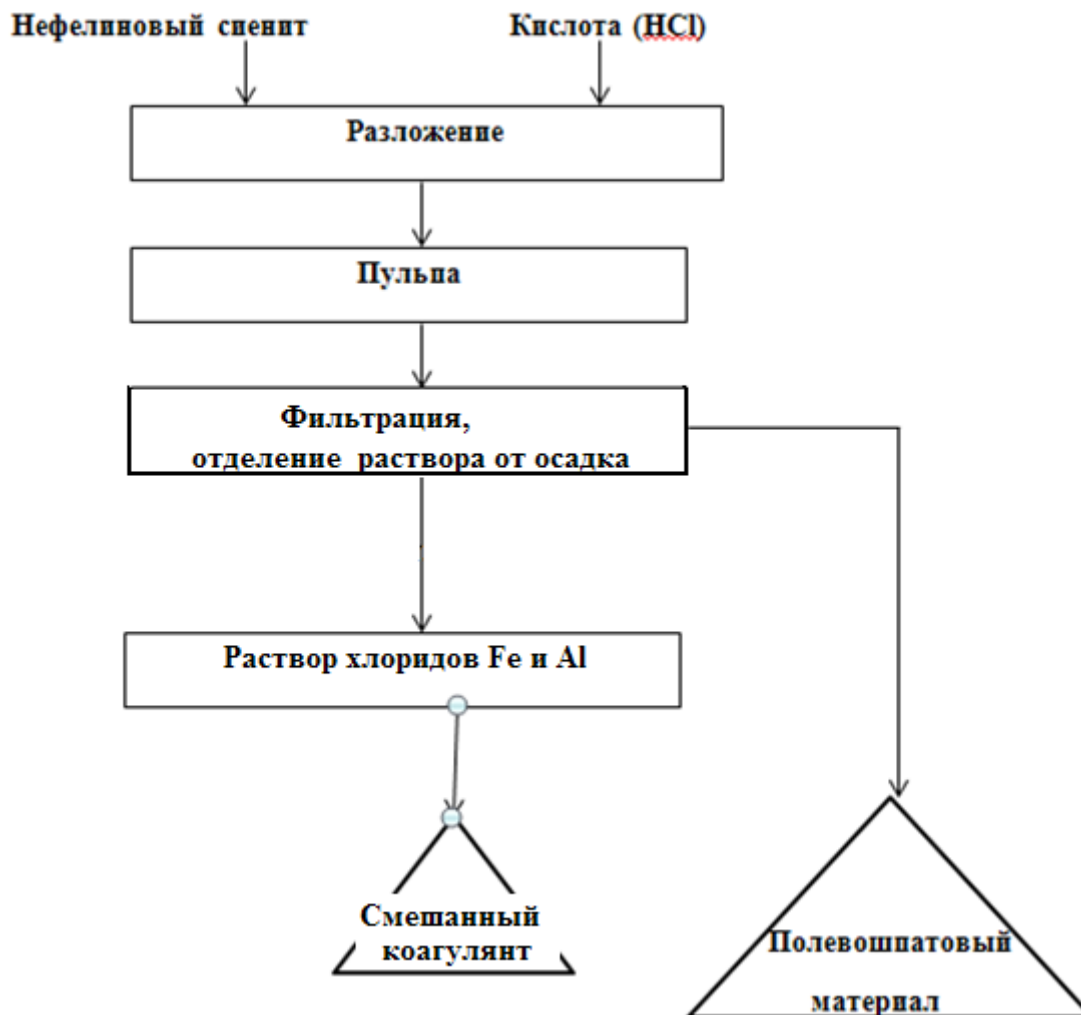


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема получения смешанного коагулянта из нефелиновых сиенитов месторождения Турпи.

Полученные хлориды алюминия и железа по вышепредложенной методике подвергались испытанию на коагулирующую способность в РО «Таджикводоканал». По своему составу полученный коагулянт относится к смешанным алюможелезосодержащим коагулянтам.

Испытания алюможелезосодержащего коагулянта (АЖК) проводились по стандартной методике. По внешнему виду АЖК представляет собой раствор жёлто-оранжево-бурого цвета, в который, кроме алюминия и железа, в качестве агента, вызывающего коагуляцию, также входит активная форма кремнезёма.

Физико-химические свойства АЖК при нормальных условиях характеризуются следующим:

1. рН – 3-4;
2. плотность, 1.05-1.15 г/см³;
3. вязкость – 0.4-1.2 спз;
4. содержание Al₂O₃ - 60-130 г/л;
5. содержание Fe₂O₃ - 45-80 г/л;
6. содержание SiO₂ - 16-35 г/л;
7. содержание CaCl₂ - 0.66-1.02 г/л;
8. содержание NaCl - 0.02-0.09 г/л;
9. содержание KCl - 0.01-0.04 г/л.

Коагулянт АЖК вводится в обрабатываемую воду в виде концентрированного раствора исходного приготовления или в разбавленном состоянии до 10 раз. При этом эффект осветления остаётся одинаковым.

Испытание АЖК для очистки сточных вод Такобского плавиково-шпатового комбината, Турсунзадевского фарфорового завода, ПО «Таджиктекстиль» и АО «Кухандиз» показало, что он эффективен и вполне может заменять привозимые из-за рубежа коагулянты.

При длительном хранении АЖК не теряет и не изменяет своей коагулирующей способности. Испытания раствора коагулянта, хранившегося в течение 6 месяцев, показали, что эффект осветления не отличается от эффекта свежеприготовленного. Испытания показали, что расход АЖК для осветления воды с взвешенными веществами 1600 мг/л составляет 0.8 мл на каждый 1 л загрязнённой воды.

Таким образом, получение смешанных коагулянтов из местных сырьевых ресурсов представляется перспективным и вполне может быть внедрено при наличии соляной кислоты в республике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лайнер Ю.А. Комплексная переработка алюминийсодержащего сырья кислотными способами. – М.: Наука, 1982, 208 с.
2. Мирсаидов У.М., Сафиев Х. Комплексная переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья. – Душанбе, 1998, 238 с.
3. Запольский А.К. – Цветные металлы, 1980, №5, с.50-53.
4. Назаров Ш.Б., Сафиев Х.С., Мирсаидов У.М. Селективные методы разложения высококремнистых алюминиевых руд минеральными кислотами. – Душанбе: Дониш, 2008, 237 с.
5. Мирсаидов У.М., Маматов Э.Д. Комплексная переработка бор- и алюмосиликатных руд Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2013, 115 с.

Ш.Б.НАЗАРОВ, Х.Э.БОБОЕВ, А.Ш.АХМАДОВ, Ҷ.А.МИСРАТОВ,
Ў.М.МИРСАИДОВ

**АСОСҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ ИСТЕҲСОЛИ КОАГУЛЯНТҲО
БАРОИ ТОЗА НАМУДАНИ ОБ АЗ МАЪДАНҲОИ
АЛЮМОСИЛИКАТИИ ТОҶИКИСТОН**

Институти химияи ба номи В.И.Никитини Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар кори мазкур коагулянтҳои омехта аз сиенитҳои нефелинӣ ва гили каолинӣ ҳосил карда шудаанд ва ҳосиятҳои коагулятсияшавии онҳо омӯхта шудаанд. Нишон дода шудааст, ки коагулянтҳои омехтаи дар асоси хлоридҳои оҳан ва алюминий ҳосилшуда перспективӣ мебошанд ва барои тоза намудани об истифода бурдан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: коагулянти омехта, хлориди оҳан, хлориди алюминий, сиенитҳои нефелинӣ, гили каолинӣ, кислотаи хлорид.

SH.B.NAZAROV, KH.E.BOBOEV, A.SH.AHMADOV, J.A.MISRATOV, U.M.MIRSAIDOV

**PHYSICAL-CHEMICAL BASIS OF COAGULANT PRODUCING
FOR WATER TREATMENT FROM ALUMINUM-SILICAT ORES
OF TAJIKISTAN**

V.I.Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

In this work mixed coagulants from nepheline sienites and kaolin iron are produced and their coagulant property is studied. It was shown that produced mixed coagulants from iron and aluminum chlorides are perspective and can be used for water treatment.

Key words: mixed coagulant, ferric chloride, aluminum chloride, nepheline sienites, kaolin clays, chloride acid.

УДК 615.013

З.Г.САНГОВ, Т.М.САЛИМОВ*, К.Х.ХАЙДАРОВ**

**ЭМБРИОТОКСИЧНОСТЬ И ТЕРАТОГЕННОСТЬ
2-БРОМ-7-МЕТИЛ-5-ОКСО-5Н-1,3,4-ТИАДИАЗОЛО[3,2-А]ПИРИМИДИНА**

Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино,

**Институт ветеринарии Таджикской академии сельскохозяйственных наук,*

***Институт химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан*

Поступила в редакцию 30.04.2018 г.

Показано, что 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а] пиримидин не обладает эмбриотоксическим и тератогенным действием в опытах на крысах.

Ключевые слова: 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а] пиримидин, эмбриотоксичность, тератогенность.

Соединения 1,3,4-тиадиазольного ряда представляют большой интерес для научных исследований. Многие производные данной системы обладают практически ценными свойствами, в том числе высокой биологической активностью. Было выявлено, что соединения ряда 1,3,4-тиадиазола могут проявлять противовоспалительную, противомикробную [1, 2], фунгицидную [3], тромболитическую активность [4]. Поэтому синтез и изучение фармакологической активности соединений этого ряда имеет большое практическое значение.

Ранее [5, 6] мы сообщали о синтезе, антибактериальных и токсических свойствах 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина. Однако данных об эмбриотоксическом и тератогенном действии этого соединения в литературе не имеется.

Целью данного сообщения являются результаты исследования эмбриотоксического и тератогенного действия 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина.

*Адрес для корреспонденции: Сангов Зафар Гулахмадович. 734003, Республика Таджикистан, г.Душанбе, пр.Рудаки, 139, Таджикский государственный медицинский университет.
E-mail: zsangov@mail.ru*

Эмбриотоксическое и тератогенное действие 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина изучали на белых крысах (масса тела –200– 210 г) в плодном, неонатальном и постнатальном периодах. Первым днем беременности считали день обнаружения спермиев в вагинальном содержимом самок после подсадки к ним самцов из расчета один самец на две – три самки.

С первого дня беременности животные были разделены на три группы по 20 голов в каждой. Крысам первой и второй групп для определения эмбриотоксического действия 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидин скармливали в смеси с кормом в дозах 65 и 195 мг/кг массы тела в течение 17-18 дней, для определения тератогенного действия – до конца беременности (21-23 дня). Животные третьей группы (контроль) 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидин не получали.

По 10 крыс из каждой группы убиты методом декапитации на 19-й день беременности. На вскрытии учитывали количество желтых тел беременности, мест имплантации живых и мертвых эмбрионов. Доимплантационную, постимплантационную и общую эмбриональную смертность рассчитывали общепринятым методом.

От оставшихся в группах крыс получено потомство, за которым наблюдали в течение одного месяца после рождения, учитывая прирост массы тела, рост, обрастание шерстным покровом, подвижность, активность высасывания молока матери.

Течение беременности у животных всех групп проходило одинаково без отличий и отклонений от нормы. После убоя проводили патологоанатомическое исследование подопытных и контрольных животных. Аномальных отклонений в онтогенезе плодов обнаружено не было (табл. 1).

Таблица 1

Результаты изучения эмбриотоксического действия 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина

Показатель		Доза, мг/кг массы тела		Контроль
		65	195	
Кол-во на одно животное	желтых тел	11.4±0.5	11.3±0.4	11.6±0.4
	мест имплантации	10.2±0.6	9.4±0.1	11.2±0.2
	живых эмбрионов	9.8±0.5	9.4±0.5	9.6±0.8
	мертвых эмбрионов	1.0±0.3	1.0±0.6	1.1±0.4
Смертность, %	общая эмбриональная	13.1±0.4	11.5±0.6	12.8±0.5
	постимплантационная	9.3±0.8	9.9±0.4	8.7±0.3
	доимплантационная	4.6±0.7	3.8±0.4	5.2±0.6
Выживаемость, %		86,2±10.1	87.8±10.6	88.7±11.1

Таким образом, было показано, что 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидин в дозах 65 и 195 мг/кг массы тела не оказывает отрицательного воздействия на процессы овуляции, течение беременности и эмбриогенез.

Также не было обнаружено отклонений в развитии внутренних органов и скелета эмбрионов (табл. 2).

Полученные результаты показали, что 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидин в дозах 65 и 195 мг/кг массы тела не обладает тератогенным и эмбриотоксическим действием.

Таблица 2

Результаты изучения тератогенного действия 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидина

Показатель		Доза, мг/кг массы тела		Контроль
		65	195	
Средний (яя)	вес крысенка, мг	6011.1±140.7	5922.9±130.3	5899.2±233.9
	длина туловища крысенка, мм	47.6±0.5	46.4±0.9	47.9±0.7
	масса плаценты, мг	301.4±38.1	307.1±25.3	309.7±29.9
Уродства, отклонения в развитии внутренних органов и скелета		нет	нет	нет

ЛИТЕРАТУРА

1. Adnan A. Kadi, Ebtehal S. Al-Abdullah, Ihsan A. Shehata et al. Synthesis, antimicrobial and anti-inflammatory activities of novel 5-(1-adamantyl)-1,3,4-thiadiazole derivatives. – European Journal of Medicinal Chemistry, 2010, v. 45, pp. 5006-5011.
2. Kolavi G., Hegde V., Khazia I. A., Gadad P. Synthesis and evaluation of antitubercular activity of imidazo [2,1-b] [1,3,4] thiadiazole derivatives. – Bioorg. and Med. Chem, 2006, v. 14, pp. 3069-3080.
3. Chen H. S., Li Z. M., Han Y. F., Wang Z. W. New fungicidally active pyrazolyl-substituted 1,3,4-thiadiazole compounds and their preparation. – Chinese Chemical Letters, 1999, v. 10, № 5, pp. 365-366.
4. Claremon D.A., Friedman P.A., Remy D.C., Stern A.M. Methods and compositions for thrombolytic therapy. – Assignee: Merc & Co Inc. US Pat. 4,968,494, 1990, Nov. 6, p. 10.
5. Салимов Т.М., Сангов З.Г., Ашурова З.Д., Джамшедов Дж.Н., Куканиев М.А., Ашурова М.Д., Саторов С.С., Хайдаров К.Х. Антимикробная активность 1,3,4-тиадиазоло [3,2-а] пиримидина. – Здравоохранение Таджикистана, 2009, №3, Приложение 1, с. 173-176.
6. Сангов З.Г., Куканиев М.А., Саторов С.С., Салимов Т.М. Синтез, биологическая активность, фармакотоксикология 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло [3,2-а] пиримидина и лекарственные средства на его основе. – Душанбе, 2007, с.93.

З.Г.САНГОВ, Т.М.САЛИМОВ*, К.Х.ХАЙДАРОВ**

ЭМБРИОТОКСИКӢ ВА ТЕРАТОГЕННИИ

2-БРОМ-7-МЕТИЛ-5-ОКСО-5Н-1,3,4-ТИАДИАЗОЛО[3,2-А]ПИРИМИДИН

*Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино,
Институти ветеринарии Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон,

***Институти химия ба номи В.И.Никитини
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар таҷриба нишон дода шудааст, ки 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а]пиримидин таъсири эмбриотоксикӣ ва тератогенӣ ба каламушҳо надорад.

Калимаҳои калидӣ: 2-бром-7-метил-5-оксо-5Н-1,3,4-тиадиазоло[3,2-а] пиримидин, эмбриотоксикӣ, тератогенӣ.

Z.G.SANGOV, T.M.SALIMOV*, K.KH.HAIDAROV**

EMBRYOTOXICITY AND TERATOGENICITY OF

2-BROMO-7-METHYL-5-OXO-5H-1,3,4-THIADIAZOLO [3,2-A] PYRIMIDINE

Avicenna Tajik State Medical University,

**Veterinary Institute of the Tajik Academy of Agricultural Sciences,*

***V.I.Nikitin Chemistry Institute, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

It was shown that 2-bromo-7-methyl-5-oxo-5H-1,3,4-thiadiazolo[3,2-a]pyrimidine does not have an embryotoxic and teratogenic effect in rats.

Key words: 2-bromo-7-methyl-5-oxo-5H-1,3,4-thiadiazolo[3,2-a]pyrimidine, embryotoxicity, teratogenicity.

УДК 551.24

М.С.БАХТИЁРИ, ДЖ.Ш.ЗИЯЕВ

СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ УЧАСТКА
СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОГО ГИДРОУЗЛА

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 13.03.2017 г.

В статье дается анализ геологической изученности района строительства Рогунского гидротехнического узла.

Ключевые слова: Рогун, Афгано-Таджикская депрессия, региональное исследование, гаурдакская свита, река Вахш.

Детальные геологические полевые исследования района строительства Рогунской ГЭС были начаты с 1967 г. и постадийно с 1978 до 1993 гг. Результаты этих работ показали возможность строительства здесь на р. Вахш Рогунской ГЭС. В этот период (1976-1993 гг.) выработан котлован под ядро плотины, пройдено около 27 км подземных выработок, включая большую часть машзала и помещения трансформаторов. Для обновления данных проводились исследования берегов участка зоны плотины с 2000-го года. Дополнительно в 2012 г. проведены геологические исследования, основными целями которых были:

- комплексное изучение правого берега р. Вахш, района строительства ГЭС;
- определение в полном объеме гидрогеологических условий района строительства ГЭС;
- геологическое картирование поверхности территории;
- обоснование некоторых геотехнических характеристик;
- проведение микрогравиметрических и других измерений.

Для изучения геологических процессов в зоне строительства Рогунской ГЭС необходимо было провести региональные геологические, тектонические, геофизические, гидрогеологические и некоторые другие технические исследования. При региональном

Адрес для корреспонденции: Бахтиёри Махсудини Сайтоджзод. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: Saitoj@mail.ru

исследовании установлено, что зона Рогунской ГЭС расположена в контактовой зоне Южного Тянь-Шаня с приподнятой северной частью Афгано-Таджикской депрессии. Таджикская депрессия сложена мезо-кайнозойскими осадочными породами, фундаментом которых являются палеозойские отложения, состоящие из метаморфизованных скальных пород.

Северная часть участка строительства Рогунской ГЭС проходит по региональному разлому Иляко-Вахшского структурно-формационного этажа. Русло р. Вахш на участке площадки плотины имеет узкую V-образную форму, которая благоприятствует строительству плотины. Территория Рогунской ГЭС сложена юрскими и меловыми отложениями. Юрские отложения (гаурдакская свита) представлена в основном солевыми отложениями, вторичным гипсом и тонким красноцветным аргиллитом мощностью в среднем 400 м. Нижнемеловые комплексы представлены красноцветными песчаниками и аргиллитами. Мощность отложений нижнего мела в районе Рогунской ГЭС достигает около 1100 м.

На территории ГЭС нижнемеловые отложения (K_{10b1}) слагают правый борт р. Вахш, где строятся основные гидротехнические сооружения (МЗ, ТП). Эти отложения в зоне строительства основных сооружений представлены алевролитами, песчаниками и глинами. В большинстве случаев угол падения описанных пород составляет $65-75^\circ$, азимут падения $125-130^\circ$. 30% участка строительства МЗ сложено алевролитами нижнемелового возраста. Трансформаторное помещение занимает 10% от общей площади строительства.

Песчаники – преимущественно мелкозернистые, кварцево-полево-шпатового состава на карбонатном и карбонатно-глинистом цементе. Аргиллиты и алевролиты по своему минеральному составу сходны с песчаниками, однако цемент их в основном глинисто-карбонатный, что и определяет различную прочность и отношение к выветриванию данных литологических типов пород. Так, песчаники практически не выветриваются, в то время как аргиллиты и алевролиты после нескольких часов пребывания на поверхности превращаются в мелкую дресву. По данным института “ОАО Гидропроект”, временное сопротивление одноосному сжатию песчаников составляет 104.0-119.0 МПа, аргиллитов и алевролитов – 30-60 МПа. Трещиноватость скального массива оценивалась как на поверхности, так и в горных выработках. Установлено, что породы рассечены трещинами трех систем: первая система параллельна слоистости (азимут падения 130° , угол падения $65-70^\circ$), две другие (азимуты падения $28-30^\circ$ и 200° и углы падения 20 и 50° соответственно) секут слоистость почти под прямым углом. Блочность пород в горных выработках составляет 10-20 см (от поверхности для аргиллитов 3-5 см). Объёмная пустотность в глубине массива не превышает в среднем для алевролитов 0.2-0.4%, для песчаников – 0.8-1.2%. На поверхности пустотность увеличивается в 2-4 раза. При оценке водопроницаемости скального массива границей разделения зоны водопроницаемых и практически водонепроницаемых пород удельное водопоглощение принято равным 0.005 л/мин (на основании статистической обработки

всех проведенных на створе опытных нагнетаний). Опробование массива показало, что граница зоны водонепроницаемых пород располагается на глубинах 50-70 м от поверхности, при этом в водопроницаемой зоне максимальные значения удельных водопоглощений в алевролитах и песчаниках достигали соответственно 2.3 и 2.5 л/мин. Минерализация подземных вод (сульфатно-хлоридных, а с глубины 20-25 м хлоридных) быстро возрастает с глубиной, превышая по отдельным данным 10-20 г/л.

Основными структурными элементами рассматриваемого района являются Ионахшский, Гулизиндандский, Вахшский и др. разломы (рис.1). Геологические структуры имеют направление ВСВ–ЗЮЗ, ось складки заметна на участке кирпичной синклинали плотины. На участке плотины угол падения и направление залегания пород составляет 75°, а для Ионахшского разлома – 60° для залегания моноклинали, расположенной вниз по течению р. Вахш от разлома [3].

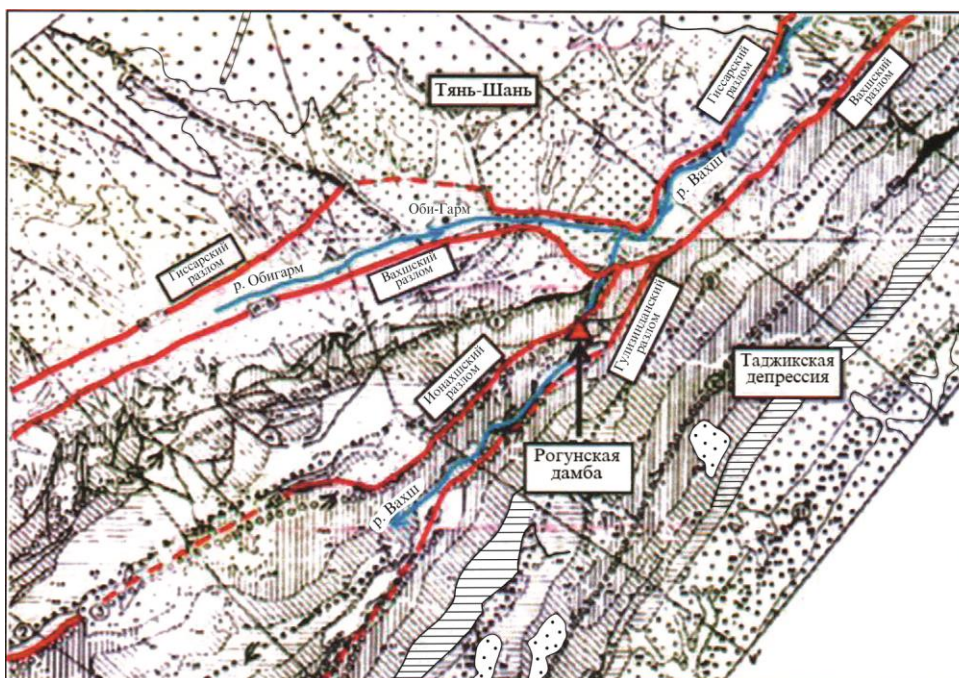


Рис. 1. Основные структурные элементы Рогунского гидроузла.

По результатам мониторинга можно сказать, что тектонический блок, разделенный Ионахшским разломом под №35, поднимается в среднем на 2 мм/год (рис.2). Тем не менее дифференциальные поднятия между разными станциями характеризуются меньшим наклоном между блоками, разделенными разломами малого порядка [2].

Каменная соль срезается Ионахшским разломом, который простирается параллельно слоям пород и падает под углом 80-85°. За счет разницы углов падения мощность соли увеличивается с глубиной: 15 м на каждые 100 м. В верхней части мощность пласта соли не превышает 8-10 м; его оголовок располагается на 15-20 м ниже дна реки. На правом борту долины при резком повышении рельефа не происходит подъема оголовка соли, его отметка составляет около 960 м.

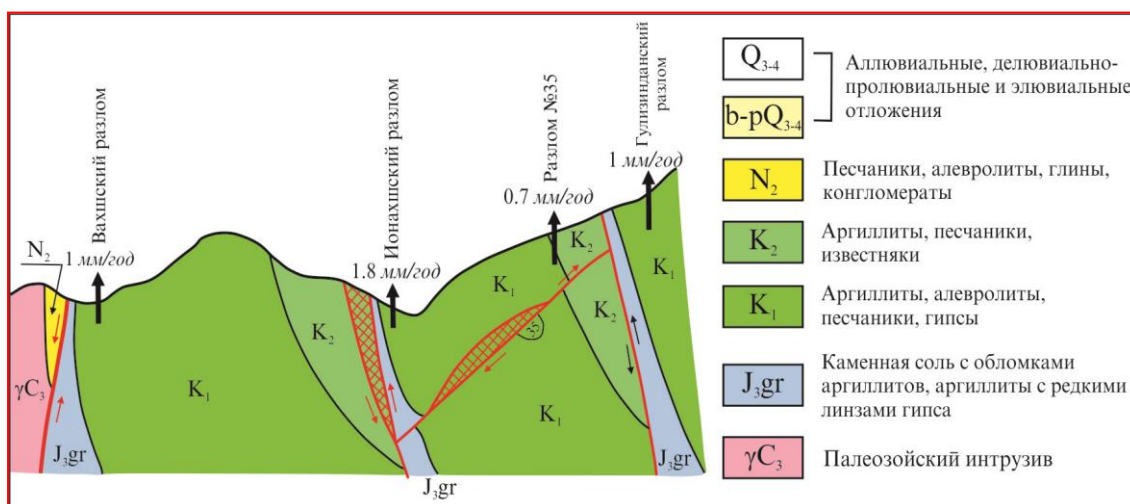


Рис. 2. Схематический разрез, показывающий скорость горизонтальных движений основных разломов (по данным ТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС, OSHPCBARKITOLJK фаза II, 2013).

Для окончательной оценки влияния Ионахшского разлома проведены дополнительные исследования в двух скважинах, в том числе геофизических. В результате установлено, что движения блоков не являются чистым поднятием, они могут быть наклонными. Такие сложные деформации могут формироваться над основанием сооружений, разделенных меньшими разломами, что вызывает необходимость увеличения числа постов мониторинга.

Последние исследования показали, что зона разлома сильно расслоена аргиллитами и гипсом (но без соли) в юрских отложениях всяческого блока и брекчиях (верхний мел), толща зоны разлома нарушена слоями гипсов. В зоне Ионахшского разлома мощность гипса составляет от 1 до более 5 м. Общая мощность верхнемеловых отложений составляет от 20 до 80 м. Исследования в скважинах IFI и WRB2 показали, что на верхних отметках проницаемость ниже, чем в невозмущённой зоне примыкания плотины (IFI): от умеренной до высокой в опрокинутом участке (WRB²). Наблюдения в цементационной штольне в районе правого берега, как правило, подтверждают водонепроницаемость всяческого крыла (ниже по течению) зоны разлома нижней части плотины.

Гулизинданский разлом схож с Ионахшским разломом по природе, размеру, порядку магнитуд смещений, скорости смещения скольжения. В отличие от Ионахшского разлома Гулизинданский разлом не пересекает основание плотины. Он соединяет водохранилище с нижним бьефом плотины [1]. Исследование показало, что зона разлома характеризуется непроницаемыми породами. Это доказано исследованием проницаемости в двух скважинах: высокие скорости сейсмических волн показывают водонепроницаемость зоны разлома.

Вахшский глубинный разлом, протяженность которого не менее 500 км, является крутым взбросом с суммарной амплитудой вертикальных перемещений около 5-6 км, за

период с позднегерцинского времени до начала четвертичного периода. Скорость современных относительных перемещений Вахшского разлома оценивается значениями до 1-2 см/год. Генерирующие землетрясения Вахшского разлома составляют $M = 7.5$. По шкале MSK-64 сейсмичность территории гидроузла, согласно данным общего сейсмического районирования, составляет 9 баллов. Участок основных сооружений располагается в 1.5 км от зоны Вахшского разлома. Долина реки здесь представляет собой узкое ущелье с крутыми склонами, которое в плане имеет S-образную форму. Оно выработано в толще переслаивающихся песчаников, алевролитов и аргиллитов нижнемелового возраста, слои которых залегают моноклинально и падают в сторону нижнего бьефа и левого берега под углом 65-75°. В верхнем бьефе проектируемой плотины нижнемеловые отложения подстилаются верхнеюрскими аргиллитами мощностью 20 м и каменной солью (галитом).

Разлом №35 расположен почти перпендикулярно долине реки, в 100 м ниже от оси плотины и в сторону верхнего бьефа. Далее в сторону нижнего бьефа разлом визуально не прослеживается [2]. Также встречается несколько трещин, похожих на разлом №35, но они имеют нулевое смещение и пересекают долину в районе плотины. Расстояние между трещинами 20-60 м. Они наблюдаются во многих местах, у створа плотины – субгоризонтальные, неглубокие разрывные нарушения и имеются мелкие смещения грунтов.

Разлом №37 относится к поперечным разломам, который обнажается на правом берегу р. Вахш вблизи перемычки верхнего бьефа. Он имеет направление СЗ-ЮЗ с крутым падением к юго-востоку; амплитуда смещения приблизительно 150-200 м. Ширина зоны дробления достигает 3-5 м, мощность трещиноватых пород достигает 70 м в ширину. Полевые наблюдения не подтвердили наличие разлома в нижней части склона. Последние исследования не подтвердили существование поперечного разлома, названного ранее разломом №24, непрерывного поверхностного разрыва на правом берегу.

Устойчивость берегов р. Вахш на оползни изучалась ранее. В частности установлено, что левый верхний оголовок выходных туннелей в основном состоит из обломочных пород. Основание этих отложений находится ниже уровня водохранилища. Отсюда следует предположение о том, что оползневые процессы могут развиваться после наполнения водохранилища. Склоны правого берега также представлены мощными обломочными отложениями четвертичного периода, в том числе древним оползнем.

Крутые откосы аллювиальных террас находятся на левом берегу р. Вахш, между устьем Оби-Джушон и каньоном, и от устья Оби-Шур ниже по течению от каньона. Откосы иногда достигают 20-50 м в высоту. В будущем, из-за выщелачивания соли, возможно размывание берега за счет эрозии в их основании.

На правом берегу долины Пассиморухо наблюдаются два оползня, что интерпретируется как результат изменения склона вследствие выщелачивания соли в их основании. Что касается «зоны VI», оползневые и деформационные процессы, возможно, здесь будут продолжаться. Наблюдаются древние оползни в атипичной V зоне правого берега по нижнему бьефу створа плотины. Объем оползней составляет примерно 75-100 млн. м³.

Последние исследования показали, что атипичные зоны на правом берегу были результатом тектонических деформаций, в отличие от последовательных массивных оползней и поверхностных процессов. В связи с тем, что структурный изгиб лежит глубоко на склоне правого берега, как предполагается в настоящее время, тектонический фактор оценивается как благоприятный для стабильности склона.

На основе анализа степени выветрелости, пористости, проницаемости и неоднородности выделяются 4 класса горных скальных пород на участке строительства ГЭС:

1 класс относится в основном к верхней границе основания, где есть выветрелый аргиллит и глиняные заполнения в трещинах песчаника мощностью 7-40 м; давления – 1.2-2.5 ГПа;

2 класс – скальные породы, лежащие под классом 1; толщина их изменяется от 15-25 м около уровня реки до 40-50 м на верхних откосах;

3 и 4 классы соответствуют глубоким, мало выветрелым скальным породам с малой трещиноватостью; верхняя граница их лежит на уровне 20-80 м ниже уровня поверхности для класса 3, и от 60 до 140 м – для класса 4.

На левом берегу реки предгорья Вахшского хребта состоят из эвапоритовых скальных пород в зоне Вахшского разлома. Видимая часть этих скальных пород состоит в основном из гипса, но присутствие соли на глубине нельзя исключить. Между саями Тагикамар и Хаджаалишо можно выделить обвал с древним оползнем объемом от 10 до 15 млн. м³, который может активизироваться после того, как вода достигнет отметки 1250 м и более. Далее на запад от кишлака Талхакчашма молодой обвал пересекает овраг Танакба. Далее, на правом берегу р. Вахш, крутой откос не прослеживается.

В верхнечетвертичное время на левом берегу р. Вахш обнаружены древние оползни объемом в нескольких сотен млн. м³. Ранее исследователи предполагали, что эти оползни могут двигаться. Однако последними исследованиями установлено, что скорость сползания настолько мала, что на водохранилище почти не может оказать влияние. Так как р. Вахш является региональным водосбором, то можно исключить просачивание воды из водохранилища. Так, результаты геолого-геофизических исследований на правом берегу долины р. Оби-Шур показали, что разлом является водонепроницаемым.

Таким образом, по результатам многолетних геологических, геофизических, инженерно-геологических, сейсмологических и других исследований можно сделать следующие выводы:

1. Существующие материалы по геолого-геофизическим и другим наблюдениям на данном этапе свидетельствует о возможности безопасного строительства Рогунской ГЭС на р. Вахш;

2. Необходим постоянный мониторинг инженерно-геологических и гидрогеологических изменений состояния горных пород берегов р. Вахш;

3. Рекомендуется проведение инженерных мероприятий по защите геологической среды от возможной фильтрации дождевых вод и по предотвращению схода оползней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Количко А.В., Филь В.Н. Инженерно-геологические условия строительства плотины Рогунской ГЭС. – Гидротехническое строительство, 1981, № 10, с. 11-15.
2. Количко А.В. Инструментальные наблюдения за новейшей тектоникой в районе строительства Рогунской ГЭС. – Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2005, № 2, с. 159-163.
3. Морозов С.В. Прогноз изменения химически уплотненных скальных осадочных грунтов в противofильтрационных завесах (на примере Рогунской ГЭС): Автореф.: дисс. ... к. геол.-минер. н. – М., 1985, 37 с.

М.С.БАХТИЁРИ, Ҷ.Ш.ЗИЯЕВ

ВАЗЪИ ОМУЪЗИШИ ГЕОЛОГИИ МИНТАҚАИ НЕРЎҶОҶИ БАҶҶИ ОБИИ РОҶУН

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар мақола таҳлили омуъзиши геологии ноҳияи сохтумони иншооти гидротехникии Роғун оварда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: Роғун, депрессия Афғону-Тоҷик, таҳқиқотҳои регионалӣ, свитаи гугирдак, дарёи Вахш.

M.S.BAKHTIYORI, J.SH.ZIYAEV

STATE OF THE GEOLOGICAL STUDY OF THE ROGHUN HYDROPOWER CONSTRUCTION SITE

Tajik National University

The article gives an analysis of the geological study of the Roghun hydrotechnical unit construction site.

Key words: Rogun, Afghan-Tajik depression, regional study, gaurdak suite, Vakhsh river.

УДК 574(075.8)

Х.Б.БОБОВЕВ*, Ш.Б.НАЗАРОВ, С.Ж.ИБРОХИМОВ*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И СОСТАВА БИОГАЗА,
ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ НА ПОЛИГОНЕ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ
ГОРОДА ДУШАНБЕ**

Институт химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан,

**Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими*

Поступила в редакцию 05.07.2018 г.

В работе приводятся результаты расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигона твердых бытовых отходов города Душанбе. Выявлены объёмы выхода свалочного газа за период эксплуатации полигона с 1978 по 2017 гг. Это позволяет наметить мероприятия по сбору, удалению и использованию биогаза.

Ключевые слова: свалочный газ, твёрдые бытовые отходы (ТБО), биогаз, метан, полигон.

В настоящее время захоронение твердых бытовых отходов (далее ТБО) остается наиболее широко используемым способом их утилизации. При решении задач, связанных с размещением и эксплуатацией полигонов по захоронению ТБО [1], возникает ряд экологических проблем, которые пока не нашли решения. К важнейшим из них относится негативное воздействие на различные компоненты окружающей среды в зоне расположения полигонов.

Полигоны захоронения ТБО являются важным источником атмосферного метана. В толще бытовых и промышленных отходов, захороненных на полигонах, под воздействием микрофлоры происходит биотермический анаэробный процесс распада органической составляющей отходов. Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан и диоксид углерода.

Наряду с названными компонентами, биогаз содержит пары воды, оксид углерода, оксиды азота, аммиак, углеводороды, сероводород, фенол и в незначительном количестве

Адрес для корреспонденции: Бобоев Хакназар Бобоевич, Иброхимов Сухроб Жанайдуллоевич. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10, Таджикский технический университет. E-mail: bobev_h@mail.ru, suhrob-73@list.ru

(не более 1%) другие газы, обладающие вредным для здоровья человека и окружающей среды воздействием [1]. Количественный и качественный состав биогаза зависит от многих фактов, в том числе от климатических и геологических условий места расположения полигона, морфологического и химического состава завозимых отходов, условий складирования (площадь, объем, глубина захоронения), влажности отходов, их плотности и т.д., и подлежит уточнению в каждом конкретном случае, но не ранее двух лет с начала эксплуатации полигона. Производство метана на полигонах - это медленный процесс, который может продолжаться в течение 30-50 лет. При разложении 1 м³ ТБО выделяется биогаза до 1.5 м³/год. Из 1 т сухого вещества ТБО образуется до 200 м³ биогаза [2].

Анализ имеющихся данных о составе ТБО в г. Душанбе показал, что с каждым годом непрерывно повышается доля органической составляющей (пищевые) в отходах, размещаемых на картах полигона. Это создает серьезную перспективу использования полигонов для получения и сбора биогаза.

Поэтому расчет выбросов биогаза целесообразно проводить для условий стабилизированного процесса разложения отходов при максимальном выходе биогаза с учетом того, что стабилизация процесса газовыделения наступает в среднем через два года после захоронения отходов. На эту фазу приходится до 80% выделяемого биогаза. Остальные 20% выбросов учитываются концентрациями компонентов биогаза, определяемыми анализами. Состав биогаза и концентрации компонентов в нем определяются анализами проб биогаза, отобранных в нескольких точках по площади полигона на глубине 0.5 - 1 метр.

Поступление биогаза с поверхности полигона в атмосферный воздух идет равномерно, без заметных колебаний его количественных и качественных характеристик.

Биогазовый потенциал полигона ТБО г. Душанбе площадью 20 га (в среднем 14.35 га) был определен с помощью методики, разработанной специалистами Академии коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова и Научно-исследовательского института охраны атмосферного воздуха Н.Ф.Абрамовым, Н.В.Русаковым, Э.С.Санниковым, М.Б.Миляевым, Р.Г.Халевиным [3].

Методика расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов ТБО позволяет определить выход свалочного газа за год (Q_{t_2} , кг/кг отходов), период полного сбраживания органической части отходов ($t_{сбр}$, лет), весовое процентное содержание компонентов свалочного газа ($C_{вес}$, %).

Исходные данные для расчета удельного выхода биогаза за период его активной стабилизированной генерации приведены в табл.1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета удельного выхода биогаза

Расчётный параметр	Един.изм.	Значение
Средняя (из среднемесячных) температура воздуха (учитываются месяцы со среднемесячной температурой выше 0°C)	°C	15.2
Количество теплых месяцев ($t > 8^\circ\text{C}$)	месяц	9
Количество холодных месяцев ($0^\circ\text{C} < t \leq 8^\circ\text{C}$)	месяц	3
Период функционирования полигона	лет	39
Содержание органической составляющей в отходах (R)	%	55.0
Содержание жироподобных веществ в органике отходов (Ж)	%	2.0
Содержание углеводородных веществ в органике отходов (У)	%	83.0
Содержание белковых веществ в органике отходов (Б)	%	15.0
Средняя влажность отходов (W)	%	44.2

Для практических расчетов более удобно пользоваться известным уравнением выхода биогаза при метановом брожении (1) [3]:

$$Q_{t_2} = 10^{-6} R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б) \quad (1)$$

Значения W , R , $Ж$, $У$ и $Б$ определяются анализами отбираемых проб отходов. Для определения удельного выхода биогаза на полигоне ТБО г. Душанбе использованы средние показатели, приведённые в табл. 1.

Период полного сбраживания органической части отходов (в годах) определяется по приближенной эмпирической формуле (2):

$$t_{сбр.} = \frac{10248}{T_{менл.} \times (t_{ср.менл.})^{0.301966}}, \text{ лет}, \quad (2)$$

где 10248 и 0.301966 – удельные коэффициенты, учитывающие биотермическое разложение органики.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне отходов, можно определить по формуле (3):

$$P_{y\partial} = \frac{800Q_{t_2}}{t}, \text{ кг/т отходов в год}, \quad (3)$$

Общее количество биогаза (кг.), выделившегося за период с начала эксплуатации полигона до момента расчета, определяется по формуле (4):

$$P_{об} = P_{t_{об}} P_{y\partial} (t_{экспл} - 2), \quad (4)$$

где $P_{t_{об}}$ - количество отходов, завезенных на полигон за период с начала эксплуатации полигона до момента расчета, минус количество отходов, завезенное за последние два года, т; $t_{экспл}$ - время эксплуатации полигона, год.

Средняя плотность биогаза составляет обычно 0.95 – 0.98 плотности воздуха, то есть при плотности воздуха 1.2928 кг/м³ средняя плотность биогаза будет: 1.2928·0.965 = 1.24755 кг/м³

Суммарный максимальный разовый выброс биогаза с полигона определяется по формуле (5):

$$M_{сек.сум.} = \frac{\rho_{уд.} \times \sum D}{86.4 \times T_{тепл.}}, \text{ т/с}, \quad (5)$$

Максимальные разовые выбросы *i*-го компонента биогаза с полигона определяют по формуле (6):

$$M_{сек.i} = 0.01 \times C_{вес.i} \times M_{сек.сум.}, \text{ т/с}, \quad (6)$$

где *D* – количество активных стабильно генерирующих биогаз отходов, т; *T_{тепл.}* – продолжительность теплого периода года в районе полигона ТБО, в днях; *C_{вес.i}* – весовые процентные содержание компонентов свалочного газа (%) (определяется по таблице 3.2.) [3].

При обследовании в более холодное время года ($0 < t_{ср.мес.} < 8^{\circ}\text{C}$), что нецелесообразно хотя бы из-за дополнительных погрешностей измерений, в формуле следует применять повышающий коэффициент неравномерности образования биогаза 1.3.

С учетом коэффициента неравномерности суммарный валовый выброс биогаза с полигона определяется по формуле (7):

$$M_{год.сум.} = M_{сек.сум.} \left(\frac{\alpha \times 365 \times 24 \times 3600}{12} + \frac{\beta \times 365 \times 24 \times 3600}{12 \times 1.3} \right) \times 10^{-6}, \text{ м/год} \quad (7)$$

Валовые выбросы *i*-го компонента биогаза с полигона определяются по формуле (8):

$$M_{год.i} = 0.01 \times C_{вес.i} \times M_{год.сум.}, \text{ м/год}, \quad (8)$$

где α и β в формуле (1) соответственно периоды теплого и холодного времени года в месяцах (при $t_{ср.мес.} > 8^{\circ}\text{C}$; при $0 < t_{ср.мес.} < 8^{\circ}\text{C}$).

Удельный выход биогаза за период его активного выделения определяется по формуле (1):

$$Q_{12} = 10^{-6} \cdot 55.0 \cdot (100 - 44.2) \cdot (0.922.0 + 0.6283.0 + 0.3415.0) = 0.179 \text{ кг/кг отходов.}$$

Период активного выхода биогаза составляет в среднем 20 лет.

За это время генерируется около 80% от общего количества биогаза, получаемого с одной тонны отходов. Для учета мощности слоя залегания отходов вводятся поправочные коэффициенты. При максимальной высоте полигона 4 метра количество выбрасываемого биогаза умножается на коэффициент 0.5, а при высоте от 2 до 4 метров эта величина умножается на коэффициент 0.4.

Тогда: $Q_{t2} = 0.1790 \cdot 0.4 = 0.0716$ кг/кг отходов.

Период активного выделения биогаза по формуле (2) составляет:
 $t_{сбр} = 10248 / (T_{тепл.ср.тепл.}^{0.301966}) = 10248 / (36515.20^{0.301966}) = 12$ лет.

Количественный выход биогаза за год, отнесенный к одной тонне захороненных отходов, определяется по формуле (3):

$R_{уд.} = 800 \cdot Q_{t2} / t_{сбр.} = 10^3 \cdot 0.0716 / 12 = 4.77$ кг/т отходов в год.

Результаты расчётов выброса биогаза при определённых выше условиях (табл.1) для завезенных на полигон ТБО за период с начала его работы (1978 г.) до момента расчёта (конец 2017 г.) представлены в табл.2 и на рис.1.

Таблица 2

Результаты расчетов суммарный валовый выброс биогаза с полигона за 1978 по 2017 гг.

Год	Поступление отходов, тыс.т/год	Объем выхода биогаза, т/год	Год	Поступление отходов, тыс.т/год	Объем выхода биогаза, т/год
1978	80.0	0	2000	620.5	2789.29
1979	80.0	0	2005	650.0	2921.62
1980	93.6	420.49	2010	662.5	2977.60
1985	330.7	1488.89	2015	718.5	3229.52
1990	418.1	1882.03	2017	535.4	2406.52
1995	550.7	2475.29	2018	-	-

Примерный состав биогаза, образующегося на полигоне ТБО г. Душанбе, и результаты расчётов приведены в табл. 3. На рис.2 показан суммарный валовый выброс основных компонентов биогаза (метан, диоксид углерода) на полигоне ТБО г. Душанбе.



Рис.1. Выход и возможный объём сбора биогаза на полигоне ТБО г. Душанбе.

Таблица 3

Расчет годового выделения загрязняющих веществ в атмосферу за 1980-2010 гг.
на полигоне г. Душанбе

Наименование вещества	Суммарный валовый выброс основных компонентов биогаза, т/год						
	1980г.	1985г.	1990г.	1995г.	2000г.	2005г.	2010г.
Метан	222.4	787.3	995.7	1309.6	1475.6	1545.5	1575.5
Углерод диоксид	188.1	665.5	841.8	1107.0	1247.5	1305.6	1331.0
Углерод оксид	1.059	3.720	4.723	6.187	6.972	7.302	7.442
Азот диоксид	0.466	1.651	2.089	2.747	3.095	3.242	3.304
Аммиак	2.240	7.886	10.03	13.11	14.78	15.48	15.77
Сера диоксид	0.112	1.041	1.317	1.732	1.952	2.044	2.048
Сероводород	0.109	0.386	0.489	0.643	0.725	0.759	0.774
Толуол	3.035	10.71	13.58	17.82	20.08	21.03	21.43

Таким образом, по результатам расчётов установлено, что биогаз для окружающей среды является опасным веществом и одновременно хорошим топливом, поэтому необходимо разработать комплекс мероприятий, который позволил бы не только предотвращать негативное воздействие биогаза на окружающую среду, но и способствовать его рациональному использованию для нужд города.

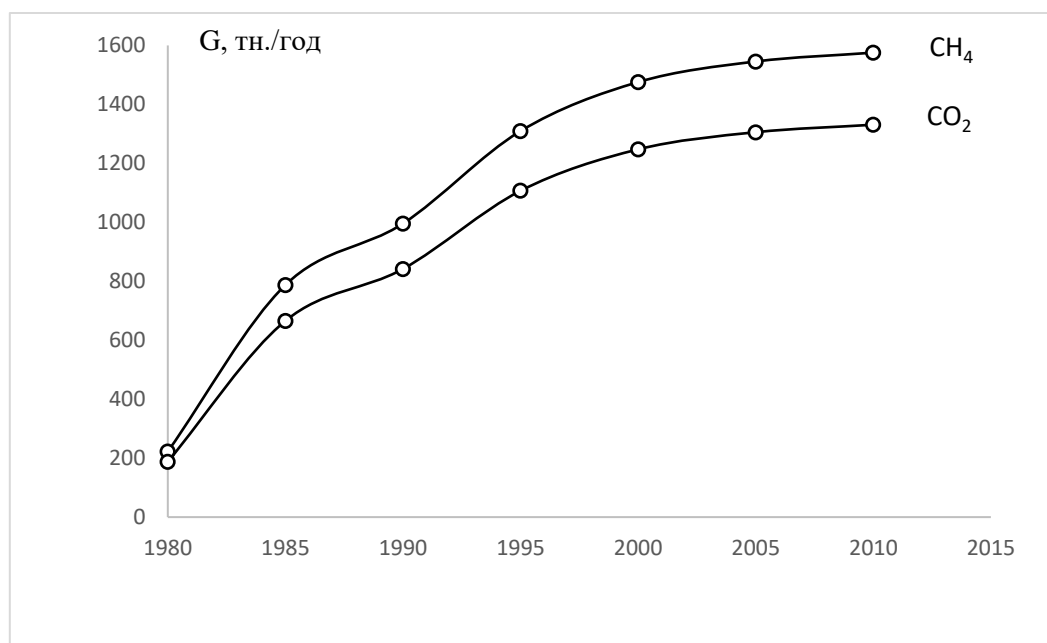


Рис.2. Выход метана и диоксида углерода на полигоне ТБО г. Душанбе.

Поступающий из тела полигона свалочный газ представляет собой низкоэнергетическое топливо, так как, кроме метана, содержит большое количество диоксида углерода (до 45%). Поэтому количества образующегося биогаза является важным этапом в направлении выбора комплекса мероприятий по обеспечению экологической безопасности полигонов по захоронению ТБО и использованию биогаза в качестве топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамян Р.Г. Анализ экологических особенностей воздействия полигонов твердых отходов потребления на окружающую среду. – XVI Междунар. межвузовская науч.-практич. конф. «Строительство - формирование среды жизнедеятельности» – М.: МГСУ, 2013, 146 с.
2. Козловская С.Б., Сапрыкин В.И. Технология извлечения и утилизации биогаза полигонов ТБО. Харьков: УкркоммунНИИпрогресс, 2001, 215 с. Источник <http://www.solidwaste.ru/publ/view/203.html>.
3. Абрамов Н.Ф. и др. Методические указания по расчёту количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов. – М.: АКХ им. К.Д.Памфилова, 2004, 20 с.

Ҳ.Б.БОБОЕВ*, Ш.Б.НАЗАРОВ, С.Ҷ.ИБРОҶИМОВ*

МУАЙЯН НАМУДАНИ МИҚДОР ВА ТАРКИБИ БИОГАЗИ ДАР ПАРТОВГОҶИ ПАРТОВҶОИ САХТИ МАИШИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ ҲОСИЛШАВАНДА

*Институту химияи ба номи В.И.Никитини Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Дар ин мақола муаллифон ихроҷшавии моддаҳои газмонандро аз таркиби биогази ҳосилшудаи партовгоҳи партовҳои саҳти маишии шаҳри Душанбе ба ҳавои атмосфера ҳисоб карда, натиҷагирӣ намуданд. Ҳаҷми ҳосилшавии биогаз аз партовгоҳ дар давраҳои истифодабарии он дар солҳои 1978 то 2017 ҳисоб ва муайян карда шуд. Ин имкон медиҳад, ки чорабиниҳо оид ба чамъоварӣ, нобудсозӣ ва истифодабарии биогаз ба танзим дароварда шавад.

Калимаҳои калидӣ: гази партовгоҳ, партовҳои саҳти маишӣ (ПСМ), биогаз, метан, партовгоҳ.

Kh.B.BOBOEV*, Sh.B.NAZAROV, S.Z.IBROHIMOV*

DETERMINATION OF THE QUANTITY AND COMPOSITION OF THE BIOGAS EDUCATIONAL ON THE RANGE OF SOLID WASTE WASTES OF THE CITY DUSHANBE

*V.I.Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
M.Osimi Tajik Technical University

The paper presents the results of the calculation of pollutant emissions into the atmosphere from the solid domestic waste landfill in Dushanbe. The volumes of output of landfill gas for the period of operation of the test site from 1978 to 2017 have been determined. This makes it possible to outline measures for the collection, removal and use of biogas while ensuring the environmental safety of the landfill for the disposal of domestic waste.

Key words: landfill gas, solid household waste (SHW), biogas, methane, landfill.

УДК 677.051.153.75

С.САЛИМДЖАНОВ, М.В.ИЗАТОВ

**ВЫМЫВАЕМОСТЬ СЕРИЦИНА И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОКОНОВ
ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОКОНОМОТАНИИ**

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

Поступила в редакцию 14.05.2018 г

Высокая стоимость натурального шелка требует изыскания путей его удешевления. Этого можно добиться не только на основе резкого повышения качества коконов и шелка-сырца, механизации и автоматизации процессов производства коконов и их переработки, но и полезным использованием серицина и других веществ.

Ключевые слова: кокон, оболочка, шелк-сырец, серицин, шелконосность, веществ, шелкопродуктов.

Известно, что натуральный шелк относительно дорог из-за слишком большой трудоемкости производства (для получения 1 кг шелка-сырца затрачивается около 100 чел./ч, из них на производство коконов более 80 чел/ч.) [1,2]. Согласно данным статистического управления при Президенте Республики Таджикистан [3], на кокономотальных фабриках республики ежегодно образуется более 150 т шелковых отходов: неподдающиеся размотке коконы, волокнистые отходы кокономотания и куколки.

В настоящее время на шелкомотальных предприятиях Республики Таджикистан выход шелка-сырца не превышает по отрасли 28-30% при шелконосности оболочки коконов 50-53%. В то же время, по данным японских шелководов, этот показатель составляет 44-46% [3].

Настоящая работа направлена на изучение закономерностей изменения технологических показателей оболочки коконов при их подготовке к размотке, а также на усовершенствование технологических параметров запаривания и растряски для снижения вымываемости серицина из оболочки коконов.

Адрес для корреспонденции: Изатов Мирали Валиевич. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10, Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими. E-mail: izatov.69@mail.ru

Пытаясь улучшить результаты переработки коконов, многие предприятия принимают попытку замены отечественного оборудования на импортное. Однако эксплуатация этого оборудования при использовании местного сырья пока не оправдывает материальных затрат на их приобретение.

При анализе работ, проведенных в кокономотальной производстве ООО СП «ВТ - Силк» г. Худжанда, установлено, что выход всех шелкопродуктов при размотке коконов на автоматических кокономотальных автоматах «Кейнан» EB-240 достигает 71-75% (табл.1) [4], при этом потери всех веществ из коконов при автоматическом кокономотании колебались от 25 до 29%, а потеря серицина и других веществ с оболочки коконов при централизованном запаривании коконов в промышленности составляет 6%. При отварке шелкопродуктов остается фиброин, а часть серицина, жировых, воскообразных и минеральных веществ теряется и смывается в сточные воды.

Таблица 1.

Выход шелкопродуктов из количество размотанных коконов (за пять лет)

Год	Размотано коконов, <i>m</i>	Выход шелкопродуктов, <i>m</i>		Выход шелкопродуктов, %
		шелк-сырец	все виды отходов	
2011	68.2	18.2	30.9	71
2012	52.8	13.8	25.8	75
2013	49.4	12.8	23.2	72.9
2014	121.3	32.6	57.1	74
2015	52.2	14.0	25.2	75

Известно, что коконная нить содержит около 3% жиров, около 0.56% воскообразных веществ, от 1 до 1.7% минеральных веществ, которые состоят из силикатов, сульфатов, фосфатов, хлоридов, карбонатов калия, натрия, магния, кальция, железа. Серицин содержит 44,32-49,29% углерода, 30,35-35,50% кислорода, 16,44-18,30% азота, 5.72-6.42% водорода и 0.15% серы [5-7].

Исходя из этого, серицин представляет собой полидисперсное вещество, состоящее из молекул с различной относительной молекулярной массой, поэтому он не имеет критической температуры растворения. Однако не исключено набухание и растворение веществ, содержащихся в оболочке кокона [8].

Поскольку остальные потери веществ коконов никем не обоснованы, нами проведена работа по их выявлению, применяя препарат ДЦУ в процессе запаривания разных партий коконов на машине «Харада». Потери серицина и других веществ изучали в процессах:

- а) запаривания коконов на машине «Харада»;
- б) подыскивании концов коконных нитей, растряске и нахождении нитей на машине EB-240 и размотке коконов на автомате «Кейнан».

Во всех вариантах устанавливали кондиционный вес коконов и всех видов шелкопродуктов.

Установлено, что в процессе запаривания мелких и средних калибров коконов растворимость веществ составляет 3.1-3.5%, на крупном калибре – 3.6-4.0%.

Потери всех веществ при размотке на кокономотальных автоматах – 10.6-11.9%. Отмечаются потери и при обработке кокона на растрясочной машине, где коконы подвергаются длительному воздействию щеток в воде, интенсивно циркулирующей при температуре 80-85°C.

Таблица 2.

Абсолютные потери шелкопродуктов при размотке

№ партии	Вес коконов до запарки, кг	Вес всех видов шелкопродуктов после размотки коконов, кг	Потери	
			абс., кг	%
1	515	445	70	13.6
2	517	454	63	12.2
3	511	450	61	12.0
Среднее			64.7	12.6

Исследованы также потери веществ из коконов без применения препарата ДЦУ при их запаривании, эти потери в партии №1 (коконы калибра 17/19 мм, плотные, запаренные на машине «Харада») без применения ДЦУ на 1.4% больше, чем при запаривании с препаратом (табл.2). Таким образом, 12-13% потерь веществ из коконов приходится на кокономотальный цех, остальные 14-17% – на цех обработки отходов, где из волокна (ляц) вымывается серицин, а также теряется вес куколки, очевидно, за счет растворения жировых веществ.

В табл.3 приведены данные за несколько лет по использованию коконной оболочки и куколки в кокономотальном производстве (вес оболочки и куколки определяли на основе шелконосности коконов согласно паспортным данным производственно-испытательной лаборатории).

Потери от веса оболочки составляют 6.3%, а от веса куколки – 45.7% (по отношению к весу размотанных коконов потери веществ в оболочке – 3%, в куколке – 23%). Химический анализ куколки показывает, что 23.4% массы состоит из жира, 13.5% протеина, 7.4% золы, которые при процессе запаривания, размотки и варки шелковых отходов в значительной части смываются сточными водами.

Таблица 3

Потери шелкопродуктов при полной переработке коконов

Год	Вес оболочки размотанных коконов, кг	Вес шелкопродуктов (без куколки), кг	Использование оболочки коконов, %	Вес куколки в размотанных коконах, кг	Фактически получено куколки, кг	Использование куколки, %
2011	112.8	103.8	92.1	120.8	62.0	51.4
2012	124.0	119.0	96.0	129.3	59.0	55.3
2013	111.0	101.8	91.7	111.4	65.5	58.9
2014	103.5	98.0	94.7	105.5	59.0	56.0
2015	109.5	98.5	90.0	109.5	62.8	57.3
Среднее			92.9			55.8

Таблица 4

Результаты химического анализа

Наименование	Кальций, %	Фосфор, %	С/протеин, %	Общий азот, %	Зола, %	Жир, %
Куколка	0.86	0.52	13.5	2.2	7.4	23.4

Отметим, что в кокономотальном производстве образуется значительное количество отходов в виде неподдающихся размотке коконов, волокнистых отходов кокономотания и куколки. Утилизация этих отходов, использование отработанной воды, насыщенной серицином, в шлихтовании ткани имеет большое хозяйственное значение,

Выводы

Таким образом, приведенные данные показывают, что значительная часть шелковой массы коконов теряется в процессах запаривания и разматывания за счет растворения серицина, жировых и воскообразных веществ. Отсюда следует, что всемерное уменьшение этих потерь, и повышение выхода шелка-сырца имеет важное хозяйственное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухамедов М.М. Состояние и перспективы развития производства натурального шелка. – Вопросы физико-химии и технологии натурального шелка. – Ташкент: ТПИ, 1978, с.10-20.
2. Мухамедов М.М. Проблемы рационального использования коконного сырья. – М.: Легпромиздат, 1990, 137 с.
3. Данные статуправления Согдийской области при президенте Республики Таджикистан за 2000 – 2017.
4. Салимджанов С. и др. Технология переработки коконов на импортном оборудовании. – Душанбе, 2010, 186 с.
5. Шукюрлу Ю.Г. Структурные белки. – Баку.: Элм, 2006, 380 с.
6. Салимджанов С. Ишматов А.Б., Бадалов А.Б. Основные влияющие факторы и термодинамический анализ процесса набухания коконной оболочки. – ДАН РТ, 2010, №141
7. Ишматов А.Б., Салимджанов С. Обоснование рационального режима замачивания коконов тутового шелкопряда. – Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2012, №2, с. 34-38.
8. Рубинов Э.Б. Технология шелка (кокономотание): учебник. – М.: Легкая индустрия и пищевая промышленность, 1981, 392 с.

С.САЛИМДЖАНОВ, М.В.ИЗАТОВ

ШУСТАШАВАНДАГИИ СЕРИТСИН ВА ДИГАР МОДДАҶО АЗ ПИЛЛАҶО ҲАНГОМИ ПИЛЛАКАШИИ АВТОМАТӢ

Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Имрӯзо дар корхонаҳои шохибофии Чумхурии Тоҷикистон баромади абрешими хом дар соҳа, ҳангоми абрешимнокии рӯяи пиллаҷо 50-53% будан, аз

28-30% зиёд нест, ҳол он ки ин нишондиҳанда дар пиллапарварони чопонӣ 44-46%-ро ташкил медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: пилла, рӯя, серитсин, абрешимнокӣ, маҳсулоти абрешимӣ.

S.SALIMJONOV, M.V.IZATOV

WASHABILITY OF SERICIN AND OTHER SUBSTANCES FROM COCOONS WITH AUTOMATIC COCOONING

M.Osimi Tajik Technical University

Currently, silk-winding enterprises of the Republic of Tajikistan, the output of raw silk, does not exceed 28-30% for the silk-shell shell of cocoons 50-53% in the industry. At the same time, Japanese silkworms, this figure is 44-46%.

Key words: cocoon, shell, sericin, silk-screening, silk products.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

**С.У.УМАРОВ – УЧЕНЫЙ И ОРГАНИЗАТОР НАУКИ
(К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

*С тех пор как существует мирозданье,
Такого нет, кто б не нуждался в знанье.
Какой мы ни возьмем язык и век,
Всегда стремится к знанью человек.*

Рудаки



История свидетельствует, что в переломные, решающие эпохи нация рождает сыновей, способных к принятию судьбоносных решений, которые определяют развитие общества на многие десятилетия. Именно к числу таких выдающихся личностей и относится С.У.Умаров, который внес выдающийся вклад в развитие науки и техники, подготовку научных и

научно-педагогических кадров не только в Таджикистане, но и во всем регионе Центральной Азии.

Султан Умарович Умаров родился в 1908 году в древнем таджикском городе Худжанде. Худжанд, наряду с другими центрами древней и уникальной центрально-азиатской цивилизации, – Самаркандом и Ташкентом, после русского завоевания Туркестана, то есть со второй половины XX века непосредственно входил в состав Российской империи, что и определило бурное развитие социально-экономической жизни в этом древнем городе.

Интенсивные социально-экономические преобразования начала XX века пробудили к активной жизни народы всего центрально-азиатского региона и впервые со времен

раннего средневековья появилась целая плеяда выдающихся деятелей науки и культуры. Впервые с эпохи средневековья регион Центральной Азии начал играть видную роль в развитии передовой научной мысли человечества. Фактически, за считанные десятилетия народы региона перешагнули через целую эпоху – от архаики средневековья к новейшему времени. Достаточно вспомнить несколько фактов о развитии науки в нашей республике. В международном эксперименте «Памир» по исследованию космических лучей на высоте 4400 м над уровнем моря в Восточном Памире, в урочище Ак-Архар, на уникальной установке – рентген-эмульсионной камере площадью 1000 квадратных метров, составленной из почти 2000 тонн тонкопрокатного листового свинца, углерода и рентгеновской пленки, в 1992 году были зарегистрированы космические лучи – высокоэнергетические частицы, известные ныне как семейство «Таджикистан» с энергией первичной частицы порядка 10^{18} эВ. Это наибольшая энергия элементарной частицы, когда-либо наблюдавшаяся человеком за всю историю XX века! Энергия элементарных частиц на Большом Адронном Коллайдере, которая может быть достигнута, составит 10^{16} эВ. Нашими таджикскими учеными, в составе интернациональной команды в период с 1971 по 1992 годы, а затем с 2009 года в ходе высокогорного эксперимента «Памир» были открыты ряд уникальных явлений в физике космических лучей, – таких как компланарное рассеяние осколков при взаимодействии элементарных частиц со сверхвысокими энергиями, неравномерное распределение барионного заряда, известное как явление «кентавр-антикентавр», и ряд других событий, которые не могут быть объяснены с точки зрения самой передовой на настоящее время теории, являющейся результатом развития науки в течение всего XX века – Стандартной Модели! И уже в стенах Физико-технического института, носящего имя своего основателя – С.У.Умарова, создаются теории, развивающие Стандартную Модель, а точнее, теории новой физики, за пределами Стандартной Модели, основанные на идеях нелинейных теоретико-полевых подходов, теории струн, суперструн и супермембран. Отметим еще раз, что на основе ускорительной техники, то есть на пучках Большого Адронного Коллайдера, невозможно на сегодняшний день ускорить частицы до энергий, наблюдавшихся в эксперименте «Памир». Максимально достижимая энергия элементарных частиц на Большом Адронном Коллайдере может составить 10^{16} эВ, что на два порядка меньше уже наблюдавшихся энергий в Таджикистане.

Развитие науки, у истоков которой стоят выдающиеся личности, и достойное место в их ряду занимает С.У.Умаров, привело к активной роли Таджикистана в развитии ядерной физики в XX веке, - ядерный щит СССР был создан во многом благодаря разработкам, проводившимся в Таджикистане.

Особо стоит отметить создание ядерного реактора «Аргус» - уникального реактора растворного типа, восстановлением и модернизацией которого в настоящее время занимается команда во главе с президентом АН Республики Таджикистан Ф.Рахими, в со-

ставе которой находится и Ваш покорный слуга и коллектив Физико-технического института им. С.У.Умарова.

Чтобы глубже понять роль личностей, которые стояли у истоков становления и развития современной науки в Таджикистане, оглянемся назад, с высоты сегодняшнего дня к началу XX века, когда в регионе Центральной Азии не было современных научных кадров, университетов и академий наук. Только что отгремела гражданская война. В это непростое время С.У.Умаров выбирает себе в качестве жизненного пути науку, а именно – физику. Он учится в учительском институте в Самарканде – в 20-е годы, затем, в 1933 г. поступает в аспирантуру Ленинградского физико-технического института, которым в те годы руководил «отец советской физической науки» А.Ф.Иоффе. Именно из этого научного центра вышел ряд выдающихся советских ученых – Л.Д.Ландау, И.Е.Тамм, Я.И.Френкель, В.А.Фок и ряд других. В этой школе выдающихся ученых XX века происходит становление С.У.Умарова как талантливого физика-теоретика, обладающего широким кругозором и глубокими познаниями в различных областях физики.

Кандидатскую диссертацию «Теория броуновского движения некоторых систем, совершающих малые колебания» С.У.Умаров защищает под руководством профессора Ю.А.Круткова в 1936 году. По всей видимости, С.У.Умаров был первым выходцем из Центральной Азии, защитившим кандидатскую диссертацию по теоретической физике.

По возвращении в Самарканд С.У.Умаров продолжает научно-педагогическую работу на физико-математическом факультете Самаркандского госуниверситета. В эти годы огромное внимание С.У.Умаров уделяет подготовке кадров специалистов из Таджикистана. В 1942 г. С.У.Умаров назначается ректором Среднеазиатского госуниверситета (САГУ, ныне Ташкентского), а вскоре – заместителем председателя Совета Народных Комиссаров Узбекской ССР, в это время он выполняет ряд ответственных государственных заданий, связанных с военной обстановкой и эвакуацией более 100 военных предприятий. Несмотря на свою исключительную занятость на государственной должности, он продолжает вести активную научно-исследовательскую работу. В 1943 г. среди первых учредителей Академии наук Узбекской ССР С.У.Умаров был избран её действительным членом. С окончанием войны в 1945 г. Султон Умарович вновь назначается ректором САГУ и руководит кафедрой теоретической физики.

В 1950 г. Султон Умарович направляется на должность заведующего Отделом теоретической физики Физико-технического института АН Узбекской ССР, а с 1956 г. был избран его директором. В этот период С.У.Умаров публикует ряд фундаментальных и основополагающих работ в области физики полупроводников.

В 1957 г. С.У.Умаров был избран академиком Академии наук Таджикской ССР и её президентом. В этот период только начинались научные исследования в области точных наук, ощущался недостаток научных кадров. Будучи президентом АН Таджикской ССР, С.У.Умаров вносит весомый вклад в дальнейшее развитие науки в Таджикистане; вопро-

сы подготовки и расстановки научных и научно-педагогических кадров занимают особое место в его деятельности. Именно в эти годы начинается развитие точных наук в республике, в частности физико-математических наук, создание и укрепление материально-технической базы и подготовка высококвалифицированных кадров. С этой целью по инициативе С.У.Умарова была отобрана и направлена большая группа талантливой молодежи в Москву, Ленинград, Минск, Новосибирск, Баку и другие ведущие научные центры страны. Развивается научно-техническая база Академии наук, создаются новые лаборатории и отделы, на базе которых позднее создаются институты.

С.У.Умаров одновременно заведовал Отделом физики и математики при АН Таджикистана и кафедрой теоретической физики Таджикского государственного университета.

Широко эрудированный ученый не ограничивался исследованиями в области статистической физики, начатой им еще в аспирантские годы. С.У.Умаров ведет активные научные исследования.

Ряд работ С.У.Умарова, опубликованных в довоенный период, носят прикладной характер. В частности, статья, посвященная изучению распределения энергии, излучаемой черным телом, по длинам волн для температур, имеющих значение в гелиотехнике. Дается анализ опытов по освоению солнечной энергии с точки зрения использования как направленной, так и рассеянной радиации, с целью увеличения производительности солнечной водонагревательной установки. Дается анализ оптических свойств, прозрачности в различных диапазонах инфракрасного излучения различных материалов – стекол и ацетилцеллюлозной пленки, которые используются в солнечных коллекторах. Выработанные С.У.Умаровым рекомендации по ослаблению коэффициента отражения стекол и по общим принципам увеличения коэффициента полезного использования солнечной энергии не потеряли своей актуальности до сего дня.

Особое место занимает цикл работ С.У.Умарова по релятивистской статистической физике. Эти работы были опубликованы в период с 1949 по 1952 годы. Как известно, релятивистская статистическая физика лежит в основе современной релятивистской космологии. В отличие от классической статистической физики, основы которой были заложены в работах Больцмана и других классиков в XIX веке, а затем развиты и обобщены в работах Боголюбова и Власова, релятивистская статистическая физика исследует системы в совершенно другом диапазоне изменения физических величин, выходящем за рамки классической механики. В трудах С.У.Умарова последовательно проводится обобщение основных положений статистической физики в применении к системам, описываемым в рамках общей теории относительности А.Эйнштейна, и получены уравнения, применимые к системам, находящимся в сильных гравитационных полях (то есть при наличии резко выраженной пространственной масштабной анизотропии), и обладающие релятивистскими скоростями.

Одна из трудностей, с которой сталкивается классическая статистическая физика, заключается в том, что в релятивистские уравнения движения входят собственные времена, разные для разных тел, и поэтому теорема Лиувилля в обычном виде не соблюдается. В работах С.У.Умарова обсуждаются пути последовательного введения методов и аппарата классической статистической физики в релятивистскую теорию. Дальнейшее развитие релятивистской космологии, исследование таких уникальных объектов, как черные дыры, изучение свойств материи в первые секунды существования нашей Вселенной после Большого Взрыва, естественным образом вело к обобщению и развитию релятивистской статистической физики.

Вопросы физической электроники, физики полупроводников, физики хлопка и истории точных и естественных наук занимают определенное место в творческой биографии ученого.

Трудно охватить в одной статье все грани таланта ученого. Несомненен вклад С.У.Умарова и в развитие общественных наук, производительных сил республики, в применении математических методов в экономических исследованиях.

Выдающийся организатор науки С.У.Умаров, фактически, создал современную структуру Академии наук Таджикистана из трех отделений, по его инициативе были созданы 11 институтов и научных центров в системе Академии наук, некоторые из которых позднее перешли в подчинение министерств, или сохранили двойное подчинение. Эти институты стали флагманами в соответствующих отраслях науки Республики Таджикистан.

Венцом, важной вехой научно-организационной деятельности С.У.Умарова за столь короткий срок является создание в 1964 году трех новых научно-исследовательских институтов в структуре Академии наук: Физико-технического института, Института биофизики и физиологии растений и Института экономики.

Физико-технический институт – истинное детище С.У.Умарова, носящий по праву имя своего создателя и организатора, ныне включает в свою структуру Международный центр ядерно-физических исследований, Отдел наноматериалов и нанотехнологий, Центр по изучению и исследованию возобновляемых источников энергии, Сектор теоретической физики и 6 лабораторий, в которых проводятся исследования по важнейшим проблемам современной физики: ядерная физика, физика конденсированного состояния, молекулярная физика, возобновляемой энергетике, медицинской физики. В перспективе на ближайшие годы планируется развитие таких направлений, как физика космических лучей, радиационная экология и материаловедение в экстремальных условиях на высокогорных полигонах Восточного Памира, и создание новых материалов с уникальными свойствами, нейтронография на пучках реактора «Аргус», выработка изотопов для ядерной медицины и других отраслей народного хозяйства. Другие развивающиеся направления, такие как

физика атмосферы, физико-технические проблемы энергетики, оптика, квантовая электроника весьма актуальны для развития экономики страны.

В эти дни, когда особый акцент делается на привлечение творческой молодежи в науку, знание истории науки, её места и значимости в жизни общества, ознакомление с такими учеными и личностями, как С.У.Умаров, обогатит духовный мир и мировоззрение молодых людей, вступающих в неизведанные тропинки науки. Его жизнь и его искреннее служение науке являются путеводной звездой для тех, кто стремится к знанию.

Х.Х.Муминов –

доктор физ.-мат. н., академик, вице-президент Академии наук Республики Таджикистан, заведующий отделом наноматериалов и нанотехнологий ФТИ им. С.Умарова АН РТ

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

**ВКЛАД АКАДЕМИКА А.А.АДХАМОВА И ЕГО ШКОЛЫ В РАЗВИТИЕ
МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ, ЯВЛЕНИЙ ПЕРЕНОСА И АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
(К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**



Акобир Адхамович Адхамов – физик-теоретик, академик Академии наук Таджикской ССР, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Таджикистана.

А.А.Адхамов - известный учёный в области

теоретической физики, им проведены глубокие исследования в области молекулярно-кинетической теории газов и жидкостей, молекулярной акустики и теории фазовых переходов.

А.А.Адхамов родился 4 сентября 1928 г. в городе Самарканде. Ещё в школьные годы он проявлял большой интерес к естественным наукам и прежде всего к физике и математике. По окончании школы поступил на физико-математический факультет Узбекского государственного университета им. А.Навои в г. Самарканде и ещё студентом проявил склонность к научно-исследовательской работе. После окончания университета в 1949 г. А.А.Адхамов начал свою трудовую деятельность учителем физики в средней школе №21 г. Самарканда и одновременно готовился к поступлению в аспирантуру.

В 1950 г., успешно сдав вступительные экзамены, стал аспирантом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова и начал свою научную деятельность под руководством всемирно известного физика-теоретика, лауреата Ленинской премии, зав. кафедрой теоретической физики А.А.Власова. Вскоре на заведование кафедрой теоретической физики МГУ был приглашён другой не менее известный советский физик-теоретик Н.Н.Боголюбов – автор классической работы «Проблемы динамической теории в статистической физике». Работа под руководством А.А.Власова, а также ежедневные контакты с зарождающейся научной физической школой Н.Н.Боголюбова способствовали формированию А.А.Адхамова как талантливого учёного и организатора науки. В 1954 г. на заседании спецсовета физического факультета МГУ А.А.Адхамов защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему: «Молекулярно-кинетическая теория распространения ультразвука в жидкостях». Диссертационная работа была посвящена применению современных методов статистической физики и кинетической теории с учётом молекулярного взаимодействия в приближении самосогласованного поля к исследованию распространения ультразвуковых волн в жидкостях. А.А.Адхамовым был получен ряд новых результатов, достоверно освещающих экспериментальные данные на основе молекулярных представлений.

После защиты кандидатской диссертации А.А.Адхамов был приглашен на работу в г. Душанбе. В 1954 г. он становится старшим преподавателем кафедры физики, затем – заведующим кафедрой общей и теоретической физики Таджикского государственного университета им. В.И.Ленина, в 1956 г. А.А.Адхамов избирается деканом физико-математического факультета, в 1958 г. назначается проректором по научной работе Таджикского государственного университета и одновременно продолжает научные исследования, а в 1957 г. был избран членом-корреспондентом АН Таджикской ССР. В 1960 г. для завершения докторской диссертации он был направлен на кафедру теоретической физики МГУ им. М.В.Ломоносова. За этот период им на основе молекулярно-кинетических представлений впервые разработана строгая статистическая теория релаксационных явлений распространения ультразвуковых волн в конденсированных средах резонансного поглощения ультразвука в жидкостях и молекулярных кристаллах.

В 1964 г. А.А.Адхамов защитил докторскую диссертацию на тему: «Вопросы молекулярно-кинетической теории распространения ультразвука в жидкостях» на учёном совете Московского областного педагогического института им.

Н.К.Крупской. Основной задачей диссертационной работы являлось определение скорости и коэффициента поглощения ультразвука и их зависимости от температуры, плотности и других термодинамических параметров жидкости на основе молекулярно-кинетической теории. Была поставлена также задача исследования частотной зависимости скорости и коэффициента поглощения ультразвука на основе дальнейшего обобщения релаксационной теории с целью обоснования новых результатов экспериментальных исследований. Дано обобщение релаксационной теории Мандельштама-Леонтовича, а на случай непрерывного распределения времён релаксации получены общие выражения для скорости и коэффициента поглощения звука, выраженные через функции распределения времён релаксации. На основе общей релаксационной теории доказывается существование второго коэффициента теплопроводности наряду с коэффициентом объёмной вязкости. Показано, что наличие медленных релаксационных процессов установления равновесия в газах и жидкостях в гидродинамическом приближении эквивалентно наличию объёмной вязкости и второго коэффициента теплопроводности.

Фундаментальные исследования академика А.А.Адхамова по молекулярно-кинетической теории релаксационных процессов, явлений переноса, упругих и акустических свойств классических жидкостей, наряду с двумя монографиями, опубликованы в следующих научных статьях:

О дисперсии звука в жидкостях // Применение ультраакустики к исследованию вещества. – М., 1960. – Вып.10.- С. 243-254.

О влиянии резонанса на поглощении ультразвука в жидкостях. // Применение ультраакустики к исследованию вещества. Моск. обл. пед. ин-т им. Н.К.Крупской. – М., 1961. – Вып. 13. – С. 101-106.

О дисперсионных соотношениях в акустике. // Применения ультраакустики к исследованию вещества. / Моск. обл. пед. ин-т им. Н.К.Крупской. – М., 1961. – Вып. 13. – С. 107-114.

Учёт пространственных неоднородностей в теории поглощения звука в жидкостях. // Применения ультраакустики к исследованию вещества. / Моск. обл. пед. ин-т им. Н.К.Крупской. – М., 1961. – Вып. 14. – С 45-51.

О поглощении ультразвука в вязких жидкостях. // Применения ультраакустики к исследованию вещества. / Моск. обл. пед. ин-т им. Н.К.Крупской. – М., 1961. – Вып. 15. – С 3-10.

Связь между поглощением и дисперсией звука в однородной среде. // Докл. АН ТаджССР. – 1961. – Т. 4. - С 13-17.

К молекулярной теории скорости и поглощения звука в жидкостях. // Изв. АН ТаджССР. Отд. геол.-хим. и техн. наук. – 1961. - №1. – С. 21-30.

К теории поглощения звука вблизи точек фазового перехода второго рода. // Докл. АН ТаджССР. – 1970. – Т. 13, - №4. –С. 14-18.

Об объёмной вязкой жидкостей. // Докл. АН ТаджССР, - 1971. – Т. 14, - №11 - С. 21-23.

К теории коллективных колебаний в жидкостях. //Докл. АН ТаджССР. - 1972. – Т. 15, №11. – С. 23-26.

С 1965 г. по 1992 г. А.А.Адхамов был директором Физико-технического института им. С.У.Умарова АН Таджикской ССР. С 1965 по 1968 гг. он одновременно выполнял обязанности главного учёного секретаря Президиума АН Таджикской ССР, а с 1977 г. до 1985 г. являлся академиком-секретарем Отделения физико-математических, химических и геологических наук. В 1968 г. избран действительным членом (академиком) АН Таджикской ССР.

В Физико-техническом институте им. С.У.Умарова А.А.Адхамов организовал и руководил работой Отдела теоретической физики и лаборатории физической акустики. По его инициативе в институте организованы лаборатории диэлектрических материалов, квантовой электроники, криогенной техники, лаборатория геолитехники. Он являлся руководителем научных исследований по проблемам теоретической физики, физической акустики и физики сегнетоэлектрических материалов.

В частности, академиком А.А.Адхамовым и его учениками были развиты вопросы молекулярно-кинетической теории релаксационных процессов, явлений переноса и акустических свойств конденсированных сред по следующим направлениям:

1. Физика многоатомных газов и смеси бинарных плотных газов, а также плазмы (Асроров А.А., Асоев А., Махмудов Т., Насриддинов М., Пардаев А.).

2. Статистическая теория двухжидкостной модели простых классических жидкостей и твёрдых тел (Лебедев В.И., Адхамова Н.С., Гафоров А., Гумовский В.В., Насруллаев Х., Хостикоев Э.А.).

3. Исследования явлений переноса, термодинамических и структурных параметров, а также фазовых переходов конденсированных сред численными методами (Ашуров А.К., Часовских В.П., Салахутдинов М.И., Нуруллоев А., Раупов А.).

4. Исследования явлений переноса и акустических свойств конденсированных сред методом молекулярной акустики (Файзиев И.Ф., Хемраев Б.Х., Мамаджанов М., Хамзаев Б.Х., Мансуров К.М.).

5. Исследование природы релаксационных явлений и их вклад в коэффициенты переноса, упругих модулей и акустических параметров жидкостей и их растворов на основе молекулярно-кинетической теории (Лебедев В.И., Асоев А.А., Салахутдинов М.И., Раупов А.Р., Шокиров Ш.Ш., Солихов Т.Х., Саидов Х.Р., Абдурасулов А.А., Одинаев С.).

По результатам исследований А.А.Адхамовым опубликовано более 150 научных работ и две монографии:

Адхамов А.А., Лебедев В.И. Применение метода функций Грина в классической статистической механике.– Душанбе: Дониш, 1975, 198 с.;

Одинаев С., Адхамов А.А. Молекулярная теория структурной релаксации и явлений переноса в жидкостях. – Душанбе: Дониш, 1998, 230 с.

Академик А.А.Адхамов плодотворно трудился и над прикладными проблемами материаловедения, включающими в себя радиационную физику, поиск новых перспективных кристаллических и композиционных материалов, совместно с Муиновым Т.М., Кабиловым З.А., Исмаиловым И.И., Цидулко И.М., Слущким Л.М., Курбановым Х.М., Гореликом В.С., Умаровым Б.С., Назаровым Б.И., Мадвалиевым У.Х., Ашуровым А., Холовым А. и др. Прогресс в этих областях знаний во многом будет определять будущее науки и народного хозяйства республики.

А.А.Адхамов является одним из крупных организаторов науки в Таджикистане. Под его руководством Физико-технический институт им. С.У.Умарова превратился в центр фундаментальных и прикладных физических исследований, оснащённый современными приборами и оборудованием, ведущий комплексные физические исследования по различным проблемам современной физики и техники. Под его руководством институт проводил работу по внедрению научных результатов в народное хозяйство республики и стал центром подготовки высококвалифицированных специалистов-физиков.

А.А.Адхамов был не только учёным, но и талантливым педагогом, отдававшим много энергии делу подготовки квалифицированных научных кадров в Таджикистане. Являясь профессором кафедры теоретической физики Таджикского государственного университета, читал курсы лекций по теоретической физике, руководил работами аспирантов и соискателей. Под его руководством выполнено и защищено около 30 диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора физико-

математических наук по теоретической физике, физической акустике и молекулярной физике. Многие его ученики работают в научно-исследовательских институтах АН Таджикистана и в высших учебных заведениях республики, а также других стран.

А.А.Адхамов, внёс большой вклад в подготовку научных кадров в области точных наук для республики, используя свои научные связи с ведущими академическими институтами и научными центрами СССР, руководимыми авторитетными учёными известными своими именами в мировой науке, такими как Н.Н.Боголюбов, А.А.Власов, И.Г.Михайлов, В.А.Соловьев, В.П.Романов, В.А.Шутилов, Ф.М.Куни, Д.Н.Зубарев, Р.В.Хохлов, В.П.Скрипов, Н.Н.Боголюбов (мл.), В.Ф.Ноздрев, И.З.Фишер, А.З.Голик, И.Р.Юхновский, И.П.Базаров, Н.М.Плакида, В.Л.Аксенов, Ю.В.Гуляев, М.А.Анисимов, Л.М.Лямшев, А.П.Капустин, Л.К.Зарембо, В.А.Красильников, А.К.Атахаджаев, П.К.Хабибулаев, А.А.Бердыев, Н.Б.Лежнев, Ю.П.Благой, А.С.Михайленко, Н.Ф.Отпушенников, Б.Х.Хемраев и др.

А.А.Адхамов активно участвовал в общественной жизни республики и научной жизни страны, являясь членом Координационного совета АН СССР по физике твёрдого тела и ядерной физике, членом научного совета по проблеме «Ультразвук» при Отделении общей физики и астрономии АН СССР, членом научного совета по «Физике диэлектриков, и сегнетоэлектриков» АН СССР, членом главной научной редакции Таджикской Советской Энциклопедии, председателем секции физики Совета по координации АН Таджикской ССР, неоднократно входил в оргкомитеты всесоюзных научных конференций. Неоднократно представлял науку Таджикистана за рубежом, в частности в Польше, Югославии, Японии, Франции, Тунисе, Бельгии, Англии, Исламской Республике Иран и др.

А.А.Адхамов - видный общественный и государственный деятель. Избирался депутатом горсовета, членом Душанбинского горкома партии, депутатом Верховного Совета Таджикской ССР, членом президиума Республиканского общества «Знание», председателем правления Душанбинского городского общества «Знание», членом редколлегии журнала «Доклады АН Таджикской ССР».

За свою многолетнюю и плодотворную научную, педагогическую и организационную деятельность А.А.Адхамов награждён орденом «Знак Почета», медалями «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина» и «Ветеран труда».

В заключение следует отметить, что академик А.А.Адхамов плодотворно трудился как над фундаментальными проблемами статистической физики, такими как молекулярная теория релаксационных процессов, явления переноса, упругие и акустические свойства конденсированных сред, проблемы фазовых переходов, сильно неравновесные и нелинейные явления в различных средах, включая проблемы сверхпроводимости, так и над прикладными проблемами материаловедения, включающими в себя радиационную физику, поиск новых перспективных кристаллических и композиционных материалов. Прогресс в этих областях исследований во многом определяет будущее науки и оптимальное использование полученных результатов в технике и технологии.

С.Одинаев –

доктор физ.-мат. н., академик Академии наук Республики Таджикистан, главный научный сотрудник сектора теоретической физики ФТИ им. С.Умарова АН РТ

**ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
№3 (172), 2018 г.**

Редакция и корректура – Н.Г.Сапожников

Сдано в набор 27.09.2018 г. Подписано в печать 11.10.2018 г.
Печать офсетная. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times. Усл. печ. л.8. Заказ № ____.
Тираж 300 экз.

*Адрес редколлегии: 734025, Душанбе, пр.Рудаки, 33, каб. 47.
Тел.:2-21-62-64. E-mail: danrt@mail.ru
Издательство «Дониш»: 734029, Душанбе, ул.Айни, 121, корп.2.*
