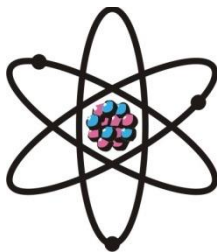


ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 1 (150)
2013 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

М.И.Илолов – главный редактор, академик, доктор физико-математических наук, профессор;
С.О.Одинаев – зам.главного редактора, академик, доктор физико-математических наук, профессор;
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; **Р.М.Марупов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **У.М.Мирсаидов** – академик, доктор химических наук, профессор; **Х.Х.Муминов** – член-корреспондент, доктор физико-математических наук, профессор; **С.Х.Негматуллаев** – академик, доктор технических наук; **Н.Р.Раджабов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.Х.Рахмонов** – член-корреспондент, 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, М.Р.Лангаршоев.** О наилучших приближениях и точных значениях средних поперечников некоторых классов целых функций в $L_2(\mathbb{R})$ 7
- Н.Ф.Олифтаев.** О значениях некоторых классов периодических дифференцируемых функций в пространстве L_2 21

ИНФОРМАТИКА

- З.Д.Усманов, Г.М.Довудов, С.Д.Холматова.** О множестве анаграмм таджикского языка 32
- Л.А.Гращенко.** О модельном стоп-словаре 40

ФИЗИКА

- С.Одинаев, Р.Махмадбегов.** Теоретические и экспериментальные исследования диэлектрических свойств растворов электролитов (обзор) 47
- С.Ш.Давлятмамадова, Т.Шукуров, Р.Марупов.** Спектроскопические свойства корневища родиолы холодной (*Rhodiola gelida* Schrenk) в зависимости от места произрастания 60
- М.М.Кабиллов, Б.Дж.Гулбоев, П.Б.Садриддинов, И.Х.Халимов.** Численное моделирование фильтрационного горения газов при симметричности профилей температуры и концентрации компонентов 67
- Ф.Х.Каримов.** Коэрцитивность ферромагнитных пластин с поверхностными линейными неоднородностями..... 76

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Х.М.Ахмедов, Х.С.Каримов, К.Кабутов, А.А.Акобиров, И.Хомидов, З.Рахматова, Ф.Ахмедов.** Влияние температуры на электрические свойства электрохимического элемента на основе n-InP..... 84

ФАРМАКОЛОГИЯ

- З.К.Мухидинов, М.Р.Бобокалонова, И.Ф.Рахимов, О.Шамсара, Д.Т.Бобокалонов, Л.Ш.Лиу.** Кинетика высвобождения пироксикама из эмульсионных микрочастиц низкометилированных пектинов и концентрата лактоглобулинов молочной сыворотки 89

ГЕОХИМИЯ

- А.Р.Файзиев, С.А.Эльназаров.** Термобарогеохимические условия формирования Кухилалского месторождения благородной шпинели 99

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

- М.М.Мамадвафоев, Ю.И.Дыщук.** Оценка перспектив золотоносности учкадинского рудного поля геохимическими методами (Центральный Таджикистан)..... 107

ЮБИЛЕЙ УЧЁНОГО

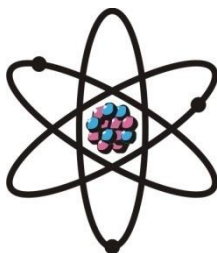
- Академику Леониду Григорьевичу Михайлову - 85 лет** 116
- Абдуали Абдуманову – 60 лет** 119

ПАМЯТИ УЧЁНОГО

- Иван Алексеевич Глухов – яркий представитель химической науки Таджикистана (к 100-летию со дня рождения)** 122
- Манзур Рахимович Джалилов (к 80-летию со дня рождения)**..... 125
- Баратов Рауф Баратович (10.10.1921 г. – 14.01.2013 г.)**..... 129
- Мэлс Икрамович Салахутдинов (10.10.1938 г. – 06.01.2013 г.)**..... 132

ШҮҮЪБАИ
ИЛМҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз моҳи
январӣ соли 1952
нашр мешавад



№ 1 (150)
с. 2013

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

М.И.Илолов – сармуҳаррир, академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор;
С.О.Одинаев – муовини сармуҳаррир, академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор;
Н.Г.Сапожников – котиби масъул; **Ҳ.М.Аҳмедов** – академик, доктори илми химия;
Р.Б.Бобочонов – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **И.Н.Ғаниев** – академик, доктори илми химия, профессор; **Р.М.Маърупов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Ҷ.М.Мирсаидов** – академик, доктори илми химия, профессор;
Ҳ.Ҳ.Муминов – узви вобаста, доктори илмҳои физикаю математика, профессор;
С.Ҳ.Неъматуллоев – академик, доктори илмҳои техника; **З.Ҳ.Раҳмонов** – узви вобаста, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Н.Р.Раҷабов** – 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.Ҳ.Холиқов** – академик, доктори илми химия, профессор.

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

- М.Ш.Шабозов, М.Р.Лангаршоев.** Оиди наздиққунии бехтарин ва қимати аниқи кутрҳои миёнаи баъзе синфи функсияҳои бутун дар $L_2(\mathbb{R})$ 7
- Н.Ф.Олифтаев.** Дар бораи қиматҳои баъзе синфи функсияҳои даврии дифференсиронидашаванда дар фазои L_2 21

ИНФОРМАТИКА

- З.Д.Усмонов, Г.М.Довудов, С.Д.Холматова.** Маҷмӯи анаграммаҳои забони тоҷикӣ 32
- Л.А.Грашенко.** Дар бораи модели вожаҳои-истода 40

ФИЗИКА

С.Одинаев, Р.Махмадбегов. Таҳқиқотҳои назарӣ ва таҷрибавии хосиятҳои диэлектрикии маҳлулҳои электролитӣ.....	47
С.Ш.Давлятмамадова, Т.Шукуров, Р.Марупов. Хусусиятҳои спектроскопии решаи зарчӯб (<i>Rhodiola qelida</i> Schrenk) вобаста аз муҳити сабзиш.....	60
М.М.Қобилов, Б.Қ.Гулбоев, П.Б.Садриддинов, И.Х.Ҳалимов. Моделронии адабии сӯзиши филтронаи газҳо хангоми симметри будани профилҳои ҳарорат ва консентратсияи таркибаҳо	67
Ф.Ҳ.Каримов. Ҳосиятҳои коэрситивии лавҳаи ферромагнетики сатҳи хаттии Ғайриякчинса дошта	76

ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ

Ҳ.М.Ахмедов, Ҳ.С.Каримов, К.Қабуров, А.А.Ақобиров, И.Ҳомидов, З.Раҳматова, Ф.Ахмедов. Таъсири ҳарорат ба хосиятҳои электрикии элементҳои электрохимиявӣ дар асоси n-InP.....	84
---	-----------

ФАРМАКОЛОГИЯ

З.Қ.Муҳидинов, М.Р.Бобоқалонова, И.Ф.Раҳимов, О.Шамсара, Қ.Т.Бобоқалонов, Л.Ш.Лиу. Кинетикаи баромади пироксикам аз микрокапсулаҳои пектини камметили ва лактоглобулини зардоби шир	89
--	-----------

ГЕОХИМИЯ

А.Р.Ғайзиев, С.А.Элназаров. Шароити термобарогеохимии пайдошавии кони лаъли Кӯҳилаъл (Помири Ҷанубу-Ғарбӣ)	99
---	-----------

МАЪДАНҲОИ ФОИДАНОК

М.М.Мамадҷафоев, Ю.А.Дишук. Баҳодиҳии оянданоки тиллонокии майдони маъдании учкадо бо усулҳои геохимиявӣ (Тоҷикистони Марказӣ)	107
---	------------

ҶАШНИ ОЛИМОН

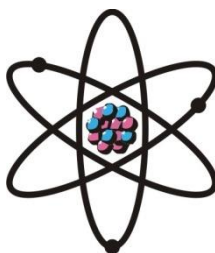
Академик Л.Г.Михайлову - 85 сол.....	116
Абдуали Абдуманонов – 60 сол.....	119

ЁДБУДИ ОЛИМ

Иван Алексеевич Глухов (бахшида ба 100-солагии рузи таваллуд).....	122
Манзур Раҳимович Ҷалилов (бахшида ба 80- солагии рузи таваллуд)	125
Баратов Рауф Баратович (10.10.1921 г. – 14.01.2013 г.).....	129
Мэлс Икрамович Салахутдинов (10.10.1938 г. – 06.01.2013 г.).....	132

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

The journal was established
in January 1952



№ 1 (150)
2013

EDITORIAL BOARD

Prof. **Mamadsho Ilolov**, Doctor of Physical and Mathematical, Editor-in-Chief; Prof. **Saidmukhammad Odinaev**, Doctor of Physical and Mathematical, Deputy Editor-in-Chief; **Nikolay Sapozhnikov**, Secretary; **Khakim Akhmedov**, Doctor of Chemistry; Prof. **Pulat Babadzhanov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Abdulkhak Faysiev**, Doctor of Geology and Mineralogy; Prof. **Izatullo Ganiev**, Doctor of Chemistry; Prof. **Dzhuraboy Khalikov**, Doctor of Chemistry; Prof. **Rakhim Marupov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Ulmas Mirsaidov**, Doctor of Chemistry; Prof. **Khikmat Muminov**, Doctor of Physical and Mathematical; **Sabit Negmatullaev**, Doctor of Engineering; Prof. **Nusrat Rajabov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Zarullo Rakhmonov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Zafar Usmanov**, Doctor of Physical and Mathematical.

CONTENTS

MATHEMATICS

- M.Sh.Shabozov, M.R.Langarshoev.** The best approximation and exact value of mean widths for some classes entire functions in $L_2(\mathbb{R})$ 7
- N.F.Oliftaev.** On the values of some classes of differentiable periodical functions in the space L_2 21

INFORMATICS

- Z.D.Usmanov, G.M.Dovudov, S.D.Kholmatova.** On a set of tajik anagrams..... 32
- L.A.Graschenko.** Application of modeling stop-list..... 40

PHYSICS

- S.Odinaev, R.Makhmadbegov.** Theoretical and experimental study of the dielectric properties of electrolyte solutions (Survey) 47

S.Sh.Davlytmamadova, T.Shukurov, R.Marupov. The spectroscopic properties of the rhizome rhodiola cold (<i>Rhodiola qelida</i> Schrenk) dependiny on the place of growth.....	60
M.M.Kabilov, B.J.Gulboev, P.B.Sadriddinov, I.H.Halimov. Numerical modeling of filtration combustion of gases for the symmetry of the profiles of temperatura and concentration of components	67
F.H.Karimov. Coercivity of ferromagnetic plates with surface linear inhomogeneities.....	76

PHYSICAL CHEMISTRY

Kh.M.Ahmedov, Kh.S.Karimov, K.Kabutov, A.A.Akobirov, I.Homidov, Z.Rahmatova, F.Akhmedov. The influence of temperature to electric properties of n-InP based on electrochemical cell.....	84
---	-----------

PHARMACOLOGY

Z.K.Muhidinov, M.R.Bobokalonova, I.F.Rahimov, O.Shamsara, D.T.Bobokalonov, L.S.Liu. Piroxicam release kinetics from emulsion microcapsules of lm pectin and whey lactoglobulines	89
---	-----------

GEOCHEMISTRY

A.R.Fayziev, S.A.Elnazarov. Thermobarogeochemistry of the condition of formation of kuhilal deposit of noble spinel	99
--	-----------

MINERAL RESOURCES

M.M.Mamadvafoev, <u>Y.I.Dischuk</u>. Evaluation of perspectives of gold presence in uchkado ore field (Central Tajikistan)	107
---	------------

JUBILEE OF SCIENTIST

Academician L.G.Mikhaylov - 85 year.....	116
Abduali Abdumanonov – 60 year	119

MEMORY OF SCIENTIST

I.A.Gluhov (devoted to the 100th anniversary)	122
M.R.Jalilov (devoted to the 80th anniversary).....	125
Baratov Rauf Baratovich (10.10.1921 – 14.01.2013)	129
Mels Ikramovich Salahutdinov (10.10.1938 – 06.01.2013)	132

УДК 517.5

М.Ш.ШАБОЗОВ, М.Р.ЛАНГАРШОЕВ*

**О НАИЛУЧШИХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ И ТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ СРЕДНИХ
ПОПЕРЕЧНИКОВ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ В $L_2(\mathbb{R})$**

*Институт математики им. А.Джураева АН Республики Таджикистан,
*Таджикский национальный университет
Поступила в редакцию 31.10.2012 г.*

В работе найдены точные неравенства, связывающие наилучшее среднеквадратическое приближение функций, определённых на всей вещественной оси целыми функциями с интегралами, содержащими модули непрерывности m -го порядка ω_m производных функций с положительным весом. Вычислены точные значения средних V -поперечников некоторых классов функций, определённых усреднёнными значениями указанных модулей непрерывности, ограниченных заданной мажорантой.

Ключевые слова: наилучшее приближение — целая функция экспоненциального типа — средний V -поперечник — мажоранта.

1. Впервые задачи, связанные с аппроксимацией функцией на прямой $\mathbb{R} = (-\infty, +\infty)$, рассматривал С.Н.Бернштейн, использовавший для этого в качестве аппарата приближения целые функции конечной степени. В дальнейшем вопросам наилучшей аппроксимации целыми функциями было посвящено много работ, результаты которых изложены в известных монографиях [1-3]. В семидесятые годы прошлого века появились работы по отысканию точных констант в задачах наилучшего приближения целыми функциями [4-6] и лишь в последние годы рассматриваются экстремальные задачи о вычислении точных значений средних V -поперечников для различных классов функций, задаваемых на прямой \mathbb{R} [7-18]. Здесь мы продолжим исследования в этом направлении, начатые нами в работах [9-11].

Адрес для корреспонденции: Шабозов Мирганд Шабозович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Институт математики АН РТ. E-mail: shabozov@mail.ru

Обозначим через $L_p(\mathbb{R})$ ($1 \leq p \leq \infty$) – пространство измеримых и суммируемых в степени p на всей оси \mathbb{R} функций $f(x)$ с нормой

$$\|f\|_{L_p(\mathbb{R})} = \left(\int_{\mathbb{R}} |f(x)|^p dx \right)^{1/p} < \infty, \quad 1 \leq p \leq \infty.$$

Через $L_p^{(r)}(\mathbb{R})$ ($1 \leq p \leq \infty$, $r \in \mathbb{N}$, $L_p^{(0)}(\mathbb{R}) \equiv L_p(\mathbb{R})$) обозначим множество функций $f \in L_p(\mathbb{R})$, у которых $(r-1)$ -я производная $f^{(r-1)}$ локально абсолютно непрерывна \mathcal{B} и производная r -го порядка $f^{(r)} \in L_p(\mathbb{R})$. Всюду далее будем предполагать, что для любой $f \in L_p^{(r)}(\mathbb{R})$ производная $f^{(r)} \neq \text{const}$. Символом $\mathcal{B}_{\sigma,p}$ ($0 < \sigma < \infty$; $1 \leq p \leq \infty$) обозначим сужение на \mathbb{R} множества целых функций экспоненциального типа σ , принадлежащих пространству $L_p(\mathbb{R})$.

Величину

$$A_\sigma(f)_p := \inf \left\{ \|f - g_\sigma\|_p : g_\sigma \in \mathcal{B}_{\sigma,p} \right\}, \quad 1 \leq p \leq \infty$$

называют наилучшим приближением элемента $f \in L_p(\mathbb{R})$ посредством множества $\mathcal{B}_{\sigma,p}$.

Известно [4,5], что если F – преобразование Фурье функции f в смысле $L_2(\mathbb{R})$, то

$$A_\sigma(f)_2 := A_\sigma(f)_{L_2(\mathbb{R})} = \left(\int_{|u| \geq \sigma} |F(u)|^2 du \right)^{1/2}.$$

Модулем непрерывности m -го порядка функции $f \in L_p(\mathbb{R})$ называют величину

$$\omega_m(f, t)_p := \sup \left\{ \left\| \Delta_h^m f(\cdot) \right\|_{L_p(\mathbb{R})} : |h| \leq t \right\},$$

где

$$\Delta_h^m f(x) = \sum_{k=0}^m (-1)^{m-k} \binom{m}{k} f(x+kh)$$

– m -я разность функции f в точке x с шагом h .

В [5], в частности, доказано, что если $f \in L_2(\mathbb{R})$ и F – её преобразование Фурье в смысле $L_2(\mathbb{R})$, то для модуля непрерывности m -го порядка имеет место равенство

$$\omega_m^2(f, t)_2 := \omega_m^2(f, t)_{L_2(\mathbb{R})} = 2^m \sup_{|h| \leq t} \int_{\mathbb{R}} |F(x)|^2 (1 - \cos hx)^m dx.$$

2. В случае приближения периодических функций тригонометрическими многочленами с целью обобщения некоторых результатов работы [12] М.Ш.Шабозов и Г.А.Юсупов [13] рассмотрели следующую экстремальную аппроксимационную характеристику

$$\chi_{m,n,r,p}(\varphi, h) := \sup \left\{ \frac{2^{m/2} E_{n-1}(f)}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t) \varphi(t) dt \right)^{1/p}} : f \in L_2^{(r)}, f \neq \text{const} \right\},$$

где $m, n \in \mathbb{N}$; $r \in \mathbb{Z}_+$; $0 < p \leq 2$; $0 < h \leq \pi/n$; φ – неотрицательная суммируемая на $[0, h]$ не эквивалентная нулю функция, и установили следующие неравенства

$$\mathcal{A}_{n,m,r,p}(\varphi; h) \leq \chi_{m,n,r,p}(\varphi, h) \leq \left\{ \inf_{n \leq k < \infty} \mathcal{A}_{k,m,r,p}(\varphi; h) \right\}^{-1},$$

полагая

$$\mathcal{A}_{k,m,r,p}(\varphi; h) := \left(k^{rp} \int_0^h (1 - \cos kt)^{mp/2} \varphi(t) dt \right)^{1/p}, \quad k \geq n.$$

Недавно С.Б.Вакарчуком [14] этот результат был обобщён на случай приближения в среднем функций, заданных на всей вещественной оси целыми функциями экспоненциального типа $\sigma \in (0, \infty)$. В [14] доказано, что для экстремальной характеристики

$$\chi_{\sigma,m,r,p}(\varphi, h) := \sup_{f \in L_2(\mathbb{R})} \frac{2^{m/2} A_\sigma(f)_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t) \varphi(t) dt \right)^{1/p}}, \quad (1)$$

где $r \in \mathbb{Z}_+$; $m \in \mathbb{N}$; $h, \sigma \in \mathbb{R}_+$; $0 < p \leq 2$; φ – неотрицательная суммируемая не эквивалентная нулю функция на отрезке $[0, h]$, имеет место неравенство

$$\left\{ \tilde{\mathcal{A}}_{\sigma,m,r,p}(\varphi; h) \right\}^{-1} \leq \chi_{\sigma,m,r,p}(\varphi, h) \leq \left\{ \inf_{\sigma \leq u < \infty} \tilde{\mathcal{A}}_{u,m,r,p}(\varphi; h) \right\}^{-1}, \quad (2)$$

где

$$\tilde{\mathcal{A}}_{u,m,r,p}(\varphi; h) := \left(u^{rp} \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt \right)^{1/p}, \quad u \geq \sigma.$$

Отметим, что неравенство (2) в случае $p = 2$ получено в работе [15].

Возникает естественный вопрос: какими свойствами должна обладать весовая функция $\varphi(t)$, чтобы при тех же значениях указанных параметров в неравенстве (2) выполнялось равенство

$$\inf_{\sigma \leq u < \infty} \tilde{\mathcal{A}}_{u,m,r,p}(\varphi; h) = \tilde{\mathcal{A}}_{\sigma,m,r,p}(\varphi; h). \quad (3)$$

Ответ на этот вопрос содержится в следующем утверждении.

Теорема 1. Пусть $m \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $\sigma \in \mathbb{R}_+$, $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq \pi / \sigma$, $\varphi(t) \geq 0$ ($0 < t \leq h$) – неубывающая суммируемая на отрезке $[0, h]$ весовая функция. Тогда имеет место равенство (3) и справедливо соотношение

$$\begin{aligned} \mathcal{X}_{\sigma,m,r,p}(\varphi, h) &= \left(\sigma^{rp} \int_0^h (1 - \cos \sigma t)^{mp/2} \varphi(t) dt \right)^{-1/p} := \\ &:= 2^{-m/2} \sigma^{-r} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p} \end{aligned} \quad (4)$$

Доказательство. Докажем, что при сделанных предположениях относительно указанных параметров функция

$$\mu(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{ \tilde{\mathcal{A}}_{u,m,r,p}(\varphi; h) \}^p = u^{rp} \int_0^h (1 - \cos xt)^{mp/2} \varphi(t) dt \quad (5)$$

в области $Q = \{u : |u| \geq \sigma\}$ является неубывающей и

$$\min \{ \mu(u) : u \in Q \} = \mu(\sigma) := \sigma^{rp} \int_0^h (1 - \cos \sigma t)^{mp/2} \varphi(t) dt. \quad (6)$$

В самом деле, дифференцируя (5) и применяя элементарное тождество

$$\frac{d}{du} (1 - \cos ut)^{mp/2} = \frac{t}{u} \cdot \frac{d}{dt} (1 - \cos ut)^{mp/2},$$

будем иметь

$$\begin{aligned} \mu'(u) &= rpu^{rp-1} \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt + u^{rp} \int_0^h \frac{d}{du} (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt = \\ &= rpu^{rp-1} \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt + u^{rp-1} \int_0^h t \varphi(t) d(1 - \cos ut)^{mp/2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Выполнив интегрирование по частям в последнем интеграле равенства (6), получаем

$$\begin{aligned} \mu'(u) &= rpu^{rp-1} \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt + \\ &+ u^{rp-1} \left\{ h\varphi(h)(1 - \cos uh)^{mp/2} - \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} d(t\varphi(t)) \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где последний интеграл понимается в смысле Стильтеса. Для интеграла Стильтеса хорошо известна следующая теорема о среднем [19]: *если $f \in C[a, b]$, а g – неубывающая на $[a, b]$ функция, то для интеграла Стильтеса имеет место равенство*

$$\int_a^b f(x) dg(x) = f(\xi)[g(b) - g(a)], \quad a \leq \xi \leq b.$$

Применив этот факт к последнему интегралу равенства (7), окончательно приходим к соотношению

$$\begin{aligned} \mu'(u) &= rpu^{rp-1} \int_0^h (1 - \cos ut)^{mp/2} \varphi(t) dt + \\ &+ u^{rp-1} \left[(1 - \cos uh)^{mp/2} - (1 - \cos u\xi)^{mp/2} \right] h\varphi(h) \geq 0, \quad 0 \leq \xi \leq h. \end{aligned} \quad (9)$$

Из (9) сразу следует (3), откуда в связи с неравенством (2) получаем равенство (4), чем и завершаем доказательство теоремы 1.

Хорошо известно [20, с.236], что если $f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})$, то все промежуточные производные $f^{(s)} \in L_2(\mathbb{R})$ ($s = 1, 2, \dots, r-1$), а потому было бы интересно отыскать значение величины (1), когда в этом соотношении вместо величины наилучших приближений $A_\sigma(f)$ вводится в рассмотрение $A_\sigma(f^{(r-s)})(s = 1, 2, \dots, r-1)$ – наилучшее приближение промежуточных производных $f^{(r-s)}$ элементами $g_\sigma \in \mathcal{B}_{\sigma, 2}$ в норме пространства $L_2^{(r)}(\mathbb{R})$. Такая задача рассмотрена в работе [16] для иных модулей гладкости. Воспользовавшись рассуждениями [16], докажем следующее утверждение.

Теорема 2. *Пусть $m, r \in \mathbb{N}$; $\sigma \in \mathbb{R}_+$; $0 < p \leq 2$; $0 < h \leq \pi / \sigma$; $s = 0, 1, \dots, r$; $\varphi \geq 0$ – суммируемая неубывающая на отрезке $[0, h]$ весовая функция. Тогда имеет место равенство*

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^m \sigma^s A_\sigma(f^{(r-s)})}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}; t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \quad (10)$$

Доказательство. Так как для любого $f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})$

$$A_\sigma^2(f^{(r-s)}) = \int_{|t| \geq \sigma} |F(f, t)|^2 t^{2(r-s)} dt, \quad (11)$$

то, применяя неравенство Гёльдера к правой части (10), получаем

$$\begin{aligned} A_\sigma^2(f^{(r-s)}) &= \int_{|t| \geq \sigma} |F(f, t)|^{2(1-s/r)} t^{2r(1-s/r)} |F(f, t)|^{2s/r} dt \leq \\ &\leq \left(\int_{|t| \geq \sigma} |F(f, t)|^2 t^{2r} dt \right)^{1-s/r} \left(\int_{|t| \geq \sigma} |F(f, t)|^2 dt \right)^{s/r} = \\ &= (A_\sigma(f))^{2s/r} (A_\sigma(f^{(r)}))^{2(1-s/r)}. \end{aligned}$$

Таким образом, имеет место следующее неравенство типа Колмогорова

$$A_\sigma(f^{(r-s)}) \leq (A_\sigma(f))^{s/r} (A_\sigma(f^{(r)}))^{1-s/r}, \quad s = 0, 1, \dots, r. \quad (12)$$

Из равенства (4) следует, что для наилучшего приближения произвольной $f \in L_2^{(r)}(R)$ элементами g_σ из подпространства $B_{\sigma, 2}$ имеет место неравенство

$$A_\sigma(f) \leq \left\{ 2^{mp} \sigma^{rp} \int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right\}^{-1/p} \left\{ \int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right\}^{1/p}, \quad (13)$$

из которого в случае $r = 0$ получаем

$$A_\sigma(f) \leq \left\{ 2^{mp} \int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right\}^{-1/p} \left\{ \int_0^h \omega_m^p(f, t)_2 \varphi(t) dt \right\}^{1/p}.$$

Заменяя в этом неравенстве функцию f на производную $f^{(r)}$, запишем

$$A_\sigma(f^{(r)}) \leq \left\{ 2^{mp} \int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right\}^{-1/p} \left\{ \int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right\}^{1/p}. \quad (14)$$

Подставляя неравенства (12) и (13) в правую часть неравенства (11), для произвольной $f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})$ получаем оценку сверху

$$\frac{2^m \sigma^s A_\sigma(f^{(r-s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t) \varphi(t) dt \right)^{1/p}} \leq \left\{ \int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right\}^{-1/p}. \quad (15)$$

Для получения оценки снизу для произвольного $\varepsilon > 0$ введём в рассмотрение целую функцию [6]

$$f_\varepsilon(x) = \begin{cases} \varepsilon^{-1/2} (ix)^{-r}, & \text{и } \delta\text{е } \sigma \leq x \leq \sigma + \varepsilon; \\ 0, & \text{и } \delta\text{е } x \notin [\sigma, \sigma + \varepsilon], \end{cases} \quad (16)$$

преобразование Фурье которой обозначим F_ε . Легко подсчитать, что F_ε на отрезке $[-\sigma, \sigma]$ почти всюду равно нулю. Следовательно, по теореме Планшереля [3] с учётом определения наилучшего приближения целой функции получаем

$$\begin{aligned} A_\sigma(f_\varepsilon)_2 &= \left(\int_{|x| \geq \sigma} |F_\varepsilon(x)|^2 dx \right)^{1/2} = \\ &= \left(\int_\sigma^{\sigma+\varepsilon} |f_\varepsilon(x)|^2 dx \right)^{1/2} = \left(\frac{1}{\varepsilon} \int_\sigma^{\sigma+\varepsilon} x^{-2r} dx \right)^{1/2} = \\ &= \left(\frac{(2r-1)\sigma^{2r-2} + C_{2r-1}^2 \sigma^{2r-3} \varepsilon + \dots + \varepsilon^{2r-2}}{(2r-1)[\sigma(\sigma+\varepsilon)]^{2r-1}} \right)^{1/2} \rightarrow \frac{1}{\sigma^r}, \text{ и } \delta\text{е } \varepsilon \rightarrow 0. \end{aligned}$$

Кроме того, заметим, что для функции (15)

$$f_\varepsilon^{(r)}(x) = (ix)^r f_\varepsilon(x) = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad \|f_\varepsilon^{(r)}\|_{L_2(\mathbb{R})} = 1.$$

Очевидно, что

$$\begin{aligned} A_\sigma^2(f_\varepsilon^{(r-s)}) &= \int_{|t| \geq \sigma} |F(f_\varepsilon, t)|^2 \cdot t^{2(r-s)} dt = \\ &= \int_{|t| \geq \sigma} |f_\varepsilon^{(r-s)}(t)|^2 dt = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \int_\sigma^{\sigma+\varepsilon} t^{-2s} dt \rightarrow \frac{1}{\sigma^{2s}}, \text{ и } \delta\text{е } \varepsilon \rightarrow 0. \end{aligned}$$

Вычисляя модуль непрерывности m -го порядка функции $f_\varepsilon^{(r)}$, согласно свойства преобразования Фурье, будем иметь

$$\omega_m^2(f_\varepsilon^{(r)}; x) = 2^m |h| \leq x \sup_R \int u^{2r} |F_\varepsilon(u)|^2 (1 - \cos hu)^m du =$$

$$\begin{aligned}
&= 2^m |h| \leq x \sup_R \int |f_\varepsilon^{(r)}(u)|^2 (1 - \cos hu)^m du = \\
&= 2^m \cdot \frac{1}{\varepsilon} \int_\sigma^{\sigma+\varepsilon} (1 - \cos xu)^m du \leq 2^m (1 - \cos(\sigma + \varepsilon)x)^m. \tag{17}
\end{aligned}$$

Из неравенства (17) для $0 < p \leq 2$ и произвольной суммируемой неубывающей весовой функции $\varphi(x) \geq 0$ имеем

$$\begin{aligned}
&\left(\int_0^h \omega_m^p(f_\varepsilon^{(r)}; x)_2 \varphi(x) dx \right)^{1/p} \leq \\
&\leq 2^{m/2} \left(\int_0^h (1 - \cos(\sigma + \varepsilon)x)^{mp/2} \varphi(x) dx \right)^{1/p}. \tag{18}
\end{aligned}$$

Теперь, пользуясь неравенством (18), получим следующую оценку снизу

$$\begin{aligned}
\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^m \sigma^{2s} A_\sigma(f^{(r-s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, x)_2 \varphi(x) dx \right)^{1/p}} &\geq \frac{2^m \sigma^{2s} A_\sigma(f_\varepsilon^{(r-s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f_\varepsilon^{(r)}, x)_2 \varphi(x) dx \right)^{1/p}} \geq \\
&\geq \frac{2^m \sigma^{2s} A_\sigma(f_\varepsilon^{(r-s)})_2}{\left(2^{mp/2} \int_0^h (1 - \cos(\sigma + \varepsilon)x)^{mp/2} \varphi(x) dx \right)^{1/p}} \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} \\
&\xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} \left\{ \int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right\}^{-1/p}. \tag{19}
\end{aligned}$$

Сравнивая оценку сверху (15) и оценку снизу (19), получаем требуемое равенство (10), чем и завершаем доказательство теоремы 2.

Из доказанной теоремы 2 вытекает ряд следствий.

Следствие 1. Пусть $\varphi \equiv 1$; $m, r \in \mathbb{N}$; $\sigma \in \mathbb{R}_+$; $0 < p \leq 2$; $0 < h \leq \pi / \sigma$; $s = 0, 1, \dots, r$. Тогда имеют место равенства

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^m \sigma^s A_\sigma(f^{(r-s)})}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}; t)_2 dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} dt \right)^{-1/p}.$$

В частности, из полученного равенства при $p = 2/m$, $m \in \mathbb{N}$ имеем [14]

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^{m/2} \sigma^s A_\sigma(f^{(r-s)})}{\left(\int_0^h \omega_m^{2/m}(f^{(r)}; t)_2 dt \right)^{m/2}} = \left\{ \frac{\sigma}{\sigma h - \sin \sigma h} \right\}^{m/2}.$$

Следствие 2. Пусть $\varphi = \sin^\gamma(\beta t / h)$; $\gamma > 0$; $0 < \beta \leq \pi$; $h \in (0, \pi / \sigma]$; $m, r \in \mathbb{N}$; $0 < h \leq \pi$; $s=0, 1, \dots, r$. Тогда справедливы равенства

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^m \sigma^s A_\sigma(f^{(r-s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}; t)_2 \sin^\gamma \frac{\beta t}{h} dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{\sigma t}{2} \right)^{mp} \sin^\gamma \frac{\beta t}{h} dt \right)^{-1/p}.$$

В частности, при $h = \pi / \sigma$, $\beta = \pi$, $\gamma = 1$ получаем [14]

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})} \frac{2^m \sigma^{s-1/2} A_\sigma(f^{(r-s)})_2}{\left(\int_0^{\pi/\sigma} \omega_m^2(f^{(r)}; t)_2 \sin \sigma t dt \right)^{1/2}} = \sqrt{\frac{m+1}{2}}.$$

3. Для формулировки далее полученных результатов приведём нужные нам в дальнейшем определения и обозначения из работ [7,8].

При вычислении средних ν -поперечников в [7,8] важную роль играет понятие средней размерности. Необходимо отметить, что понятие средней размерности позволило определить асимптотические характеристики подпространств, подобные обычным поперечникам, где роль размерности играет понятие средней размерности. Этим стало возможным сравнить аппроксимативные свойства подпространства $\mathcal{B}_{\sigma,p}$, $1 \leq p \leq \infty$ с аналогичными характеристиками других подпространств из $L_p(\mathbb{R})$, $1 \leq p \leq \infty$ той же размерности и решать в $L_p(\mathbb{R})$, $1 \leq p \leq \infty$ экстремальные задачи теории аппроксимации функций на всей прямой (см., например, [16,11]).

Пусть $\mathbb{B}L_p(\mathbb{R}) = \left\{ \varphi \in L_p(\mathbb{R}) : \|\varphi\|_{L_p(\mathbb{R})} \leq 1 \right\}$ – единичный шар в $L_p(\mathbb{R})$;

$Lin(L_p(\mathbb{R}))$ является совокупностью всех линейных подпространств в $L_p(\mathbb{R})$;

$$Lin_n(L_p(\mathbb{R})) \stackrel{def}{=} \left\{ \mathcal{J} \in Lin(L_p(\mathbb{R})) : \dim \mathcal{J} \leq n \right\}, \quad n \in \mathbb{Z}_+;$$

$$d(\mathfrak{M}, \mathfrak{N}, L_p(\mathbb{R})) \stackrel{def}{=} \sup \left\{ \inf \left\{ \|f - \varphi\|_p : \varphi \in \mathfrak{N} \right\} : f \in \mathfrak{M} \right\}$$

– наилучшее приближение множества $\mathfrak{M} \subset L_p(\mathbb{R})$ множеством $\mathfrak{N} \subset L_p(\mathbb{R})$. Под $\mathfrak{N}_T, T > 0$ понимаем сужение множества $\mathfrak{N} \subset L_p(\mathbb{R})$ на отрезок $[-T, T]$, а через $Lin_C(L_p(\mathbb{R}))$ обозначим совокупность таких подпространств $\mathcal{J} \in Lin(L_p(\mathbb{R}))$, для которых множество $(\mathcal{J} \cap \mathbb{B}L_p(\mathbb{R}))_T$ предкомпактно в $L_p([-T, T])$ при любом $T > 0$. Если $\mathcal{J} \in Lin_C(L_p(\mathbb{R}))$ и $T, \varepsilon > 0$, то существуют такие $n \in \mathbb{Z}_+$ и $M \in Lin_n(L_p([-T, T]))$, для которых

$$d\left((\mathcal{J} \cap \mathbb{B}L_p(\mathbb{R}))_T, M, L_p([-T, T])\right) < \varepsilon.$$

Пусть

$$D_\varepsilon(T, \mathcal{J}, L_p(\mathbb{R}))$$

$$\stackrel{\text{def}}{=} \min \left\{ n \in \mathbb{Z}_+ : \exists M \in Lin_n(L_p([-T, T])), \right.$$

$$\left. d\left((\mathcal{J} \cap \mathbb{B}L_p(\mathbb{R}))_T, M, L_p([-T, T])\right) < \varepsilon \right\}.$$

В [7] доказано, что данная функция не убывает по T и не возрастает по ε . Величину

$$\overline{dim}(\mathcal{J}, L_p(\mathbb{R})) \stackrel{\text{def}}{=} \lim \left\{ \liminf \left\{ D_\varepsilon(T, \mathcal{J}, L_p(\mathbb{R})) / (2T) : T \rightarrow \infty \right\} : \varepsilon \rightarrow 0 \right\},$$

где $\mathcal{J} \in Lin_C(L_p(\mathbb{R}))$, называют средней размерностью подпространства \mathcal{J} в $L_p(\mathbb{R})$. Известно [7,8], что

$$\overline{dim}(B_{\sigma,p}; L_p(\mathbb{R})) = \sigma / \pi, \quad (1 \leq p \leq \infty).$$

Пусть \mathfrak{M} – центрально-симметричное подмножество из $L_p(\mathbb{R})$ и $\nu > 0$ – произвольное число. Тогда под средним ν -поперечником по Колмогорову множества в $L_p(\mathbb{R})$ понимают величину

$$\bar{d}_\nu(\mathfrak{M}, L_p(\mathbb{R}))$$

$$\stackrel{\text{def}}{=} \inf \left\{ \sup \left\{ \inf \left\{ \|f - \varphi\|_p : \varphi \in \mathcal{J} \right\} : f \in \mathfrak{M} \right\} \right\} :$$

$$\mathcal{J} \in \text{Lin}_c(L_p(\mathbb{R})), \overline{\dim}(\mathcal{J}, L_p(\mathbb{R})) \leq \nu\}.$$

Подпространство, на котором достигается внешняя нижняя грань, называют экстремальным. Средним линейным ν -поперечником множества \mathfrak{M} в $L_p(\mathbb{R})$ называют величину

$$\bar{\delta}_\nu(\mathfrak{M}, L_p(\mathbb{R})) \stackrel{\text{def}}{=} \inf \left\{ \sup \{ \|f - \Lambda f\| : f \in \mathfrak{M} \} : (X, \Lambda) \right\},$$

где нижняя грань берётся по всем парам (X, Λ) таким, что X есть нормированное пространство, непрерывно вложенное в $L_p(\mathbb{R})$; $\mathfrak{M} \subset X$; $\Lambda : X \rightarrow L_p(\mathbb{R})$ является непрерывным линейным оператором, для которого $\text{Im } \Lambda \in \text{Lin}_c(L_p(\mathbb{R}))$ и $\overline{\dim}(\text{Im } \Lambda, L_p(\mathbb{R})) \leq \nu$. Пару (X^*, Λ^*) , на которой достигается нижняя грань, называют экстремальной.

Величину

$$\bar{b}_\nu(\mathfrak{M}, L_p(\mathbb{R}))$$

$$\stackrel{\text{def}}{=} \sup \left\{ \sup \{ \rho > 0 : \mathcal{J} \cap \rho \mathbb{B}L_p(\mathbb{R}) \subset \mathfrak{M} \} : \mathcal{J} \in \text{Lin}_c(L_p(\mathbb{R}), \overline{\dim}(\mathcal{J}, L_p(\mathbb{R}))) > \nu, \right.$$

$$\left. \bar{d}_\nu(\mathcal{J} \cap \mathbb{B}L_p(\mathbb{R}), L_p(\mathbb{R})) = 1 \right\}$$

называют средним ν -поперечником по Бернштейну множества \mathfrak{M} в $L_p(\mathbb{R})$. Последнее условие, налагаемое на \mathcal{J} при вычислении внешней точной верхней грани, означает, что рассматриваются только те пространства, для которых верен аналог теоремы В.М.Тихомирова о поперечнике шара [21]. В [7,8] доказывается, что указанному требованию удовлетворяет, например, пространство $B_{\sigma,p}$, если $\sigma > \nu\pi$. Между вышеперечисленными экстремальными характеристиками множества \mathfrak{M} в гильбертовом пространстве $L_2(\mathbb{R})$ выполняются неравенства [8,18]

$$\bar{b}_\nu(\mathfrak{M}, L_2(\mathbb{R})) \leq \bar{d}_\nu(\mathfrak{M}, L_2(\mathbb{R})) \leq \bar{\delta}_\nu(\mathfrak{M}, L_2(\mathbb{R})).$$

Отметим, что точные значения и асимптотически точные значения средних поперечников для некоторых классов функций вычислены Г.Г.Магарил-Ильяевым [7,8], С.Б.Вакарчуком [16,17,18] и в работах [9,10,11].

Пусть Φ – произвольная возрастающая непрерывная функция, определённая на полуинтервале $[0, \infty)$ и такая, что $\Phi(0) = 0$. Обозначим через $W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h)$ класс функций

$f \in L_2^{(r)}(\mathbb{R})$, где $0 < p \leq 2$; $m \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, для которых при любом $h \in \mathbb{R}_+$ справедливо неравенство

$$\frac{1}{h} \int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t) dt \leq \Phi^p(h).$$

При выполнении некоторых условий относительно мажоранты $\Phi(t)$ вычислим значения вышеперечисленных ν -поперечников классов $W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h)$ в пространстве $L_2(\mathbb{R})$. Далее введём обозначение

$$\left(\sin \frac{u}{2} \right)_*^m := \left\{ \left(\sin \frac{u}{2} \right)^m, \text{ аёё } 0 \leq u \leq \pi; 1, \text{ аёё } u \geq \pi \right\}.$$

Если \mathfrak{N} – некоторый класс функций из $L_2(\mathbb{R})$, то полагаем

$$A_\sigma(\mathfrak{N})_{L_2(\mathbb{R})} := \sup \{ A_\sigma(f) : f \in \mathfrak{N} \}.$$

Теорема 3. Пусть $m \in \mathbb{N}$; $0 < p \leq 2$ и мажоранта $\Phi(h)$ при любых значениях $h \in (0, \pi]$ и $\sigma \in \mathbb{R}_+$ удовлетворяет условию

$$\frac{\Phi^p(h)}{\Phi^p(\pi/\sigma)} \geq \frac{\pi}{\sigma h} \cdot \int_0^{\sigma h/2} (\sin t)_*^{mp} dt \left(\int_0^{\pi/2} (\sin t)^{mp} dt \right)^{-1}. \quad (20)$$

Тогда для любого $\sigma \geq \nu\pi$ имеет место равенство

$$\begin{aligned} \overline{\pi}_\nu \left(W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h); L_2(\mathbb{R}) \right) &= A_{\nu\pi} \left(W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h) \right)_{L_2(\mathbb{R})} = \\ &= 2^{-m-1/p} \pi^{-r+1/p} \nu^{-r} \left\{ \int_0^{\pi/2} (\sin t)^{mp} dt \right\}^{-1/p} \Phi(1/\nu), \end{aligned}$$

где $\overline{\pi}_\nu(\cdot)$ – любой из средних ν -поперечников: бернштейновский $\overline{b}_\nu(\cdot)$, колмогоровский $\overline{d}_\nu(\cdot)$, линейный $\overline{\delta}_\nu(\cdot)$. При этом пара $(L_2^{(r)}(\mathbb{R}), \Lambda_{\nu\pi})$, где линейный оператор $\Lambda_{\nu\pi}$ определяется из условия

$$\mathcal{F}(\Lambda_{\nu\pi}(f), \cdot) = \chi_{\nu\pi}(\cdot) \mathcal{F}(f, \cdot)$$

(здесь \mathcal{F} – преобразование Фурье в $L_2(\mathbb{R})$, а $\chi_{\nu\pi}(\cdot)$ – характеристическая функция множества $(-\nu\pi, \nu\pi)$), будет экстремальной для среднего линейного ν -поперечника

$\bar{\delta}_v(W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h); L_2(\mathbb{R}))$, а подпространство $\mathbb{B}_{v\pi,2}$ является экстремальным для среднего колмогоровского v -поперечника $\bar{d}_v(W_{m,p}^{(r)}(\Phi; h); L_2(\mathbb{R}))$. Множество мажорант, удовлетворяющих условию (20), не пусто. Этому условию удовлетворяет, например, функция $\Phi_*(h) = h^{\alpha/p}$, где $0 < \alpha < tp$.

Отметим, что доказательство теоремы 3 проводится по схеме доказательства аналогичного утверждению из работы [11], а потому мы его опускаем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации. – М.: Наука, 1965. 406 с.
2. Тиман А.Ф. Теория приближения функций действительного переменного. – М.: Физматгиз, 1960, 624 с.
3. Ибрагимов И.И. Теория приближения целыми функциями. – Баку: Элм, 1979, 468 с.
4. Ибрагимов И.И., Насибов Ф.Г. – ДАН СССР, 1970, т. 194, №5, с. 1013-1016.
5. Попов В.Ю. – Изв. вузов. Математика. 1972, №6, с. 65-73.
6. Насибов Ф.Г. – ДАН Азербайджанской ССР, 1986, т. XLII, №4, с. 3-6.
7. Магарил-Ильяев Г.Г. – Мат. сборник, 1991, т. 182, №11, с. 1635-1656.
8. Магарил-Ильяев Г.Г. – ДАН СССР, 1991, т. 318, №1, с. 35-38.
9. Шабозов М.Ш., Мамадов Р. – Вестник Хорогского госуниверситета, 2001, сер. 1, №4. с. 76-81.
10. Шабозов М.Ш., Вакарчук С.Б., Мамадов Р. – ДАН РТ, 2009, т. 52, №4, с. 247-254.
11. Шабозов М.Ш., Юсупов Г.А. – Труды Института матем. и механ. УрО РАН, 2012, т. 18, №4, с. 315-327.
12. Лигун А.А. – Матем. заметки, 1988, т. 43, №6, с. 757-769.
13. Шабозов М.Ш., Юсупов Г.А. – Матем. заметки. 2011, т. 90, №5, с. 764-775.
14. Вакарчук С.Б. – Укр. матем. вісник, 2012, т. 9, №3, с. 401-429.
15. Доронин В.Г., Лигун А.А. – Вісн. Дніпропетр. ун-ту, Сер. матем., 2007, т.15, №8, с. 89-93.
16. Вакарчук С.Б., Доронин В.Г. – Укр. мат. журнал, 2010, т. 62, №8, с. 1032-1043.
17. Вакарчук С.Б. – Укр. матем. журнал, 1994, т. 47, №9, с. 1123-1133.
18. Vakarchuk S.B. – East J. on Approximations, 2004, v. 10, №1-2, pp. 27-39.
19. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления, т.III. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, 728 с.
20. Бекенбах Э., Беллман Р. Неравенства. – М.: Мир, 1965.
21. Корнейчук Н.П. Точные константы в теории приближения. – М.: Наука, 1987, 424 с.

М.Ш.ШАБОЗОВ, М.Р.ЛАНГАРШОЕВ*

**ОИДИ НАЗДИККУНИИ БЕХТАРИН ВА ҚИМАТИ АНИҚИ ҚУТРҲОИ
МИЁНАИ БАЪЗЕ СИНФИ ФУНКСИЯҲОИ БУТУН ДАР $L_2(\mathbb{R})$**

Институти математикаи ба номи А. Ҷӯраев

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,

**Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*

Дар мақола нобаробариҳои аниқ байни наздиккунии бехтарини функсияҳои дар тамоми тири ададӣ дода шуда ба воситаи функсияҳои бутун ёфта шуда, бо интегралҳои, ки модули бефосилагии тартиби m -уми ҳосилаи функсияро дарбар мегиранд, омӯхта шудааст. Қимати аниқи ν -қутрҳои миёнаи баъзе синфи функсияҳо, ки ба воситаи чунин модулҳои бефосилагӣ муайян шуда, бо мажоранта маҳдуданд, ҳисоб карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: наздиккунии бехтарин – функсияи бутуни намуди экспоненсиалӣ – ν -қутри миёна – мажорант.

M.SH.SHABOZOV, M.R.LANGARSHOEV*

**THE BEST APPROXIMATION AND EXACT VALUE OF MEAN WIDTHS FOR
SOME CLASSES ENTIRE FUNCTIONS IN $L_2(\mathbb{R})$**

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

**Tajik National University*

We find the exact inequalities for the best mean approximation of functions defined on the whole real axis by entire functions integrals containing continuity modules m -th order derivatives of ω_m functions with positive weight. We calculate the exact values of the average ν -widths of certain classes functions defined by the averaged values of these moduli of continuity, limited given majorant.

Key words: best approximation – entire function of exponential type – the mean ν -widths – majorant.

УДК 517.5

Н.Ф.ОЛИФТАЕВ

О ЗНАЧЕНИЯХ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ
ДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ В ПРОСТРАНСТВЕ L_2

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 08.01.2013 г.

В работе получены точные неравенства типа Джексона-Стечкина для осредненных на конечном отрезке τ -модулей непрерывности t -го порядка. Для классов функций, задаваемых указанными осредненными τ -модулями непрерывности, вычислены точные значения различных n -поперечников в гильбертовом пространстве L_2 .

Ключевые слова: наилучшее приближение – модуль непрерывности – ряд Фурье – n -поперечник – τ -модуль непрерывности.

1. Пусть \mathbb{N} – множество натуральных чисел; $\mathbb{Z}_+ = \mathbb{N} \cup \{0\}$; \mathbb{R}_+ – множество положительных чисел вещественной оси; $L_2 := L_2[0, 2\pi]$ – пространство 2π -периодических измеримых функций, квадрат которых суммируем на $[0, 2\pi]$ с конечной нормой

$$\|f\| := \|f\|_{L_2} = \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(x)|^2 dx \right)^{1/2} < \infty.$$

Пусть

$$\mathfrak{T}_{n-1} = \left\{ T_{n-1}(x) : T_{n-1} = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} (\alpha_k \cos kx + \beta_k \sin kx) \right\}$$

– подпространство всевозможных полиномов порядка $\leq n-1$.

Общеизвестно, что для произвольной функции $f \in L_2$, имеющей формальное разложение в ряд Фурье

$$f(x) \sim \frac{a_0(f)}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k(f) \cos kx + b_k(f) \sin kx),$$

величина её наилучшего приближения в метрике L_2 подпространством \mathfrak{T}_{n-1} равна

$$\begin{aligned} E_{n-1}(f) &\stackrel{\text{def}}{=} \inf \left\{ \|f - T_{n-1}\| : T_{n-1} \in \mathfrak{T}_{n-1} \right\} = \\ &= \|f - S_{n-1}(f)\| = \left\{ \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2(f) \right\}^{1/2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$S_{n-1}(f; x) = \frac{a_0(f)}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} (a_k(f) \cos kx + b_k(f) \sin kx)$$

– частная сумма порядка $n-1$ ряда Фурье функции $f(x)$, а

$$\rho_k^2(f) \stackrel{\text{def}}{=} a_k^2(f) + b_k^2(f).$$

Через $L_2^{(r)}$, $r \in \mathbb{N}$ обозначим множество функций $f \in L_2$, у которых производные $(r-1)$ -го порядка абсолютно непрерывны, а производные r -го порядка $f^{(r)} \in L_2$. Символом $\|\Delta_h^m(f)\|$ – обозначим норму конечной разности m -го порядка функции $f \in L_2$ с шагом h :

$$\|\Delta_h^m(f)\| = \left\{ \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left| \sum_{k=0}^m (-1)^{m-k} \binom{m}{k} f(x+kh) \right|^2 dx \right\}^{1/2}$$

и равенством

$$\omega_m(f; t) \stackrel{\text{def}}{=} \sup \left\{ \|\Delta_h^m(f)\| : |h| \leq t \right\} \quad (2)$$

определим модуль непрерывности m -го порядка функции $f \in L_2$.

При решении экстремальных задач теории приближения дифференцируемых периодических функций тригонометрическими полиномами в пространстве L_2 , связанных с нахождением точных констант в неравенствах типа Джексона-Стечкина

$$E_{n-1}(f) \leq \chi \cdot n^{-r} \omega_m(f^{(r)}, t/n), \quad f \in L_2^{(r)}, \quad r \in \mathbb{Z}_+, \quad t > 0,$$

рассматривались различные экстремальные характеристики, приводящие к уточнению оценок постоянных χ (см., например, [1-10]). В [8] изучалась следующая экстремальная аппроксимационная характеристика

$$\chi_{m,n,r,q}(h) = \sup \left\{ \frac{2^m n^r E_{n-1}(f)}{\left(\int_0^h \omega_m^q(f^{(r)}, t) dt \right)^{1/q}} : f \in L_2^{(r)}; f^{(r)} \neq \text{const} \right\}, \quad (3)$$

где $m, n, r \in \mathbb{N}$, $1/r < q \leq 2$, $0 < h \leq \pi/n$, и было показано, что

$$\chi_{m,n,r,q}(h) = \left\{ \int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mq} dt \right\}^{-1/q}.$$

С целью изучения поведения наилучшего полиномиального приближения и исследования дифференциально-разностных характеристик функций $f \in L_p[a, b]$, $1 \leq p < \infty$ и $f \in C[a, b]$, К.Г.Иванов ввёл в рассмотрение новые модули гладкости и изучил их свойства [11,12]. Пользуясь этими новыми модулями гладкости, С.Б.Вакарчук [7] решил ряд экстремальных задач в пространстве $L_2[0, 2\pi]$. В данном сообщении мы продолжим исследование С.Б.Вакарчука [7] и приводим более общие результаты в этом направлении.

Приведём нужные нам в дальнейшем определения и факты из [11,12].

Пусть $\lambda(x)$ – произвольная положительная 2π -периодическая функция, а $\omega(x)$ – непрерывная неотрицательная функция периодов 2π . τ -модулем гладкости m -го порядка функции $f \in L_{\max(p,p')}[0, 2\pi]$ называют величину

$$\tau_m(f, w; \lambda)_{p,p'} = \left\| w(\cdot) \omega_m(f, \cdot; \lambda(\cdot))_{p'} \right\|_p,$$

где

$$\omega_m(f, x; \lambda(x))_{p'} = \left\{ \frac{1}{2\lambda(x)} \int_{-\lambda(x)}^{\lambda(x)} |\Delta_h^m f(x)|^{p'} dh \right\}^{1/p'}.$$

К.Г.Иванов [11] доказал, что если, например, $\lambda(x) \equiv u = \text{const} > 0$, $f \in L_p[0, 2\pi]$, $w(x) \equiv 1$ и $p' \in [1, p]$, $1 < p < \infty$, то

$$\tau_m(f, 1; u)_{p,p'} \asymp \omega_m(f, u)_p, \quad (4)$$

где символ " \asymp " означает отношение слабой эквивалентности.

В силу (3) и (4) определённый интерес представляет нахождение экстремальной характеристики

$$\chi_{m,n,r,q}(h)_{p'} = \sup \left\{ \frac{2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} E_{n-1}(f)}{\left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1, t)_{p',2} dt \right)^{1/q}} : f \in L_2^{(r)}; f^{(r)} \neq \text{const} \right\}, \quad (5)$$

где $1 \leq p' \leq 2$, $1/r < q \leq 2$ и $h > 0$.

Следуя работе [7], введём обозначение

$$J_m(\nu) = \int_0^\nu (1 - \cos \tau)^m d\tau. \quad (6)$$

Справедлива следующая

Теорема 1. При любых $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $1 < q \leq 2$ и $0 < h \leq \pi/n$ выполнены следующие равенства

$$\chi_{m,n,r,q}(h)_2 = \left\{ \int_0^{nh} \left(u^{-1} J_m(u) \right)^{q/2} du \right\}^{-1/q}. \quad (7)$$

Из теоремы 1 вытекает ряд следствий.

Следствие 1. При выполнении условий теоремы 1 при $m=1$ справедливо равенство

$$\chi_{1,n,r,q}(h)_2 = \left\{ \int_0^{nh} \left(1 - \frac{\sin u}{u} \right)^{q/2} du \right\}^{-1/q}.$$

В свою очередь из полученного равенства вытекает

Следствие 2. Справедливо равенство

$$\chi_{1,n,r,2}(h) = (nh - Si(nh))^{-1/2},$$

где

$$Si(t) := \int_0^t \frac{\sin x}{x} dx = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{t^{2k+1}}{(2k+1)(2k+1)!!}$$

– интегральный синус, и в частности,

$$\chi_{1,n,r,2}\left(\frac{\pi}{n}\right) = (\pi - Si(\pi))^{-1/2}$$

2. Прежде чем привести формулировки других теорем, напомним некоторые необходимые определения, нужные нам в дальнейшем.

Пусть S – единичный шар в L_2 ; \mathfrak{N} – выпуклое центрально-симметричное подмножество из L_2 ; $\mathcal{L}_n \subset L_2$ – n -мерное подпространство; $\mathcal{L}^n \subset L_2$ – подпространство коразмерности n ; $\Lambda : L_2 \rightarrow \mathcal{L}_n$ – непрерывный линейный оператор, переводящий элементы пространства L_2 в \mathcal{L}_n ; $\Lambda^\perp : L_2 \rightarrow \mathcal{L}_n$ – непрерывный оператор линейного проектирования пространства L_2 , на подпространство \mathcal{L}_n . Величины

$$b_n(\mathfrak{N}, L_2) = \sup \left\{ \sup \{ \varepsilon > 0 : \varepsilon S \cap \mathcal{L}_{n+1} \subset \mathfrak{N} \} : \mathcal{L}_{n+1} \subset L_2 \right\},$$

$$d^n(\mathfrak{N}, L_2) = \inf \left\{ \sup \{ \|f\| : f \in \mathfrak{N} \cap \mathcal{L}^n \} : \mathcal{L}^n \subset L_2 \right\},$$

$$d_n(\mathfrak{N}, L_2) = \inf \left\{ \sup \left\{ \inf \{ \|f - g\| : g \in \mathcal{L}_n \} : f \in \mathfrak{N} \right\} : \mathcal{L}_n \subset L_2 \right\},$$

$$\delta_n(\mathfrak{N}, L_2) = \inf \left\{ \inf \left\{ \sup \{ \|f - \Lambda f\| : f \in \mathfrak{N} \} : \Lambda L_2 \subset \mathcal{L}_n \right\} : \mathcal{L}_n \subset L_2 \right\},$$

$$\Pi_n(\mathfrak{N}, L_2) = \inf \left\{ \inf \left\{ \sup \{ \|f - \Lambda^\perp f\| : f \in \mathfrak{N} \} : \Lambda^\perp L_2 \subset \mathcal{L}_n \right\} : \mathcal{L}_n \subset L_2 \right\}$$

называют соответственно бернштейновским, гильфандовским, колмогоровским, линейным, проекционным n -поперечниками множества \mathfrak{N} в пространстве L_2 . В силу специфики гильбертова пространства, между перечисленными аппроксимативными характеристиками выполняются соотношения:

$$b_n(\mathfrak{N}, L_2) \leq d^n(\mathfrak{N}, L_2) \leq d_n(\mathfrak{N}, L_2) = \delta_n(\mathfrak{N}, L_2) = \Pi_n(\mathfrak{N}, L_2). \quad (8)$$

Обозначим через $W_{m,q}^{(r)}(h)$, ($r \in \mathbb{Z}_+$, $h > 0$) класс функций $f \in L_2^{(r)}$, которые для любых $m \in \mathbb{N}$ и $0 < q \leq 2$ удовлетворяют условию

$$\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1, u)_{2,2} du \leq 1.$$

Если \mathfrak{M} – некоторый класс функций из пространства L_2 , то полагаем

$$\mathcal{E}_{n-1}(\mathfrak{M}) = \sup \{ \mathcal{E}_{n-1}(f) : f \in \mathfrak{M} \}.$$

Теорема 2. Пусть $n \in \mathbb{N}$ удовлетворяет неравенству $0 < nh \leq \pi$. Тогда для любого $m \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$ и $1/r < q \leq 2$ справедливы следующие соотношения

$$\gamma_{2n-1}(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2) = \gamma_{2n}(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2) =$$

$$= \mathcal{E}_{n-1}(W_{m,q}^{(r)}(h)) = 2^{m/2} n^{-r+\frac{1}{q}} \left\{ \int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right\}^{-1/q}, \quad (9)$$

где $\gamma_k(\cdot)$ есть любой из перечисленных выше n -поперечников.

Доказательство теоремы 1. В [7] доказано, что если u – любое положительное число, удовлетворяющее неравенству $nu \leq \pi$, то для произвольной функции $f \in L_2^{(r)}$ имеет место неравенство

$$\tau_m^2(f^{(r)}, 1; u) \geq \frac{2^m}{u} \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 k^{2r} \int_0^u (1 - \cos kt)^m dt. \quad (10)$$

Неравенство (10), с учётом обозначения (6), запишем в виде

$$\tau_m^2(f^{(r)}, 1; u) \geq 2^m \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 k^{2r} \left((ku)^{-1} J_m(ku) \right). \quad (11)$$

Воспользовавшись известным неравенством Минковского [19, с.32]

$$\left(\int_0^h \left(\sum_{k=n}^{\infty} |f_k(t)|^2 \right)^{q/2} dt \right)^{1/q} \geq \left(\sum_{k=n}^{\infty} \left(\int_0^h |f_k(t)|^q dt \right)^{2/q} \right)^{1/2}, \quad 0 < q \leq 2,$$

получим

$$\begin{aligned} \left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1; u)_{2,2} du \right)^{1/q} &\geq \left(\int_0^h \left(2^m \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 k^{2r} \left[(ku)^{-1} J_m(ku) \right] \right)^{q/2} du \right)^{1/q} \geq \\ &\geq 2^{m/2} \left(\sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 \left(k^{rq} \int_0^h \left[(ku)^{-1} \mathcal{J}_m(ku) \right]^{q/2} du \right)^{2/q} \right)^{1/2} = \\ &= 2^{m/2} \left(\sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 \left(k^{rq-1} \int_0^{kh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{2/q} \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (12)$$

и докажем, что функция

$$\varphi(t) = t^{rq-1} \int_0^{th} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du$$

возрастает при $t > 0$. В самом деле, вычислив производную функции $\varphi(t)$, имеем:

$$\varphi'(t) = (rq-1)t^{rq-2} \int_0^{th} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du + t^{rq-1} h((th)^{-1} \mathcal{J}_m(th))^{q/2} > 0,$$

а потому

$$\min\{\varphi(k) : k \geq n\} = \varphi(n) = n^{rq-1} \int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du. \quad (13)$$

Продолжая неравенство (12), с учётом (13), будем иметь

$$\begin{aligned} \dots &\geq 2^{m/2} \left(n^{rq-1} \int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{1/q} \left\{ \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2 \right\}^{1/2} = \\ &= 2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{1/q} \cdot E_{n-1}(f). \end{aligned}$$

Отсюда

$$\frac{2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} \cdot E_{n-1}(f)}{\left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1; u)_{2,2} du \right)^{1/q}} \leq \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q}. \quad (14)$$

Переходя к верхним граням по всем функциям $f \in L_2^{(r)}$ ($f^{(r)} \neq const$) в неравенстве (14) с учётом определения величины (5), получим оценку сверху

$$\chi_{m,n,r,q}(h)_2 \leq \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q}. \quad (15)$$

Для получения оценки снизу воспользуемся функцией $f_0(x) = \cos nx \in L_2^{(r)}$, для которой $E_{n-1}(f_0) = 1$, и простой подсчёт показывает, что

$$\left(\int_0^h \tau_m^q(f_0^{(r)}, 1; u)_{2,2} du \right)^{1/q} = 2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{1/q},$$

откуда согласно определению (5) имеем

$$\chi_{m,n,r,q}(h)_2 \geq \frac{2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} \cdot E_{n-1}(f_0)}{\left(\int_0^h \tau_m^q(f_0^{(r)}, 1; u)_{2,2} du \right)^{1/q}} =$$

$$= \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q}. \quad (16)$$

Равенство (7) следует из сопоставления неравенств (15) и (16), чем и завершается доказательство теоремы 1.

Доказательство теоремы 2. Используя определение класса $W_{m,q}^{(r)}(h)$, неравенства (14) и соотношения (8), получим следующие оценки сверху

$$\begin{aligned} \rho_{2n} \left(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2 \right) &\leq \rho_{2n-1} \left(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2 \right) \leq d_{2n-1} \left(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2 \right) \leq \\ &\leq E_{n-1} \left(W_{m,q}^{(r)}(h) \right) \leq 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q}. \end{aligned} \quad (17)$$

Переходя к вычислению оценок снизу вышеперечисленных n -поперечников, введём в рассмотрение шар

$$\mathbb{B}_{2n+1} \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ T_n(x) \in \mathfrak{T}_n : \|T_n\| \leq 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{q}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{1/q} \right\}$$

и покажем, что шар $\mathbb{B}_{2n+1} \subset W_{m,q}^{(r)}(h)$. Для этой цели нам понадобится одно неравенство, полученное в работе [3] для произвольного тригонометрического полинома $T_n(x) \in \mathfrak{T}_n$:

$$\left\| \Delta_t^m \left(T_n^{(r)} \right) \right\| \leq 2^m (1 - \cos nt)^m n^{2r} \|T_n\|^2, \quad |t| \leq \pi/n. \quad (18)$$

В силу (18), для любого $T_n(x) \in \mathbb{B}_{2n+1}$ имеем

$$\begin{aligned} \tau_m^2(T_n^{(r)}, 1; u)_{2,2} &= \frac{1}{2u} \int_{-u}^u \left\| \Delta_t^m \left(T_n^{(r)} \right) \right\|^2 dt \leq \\ &\leq 2^m n^{2r} \|T_n\|^2 \left(\frac{1}{u} \int_0^u (1 - \cos nt)^m dt \right) = 2^m n^{2r} \|T_n\|^2 (nu)^{-1} \mathcal{J}_m(nu). \end{aligned}$$

Отсюда сразу получаем

$$\left(\int_0^h \tau_m^q \left(T_n^{(r)}, 1; u \right)_{2,2} du \right)^{1/q} = 2^{m/2} n^{r-\frac{1}{q}} \|T_n\| \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{1/q} \leq 1,$$

и включение $\mathbb{B}_{2n+1} \subset W_{m,q}^{(r)}(h)$ доказано.

Используя определение бернштейновского n -поперечника и соотношения (8), получим

$$\begin{aligned}
\rho_{2n} \left(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2 \right) &\geq b_{2n} \left(W_{m,q}^{(r)}(h); L_2 \right) \geq b_{2n-1} \left(B_{2n+1}, L_2 \right) \geq \\
&\geq 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} \left(u^{-1} \mathcal{J}_m(u) \right)^{q/2} du \right)^{-1/q}.
\end{aligned} \tag{19}$$

Сопоставляя неравенства (17) и (19), завершаем доказательство теоремы 2.

Следствие. Если выполнены условия теоремы 2, то имеют место следующие равенства

$$\begin{aligned}
\sup \left\{ |a_n(f)| : f(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h) \right\} &= \sup \left\{ |b_n(f)| : f(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h) \right\} = \\
&= 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} \left(u^{-1} \mathcal{J}_m(u) \right)^{q/2} du \right)^{-1/q},
\end{aligned} \tag{20}$$

где $a_n(f)$ и $b_n(f)$ суть косинус- и синус-коэффициенты Фурье функции $f(x)$ соответственно.

Доказательство. Не уменьшая общности, приведем доказательство для коэффициента Фурье $a_n(f)$. Поскольку в силу ортогональности функции $\cos nx$ и частичной суммы $S_{n-1}(f, x)$ ряд Фурье

$$a_n(f) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nxdx = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} [f(x) - S_{n-1}(f; x)] \cos nxdx,$$

то на основании неравенств Коши -Буняковского и (17) запишем

$$\begin{aligned}
\sup \left\{ |a_n(f)| : f(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h) \right\} &\leq E_n(W_{m,q}^{(r)}) \leq \\
&\leq 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} \left(u^{-1} \mathcal{J}_m(u) \right)^{q/2} du \right)^{-1/q}.
\end{aligned} \tag{21}$$

Для получения оценки снизу воспользуемся функцией

$$f_1(x) = 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} \left(u^{-1} \mathcal{J}_m(u) \right)^{q/2} du \right)^{-1/q} \cos nx.$$

Легко проверить, что $f_1(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h)$, а потому

$$\sup \left\{ |a_n(f)| : f(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h) \right\} \geq |a_n(f_1)| =$$

$$= 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q}. \quad (22)$$

Из сравнения неравенств (21) и (22) следует, что

$$\sup \{ |a_n(f)| : f(x) \in W_{m,q}^{(r)}(h) \} = 2^{-m/2} n^{-r+\frac{1}{2}} \left(\int_0^{nh} (u^{-1} \mathcal{J}_m(u))^{q/2} du \right)^{-1/q},$$

чем и завершаем доказательство следствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черных Н.И. – Матем. заметки, 1967, т.2, №5, с.513-522.
2. Тайков Л.В. – Матем. заметки, 1976, т.20, №3, с.433-438.
3. Тайков Л.В. – Матем. заметки, 1979, т.25, №2, с.217-223.
4. Лигун А.А. – Матем. заметки, 1988, т.43, №6, с.757-769.
5. Иванов В.И., Смирнов О.И. Константы Джексона и константы Юнга в пространствах в L_p – Тула: Тул ГУ, 1995, 192с.
6. Бабенко А.Г. – Матем. заметки, 1986, т.39, №5, с.651-664.
7. Вакарчук С.Б. – Матем. заметки, 2001, т.70, №3, с.334-345.
8. Шабозов М.Ш. – Матем. заметки, 2010, т.87, №4, с.616-623.
9. Шабозов М.Ш., Вакарчук С.Б. – Analysis Mathematica, 2012, т.38, с.147-159.
10. Shabozov M.Sh., Yusupov G.A. – Journal of Approximation Theory, 2012, т.164, с.869-878.
11. Ivanov Kamen G. – Сердика Българ. Мат. Списание, 1982, т.8, №3, с.262-279.
12. Ivanov Kamen G. – Плиска Българ. Мат. Студ., 1983, т.5, с.151-163.
13. Hardy G.H., Littlewood I.E., Polya G. Inequality-Cambridge University Press. 2nd ed. 1952, 346с.

Н.Ф.ОЛИФТАЕВ

ДАР БОРАИ ҚИМАТҲОИ БАЪЗЕ СИНФИ ФУНКСИЯҲОИ ДАВРИИ ДИФФЕРЕНСИРОНИДАШАВАНДА ДАР ФАЗОИ L_2

Донишгоҳи милли Тоҷикистон

Дар мақола нобаробарии аниқи намуди Чексон-Стечкин барои τ -модулҳои бефосилагии тартиби m -ум, дар порчаи охирик ёфта шудааст. Барои синфи функсияҳое, ки ба воситаи қимати миёнаи τ -модулҳои тартиби m -ум муайян шудаанд, n -кутҳҳои гуногун дар фазои Гилберт L_2 ҳисоб карда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: наздиккунии беҳтарин – модули бефосилагӣ – катори Фуре – n -кутҳ – τ -модули бефосилагӣ.

N.F.OLIFTAEV

**ON THE VALUES OF SOME CLASSES OF DIFFERENTIABLE PERIODICAL
FUNCTIONS IN THE SPACE L_2**

Tajik National University

In this paper for averaged finite segment of τ -modulus continuity of m -order are founded an exact inequality of Jackson-Stechkin type. For the classes of function which defined by τ -modulus of m -order averaged values, the n -widths in Hilbert space L_2 calculated.

Key words: the best approximation – modulus of continuity – Fourier series – n -widths – τ -modulus of continuity.

УДК 81'322::811.222.8::519.25

З.Д.УСМАНОВ, Г.М.ДОВУДОВ*, С.Д.ХОЛМАТОВА**

О МНОЖЕСТВЕ АНАГРАММ ТАДЖИКСКОГО ЯЗЫКА

*Институт математики им.А.Джуроева АН Республики Таджикистан,
Худжандский политехнический институт*

**Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими,*

***Институт языка, литературы, востоковедения и письменного наследия
АН Республики Таджикистан*

Поступила в редакцию 03.01.2013 г.

Посредством специального кодирования словоформ исчерпывающим образом описывается многообразие анаграмм корпуса текстов таджикского языка. Получены статистические данные о количестве различных анаграмм заданной мощности. Анонсирован ряд анаграмм с наибольшим количеством элементов.

Ключевые слова: таджикский язык – словоформа – кодирование – анаграмма – распознавание – статистика.

Пусть $W = \{w_k\}$ – множество словоформ w_k ($k = 1, 2, \dots$) некоторого естественного языка L и A – какая-либо его анаграмма, то есть подмножество всех тех словоформ из W , которые составлены из одного и того же набора букв. Обозначим через m число элементов (словоформ) анаграммы A , а через n – число различных анаграмм мощности m (с заданным числом элементов m).

Из общих соображений ясно, что

$$2 \leq m \leq m_0 \text{ и } n = n(m).$$

В первом соотношении смысл наименьшего значения m ($m = 2$) очевиден: анаграмма должна содержать, по крайней мере, две словоформы. Что касается наибольшего значения m_0 , то оно априори не известно и должно определяться экспериментально, путём статистической обработки корпусной информации.

Адрес для корреспонденции: Усманов Зафар Джураевич. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1, Институт математики АН РТ. E-mail: zafar-usmanov@rambler.ru

Второе соотношение следует рассматривать, как предполагаемую зависимость между n и m , подлежащую изучению.

Целочисленные переменные m и n позволяют упорядочить исчисление анаграмм, обозначаемых в виде $A_{m,p}$. Последнее подсказывает, что мы имеем дело с конкретной анаграммой, которой присвоен номер p ($p = 1, \dots, n(m)$) на подмножестве анаграмм мощности m (содержащих m словоформ). Это, в свою очередь, позволяет интерпретировать W в виде теоретико-множественной суммы

$$W = \bigcup_{m=2}^{m=m_0} \bigcup_{p=1}^{p=n(m)} \{ A_{m,p} \} + W^{(1)} \quad (1)$$

реальных анаграмм $A_{m,p}$ и подмножества $W^{(1)}$ ($W^{(1)} \subset W$) тех словоформ, которые не входят в состав анаграмм и которые можно называть “тривиальными” анаграммами.

В настоящей статье на примере таджикского языка описывается последовательность процедур, используемых для определения полного списка анаграмм и установления статистических закономерностей, свойственных таджикскому языку.

1. Экспериментальная база. Для выполнения статистических исследований использовался web корпус таджикского языка “первого порядка” [1], дополненный текстами доступных в Интернете электронных книг таджикской художественной литературы. В итоге в нашем распоряжении оказалась экспериментальная база из 55 808 495 таджикских словоупотреблений.

2. Обработка данных состояла из двух этапов:

- построение списка различных словоформ с частотами их встречаемости в базе данных;
- кодирование полученных словоформ и формирование списка различных кодов с частотами их встречаемости.

Не останавливаясь на описании первого этапа, достаточно очевидного по содержанию, отметим, что на втором этапе речь идёт о применении упорядоченного алфавитного (или же $\alpha\beta$ -) кодирования словоформ, предложенного в [2]. При таком кодировании произвольной словоформе $W = \alpha_1\alpha_2 \dots \alpha_n$ длины n , в которой α_k ($k = \overline{1, n}$) – буквы алфавита языка L , ставится в соответствие цепочка $CW = \alpha_{s_1}\alpha_{s_2} \dots \alpha_{s_n}$ из тех же самых букв, что и в W , но упорядоченных по алфавиту (пример: $W = \text{corm} \rightarrow CW = \text{ormc}$).

В связи с тем, что преобразование $W \rightarrow CW$ присваивает один и тот же $\alpha\beta$ -код всем словоформам из одной той же анаграммы, оно позволяет разбить множество W всех словоформ на непересекающиеся подмножества анаграмм, то есть получить представление вида (1).

3. Первоначальные результаты обработки коллекции текстов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Соотношение кодов без учёта их частот встречаемости

1	2	3	4	5	6	7
Размер корпуса	Число различных словоформ	Число различных кодов	Число однозначных кодов	Число многозначных кодов	Отношение (4)/(3) в %	Отношение (5)/(3) в %
55 808 495	438 971	386 483	349 134	37 349	90,4	9,6

В столбце 1 указывается размер (общее число словоупотреблений) корпуса текстов. В соответствии с первым этапом обработки данных на основе этого корпуса построен частотный словарь, из которого в столбец 2 выписано только число различных словоформ (без дубликатов). Кодирование последних позволило сформировать список различных кодов, число которых 386 483 показано в столбце 3. Как и следовало ожидать, число различных кодов оказалось меньше числа различных словоформ. Причина в том, что по отношению к $\alpha\beta$ -кодированию всё множество словоформ в соответствии с формулой (1) разделяется на два подмножества. Словоформы подмножества $W^{(1)}$ (“тривиальных” анаграмм) находятся во взаимно однозначном соответствии со своими $\alpha\beta$ -кодами, и потому число тех и других одинаково. Другое подмножество образуется совокупностью всех реальных анаграмм, причём словоформам одной анаграммы соответствует один и тот же код, многозначный при декодировании.

В табл. 1 числа однозначно и многозначно декодируемых кодов (соответственно “тривиальных” и реальных анаграмм) приведены в столбцах 4 и 5; в столбцах 6 и 7 они выражены в процентах по отношению к общему количеству различных кодов столбца 3. Из этих данных видно, что для таджикского языка количество однозначно декодируемых кодов на порядок больше суммарного количества кодов анаграмм при условии, что частота встречаемости кодов не принимается во внимание. Этот факт для английского, русского, литовского языков и языка эсперанто впервые отмечен в статье [3].

Учёт частот встречаемости однозначно и многозначно декодируемых кодов создаёт точное представление о мощности множества словоформ, входящих в состав анаграмм.

Таблица 2

Соотношение кодов с учётом их частот встречаемости

1	2	3	4	5
Размер корпуса	Число однозначных кодов	Число многозначных кодов	Отношение (2)/(1) в %	Отношение (3)/(1) в %
55 808 495	28 173 261	27 635 234	50,5	49,52

Из этой таблицы следует, что мощности множеств словоформ, входящих в состав “тривиальных” и реальных анаграмм, сравнимы между собой.

Итак, мы подтвердили результат, полученный ранее в [3] не только для таджикского языка, но также и для четырёх других упомянутых языков. *Возможно, что аналогичная ситуация имеет место для большинства естественных языков.*

4. Статистическая зависимость $n = n(m)$, полученная в результате обработки корпуса таджикских текстов, представлена в табличном виде:

Таблица 3

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	349134	27545	6307	2189	1021	160	75	29	8

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17	18	Итого
5	5	1	1	2	0	0	0	1	386483

В этой таблице для целочисленной переменной m (количества словоформ, входящих в состав анаграмм) рассматриваются значения от 1 до 18. При $m = 1$ мы имеем дело с “тривиальными” анаграммами, то есть с 349134 словоформами, находящимися во взаимно однозначном соответствии со своими $\alpha\beta$ -кодами. Для прочих значений m ($m \geq 2$) речь идёт уже о реальных анаграммах. В изучаемом корпусе выявлена всего лишь одна анаграмма ($n=1$) с максимальным числом $m = m_0 = 18$ словоформ (то же самое и для $m = 12, 13$) и ни одной анаграммы с $m = 15, 16$ и 17 ($n=0$). Для прочих анаграмм, $2 \leq m \leq 11$ и $m = 14$, имеем $n \geq 2$.

5. Список анаграмм. Как ясно из табл. 3, в корпусе таджикских текстов обнаружено 37 349 нетривиальных анаграмм. Помимо этого нам удалось определить полный список всех таджикских словоформ, входящих в состав нетривиальных анаграмм. В связи с их огромным количеством в последующей таблице приводится информация только о тех анаграммах, для которых $n = 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14$ и 18.

Отметим, что в табл. 3, состоящей из трёх столбцов, первый указывает $\alpha\beta$ -код анаграммы, иными словами тот код, который соответствует всем словоформам, входящим в состав анаграммы. Во втором столбце m обозначает мощность, то есть число словоформ в анаграмме. В третьем столбце помимо самих словоформ показаны абсолютные частоты их встречаемости в корпусе текстов, причём первое число – это суммарная частота встречаемости всех словоформ анаграммы.

Таблица 3

Код анаграммы	m	Состав словоформ в анаграммах
аадмнор	18	6077 (надорам 4856; мардона 1150; дарамон 19; рондаам 12; амадрон 7; даманро 6; нармода 6; рамонад 4; маронда 3; рамадон 3; дарнамо 2; ронадам 2; амрадон 2; намадро 1; маоранд 1; даронам 1; рамонда 1; маронад 1)
адемнор	14	8387 (надорем 3714; меоранд 3608; меронад 568; мардоне 400; номарде 43; дармоне 34; рондаем 9; меронда 3; рондаме 2; намедор 2; рондеам 1; медарон 1; маронед 1; даронем 1)

Код анаграммы	<i>m</i>	Состав словоформ в анаграммах
адимно	14	4370 (номида 1787; домани 1233; андоми 272; динамо 267; намоди 250; мадоин 159; доиман 157; мондаи 133; модина 84; намоид 13; мадони 11; амидон 2; омианд 1; дониам 1)
аимнор	13	898 (романи 494; амирон 145; армони 82; манори 37; минаро 35; нормаи 29; аминро 26; намиро 17; маниро 17; наимро 8; нимаро 4; иронам 3; мирона 1)
адимноор	12	1463 (модарони 1420; оромидан 15; мадоинро 12; динаморо 5; модинаро 4; оморидан 1; номодари 1; номидаро 1; нодориам 1; нодорами 1; намодиро 1; мадорони 1)
адмно	11	15045 (монда 10098; монад 2342; доман 1449; донам 498; андом 219; дамон 216; мадон 74; номад 57; моанд 54; намод 37; оманд 1)
адимнор	11	3870 (мардони 3167; дармони 411; моиндар 167; номарди 56; димнаро 45; динамро 8; нодирам 7; динорам 4; надимро 3; рамонид 1; дирамон 1)
амнор	11	3600 (манро 2819; роман 483; армон 139; манор 40; ронам 34; марон 23; норма 21; рамон 14; амнро 14; намро 12; норам 1)
адмноор	11	2908 (модарон 2747; мондаро 113; ороманд 18; доманро 10; андомро 6; нодорам 4; ордамон 3; номардо 3; доронам 2; намодро 1; дамнро 1)
адмноу	11	143 (монаду 67; андому 24; доману 14; донаму 11; нудаму 10; дамону 7; намоду 5; мадону 2; номаду 1; намудо 1; дунома 1)
аилмос	10	5874 (амсоли 2344; имсола 1484; масоил 1333; саломи 589; алмоси 87; ломиса 29; солима 3; амосил 3; соилам 1; салимо 1)
ааддмно	10	5712 (омаданд 5380; надодам 237; доданам 36; одаманд 28; дамонда 12; маддона 7; дамонад 6; мондаад 2; модаанд 2; донадам 2)
аавднор	10	3352 (овардан 2163; оваранд 782; наовард 364; равонда 13; анаворд 13; ардавон 6; навадро 4; навдаро 3; равонад 2; нодарав 2)
азиморх	10	2729 (марзҳои 1816; ҳозирам 382; рамзҳои 376; ҳамрози 119; мазохир 23; зоҳирам 4; маризҳо 3; размҳои 2; маҳозир 2; замирҳо 2)
адеимност	10	249 (меситонад 133; медониста 71; намеистод 29; донистаем 7; меситонед 3; наистодем 2; меситонда 1; меистодан 1; истоданем 1; донистае 1)
адмнору	9	1517 (мардону 513; намудор 496; дурнамо 388; дурамон 40; дармонну 36; номарду 20; намудро 15; номурда 5; рондаму 4)
амноорх	9	1084 (хамнро 656; роҳнамо 352; роҳамон 41; романҳо 16; армонҳо 6; нормаҳо 4; манорҳо 4; роҳнома 3; раҳмоно 2)
имноор	9	709 (ормони 406; имнро 180; омнро 31; номиро 30; мониро 24; миноро 16; морино 12; норони 8; омирон 2)
аиморсх	9	540 (расмҳои 377; мисраҳо 117; масирҳо 19; хисорам 14; маҳсиро 6; масхино 3; расмиҳо 2; соҳирам 1; сахмиро 1)
аиорттш	9	350 (артишро 209; риштаро 61; ришатро 24; шартиро 18; ишратро 18; шоиртар 8; раштиро 5; тирашро 4; ширатро 3)
аадмноорт	9	319 (модаратон 244; амонатдор 50; надоматро 8; доманатро 6; даматонро 3; мондаатро 2; модаронат 2; донотарам 2; андоматро 2)
аадинорст	9	133 (нотарсида 45; тарсониди 37; содатарин 33; садотарин 8; ситораанд 5; дарсиатон 2; тарсоидан 1; ронидааст 1; дастинаро 1)
абоорсх	9	49 (асҳоро 29; сахборо 5; асҳоро 5; боҳарос 4; сабоҳро 2; саробҳо 1; обҳарос 1; басҳоро 1; баҳросо 1)
адмор	8	32353 (дорам 16345; модар 15490; мадор 494; мардо 8; марод 7; дамро 7; ордам 1; мадро 1)
адимнно	8	16347 (монанди 11875; мондани 4185; номидан 214; динамон 38; надимон 19; имонанд 10; наномид 5; намонди 1)
агдинор	8	12118 (дигарон 11985; гардони 48; гиронда 39; дингаро 18; нигорид 13; гандиро 10; ангорид 3; гиронад 2)
адеммно	8	11477 (момонад 6764; медонам 3985; меномад 483; мондаем 204;

Код анаграммы	<i>m</i>	Состав словоформ в анаграммах
		мемонда 38; мондаме 1; манмоед 1; мамонед 1)
адиност	8	10243 (дониста 7765; дастони 1520; истодан 677; ситонда 96; ситонад 89; наистод 43; стадион 42; тосидан 11)
адемор	8	7432 (меорад 6929; модаре 426; дароем 51; мадоре 20; мадеро 3; оредам 1; дораме 1; дамеро 1)
аинорс	8	6064 (сарони 5377; раисон 225; асирон 203; синаро 77; ансори 60; анисро 53; аносир 52; носира 17)
аиртш	8	5613 (артиш 2447; шарти 1944; ришта 714; ишрат 277; рашти 117; тираш 82; шират 17; ришат 15)
аилмо	8	5478 (олами 5380; олима 64; маоли 10; имола 7; алоим 7; олиам 5; молаи 4; омила 1)
аимн	8	3751 (мани 1779; амин 718; мина 557; наим 362; амни 126; нима 84; инам 77; нами 48)
аиорсх	8	2687 (асрҳои 1929; сахрои 361; ҳароси 197; сарҳои 109; ҳориса 64; раисҳо 14; асирҳо 7; сохира 6)
аадмнно	8	2346 (намонад 1222; намонда 716; надонам 272; мадонна 107; амонанд 10; монанда 8; монанад 7; наномад 4)
азимор	8	2130 (мазори 1192; амрози 605; розиам 172; азимро 130; маризо 26; озарми 2; изорам 2; зориам 1)
азiorҳ	8	1739 (ҳозира 1315; ҳазори 253; арзҳои 103; зохира 43; заҳрои 21; аҳзори 2; зарҳои 1; ҳазоир 1)
ааимнорҳ	8	777 (арманиҳо 325; раҳнамои 299; маҳинаро 141; арманҳои 6; раҳмонаи 2; нимароҳа 2; раҳномаи 1; аҳримано 1)
адезмно	8	666 (андозем 423; номзаде 196; менозад 31; омезанд 10; намезод 2; замонед 2; меозанд 1; меандоз 1)
ааилмс	8	633 (салима 287; масали 279; аслами 36; аслиам 24; силаам 2; салами 2; асилам 2; амсила 1)
азмор	8	617 (мазор 459; зорам 57; амроз 42; розам 31; азро 12; озарм 10; рамзо 3; марзо 3)
аиорстҳ	8	540 (сатрҳои 315; ҳастиро 160; ҳисорат 36; сихатро 19; тарсҳои 5; сиратҳо 2; раҳиост 2; сатҳиро 1)
аабднру	8	492 (набурда 234; рабудан 91; буранда 73; баранду 45; набарду 36; набурад 10; бандару 2; бадарун 1)
абдинор	8	428 (биоранд 133; боридан 100; биронад 70; дабирон 57; дарбони 47; бандиро 14; наборид 6; баридон 1)
адинор	8	404 (нодира 309; динора 76; рондаи 7; андиро 7; ронида 2; оридан 1; орианд 1; динаро 1)
аадимнор	8	389 (мардонаи 170; мадинаро 135; маданияро 49; орамидан 22; нормамида 8; нармодаи 2; дариамон 2; рамонида 1)
ааимнш	8	388 (маншаи 290; машина 41; намиаш 38; инашам 7; аминаш 6; нимааш 4; минааш 1; маниша 1)
аадммно	8	334 (мондаам 284; доманам 33; андомам 8; оммаанд 4; мамонад 2; монадам 1; дамонам 1; дамамон 1)
аакмнор	8	308 (макарон 166; намакро 106; канорам 29; накорам 2; арконам 2; норакам 1; кораман 1; карнамо 1)
ааимнорҳш	8	117 (ҳаминашро 67; нимароҳаш 39; шаҳриамон 4; шаҳирамон 2; маҳинашро 2; раҳимашон 1; мошинраҳа 1; миҳанашро 1)
аимност	8	99 (мастони 39; нимсоат 28; ситонам 8; остинам 8; амонист 7; исматон 6; маонист 2; маситон 1)
аамнорш	8	19 (романаш 7; амрашон 4; маронаш 2; армонаш 2; шармона 1; нормааш 1; намашро 1; манораш 1)

6. Заключение. Полученные в настоящей статье данные об анаграммах таджикских словоформ основывались на автоматической обработке имевшейся в наличии кол-

лекции текстов. Несмотря на большой размер, она наверняка не могла охватить всего многообразия различных словоформ таджикского языка и потому выполненное нами описание множества анаграмм нельзя считать окончательным. Дальнейший прогресс в этой области будет связан с созданием национального корпуса таджикского языка размером в десятки и даже сотни миллиардов словоупотреблений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dovudov G., Pomikalek J., Suchomel V., Smerk P. – Building a 50M Corpus of Tajik Language. In: Proceedings of the Fifth Workshop on Recent Advances in Slavonic Natural Language Processing, RUSLAN 2011. Masaryk University, Brno (2011)
2. Усманов З.Д. – ДАН РТ, 2012, т.55, № 7, с. 545-548.
3. Усманов З.Д., Нормантас В. – ДАН РТ, 2012, т.55, № 8, с. 622-625.

З.Д.УСМОНОВ, Г.М.ДОВУДОВ, С.Д.ХОЛМАТОВА

МАҚМУӢИ АНАГРАММАҲОИ ЗАБОНИ ТОЧИКӢ

*Институти математикаи ба номи А.Чураеви
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ
дар ш. Хуҷанд,*

*Институти забон, адабиёт, шарқшиносӣ ва мероси хатии
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар мақола, бо истифодаи кодиронии махсуси калимаҳо, ба таври мукамал, гуногунии анаграммаҳои корпуси матнҳои забони тоҷикӣ нишон дода мешавад. Оиди шумораи анаграммаҳо ва шумораи элементҳои онҳо маълумоти оморӣ ба даст оварда шудааст. Рӯихати анаграммаҳо, ки шумораи зиёдтарини элемент доранд, пешниҳод карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: забони тоҷикӣ – шаклҳои калима (парадигмаҳо) – кодиронӣ – анаграмма – шинохт – омор.

Z.D.USMANOV, G.M. DOVUDOV, S.D.KHOLMATOVA

ON A SET OF TAJIK ANAGRAMS

*A.Juraev Institute of Mathematics, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
Khujand's Politechnic Institute of M.Osimi Tajik Technical University,
Institute of Language, Literature, Oriental Studies and Written Heritage,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

Thanks to special coding of wordforms, the set of anagrams to Tajik corpus is exhaustively described. Statistical data on the number of different anagrams with a specified number of

items are received. Some anagrams with the highest number of wordforms are presented for discussion.

Key words: Tajik – word form – coding – anagram – recognition – statistics.

УДК 681.4

Л.А.ГРАЩЕНКО

О МОДЕЛЬНОМ СТОП-СЛОВАРЕ

Институт математики им. А.Джурова АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 10.01.2013 г.

В статье обсуждаются содержание, области и способы применения списков стоп-слов в системах автоматизированной обработки текстовой информации на естественных языках. Вводится понятие модельного стоп-словаря, приводится методика его составления. Предлагается перечень из четырёх численных показателей для разметки и фильтрации стоп-словаря.

Ключевые слова: стоп-словарь – естественный язык – стемминг – парадигма словоизменения – автоматическая обработка текста.

При автоматизированной обработке текстов (АОТ) на естественных языках (ЕЯ) широкое распространение получило использование стоп-словарей – списков стоп-слов (stopword list, stop-list), то есть таких лексических единиц, при обнаружении которых в тексте они либо игнорируются (исключаются) в процессе обработки, либо прекращается выполнение текущей процедуры и осуществляется переход к следующей.

В различных системах АОТ, как правило, используются специфические стоп-словари, составление которых производится разработчиками на основе анализа частотных словарей репрезентативных корпусов текстов, выделении синтаксических классов, взаимозависимостей слов и работе экспертов. Последнее обстоятельство делает процесс составления стоп-словаря слабо формализованным и творческим и, кроме того, порождает явление существования множества частных стоп-словарей для одного ЕЯ. При этом можно предположить, что для каждого ЕЯ может быть сформирован образцовый стоп-словарь в качестве универсального множества по отношению ко всем существующим (и возможным) частным стоп-словарям систем АОТ одного класса.

Применимость произвольной словоформы ЕЯ в качестве стоп-слова можно оценить через потенциал – численную функцию от набора некоторых характеристик. Тогда универсальный стоп-словарь, абстрагированный от конкретной системы АОТ, составлен-

Адрес для корреспонденции: Гращенко Леонид Александрович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1, Институт математики АН РТ. E-mail: graschenko@mail.ru

ный для некоторого ЕЯ из словоформ, потенциал которых выше заданного порога, размеченный значениями выбранных показателей назовем модельным стоп-словарем (рис. 1).

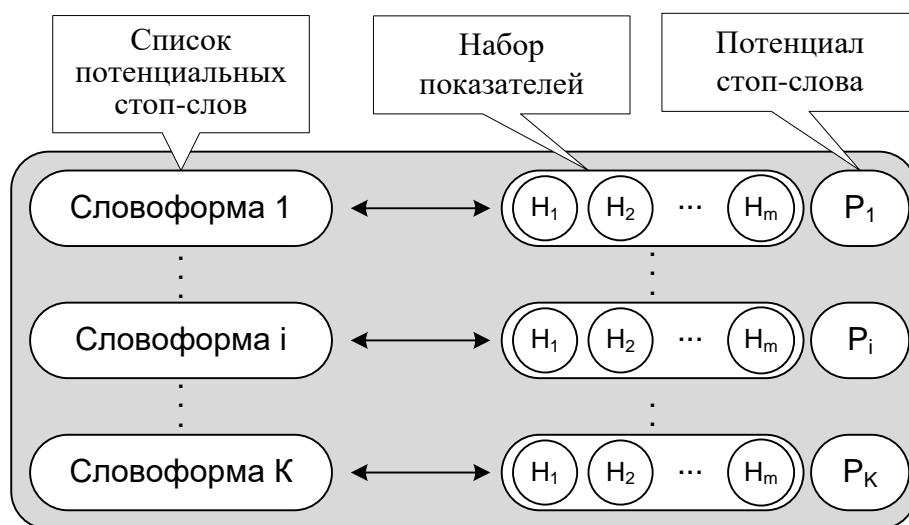


Рис. 1. Структура модельного стоп-словаря.

Тогда формирование частных стоп-словарей для конкретных систем АОТ можно осуществлять на основе фильтрации модельного стоп-словаря по тем или иным критериям (рис. 2), возможный состав которых рассмотрим далее.

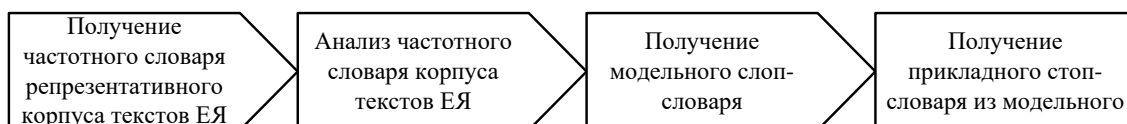


Рис. 2. Последовательность шагов формирования стоп-словаря.

Состав критериев для включения лексических единиц в стоп-словарь зависит, во-первых, от уровня обработки текста, во-вторых, от характеристик выбранного естественного языка и, в-третьих, от архитектуры системы АОТ, но в общем виде включает [1-4]:

- высокочастотную лексику (находящуюся в ядерной и центральной зонах рангового распределения слов языка);
- малоинформативную (нерелевантную) лексику и служебные части речи;
- лексику с бедной парадигмой словоизменения (мощность множества словоформ одной лексемы ниже среднего по языку).

Исследователями приводятся данные об успешном применении стоп-словарей на графематическом, морфологическом, синтаксическом и семантическом уровнях АОТ. Так, для решения задач графематического анализа и сегментации предложений в стоп-словари включают цифры, спецсимволы и высокочастотную служебную лексику [3]. Для задач информационного поиска, автореферирования и аннотирования стоп-словари заполняют

малоинформативными словами и служебными частями речи, к каковым в большинстве европейских языков относятся наречия, числительные, предлоги и т.д. [1, 2]. Стоп-словарь для морфологического анализа целесообразно наполнять частотными словами с минимальной парадигмой словоизменения, а также нерегулярными формами словоизменения [5].

Грамматический строй естественного языка оказывает существенное влияние на состав стоп-словарей. Например, в английском языке значительную часть стоп-словарей занимают артикли ('a', 'the'), предлоги ('to', 'for') и союзы ('and', 'or'), а в персидском языке велика доля суффиксов и префиксов, пишущихся отдельно от корневой словоформы ('ها', 'می') [6].

Применение стоп-словарей позволяет без существенного снижения качества повысить эффективность АОТ за счёт [1, 2, 4, 7, 8]:

- устранения избыточных процедур (этапов) обработки текста (например, перебор и поиск);
- снижения размерности признакового пространства вычислительной задачи (например, сегментация предложений).

В литературе приводятся данные, что применение стоп-словарей, составленных из частотных слов, повышает на 30-50% скорость индексирования и сокращает на 25-50% объём необходимой памяти при информационном поиске [1, 4, 5]. Архитектура систем АОТ может подразумевать наличие единственного стоп-словаря или нескольких согласованных между собой словарей, используемых на различных этапах обработки. Как правило, список стоп-слов упорядочивают для оптимизации поиска (по частоте, алфавиту, в виде бинарного дерева и т.д.).

Рассмотрим различные варианты применения стоп-словарей на уровне морфологического анализа на примере процедуры стемминга. Стемминг – эффективное средство приведения слов к одной (нормальной) форме, что требуется во многих практических приложениях АОТ, например, при информационном поиске, выделении терминологии, машинном обучении и переводе, составлении словарей по двуязычным корпусам, коррекции орфографических ошибок, конверсии графических систем письма. В исследовании [8] показано, что между эффективностью алгоритмов стемминга и морфологического анализа (возвращающими ссылки на словарные статьи) нет статистически значимой разницы. В обоих случаях стоп-словарь выполняет функции кэш-памяти и может применяться несколькими способами, рис. 3:

Стоп-словарь может не использоваться.

- А. Алгоритм стемминга (морфоанализа) может самостоятельно находить и исключать из рассмотрения стоп-слова, что эквивалентно предварительному исключению стеммом стоп-слов из обработки.
- В. Исключение стоп-слов может происходить после отработки стеммера. В таком случае стоп-лист может содержать меньшее количество словоформ (за счёт включения в стоп-лист стемов с богатой парадигмой словоизменения).

- С. Применяются два согласованных стоп-словаря. Первый словарь содержит частотную лексику с бедной парадигмой словоизменения, второй – лексику с богатой парадигмой словоизменения, но нерелевантную к решаемым задачам АОТ.

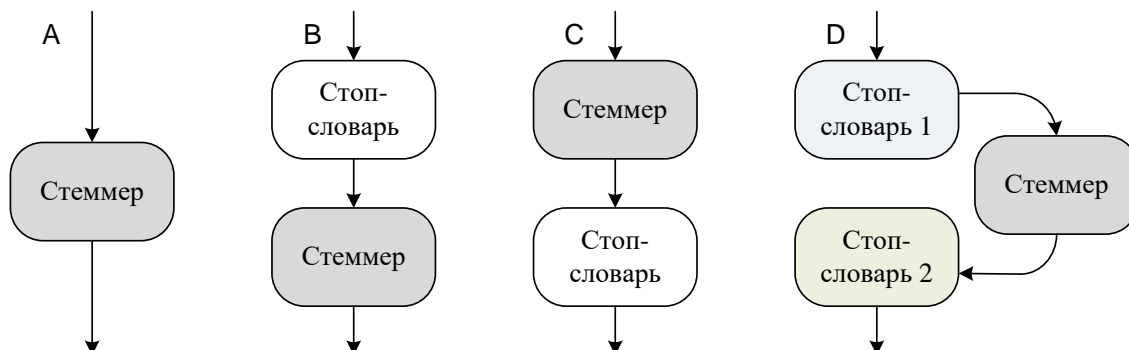


Рис. 3. Варианты использования стоп-словаря.

Непосредственно на морфологическом уровне АОТ стоп-словарь применяется только в варианте В, а варианты С и D могут предусматривать решение задач вышестоящих уровней обработки текста.

Для агглютинативных алфавитных языков (в том числе для таджикско-персидской языковой пары), где произвольная словоформа W представима конкатенацией префикса P_f , корня R и постфикса P_s ($W = P_f \oplus R \oplus P_s$) для разрешения вопроса о морфологическом строении W в среднем требуется более одного обращения к словарям аффиксов и корней. Так, при таджикско-персидской конверсии графических систем письма [9] среднее число таких обращений составляет ~ 3.5 . Для идентификации и удаления стоп-слов, состав которых оптимизирован для морфологического анализа (т.е. $W = R$), требуется лишь одно обращение к словарю.

Рассмотрим эффект (выигрыш) варианта В по отношению к варианту А. Пусть K – количество стоп-слов, N – размер словаря, используемого для работы основной процедуры по варианту В без стоп-слов, при этом $K \ll N$. Тогда размер словаря стеммера для варианта А составит $(N+K)$ слов. Время работы стеммера T равно произведению среднего числа обращений к словарю μ и времени на поиск в словаре $\tau(n)$ объёмом n . Выигрыш η во времени обработки T_B варианта В по отношению ко времени T_A варианта А можно вычислить как: $\eta = \frac{T_A - T_B}{T_A}$.

Для варианта А: $T_A = \mu \cdot \tau(N+K)$.

Для варианта В: $T_B = \tau(K) + (1 - \sum_1^K p_i) \cdot \mu \cdot \tau(N)$,

где p_i – вероятность нахождения i -го слова ($1 \leq i \leq K$) из стоп-словаря в тексте достаточного объема, тождественная его частоте. Предполагается, что за счёт использования стоп-словаря коэффициент μ при переходе от архитектуры А к В меняется незначительно. Тогда

$$\eta = \frac{\mu \cdot \tau(N+K) - (\tau(K) + (1 - \sum_1^K p_i) \cdot \mu \cdot \tau(N))}{\mu \cdot \tau(N+K)} = 1 - \frac{\tau(K) + (1 - \sum_1^K p_i) \cdot \mu \cdot \tau(N)}{\mu \cdot \tau(N+K)}.$$

Так как словари могут быть оптимизированы под бинарный поиск, то $\tau(n) \sim \log_2 n$. Соответственно, при $K \ll N$

$$\frac{\tau(N)}{\tau(N+K)} = \frac{\log_2 N}{\log_2(N+K)} \approx 1.$$

Отсюда

$$\eta = 1 - 1 + \sum_1^K p_i - \frac{\log_2 K}{\mu \cdot \log_2(N+K)} = \sum_1^K p_i - \frac{1}{\log_K(N+K)}.$$

Таким образом,

$$\eta > 0 \quad \text{ï} \quad \text{ð} \quad \sum_1^K p_i > \frac{1}{\log_K(N+K)},$$

то есть абсолютное значение эффекта от использования стоп-словаря не может превышать суммарную встречаемость входящих в него слов.

В варианте С в результате стемминга всем входным словоформам сопоставляются их стемы, в данном случае – корни R. Поэтому стоп-словарь может содержать меньшее количество элементов при их большей совокупной частотности. В варианте D возможно построение согласованных стоп-словарей. Первый словарь оптимизирован под ускорение работы стеммера, а второй словарь – последующих процедур АОТ.

Для таджикского языка предлагается следующий перечень показателей для разметки элементов модельного стоп-словаря:

- частотность: задаётся абсолютным значением частоты встречаемости лексемы в текстах f , либо номером заданных диапазонов ранга слова (например, $R1 = 1..10$, $R2 = 11 .. 100$, $R3 = 101 .. 1000$ и т.д.);
- информативность I: может задаваться множеством частей речи, принадлежность к которой допускает включение лексемы в стоп-словарь;
- мощность парадигмы словоизменения: задается пороговым значением мощности парадигмы словоизменения лексемы ($M_{пор}$), например средним по языку;
- показатель связности слов C_w (ограничения на вхождение в грамматические конструкции, маркеры границ сегментов и т.д.) – может задаваться числовыми значениями в шкале сравнения.

Для лексем, мощность парадигмы словоизменения которых более 1, могут задаваться показатели удельной частотности, характеризующие распределение частотности всех возможных словоформ для данной лексемы.

При построении практических стоп-словарей из модельного разработчики могут прибегать к его фильтрации по одному или нескольким показателям в соответствии с требованиями конкретной системы АОР.

С учетом предложенных теоретических положений, в ходе дальнейшей исследовательской работы будут уточнены диапазоны и пороговые значения данных показателей, а на основе обработки репрезентативного корпуса текстов таджикского языка предложен вариант модельного стоп-словаря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manning C.D., Schütze H. – Foundations of statistical natural language processing – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000, pp. 533-534.
2. Васильев В.Г., Кривенко М.П. Методы автоматизированной обработки текстов. – М.: ИПИ РАН, 2008, 305 с.
3. Ножов И.М. Реализация автоматической синтаксической сегментации русского предложения: Автореф. дис. ... к. т.н. – М.: РГГУ, 2003, 20 с.
4. Davarpanah M.R., Sanji M., Aramideh M. Farsi lexical analysis and stop word list. – Library Hi Tech., 2009, v.27, Iss. 3, pp. 435-449.
5. Kazem Taghva, Russell Beckley, Mohammad Sadeh. – A List of Farsi Stopwords. Technical Report 2003-01, Information Science Research Institute, University of Nevada, Las Vegas, 2003, 3 p.
6. Dolamic L., Fautsch C., Savoy J. UniNE at CLEF 2008: TEL, Persian and Robust IR – CLEF 2008 Proceedings, 2008, pp. 178-185.
7. Karimi Z., Shamsfard M. Persian Text Automatic Summarization System – International Journal of Computational Intelligence, 2006, №4, pp. 126-133.
8. Fautsch C., Savoy J. Algorithmic Stemmers or Morphological Analysis? An Evaluation. – Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2009, v. 60, Iss. 12, pp. 1616-1624.
9. Гращенко Л.А. Математические основы автоматизированной таджикско-персидской конверсии графических систем письма: Автореф.дис. к.физ.-мат.н. – Душанбе: ИМ АН РТ, 2010, 115 с.

Л.А.ГРАЩЕНКО

ДАР БОРАИ МОДЕЛИ ВОЖАҲОИ-ИСТОДА

Институти математикаи ба номи А.Чураеви

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола мазмун, бахш ва роҳҳои истифодабарии рӯйхати вожаҳои истода дар системаҳои коркарди автоматикӣ матнҳои иттилоотӣ ба забонҳои аслии баррасӣ гардидааст. Мафҳуми модели вожаҳои-истода ва методикаи тартиби он оварда шудааст. Номгуи чор нишондоди рақамӣ барои қайд ва филтратсияи қумуши вожаҳои истода пешниҳод карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: вожаҳои истода – забони аслии – стемминг – калимаҳои тағйиротӣ – коркарди автоматикӣ матн.

L.A.GRASCHENKO

APPLICATION OF MODELING STOP-LIST

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

The paper discusses the content, scope, and methods of using the stop-list in the automated text processing systems of natural languages. The concept of model stop-list, the technique of its forming are introduced. Proposes four numerical indicators for marking and filtering stop-word dictionary.

Key words: stop-word list – natural language – stemming – inflection paradigm – automatic text processing.

УДК 537.226

С.ОДИНАЕВ, Р.МАХМАДБЕГОВ*

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ
(ОБЗОР)**

*Академия наук Республики Таджикистан,
*Таджикский национальный университет
Поступила в редакцию 19.10.2012 г.*

Приведён краткий обзор и анализ теоретических и экспериментальных исследований диэлектрических свойств растворов электролитов. Показано, что в основе всех достижений в экспериментальных и теоретических исследованиях физики диэлектриков лежат формулы Дебая для исследования частотной зависимости динамических коэффициентов диэлектрической проницаемости $\varepsilon_1(\omega)$ и диэлектрических потерь $\varepsilon_2(\omega)$, тангенс угла потерь $\varphi(\omega)$, а также диаграммы Коула-Коула. Предложено обобщение этих результатов с учётом вкладов структурной релаксации в последних, а также определение связи неизвестной функции распределения времён релаксации $y(\tau)$ со структурой раствора.

Ключевые слова: коэффициенты диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь – коэффициент удельной электропроводности – частотная дисперсия – время релаксации – диаграмма Коула-Коула.

Экспериментальное и теоретическое исследование физико-химических свойств диэлектрических веществ необходимо в связи с многочисленным практическим использованием их в различных областях промышленности. В частности, изучение их диэлектрических свойств связано с огромными достижениями в электротехнике, энергосбережении, в промышленности, технике, связи и электронике. Предварительное знание структуры диэлектрических веществ, природы физических явлений и происходящих в них необратимых процессов, определение частотной дисперсии коэффициентов диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в зависимости от термодинамических па-

Адрес для корреспонденции: Одинаев Саидмухамед. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Президиум АН РТ. E-mail: odsb@tarena.tj

раметров состояния необходимы для успешного их использования, поисков новых диэлектрических материалов, а также оптимальной области их применения.

Электрические свойства диэлектрических веществ описываются посредством коэффициентов диэлектрической проницаемости. При слабых электрических полях этот коэффициент не зависит от напряженности поля и со временем остаётся постоянным, однако в случае переменных полей коэффициент диэлектрической проницаемости зависит от частоты.

В случае макроскопического описания диэлектрических веществ коэффициент диэлектрической проницаемости берётся из опыта и зависит от термодинамических параметров состояния, в частности от температуры. Согласно макроскопической теории, явления поляризации диэлектриков связаны со смещением зарядов. Последние компенсируют заряды противоположного знака и равные по абсолютной величине, но эти заряды не могут выходить из диэлектрика, то есть являются «связанными» зарядами. Определение зависимости коэффициента диэлектрической проницаемости от частоты и структурных единиц диэлектрического материала, наряду с термодинамическими параметрами состояния, будет возможным на основе микроскопической теории.

Следует отметить, что в случае переменных внешних электрических полей в диэлектрике появляется связь между коэффициентами электропроводности, диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь, которые зависят от частоты электрического поля. Определение этой связи для жидких диэлектрических веществ, в частности для водных растворов электролитов на основе микроскопической теории, является сложной задачей. Остановимся вкратце о состоянии этих ранее изученных вопросов для растворов электролитов.

Онзагером [1] дана теория электропроводности водных растворов электролитов в случае слабых стационарных электрических полей. При наличии всех действующих сил (сопротивления, катафоретическая, релаксационная и сила внешнего электрического поля) на ион, он получил уравнение для бинарной функции распределения ионов, а также уравнения Пуассона для потенциала ионной атмосферы, которые связаны самосогласованным образом. При установившемся режиме, то есть происходящем с некоторой постоянной скоростью иона, получены аналитические выражения для коэффициентов удельной, молярной и эквивалентной электропроводностей водных растворов электролитов слабой концентрации. В этом приближении, то есть в слабых стационарных электрических полях, зависимость между коэффициентами удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости отсутствует.

Следует отметить, что применение формулы Онзагера к неводным растворам электролитов даёт менее удовлетворительные результаты, чем при водных растворах. Это обусловлено тем, что теория построена на приближённом решении уравнения Дебая-Хюккеля, которое применимо только в области малых концентраций и больших диэлектрических постоянных. Кроме того, в растворителях с малой диэлектрической проницае-

мостью, по-видимому, возможны явления молизации ионов, а также образования комплексных ионов и молекул, которые не учитываются в теории Дебая-Онзагера.

Дебаем и Фалькенгагеном [1,2] исследовано влияние высокой частоты на электропроводность и коэффициент диэлектрической проницаемости растворов электролитов при наличии переменного внешнего электрического поля во времени. Если электролит находится в стационарном состоянии и отсутствует действие внешних сил, то ионные атмосферы обладают сферической симметрией и функции распределения зависят только от взаимных расстояний ионов. В этом случае зависимость стационарных потенциалов ионов от плотности их зарядов определяется уравнением Пуассона. При наличии переменного внешнего поля электролит находится в возмущенном состоянии, тогда как потенциалы ионных атмосфер и функции распределения приобретают несимметричный вид. В этом случае в растворе электролита идут необратимые процессы и распределение ионов не подчиняется распределению Максвелла-Больцмана. Тогда для бинарной функции распределения понадобится уравнение, на основе которого можно было бы описывать нестационарное состояние раствора.

Известно, что при наличии внешнего переменного электрического поля происходит колебательное движение ионов. При низких частотах ионные атмосферы обладают асимметрией, обусловленной действием внешнего поля. Когда период колебания центрального иона растёт и будет порядка времени релаксации ионной атмосферы, тогда нарушения симметрии последней становятся менее вероятными. В результате, по мере возрастания частоты, ионная атмосфера по своей форме постепенно начинает отличаться от атмосферы, находящейся в невозмущенном состоянии и обладающей сферической симметрией, а электропроводность раствора соответственно увеличивается, а следовательно, изменяется и коэффициент диэлектрической проницаемости раствора. Для изучения этих вопросов Дебаем и Фалькенгагеном для потенциала асимметрии колеблющегося иона получено дифференциальное уравнение, которое является достаточно общим для вычисления эффекта изменения электропроводности и диэлектрической проницаемости в случае переменного поля высокой частоты, то есть частотной дисперсии этих коэффициентов. Однако полученные ими аналитические выражения для динамических коэффициентов удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости соответствуют экспоненциальному закону затухания (периодических полей) и в них не содержатся вклады процессов изменения структуры раствора, то есть учёта структурной релаксации.

Имеется ещё одно важное явление, происходящее в растворах электролитов, изучение которого на основе молекулярно-кинетической теории представляет большой интерес. Если раствор электролита находится под действием сильного электрического поля, центральные ионы будут извлекаться этим полем из своих атмосфер. Это явление приводит к увеличению коэффициента удельной электропроводности ионов, поскольку они не увлекают за собой ионную атмосферу. Теория этого явления известна под названием эффекта Вина, и его можно изучать также на основе кинетических уравнений для одно- и

двухчастичной функций распределения. Следует отметить, что изменение коэффициента удельной электропроводности на основе эффекта Вина также во времени приводит к частотной дисперсии коэффициента диэлектрической проницаемости растворов электролитов, исследование которого представляет большой интерес.

В работе [3] подробно изложена теория диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь для однородных диэлектрических веществ, находящихся под действием как статических, так и зависящих от времени внешних электрических полей, не зависящих от пространственных координат. Обычно в макроскопической физике электрические явления в диэлектриках описываются с помощью двух полевых характеристик, например напряженности электрического поля E и электрической индукции D (здесь и далее ограничимся рассмотрением модулями поле E и электрической индукции D , так как по направлению они совпадают). На основе этого с помощью материального уравнения состояния определяется вектор поляризации диэлектрика P и, соответственно, статические коэффициенты как диэлектрической восприимчивости α_s , так и диэлектрической проницаемости ϵ_s .

В случае периодически меняющегося во времени электрического поля $E(t)$, электрическая индукция $D(t)$ также должна периодически изменяться во времени с некоторым сдвигом по фазе φ . В этом случае вводится комплексная диэлектрическая проницаемость $\epsilon(\omega)$, состоящая из суммы двух различных частей, зависящих от частоты диэлектрической проницаемости $\epsilon_1(\omega)$ и $\epsilon_2(\omega)$, на основе чего определяется как частотная дисперсия электрической индукции $D(\omega)$, так и сдвиг фаз φ между D и E . Величина $\epsilon_1(\omega)$ является динамическим коэффициентом диэлектрической проницаемости, а $\epsilon_2(\omega)$ – пропорциональна потерям энергии в диэлектрике и называется коэффициентом диэлектрических потерь. В §10 работы [3] впервые были выведены формулы Дебая о частотной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon(\omega)$ для различных моделей. Эти выражения справедливы для разбавленных растворов диполей в жидкостях и твёрдых телах, которые впоследствии применялись для многих веществ. В основу исследования теории Дебая положена гипотеза о том, что в постоянном внешнем поле установление равновесия во времени происходит по экспоненциальному закону. Он показал, что в случае упругих связей поле смещает заряды, которые совершают колебания около их положений равновесия, а в случае заряжённых частиц или диполей, обладающих несколькими положениями равновесия, поле при внезапном воздействии на заряды не переводит частицы в их новые положения, но изменяет вероятности перехода. Это в свою очередь ведёт к установлению равновесия.

Диэлектрические проницаемости ϵ_1 и ϵ_2 , рассматриваемые как функции частоты ω , являются зависимыми друг от друга, если связь между D и E линейна. Это линейное

соотношение обычно выражается принципом суперпозиции и лучше всего объясняется в более общем случае зависимости электрического поля от времени $E(t)$. Если применить принцип суперпозиции к непрерывно изменяющемуся со временем полю $E(t)$, приложенному начиная с момента времени $t_1=0$, то индукция $D(t)$ в момент времени t определяется выражением (2.12) работы [3], в виде

$$D(t) = \varepsilon_{\infty} E(t) + \int_0^{\infty} E(t_1) \alpha(t-t_1) dt_1, \quad (1)$$

где функция $\alpha(t-t_1)$ описывает постепенное уменьшение D и при $t \rightarrow \infty$, $\alpha(t-t_1) \rightarrow 0$.

Связь между величинами ε_1 и ε_2 может быть выражена посредством функции $\alpha(t)$. Если внешнее поле $E(t)$ изменяется во времени по периодическому закону, то на основе (1) для комплексного коэффициента диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ имеем:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \int_0^{\infty} \alpha(u) e^{i\omega u} du, \quad (2)$$

где $u = t - t_1$.

Функция $\alpha(t)$ описывает уменьшение поляризации диэлектрика со временем, если внешнее поле внезапно исчезает. В то же время с помощью функции $\alpha(t)$ может быть определено и постепенное возрастание поляризации со временем вплоть до её равновесного значения при введении диэлектрика в постоянное поле.

В §§10-13 работы [3] при различных моделях и видах функций $\alpha(t)$, описывающих спадание (уменьшение) поля, на основе (1) и (2) получены различные аналитические выражения для $\varepsilon_1(\omega)$, $\varepsilon_2(\omega)$ и угла потерь $\varphi(\omega)$. В §10 работы [3] для различных задач получены формулы Дебая, при этом предположено, что функция $\alpha(t)$ уменьшается по экспоненциальному закону, то есть $\alpha(t) \sim \exp(-t/\tau)$. Дифференцируя уравнение (1) по времени и полагая в нём функцию $\alpha(t)$ в виде

$$\alpha(t) = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{\tau} \cdot \exp(-t/\tau), \quad (3)$$

Г.Фрёлихом найдено дифференциальное уравнение, связывающее $D(t)$ с $E(t)$ в следующем виде:

$$\tau \frac{d}{dt} (D - \varepsilon_{\infty} E) + (D + \varepsilon_{\infty} E) = (\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}) E. \quad (4)$$

Используя уравнение (4) для установления равновесия конденсатора в двух случаях: постоянный заряд и постоянное напряжение на пластинках, показано, что оба случая приводят к экспоненциальному закону установления равновесия. В случае периодического поля $E \sim \exp(-i\omega t)$, на основе (4) для комплексного коэффициента диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ получено

$$\varepsilon(\omega) - \varepsilon_{\infty} = (\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}) / (1 - i\omega\tau). \quad (5)$$

Если в (2) учитывать (3), для $\varepsilon(\omega)$ получим выражение, которое совпадает с соотношением (5). Разделяя вещественную и мнимую части $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(\omega) + i\varepsilon_2(\omega)$ в соотношении (5), тогда для $\varepsilon_1(\omega)$, $\varepsilon_2(\omega)$ и тангенса угла потерь $\varphi(\omega)$ получим:

$$\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_{\infty} = (\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}) / [1 + (\omega\tau)^2], \quad (6)$$

$$\varepsilon_2(\omega) = (\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}) \cdot \omega\tau / [1 + (\omega\tau)^2], \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \varepsilon_2(\omega) / \varepsilon_1(\omega) = (\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}) \cdot \omega\tau / [\varepsilon_S + \varepsilon_{\infty} (\omega\tau)^2]. \quad (8)$$

Соотношения (5)-(8) называются формулами Дебая, а постоянная τ – временем релаксации. Они описывают свойства диэлектрического вещества в переменном электрическом поле в предположении экспоненциального закона $\alpha(t)$ установления равновесия. При обсуждении формул Дебая нужно отметить, что диэлектрические проницаемости $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ зависят по крайней мере от двух параметров: угловой частоты ω и температуры T . Зависимость от частоты выражена явно, в то время как зависимость от температуры входит неявно через величины $\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}$ и время релаксации τ . Эти выражения и по настоящее время являются удобными как для проведения обработки экспериментальных данных, так и проведения численных расчётов диэлектрических свойств растворов электролитов.

Согласно формулам (6)-(8), частотная дисперсия $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ определяется посредством разности $\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}$, которая считается известной. Она определяется как из экспериментальных данных, так и из теоретических результатов, полученных в восьми параграфах главы 2 работы [3] для статической диэлектрической проницаемости в очень широкой области диэлектрических веществ: газы, полярные жидкости (формула Кирквуда), разбавленные растворы и твёрдые дипольные диэлектрики. Исследована также тем-

пературная зависимость статического коэффициента диэлектрической проницаемости ε_s как в продольном, так и противоположном направлениях диполей диэлектрических веществ, а также полярного твёрдого диэлектрика вблизи перехода от упорядоченности к неупорядоченности.

Считаем целесообразным ещё привести обобщение и определение комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ для разбавленного раствора полярных молекул в жидкости или в аморфном твёрдом теле, полученные в §12 работы [3]. В случае разбавленного раствора, поскольку взаимодействие между диполями отсутствует, имеет место линейная суперпозиция вкладов различных групп. Диполи с временами релаксации, лежащими в интервале между τ и $\tau + d\tau$, дают вклад в $\alpha(t)$, который пропорционален $\exp(-t/\tau)$, и величину $y(\tau)d\tau/\tau$, где $y(\tau)$ - спектральная плотность распределения времён релаксации. Следовательно, вклад всех диполей в функцию $\alpha(t)$ имеет вид:

$$\alpha(t) = \int_0^{\infty} \exp(-t/\tau) \cdot y(\tau) d\tau / \tau. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (2), для комплексного коэффициента диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ получено выражение

$$\varepsilon(\omega) - \varepsilon_{\infty} = \int_0^{\infty} y(\tau) d\tau / (1 - i\omega\tau) \quad (10)$$

или, разделяя вещественную и мнимую части $\varepsilon(\omega)$, имеем:

$$\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_{\infty} = \int_0^{\infty} y(\tau) d\tau / [1 + (\omega\tau)^2], \quad (11)$$

$$\varepsilon_2(\omega) = \int_0^{\infty} \omega\tau \cdot y(\tau) d\tau / [1 + (\omega\tau)^2]. \quad (12)$$

Формулы (10)-(12) описывают диэлектрические свойства разбавленных растворов полярных молекул в жидкости или аморфном твёрдом теле и являются аналогами формулы Дебая (6)-(8) с некоторыми отклонениями. Последние лучше всего рассматривать в связи с формой кривых $\varepsilon_2(\omega)$, изображающих зависимость мощности потерь от частоты. По максимуму $\varepsilon_2(\omega)$ определяют характерную частоту процесса и соответствующие времена релаксаций. Для подробного обсуждения этого вопроса существенное значение имеет знание явного вида функции $y(\tau)$. В [3] отмечено, что $y(\tau)$ всегда положительна

и что $\varepsilon_2(\omega)$ является суперпозицией дебаевских кривых $\omega\tau / [1 + (\omega\tau)^2]$ с различными положениями их соответствующих максимумов. Следовательно, результирующая, то есть усреднённая, кривая $\varepsilon_2(\omega)$ (если предполагать, что она имеет один максимум) должна иметь большую полуширину, чем отдельная дебаевская кривая, максимум которой совпадает с максимумом этой результирующей кривой.

В последующие годы изучение явлений переноса и диэлектрических свойств растворов электролитов развивалось как экспериментальными, так и теоретическими методами, подробные обзоры которых приведены в [4-9]. Феноменологические теории для исследования физики диэлектриков оставались преобладающими, хотя значимость электронно-атомных теорий непрерывно повышалась. Наряду с феноменологической, в физике диэлектриков широко применяются методы молекулярно-кинетической теории, временных автокорреляционных функций и метод коллективных переменных [10-12]. В этих работах определены как статические, так и частотно-зависящие коэффициенты диэлектрической проницаемости диэлектрических веществ. Найдены уравнения связи комплексной диэлектрической проницаемости как от энергии взаимодействия между структурными единицами раствора (заряды, молекулы, ионы, диполи), так и через временные автокорреляционные функции. В различных приближениях для $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ получены уравнения Коула-Коула, Девидсона-Коула, Гаврильяк и Негами, Вильямса-Ватса и Фуосса-Кирквуда. Уравнение Фуосса-Кирквуда является достаточно простым для объяснения экспериментальных результатов, а его параметры связаны с параметрами уравнений Коула-Коула и Девидсона-Коула. В определенных приближениях эти уравнения переходят в уравнение Дебая.

Описание временного поведения диэлектрической релаксации рассмотренных как в эмпирических, так и в теоретических выражениях основано на представлении о поведении диэлектрической проницаемости, имеющей для функции электрической потери $\varepsilon_2(\omega)$ один максимум. Для описания свойств диэлектриков, когда $\varepsilon_2(\omega)$, имеющих более чем один максимум, используется суперпозиция функций распределения времён релаксации. В этом случае $\varepsilon_2(\omega)$ включает в себя распределения времен релаксации, которые можно аппроксимировать с помощью двух, трёх и большего числа отдельных времён релаксации. Эти результаты получатся при наличии периодических внешних полей, которые затухают по экспоненциальному закону.

А теперь приводим результаты экспериментальных и теоретических работ, полученные в последние годы как для электропроводящих, так и для диэлектрических свойств растворов электролитов.

На основе теории Фрелиха при помощи статистического метода условных распределений в [13] проведено вычисление момента образца диэлектрика для модели жёстких диполей, что позволяет найти основное приближение в оценке дипольной поляризации

полярной жидкости. В качестве примера приводится расчёт диэлектрической проницаемости воды от тройной до критической точки. Существенной оказывается корреляционная зависимость между пространственными и угловыми переменными диполей. С повышением температуры эта связь ослабевает. По аналогии в описании поведения парамагнетиков и диэлектриков, в [14] введено понятие пространственной ориентации молекул диэлектрика, что позволило показать связь величин дипольного момента и диэлектрической проницаемости жидкостей. Построена зависимость «приведённой» диэлектрической проницаемости от квадрата дипольного момента для 45 жидкостей (ЗСС).

В [15] обобщены экспериментальные данные по диэлектрической проницаемости водных растворов электролитов. Исследована зависимость диэлектрической проницаемости от концентрации на радиочастотах и сверхвысоких частотах (СВЧ). Получены соотношения для фактора корреляции молекул в жидкостях, содержащих цепочечные ассоциаты [16]. Эти соотношения устанавливают взаимосвязь диэлектрических свойств жидких фаз с их молекулярной структурой. Найденные выражения могут быть использованы также для определения термодинамических характеристик реакции ассоциации в жидких фазах. При детальном анализе экспериментальных данных по диэлектрическим параметрам концентрированного раствора NaCl, в [17] показано, что диэлектрические параметры описываются релаксационной моделью Коула-Коула, а не чисто релаксационной моделью Дебая, как предполагалось ранее. Известно, что дебаевский тип полярной жидкости является частным случаем более общей релаксационной модели Коула-Коула.

В [18] изучены статическая диэлектрическая проницаемость и диэлектрические спектры 1,3-пропандиола и его бинарных растворов с *n*-пропанолом в диапазоне частот от 9.4 до 72.4 ГГц, а также плотность в широком интервале температур. Обнаружено существование дисперсии диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ в диоле и в растворах в изученном интервале частот и температур, а также установлено существование дискретного спектра времен дипольной релаксации. Обсуждена молекулярная природа обнаруженных концентрированных зависимостей диэлектрических свойств растворов. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости воды ($\varepsilon_1(\omega), \varepsilon_2(\omega), \varepsilon_{\infty 1}, \varepsilon_{\infty 2}$) и определение времён диэлектрической релаксации τ_D в области 60 ÷ 200°C имеется в [19]. Обнаружена нелинейность зависимости $\ln \tau_D$ от обратной температуры. Найдено, что расчёт по формуле Дебая-Стокса удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными во всем интервале температур.

В [20] измерены диэлектрические проницаемости водных растворов акриламида в интервале концентраций 0-10 мол.% амида на трёх частотах 9.4; 14 и 25 ГГц при температурах 288, 298 и 308 К. Построены диаграммы Коула-Коула и определены времена диэлектрической релаксации. Рассчитаны активационные характеристики процесса диэлектрической релаксации. Сделан вывод о вращательной подвижности молекул воды в этой

системе. Проведению расчёта диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ воды с учётом как диполь-дипольного взаимодействия, так и взаимодействия, обусловленного водородной связью, посвящена работа [21]. Показано, что как абсолютное значение $\varepsilon(\omega)$, так и её температурная зависимость находятся в согласии с экспериментальными результатами. Установлено, что полученная оценка энергии изгиба водородной связи из диэлектрических измерений оказывается близкой к значению, найденному ранее из температурной зависимости радиальной функции распределения молекул воды.

В [22] проведён расчёт эквивалентной электропроводности как функции концентрации вплоть до 1 моль/литр, что значительно превышает величины, рассчитываемые с помощью известных неэмпирических теорий. Показано, что электростатическая теория Дебая-Хюккеля не рассматривала возможность расчёта, в частности, экспериментальной величины эквивалентной электропроводности при бесконечном разбавлении. Исследования кинетики диффузии ионов, согласно данным измерений электропроводности водных растворов селенита натрия различной концентрации и температуры, имеются в [23]. Рассчитаны значения молекулярных и ионных коэффициентов самодиффузии при бесконечном разбавлении в температурном интервале 288-313 К. Рассчитано число гидратации ионов при 298 К. Полученные результаты интерпретированы на основе теории Самойлова о положительной и отрицательной гидратации ионов.

На основе закона действия масс в среднесферическом приближении [24], разработан подход для описания влияния ионной ассоциации на растворитель и диэлектрическую проницаемость в растворах электролитов. Анализируются зависимости диэлектрической константы от концентрации электролитов, ионных размеров и степени ассоциации ионов. Результаты сравниваются с последними экспериментальными данными для водных растворов нитратов и солей муравьиной кислоты, которые находятся в удовлетворительном согласии. С использованием теоремы Ирншоу и критерия устойчивости по Ляпунову в [25] показано, что распределение вещества и зарядов в растворах электролитов не является статическим по Дебаю-Хюккелю, а характеризуется малыми гармоническими колебаниями.

Следует отметить, что в основе всех достижений в экспериментальных и теоретических исследованиях физики диэлектриков лежат формулы Дебая для исследования частотной зависимости динамических коэффициентов диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega)$ и диэлектрических потерь $\varepsilon_2(\omega)$, тангенс угла потерь $\varphi(\omega)$, а также диаграммы Коула-Коула.

Однако формулы Дебая описывают свойства диэлектрических веществ в переменном электрическом поле в предположении экспоненциального закона $\alpha(t)$ установления равновесия, который приводит к относительно узкой области (~ 100 Гц) частотной дисперсии $\varepsilon_1(\omega)$, $\varepsilon_2(\omega)$ и дискретному спектру времён релаксации, совпадающему с результа-

тами общей термодинамической релаксационной теории. Следует отметить, что для установления равновесной структуры вещества имеется ещё и диффузионный механизм, который описывается степенным законом затухания по времени $t^{-\frac{d}{2}}$ (d – размерность пространства), то есть процессом структурной релаксации. Мы предлагаем, что учёт вклада последней в $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ раствора электролитов, наряду с экспоненциальным законом, является важным. В этом случае область частотной дисперсии $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$, является относительно широкой и имеется непрерывный спектр времён релаксации.

Другое наше пожелание относится к обобщённым формулам (9)-(12) для определения $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$, соответственно. Эти коэффициенты в подынтегральных выражениях, при определенном выборе $\alpha(t)$, согласно (9), содержат функцию $y(\tau)$, которая описывает распределение времён релаксации и является неизвестной. Однако для подробного определения частотной дисперсии и использования формул (10)-(12) необходимо знание явного вида $y(\tau)$ и её связи со структурой диэлектрических веществ, то есть с радиальной функцией распределения. Поэтому изучение диэлектрических свойств растворов электролитов, с учётом вкладов структурных релаксационных процессов, получение непрерывного спектра времен релаксации и определение явного вида зависимости функции спектра времён релаксации $y(\tau)$ от неравновесной структуры раствора, то есть радиальной функции распределения $g\left(\vec{r}, t\right)$, представляет большой интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенченко В.К. Физическая теория растворов. – М.-Л.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1941, 382 с.
2. Харнед Г., Оуэн Б. Физическая химия растворов электролитов. – М.: Изд-во ИЛ, 1952, 628 с.
3. Фрелих Г. Теория диэлектриков. – М.: Изд-во ИЛ, 1960, 251 с.
4. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). – М.-Л.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1949, 500 с.
5. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (сильные поля). – М.: Физ.-матгиз, 1958, 678 с.
6. Браун В. Диэлектрики. – М.: Изд-во ИЛ, 1961, 326 с.
7. Эрдеи-Груз Т. Явления переноса в водных растворах. – М.: Мир, 1976, 597 с.
8. Гайдук В.И. Теория диэлектрической дисперсии полярных сред. – М.: Изд-во МФТИ, 1980, 92 с.
9. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В, Тареев Б.М. Электрические материалы. – Л.: Энергия, 1985, 304 с.
10. Юхновский И.Р., Головкин М.Ф. – Статистическая теория классических равновесных систем. – Киев: Наукова думка, 1980, 372 с.
11. Потапов А.А., Мецик М.С. Диэлектрическая поляризация. – Иркутск: Изд. Иркут. унив-та, 1986, 264 с.

12. Barther J.M.G., Krienke H., Kunz W. Physical chemistry of electrolyte solution. Modern aspects. Steinkopff: Darmstadt; New York: Springer, 1998, 401p.
13. Брук-Левинсон Э.Т., Немцов В.Б, Ротт Л.А. – Журн. физ. химии, 1971, т.45, №1, с. 12-17.
14. Салем Р.Р. – Журн. физ. химии, 1979, т 53, №5, с. 1340-1344.
15. Клугман И.Ю. – Журн. физ. химии, 1980, т. 64, №8, с. 2045-2049.
16. Дуров В.А. – Журн. физ. химии, 1981, т. 55, №11, с. 2833-2841.
17. Шарков В.А. – Журн. физ. химии, 1984, т. 58, №7, с. 1705-1710.
18. Журавлев В.И., Дуров В.А., Усачёва Т.М., Шахпаронов М.И. – Журн. физ. химии, 1985, т. 59, №7, с. 1677-1680.
19. Любимов Ю.А., Набоков О.А. – Журн. физ. химии, 1985, №6, с. 1435-1436.
20. Ястремский П.С., Родникова М.Н., Маркова В.Г., Калаева М.И. – Журн. физ. химии, 1998, т. 62, №3, с. 779-781.
21. Агафонов В.М, Труфанов Н.А. – Журн. физ. химии, 1990, т.64, №1, с. 203-209.
22. Шапошник В.А. – Вестник ВГУ, серия: Химия, биология, фармация, 2003, №2, с. 81-82.
23. Влаев Л.Т., Гениева С.Д. – Журн. структур. химии, 2004, т. 45, №5, с. 870-871.
24. Holovko M.F., Karpo V. – Acta Chim. Slov., 2009, v.56, pp. 203-208.
25. Балданова Д.М., Танганов Б.Б., Балданов М.М. – Фундаментальные. исследования. Хим. науки, 2011, №8, с. 195-197.

С.ОДИНАЕВ, Р.МАХМАДБЕГОВ*

ТАҲҚИҚОТҲОИ НАЗАРЯВӢ ВА ТАҶРИБАВИИ ҲОСИЯТҲОИ ДИЭЛЕКТРИКИИ МАҲЛУЛҲОИ ЭЛЕКТРОЛИТӢ

*Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Хулосаҳою таҳлили кӯтоҳи таҳқиқотҳои назариявӣ ва таҷрибавии ҳосиятҳои диэлектрикии маҳлулҳои электролитӣ оварда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки ҳамаи муваффақиятҳои илмии таҳқиқотҳои назарию таҷрибавии физикаи диэлектрикҳо, барои омӯзиши вобастагии басомадии зарибҳои динамикии нуфузпазирии диэлектрикӣ $\varepsilon_1(\omega)$, талафшавии диэлектрикӣ $\varepsilon_2(\omega)$, тангенс кунҷи талафшавӣ $\varphi(\omega)$, ва диаграммаҳои Коула-Коула, формулаҳои Дебай ҳосил шудаанд. Умумикунонии ин натиҷаҳо бо баҳисобгирии саҳми релаксатсияи сохторӣ ва муайян намудани робитаи функцияи номаълуми тақсимои вақтҳои релаксатсионӣ $y(\tau)$, бо сохтори маҳлул, яъне бо функцияи тақсимои радиалӣ пениҳод шудааст.

Калимаҳои калидӣ: зарибҳои нуфузпазирии диэлектрикӣ ва талафшавии диэлектрикӣ – зариви хоси электргузаронӣ – дисперсияи басомадӣ – вақти релаксатсия – диаграммаи Коула-Коула.

S.ODINAEV, R.MAKHMADBEGOV*

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE DIELECTRIC
PROPERTIES OF ELECTROLYTE SOLUTIONS
(SURVEY)**

*Academy of Sciences Republic of Tajikistan,
Tajik National University

The short overview and analysis of theoretical and experimental researches of the dielectric properties of electrolyte solutions have been given. It is shown that the basis of all the achievements of this researches are the formulas of Debye for the investigation of frequency dependence of the coefficients of dielectric susceptibility $\epsilon_1(\omega)$, coefficients of dielectric losses $\epsilon_2(\omega)$, loss tangent $\varphi(\omega)$ and the Cole-Cole diagram. The generalization of these results with taking into account the contributions of structural relaxation to these factors, as well as the definition of the link $\gamma(\tau)$ with the structure of the solution, i.e. with the radial distribution function $g(r)$ is suggested.

Key words: coefficient of dielectric susceptibility and dielectric losses – coefficient of specific electroconductivity – frequency dispersion – relaxation time – Cole-Cole diagram of the dielectric susceptibility.

УДК 535.34+535.375.54

С.Ш.ДАВЛЯТМАМАДОВА, Т.ШУКУРОВ, Р.МАРУПОВ

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОРНЕВИЦА
РОДИОЛЫ ХОЛОДНОЙ (*Rhodiola qelida* Schrenk) В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ МЕСТА ПРОИЗРАСТАНИЯ**

Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 04.01.2013 г.

В статье представлены ИК-спектроскопические данные корневища родиолы холодной, произрастающей в разных регионах Таджикистана на разных высотах над уровнем моря. Установлено, что формирование системы водородных связей родиолы зависит от места (высоты) произрастания и экологического состояния окружающей среды. Полоса поглощения 1600 см^{-1} отнесена к поглощениям сопряженных $\text{C}=\text{C}$ связей веществ в органах родиолы, а следы слабой полосы при 1680 см^{-1} к $\text{C}=\text{O}$ связям, входящим в ядро флавоноидов. Установлено отсутствие карбоксильных групп в биохимическом составе соединения органов родиолы.

Ключевые слова: родиола – корневище – ИК-спектр – места произрастания – высота над уровнем моря – биосинтез – вещества.

Бурное развитие химии синтетических лекарственных препаратов вытеснило на второй план вопрос изучения фармакологических свойств лекарственных растений, хотя определенное количество лечебных препаратов получают из них [1-3].

В периодической литературе, посвященной фармакологическим свойствам лекарственных растений, имеются единичные работы, в которых исследованы спектроскопические свойства растений без химической обработки, то есть в натуральном состоянии. В частности, в [4,5] приведены результаты исследований методом ИК- и КР-спектроскопии состава семян пожитника греческого (*Trigonella foenum graecum* L.) и зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.).

Флора Таджикистана представлена различными видами родиолы, произрастающими в высокогорных районах. В [2,3] упоминается семь разновидностей родиолы и отмечается, что все они характеризуются практически одинаковым химическим составом: гликозиды, дубильные вещества до 7-10%, органические кислоты, эфирное масло, кума-

Адрес для корреспонденции: Шукуров Турсунбой Шукурович. 734062, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: t_shukurov@mail.ru

рины, флавоноиды, фенолы, спирты и сапонины. Настои и отвары из корней родиолы употребляют как средство повышающее работоспособность, противохорадочное средство, а также при нервных, желудочных заболеваниях, желтухе и сильных маточных кровотечениях.

По данным работ [6,7], родиола памироалайская обладает также антинаркотическими и гепатозащитными действиями.

В работах [8-11] методом ИК-спектроскопии были исследованы спектроскопические свойства одуванчика лекарственного и дикорастущего цикория, произрастающих в различных экологических зонах. При этом установлены структурные различия его составных частей в зависимости от экологического состояния окружающей среды. Следовательно, представляют большой интерес исследования влияния места произрастания и высоты над уровнем моря на формирование и накопление различных по химическим свойствам веществ в органах растения.

Экспериментальная часть

Настоящая работа посвящена ИК-спектроскопическому исследованию корневищ родиолы, собранных из различных мест в зависимости от условия местности и высоты произрастания (от 1980 до 3600 м над ур. м.). Образцы для записи ИК-спектров приготовлялись по методике, описанной в работе [8].

Образцы корневищ родиолы были собраны в горах Памира, на территории Рушанского, Шугнанского и Мургабского районов и в горах Зеравшана (в окрестностях курорта Ходжа-Оби-Гарм и Горной Матчи) Республики Таджикистан.

Результаты и их обсуждение

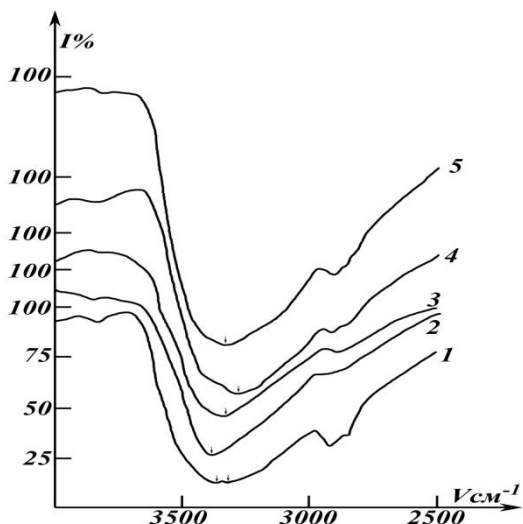


Рис. 1. ИК-спектры корневищ родиолы:
1 – Рушан, 2 – Шугнан, 3 – Мургаб,
4 – Ходжа-Оби-Гарм, 5 – Горная Матча.

На рис. 1 (кривая 1) приведены ИК-спектры корневищ родиолы, собранных на высоте 1980 м над ур. м. (Рушан), в области частот 3800-3000 cm^{-1} . Из рис. видно, что на фоне сильного поглощения наблюдаются следы слабых пиков с максимумами ($\nu_{\text{макс.}}$) при 3365 cm^{-1} . В этой области частот проявляется поглощение валентных колебаний групп ОН, включенных в сильные меж- и внутримолекулярные водородные связи. Следовательно, полосу при 3365 cm^{-1} можно отнести к поглощениям различных по энергии межмолекулярных взаимодействий (ЭММВ). В области частот 3000-2600 cm^{-1} проявляются слабые по интенсивности полосы при 2920 и 2820 cm^{-1} , характерные поглощения симметричных и

антисимметричных валентных колебаний метиленовых групп.

Следы слабых пиков полосы поглощения в области частот 3800-3000 см^{-1} в спектре родиолы из Рушана свидетельствует о различной энергии водородных связей в процессе формирования её молекулярной структуры.

В спектре родиолы, собранной в горах Шугнана (рис. 1, крив. 2) на высоте 2800 м над ур. м., максимум полосы поглощения в области частот 3800-3000 см^{-1} лежит при 3390 см^{-1} . Полученные ИК-спектры по форме полосы поглощения отличаются от спектра корневищ родиолы, собранных в горах Рушана, по положению $\nu_{\text{мак}}$, интегральной интенсивности и полуширины полос, а слабые полосы поглощения при 2910 и 2810 см^{-1} практически сглаживаются.

На рис. 1 (крив. 3) приведены ИК-спектры родиолы, собранной в Мургабе на высоте 3600 м над ур. м. Как видно из рис., он отличается от исследованных спектров корневищ родиолы, собранных в других районах Памира. Интенсивность полосы поглощения в области частот 3800-3000 см^{-1} меньше, хотя $\nu_{\text{мак}}$ полосы лежат при 3350 см^{-1} , а слабые полосы в области частот 3000-2600 см^{-1} , как и в случае образца родиолы из Шугнана, практически сглаживаются.

На рис. 1 (крив. 4-5) приведены ИК-спектры корневищ родиолы, собранных в окрестностях курорта Ходжа-Оби-Гарма (2000 м над ур. м.) и Горный Матча (2500 м над ур. м.). В спектре образца радиолы из Ходжа-Оби-Гарма (рис.1, крив. 4) максимум полосы поглощения ОН-групп лежит при 3300 см^{-1} , а в спектре образца из Горной Матчи (рис.1, крив. 5) максимум полосы смещён в высокочастотную сторону на 50 см^{-1} и проявляется при 3350 см^{-1} . Полученные результаты свидетельствуют о том, что энергия межмолекулярных водородных связей в структуре органов жизнедеятельности родиолы сильнее у образца из окрестностей курорта Ходжа-Оби-Гарм, богатых природными источниками родона. Наблюдаемый фактор можно объяснить влиянием экологического состояния среды произрастания, то есть влиянием радиационного фона естественного родона на биосинтез и структурообразование органов родиолы.

В области частот 3000-2600 см^{-1} (рис.1), где обычно проявляется полоса поглощения валентных колебаний метиленовых групп, входящих в состав продуктов биосинтеза органов родиолы, полоса поглощения более чёткая, как в случае спектра родиолы из гор Рушана.

С целью установления влияния места произрастания на спектроскопические свойства родиолы, была проведена оценка ЭММВ групп, вносящих вклад в поглощения в области частот 3800-3000 см^{-1} .

Для определения энергии водородных связей исходили из данных работы [12], согласно которой энергия водородных связей пропорционально смещению частоты ОН-групп. При расчёте за исходную величину было взято положение $\nu_{\text{мак}}$ полосы поглощения образца из Ходжа-Оби-Гарма.

Расчёт энергии межмолекулярных взаимодействий по смещению частоты максимума полос в области частот $3600-3000\text{ см}^{-1}$ свидетельствует, что вклад водородных связей в ИК-полосах поглощения корней родиолы существенным образом зависит от места произрастания. Рассчитанные значения показывают, что родиола из Шугнана имеет ЭММВ 6.34 кДж , наименьший у родиолы из Ходжа-Оби-Гарма 2.51 кДж , а образцы из Рушана, Мургаба и Горной Матчи имеют $3.53 (\pm 1)\text{ кДж}$, соответственно.

Таким образом, сравнительный анализ полученных ИК-спектров (рис. 1, кривые 1-5) показывают, что процесс формирования системы водородных связей и положения максимума полосы поглощения в области частот $3800-3000\text{ см}^{-1}$ сильно зависит от места произрастания.

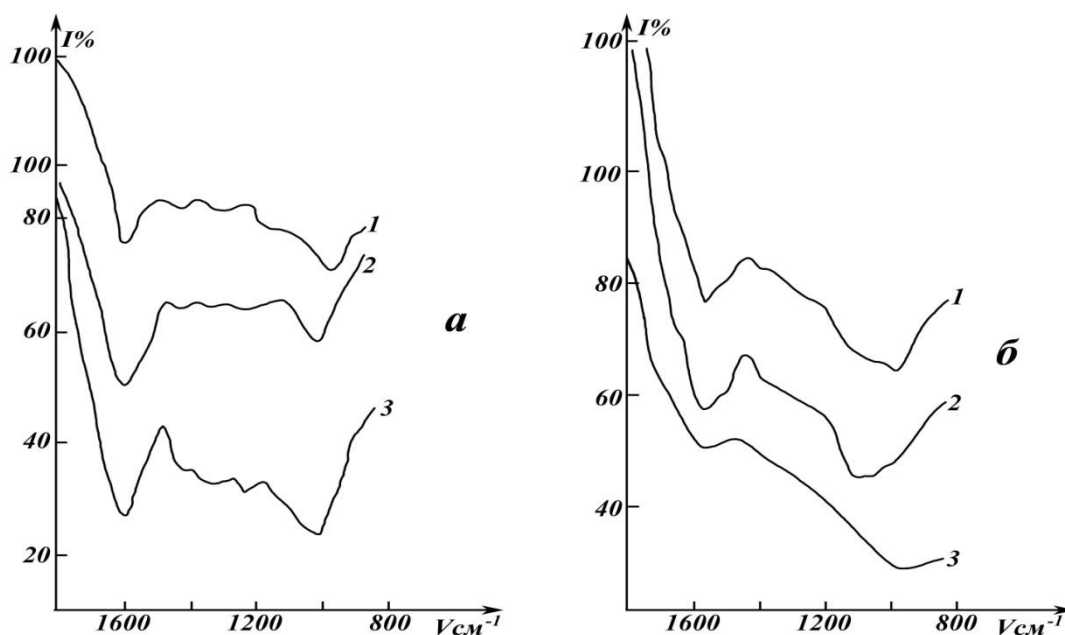


Рис. 2. ИК-спектры корневищ родиолы: а) – до и б) – после катионообмена;
1 – Рушан, 2 – Шугнан, 3 – Мургаб.

В области частот $1800-900\text{ см}^{-1}$ (рис. 2 а, крив.1) для образца родиолы из Рушана наблюдается полоса с $\nu_{\text{макс}}$ при 1600 см^{-1} , а на низкочастотном крыле проявляется слабый выступ при 1550 см^{-1} . В данной области частот наблюдается также ряд слабых по интенсивности полос, с $\nu_{\text{макс}}$ при $1480, 1380, 1230$ и 1020 см^{-1} .

Для образца из Шугнана в области частот $1800-1100\text{ см}^{-1}$ полоса с $\nu_{\text{макс}}$ при 1600 см^{-1} сохраняется (рис. 2 а, крив. 2). Наблюдаемые полосы поглощения в области частот $1400-1100\text{ см}^{-1}$ в спектре родиолы из Шугнана уменьшаются по интенсивности по сравнению со спектром образцов из гор Рушана, а полоса 1020 см^{-1} смещается в низкочастотную сторону на 25 см^{-1} .

В образцах родиолы из Мургаба интенсивности полосы поглощения с $\nu_{\text{макс}}$ при 1600 см^{-1} увеличивается, а структура полос поглощения в области частот $1480-1100\text{ см}^{-1}$

практически сглаживается. Соотношение интенсивности полосы поглощения при 1020 см^{-1} остается такой же, как в спектре родиолы из Рушана.

Сравнительный анализ полученных ИК-спектров родиолы из разных мест показывает, что в области частот $1800\text{-}1000\text{ см}^{-1}$, в спектрах образцов родиолы из окрестности Ходжа-Оби-Гарма и Горной Матчи проявляются следы слабых полос при 1680 и 1650 см^{-1} , соответственно (рис. 3 а, крив. 1, 2). Полоса 1600 см^{-1} сохраняет свой максимум, а слабый пик при 1550 см^{-1} , характерный для образцов родиолы из Памира, растёт по интенсивности, а полосы, проявляющейся в области частот $1500\text{-}1000\text{ см}^{-1}$, становятся более чёткими и интенсивными.

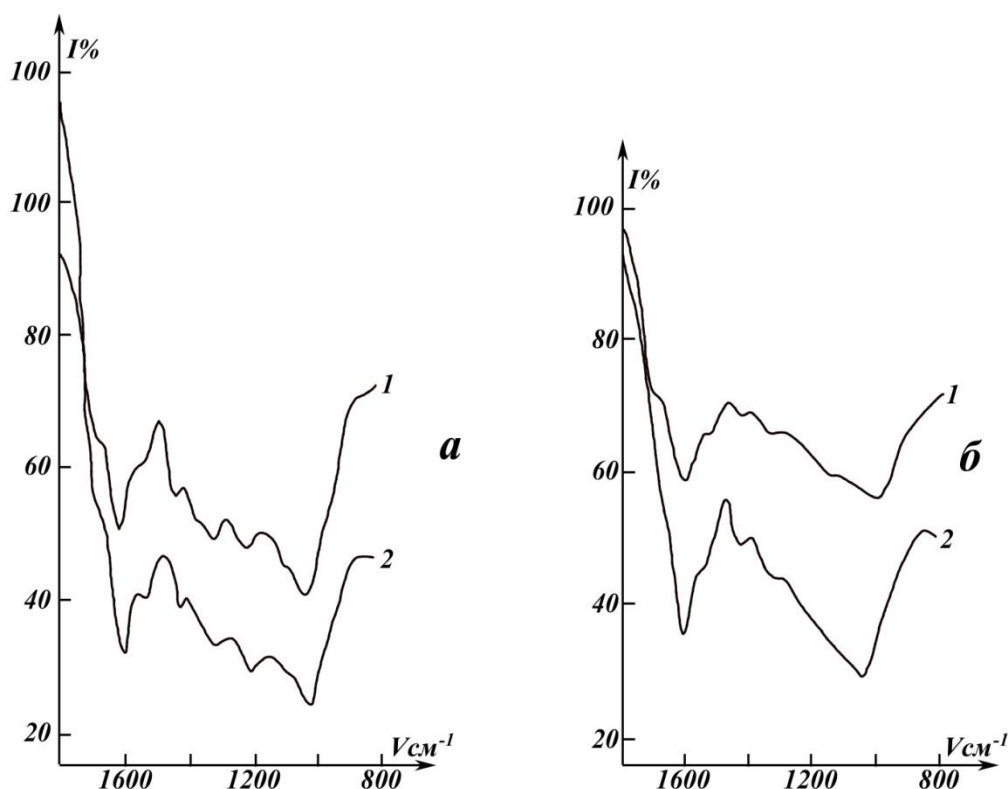


Рис. 3. ИК-спектры корневищ родиолы: а) – до и б) - после катионообмена;
1 – Ходжа-Оби-Гарм, 2 – Горная Матча.

Слабую по интенсивности выступа при 1680 (1650) см^{-1} на высокочастотном крыле полосы поглощения 1600 см^{-1} следует отнести к поглощениям $>\text{C}=\text{O}$ карбонильных групп, а полосу 1600 см^{-1} – к двойным сопряжённым $-\text{C}=\text{C}-$ связям, входящим в ядро пигментов, флавоноидов и оксифенолов в составе структур различных низкомолекулярных веществ органов родиолы.

Для подтверждения принадлежности следов полосы при 1680 (1650) см^{-1} к связям $>\text{C}=\text{O}$ исследовали ИК-спектры образцов родиолы, подвергнутых катионообмену, согласно [9]. Полученные ИК-спектры показывают, что при катионообмене положение выступа при 1680 (1650) см^{-1} не меняется (рис. 2 б, крив. 1-3 и 3 б, крив. 1,2), то есть образцы ро-

диола не вступают во взаимодействие с катионами, что является доказательством отсутствия карбоксильных групп в продуктах биосинтеза органов родиолы независимо от места произрастания.

Анализ полученных ИК-спектров образцов корневищ родиолы, собранных в различных районах Памира и с разных высот над ур. м., свидетельствует о существенном различии структурообразования веществ органов родиолы, то есть процесса биосинтеза и накопления компонентов органов жизнедеятельности растения.

Следовательно, экологические условия места произрастания родиолы существенным образом влияют, по данным ИК-спектров, на формирование и жизнедеятельность органов растения, то есть природы меж- и внутримолекулярных водородных связей, что является важным и определяющим фактором биологических и фармакологических свойств накопленных органических компонентов в органах растения и в формировании его молекулярно-динамических структур.

Заключение

Вышеизложенные спектроскопические данные позволяют утверждать, что:

– системы водородных связей в корневищах родиолы, произрастающей в различных регионах высокогорной зоны Таджикистана, отличаются;

– биосинтез веществ органов жизнедеятельности родиолы существенным образом зависит от экологического состояния окружающей среды и высоты её произрастания над уровнем моря;

– независимо от места произрастания в родиоле происходит накопление определенного количества оксифенольных групп и флавоноидов, о чём свидетельствует положение максимумов полос поглощения 1600 см^{-1} , относящихся к сопряженным —C=C— двойным связям, и следы полосы при $1680\text{ (}1650\text{)}\text{ см}^{-1}$ к связям карбонильных >C=O групп;

– ИК-спектроскопические данные свидетельствуют об отсутствии карбоксильных (—COOH)-групп в составе структуры корневищ родиолы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. – М.: Медицина, 1986, т.1, 140 с.
2. Ходжиматов М. Дикорастущие лекарственные растения Таджикистана. – Душанбе: Главная науч. ред. ТСЭ, 1989, с. 256-257.
3. Хаитов И. – Фармокогенезия в медицине (фитотерапия). – Худжанд, 2005, с.323-327.
4. Эль-Бахи Г.М.С. – Журн. прикл. спектр., т.72, №1, 2005, с. 106-111.
5. Ильяшенко В.Д., Ильяшенко Н.В., Дементьев С.М. и др. – Вестник ТвГУ, серия “Биология и экология”, 2008, вып. 8, с. 71-76.
6. Нуралиев Ю.Н. – Материалы 50-й годичной конф. ТГМУ им.Абуали ибн Сино “Актуальные проблемы клинической онкологии”. – Душанбе, 2002, с. 176-177.
7. Нуралиев Ю.Н., Урунова М.В., Зубайдова Т.М. – Международный научно-практ. журнал «Практическая фитотерапия», 2005, с. 7-10.
8. Шукуров Т., Хаитова З.М., Джураев Ан,А., Марупов Р. – ДАН РТ, 2007, т. 50, № 4, с. 334-339.

9. Шукуров Т., Джураев А.А., Хаитова З.М., Джураев Ан.А., Марупов Р.М. – ДАН РТ, 2007, т. 50, №7, с. 607-612.
10. Shukurov T., Juraev A.A., Khaitova Z.M., Juraev An.A., Marupov R. – Health Phys., 2008, v. 95, № 1, pp. S18 (Supplement to the Health Physics Society Journal), USA.
11. Шукуров Т., Рахматова З., Марупов Р. – ДАН РТ, 2009, т. 52, № 6, с. 449-455.
12. Соколов Д. Н. – Успехи физических наук, 1955, 57, вып. 2, с. 204-276.

С.Ш.ДАВЛЯТМАМАДОВА, Т.ШУКУРОВ, Р.МАРУПОВ

**ХУСУСИЯТҲОИ СПЕКТРОСКОПИИ РЕШАИ ЗАРЧҶҮБ
(*Rhodiola qelida* Schrenk) ВОБАСТА АЗ МУҲИТИ САБЗИШ**

*Институтуи физикаю техникии ба номи С.У.Умарови
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Мақола ба натиҷаҳои бо усули спектроскопияи инфрасурх омӯзиши хусусиятҳои решаи зарҷӯб (зарҷой), ки аз ноҳияҳои гуногуни Тоҷикистон ва аз баландиҳои гуногуни аз сатҳи баҳр чамбовари қарда шудаанд, бахшида шудааст. Муайян қарда шудааст, ки ташаққули алоқаи ҳидрогени зарҷӯб аз ҷой, баланди сабзиш ва экологияи муҳит вобаста мебошад. Соҳаи фурубарии 1600 см^{-1} ба алоқаи —C=C— моддаҳои дар узвҳои зарҷӯб буда ва соҳаи фурубариааш суғ 1680 см^{-1} ба алоқаи >C=O , ки дар ядроии флавоноидҳо ворид буда, вобаста мебошанд. Натиҷаҳои нишон медиҳанд, ки гуруҳи карбоксилӣ дар таркиби пайвастигии биокимёвии маводҳо вучуд надорад.

Калимаҳои калидӣ: зарҷӯб-реша – спектри инфрасурх – муҳити сабзиш – баланди аз сатҳи баҳр – биосинтез мавод.

S.SH.DAVLYTMAMADOVA, T.SHUKUROV, R.MARUPOV

**THE SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF THE RHIZOME RHODIOLA
COLD (*Rhodiola qelida* Schrenk) DEPENDENT ON THE PLACE OF GROWTH**

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

The article presents IR spectroscopic data of a rhizome rhodiola cold, growing in different regions of Tajikistan and different heights above the sea level. It is established that formation of a system of hydrogen interactions of a rhodiola depends on a place of growth and ecological status of an environment. The band of absorption of 1600 cm^{-1} reflects absorption of interfaced —C=C— interaction the substances in organs rhodiola, and traces of a weak band under 1680 cm^{-1} reflect >C=O interactions, which compose nucleus flavonoids. There is shown the absence of carbocils groups in the biochemical compound of connection bodies of a rhodiola.

Key words: rhodiola – rhizome – IR-specter – places of growth – above the sea level – biosynthesis substances.

УДК 536.46

М.М.КАБИЛОВ, Б.ДЖ.ГУЛБОВЕВ*, П.Б.САДРИДДИНОВ**, И.Х.ХАЛИМОВ**

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ
ГАЗОВ ПРИ СИММЕТРИЧНОСТИ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И
КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ**

Российско-Таджикский (Славянский) университет,

**Таджикский национальный университет,*

***Институт математики им. А.Джусураева АН Республики Таджикистан*

Поступила в редакцию

Проведён численный расчёт характеристик волны фильтрационного горения водород- и метановоздушных смесей в инертной пористой среде при симметричном распределении температуры среды и концентрации компонентов. Анализируются скорость волны горения, максимальная температура, коэффициент диффузии и характерный размер в зависимости от скорости вдува смеси газов.

Ключевые слова: скорость волны горения – коэффициент диффузии – скорость вдува газа.

Вопросы применения вычислительного эксперимента для исследования фильтрационного горения были рассмотрены в работе [1] и приведён анализ трёх конкретных примеров фильтрационного горения, в том числе фильтрационное горение составов с инертным наполнителем. В настоящее время имеется достаточное количество работ, посвящённое численному моделированию стационарной и нестационарной структуры волны фильтрационного горения газов (ФГГ) [2-7]. В работе [3] указывались причины, по которым процессы ФГГ чрезвычайно трудны для численного моделирования.

В данной работе исследуется однотемпературная стационарная математическая модель фильтрационного горения газов в инертной пористой среде при симметричном распределении температуры пористой среды и концентрации компонентов. Анализируются зависимости скорости волны горения, коэффициента диффузии, максимальной тем-

Адрес для корреспонденции: Кабилов Маруф Махмудович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. М.Турсун-заде, 30, Российско-Таджикский (Славянский) университет. E-mail: maruf1960@maill.ru; Гулбоев Бахтиёр Джуракулович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: bakhtiyor-2012@mail.ru.

пературы и характерного размера от скорости вдува при горении водородно- и метановоздушной смесей.

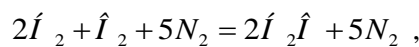
Математическая модель стационарного распространения волны ФГГ в инертной пористой среде при условии интенсивного теплового межфазного взаимодействия состоит из уравнения переноса тепла (в системе пористая среда и смеси газов) и массы компонентов записанные в движущейся со скоростью U системе координат и уравнение состояния в предположении постоянства давления

$$\begin{aligned} (\rho_{10}(v_{10} + U)c_p + \rho_2 c_2 U) \frac{dT}{dx} &= (\alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2) \frac{d^2 T}{dx^2} + \rho_1 J Q, \\ \rho_{10}(v_{10} + U) \frac{d\eta_{1(i)}}{dx} &= \rho_1 D_{1(i)} \frac{d^2 \eta_{1(i)}}{dx^2} + \rho_1 \zeta_{1(i)} J, \\ J = \eta_{1(k_*)} k_0 \exp(-E/RT), \zeta_{1(i)} &= \frac{g_{1(i)} (v_{1(i)}'' - v_{1(i)}')}{g_{1(k_*)} (v_{1(k_*)}'' - v_{1(k_*)}')}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, k, \quad \rho_1 T_1 = \rho_{10} T_0.$$

Здесь ρ_{10} – приведённая плотность исходной смеси газов, v_{10} – скорость вдува газа, U – скорость волны горения, ρ_1, c_p – приведённая плотность и теплоёмкость смеси газов соответственно, ρ_2, c_2 – те же величины для пористой среды, T – температура среды, T_0 – температура внешней среды, α_1, α_2 – объёмные содержания газа и пористой среды, λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности газа и пористой среды, J – скорость химической реакции, Q – тепловой эффект реакции, $\eta_{1(i)}$ – массовая концентрация компонентов газовой смеси; $\eta_{1(k_*)}$ – недостающий компонент газовой смеси, E – энергия активации, – универсальная газовая постоянная, k_0 – предэкспонент, $v_{1(i)}', v_{1(i)}''$ – стехиометрические коэффициенты исходных и конечных компонентов соответственно, $v_{1(k_*)}', v_{1(k_*)}''$ – стехиометрические коэффициенты исходных и конечных компонентов недостающего компонента газовой смеси соответственно, $g_{1(i)}$ – молекулярные веса компонентов газовой смеси, $g_{1(k_*)}$ – молекулярный вес недостающего компонента газовой смеси, – количество компонентов газовой смеси. Например, для водорода $k = 4$, а для метана $k = 5$.

Математическую модель (1) рассмотрим в случае водородно- и метановоздушных смесей. Формальные записи окисления водорода и метана в воздухе соответственно имеют вид



$$\tilde{N}I_4 + 2\hat{I}_2 + 5N_2 = \tilde{N}\hat{I}_2 + 2\hat{I}_2\hat{I} + 5N_2.$$

Здесь в случае водорода (первая формула) коэффициенты исходных и конечных веществ соответственно равны

$$\begin{aligned} v'_{1(1)} &= 2, v'_{1(2)} = 1, v'_{1(3)} = 0, v'_{1(4)} = 5, \\ v''_{1(1)} &= 0, v''_{1(2)} = 0, v''_{1(3)} = 2, v''_{1(4)} = 5, \end{aligned}$$

а в случае метана

$$\begin{aligned} v'_{1(1)} &= 1, v'_{1(2)} = 2, v'_{1(3)} = 0, v'_{1(4)} = 0, v'_{1(5)} = 5, \\ v''_{1(1)} &= 0, v''_{1(2)} = 0, v''_{1(3)} = 2, v''_{1(4)} = 1, v''_{1(5)} = 5. \end{aligned}$$

Учитывая коэффициенты исходных и конечных веществ и молекулярные веса каждого компонента в водородно-воздушной смеси ($g_{1(1)} = 2, g_{1(2)} = 32, g_{1(3)} = 18, g_{1(4)} = 28$) и метановоздушной смеси ($g_{1(1)} = 16, g_{1(2)} = 32, g_{1(3)} = 18, g_{1(4)} = 44, g_{1(5)} = 28$)), получим значения $\zeta_{1(i)}$ для указанных выше смесей соответственно

$$\begin{aligned} \zeta_{1(1)} &= -1/8, \zeta_{1(2)} = -1, \zeta_{1(3)} = 9/8, \zeta_{1(4)} = 0, \\ \zeta_{1(1)} &= -1, \zeta_{1(2)} = -4, \zeta_{1(3)} = 9/4, \zeta_{1(4)} = 11/4, \zeta_{1(5)} = 0. \end{aligned}$$

Преобразуя переменные x и T в виде $x = x'L, T = T_0 + \theta(T_e - T_0)$, и $\eta_{1(i)}$ в случаях водородно-воздушной

$$\eta_{1(1)} = n_{1(1)}\zeta_{1(1)}\eta_{1(2)0} + \eta_{1(1)0}, \eta_{1(2)} = n_{1(2)}\eta_{1(2)0}, \eta_{1(3)} = n_{1(3)}\zeta_{1(3)}\eta_{1(2)0},$$

и метановоздушной смесей

$$\begin{aligned} \eta_{1(1)} &= (n_{1(1)} - 1)\zeta_{1(1)}\eta_{1(1)0}, \eta_{1(2)} = \left(1 - \frac{n_{1(2)}}{\dot{A}}\right)\eta_{1(2)0}, \dot{A} = -\zeta_{1(2)}\frac{\eta_{1(1)0}}{\eta_{1(2)0}}, \\ \eta_{1(3)} &= \left[\zeta_{1(1)}(n_{1(3)} - 1) - 1\right]\frac{\zeta_{1(3)}}{\zeta_{1(1)}}\eta_{1(1)0}, \\ \eta_{1(4)} &= \left[\zeta_{1(1)}(n_{1(4)} - 1) - 1\right]\frac{\zeta_{1(4)}}{\zeta_{1(1)}}\eta_{1(1)0}, \end{aligned}$$

где

$$T_e = T_0 + \frac{\eta_0 Q}{c_p u_\varphi}, u_\varphi = 1 + \frac{\varphi}{1 + u_0}, \varphi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_{10} c_p}, u_0 = \frac{v_{10}}{U}$$

$$L = \frac{\kappa}{(v_{10} + U)} \cdot \frac{\Lambda}{u_\varphi}, \kappa = \frac{\lambda_1}{\rho_{10}^0 c_p}, \Lambda = 1 + \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\alpha_1 \lambda_1}, Le_{eff(i)} = \frac{Le(i)}{\Lambda}, Le(i) = \frac{D_{1(i)}}{k}.$$

систему (1) для метановоздушной смеси имеем в виде

$$\begin{aligned}
\frac{d\theta}{dx} &= \frac{d^2\theta}{dx^2} + a \cdot \bar{J}, \quad \bar{J} = n_{1(1)} \exp(-E / R(T_0 + \theta(T_e - T_0))), \\
\frac{dn_{1(1)}}{dx} &= Le_{eff(1)} u_\varphi \frac{d^2 n_{1(1)}}{dx^2} + a \cdot \bar{J}, \quad \frac{dn_{1(2)}}{dx} = Le_{eff(2)} u_\varphi \frac{d^2 n_{1(2)}}{dx^2} - a \cdot \bar{J}, \\
\frac{dn_{1(3)}}{dx} &= Le_{eff(3)} u_\varphi \frac{d^2 n_{1(3)}}{dx^2} + a \cdot \bar{J}, \quad \frac{dn_{1(4)}}{dx} = Le_{eff(4)} u_\varphi \frac{d^2 n_{1(4)}}{dx^2} + a \cdot \bar{J}, \\
\rho_1 (v_1 + U) &= \rho_{10} (v_{10} + U), \quad \rho_1 (T_0 + \theta(T_e - T_0)) = \rho_{10} T_0, \\
a &= \rho_1 k_0 L / \rho_{10} (v_{10} + U).
\end{aligned} \tag{2}$$

Система (2) при отсутствии уравнения для 4-го компонента описывает горение водородно-воздушной смеси.

При условии $Le_{eff(i)} u_\varphi = 1$, все дифференциальные уравнения системы (2) примут подобный друг другу вид, следовательно, можно найти линейные зависимости переменных функций

$$n_{1(1)} = \theta, \quad n_{1(2)} = \theta \dot{A}, \quad \dot{A} = -\frac{\zeta_{1(2)} n_{1(1)0}}{n_{1(2)0}}, \quad n_{1(3)} = \theta, \quad n_{1(4)} = \theta, \tag{3}$$

для метановоздушной смеси, и

$$n_{1(1)} = \theta, \quad n_{1(2)} = 1 - \theta, \quad n_{1(3)} = \theta \tag{4}$$

для водородно-воздушной смеси.

При условии (3) (или (4)) все дифференциальные уравнения для концентрации компонентов (2) примут вид первого уравнения системы (2), поэтому численный расчёт производился относительно этого уравнения. Численно задача решалась методом Рунге-Кутты четвёртого порядка точности. Стационарную скорость волны U , входящую в коэффициент a , подбирали из выполнения граничных условий ($x = -\infty, \theta = 0, x = +\infty, \theta = \theta_e$). Численный расчёт производился для трёх составов метановоздушных (7.5% CH_4 +воздух, 8.5% CH_4 +воздух и 9.5% CH_4 +воздух) и водородно-воздушных (65% H_2 +воздух, 55% H_2 +воздух и 33% H_2 +воздух) смесей. В каждом случае скорость вдува варьировали от 0.5 м/с до 6 м/с с интервалом 0.5 м/с. Все расчётные варианты распределения температуры для водородо- и метановоздушных смесей имеют подобный вид

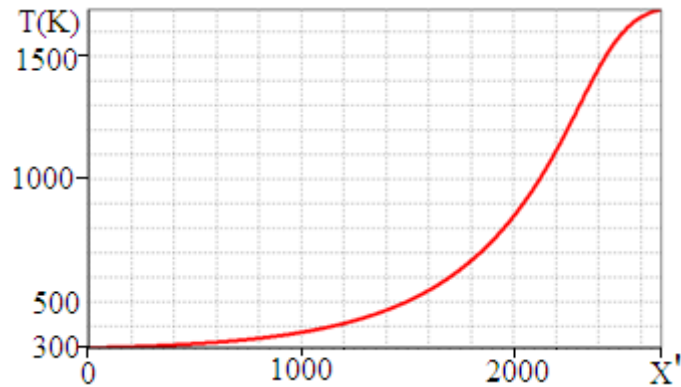


Рис.1. Профиль температуры водородно-воздушной смеси при 65% H_2 +воздух.

На рис.1 на оси абсцисс находится безразмерная продольная координата, а на оси ординат температура в кельвинах, которая изменяется от 300 К до равновесной температуры 1727 К. Другие параметры, соответствующие этому варианту, следующие: $U = -0.000113$ м/с; $v_{10} = 2.0$ м/с; $D = 0.0083$ м²/с; $L = 0.0042$ м. Отметим, что на рисунке каждого варианта распределения температуры приводятся скорость волны – U (м/с), скорость вдува смеси газов – v_{10} (м/с), коэффициент диффузии – D (м²/с), равновесная температура – T_e (К), характерный размер – L (м) и исходная концентрация кислорода – η_0 .

Результаты численных расчётов скорости волны горения от основных параметров системы приведены в виде графиков на рисунках 2-5.

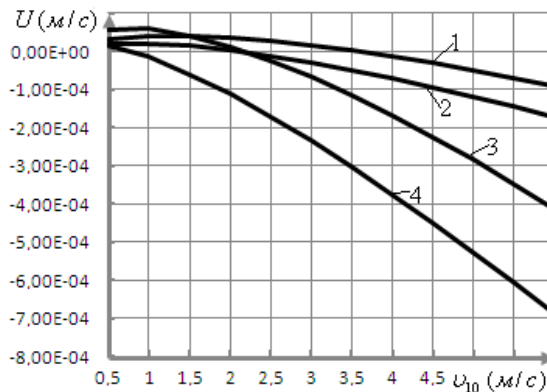


Рис. 2. Зависимость $U(v_{10})$ при различных составах смеси газов:

1 – 8.5% CH_4 +воздух, 2 – 9.5% CH_4 +воздух, 3 – 55% H_2 +воздух, 4 – 65% H_2 +воздух.

На рис.2 приводятся кривые зависимости скорости волны горения от скорости вдува газа $U(v_{10})$ при следующих составах смеси метана (8.5%, 9.5%) и водорода (55%, 65%) в воздухе. На рисунке видно, что при увеличении доли горючего газа в смеси кривые зависимости располагаются всё ниже и ниже, что означает увеличение скорости вол-

ны горения навстречу потоку. Интервалы изменения скорости волны горения при варьировании скорости вдува от 0.5 м/с до 6 м/с и увеличении процентного содержания горючего газа в водородно-воздушной (33% H₂+воздух, 55% H₂+воздух, 65% H₂+воздух) и метановоздушной (7.5% CH₄+воздух, 8.5% CH₄+воздух, 9.5% CH₄+воздух) смесями соответственно равны (-0.00069 м/с; 0.0000586 м/с) и (-0.0002538 м/с; 0.0000403 м/с). Далее, на рис.2 можно также заметить, что стоячая волна горения ($U = 0$) реализуется для всех рассмотренных составов смеси при относительно больших скоростях вдува: $v_{10} = 3.5 \text{ м/с}$ – для кривой (8.5% CH₄), $v_{10} = 2 \text{ м/с}$ – для кривых 2 (8.5% CH₄) и 3 (55% H₂), $v_{10} = 0.5 \text{ м/с}$ – для кривой 4(65% H₂).

Эффекты диффузии компонентов газовой смеси могут существенно менять характеристики газового пламени. При фильтрационном горении газов проявления эффектов диффузии неизбежно, ввиду самой структуры пористой среды. В связи с этим определили интервал изменения коэффициента диффузии для каждого состава смеси газов, варьируя скорость вдува. Расчёт коэффициента диффузии производился по формуле, которую получаем из условия симметричности профилей температуры пористой среды и концентрации компонентов $D = \Lambda \kappa / u_{\phi}$.

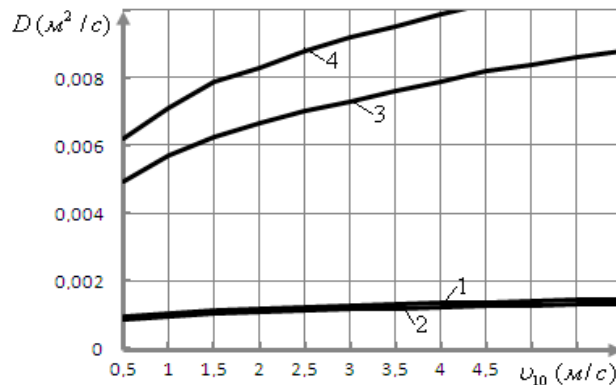


Рис. 3. Зависимость $D(v_{10})$ при различной смеси газов:

1 – 8.5% CH₄+воздух, 2 – 9.5% CH₄+воздух, 3 – 55% H₂+воздух, 4 – 65% H₂+воздух.

На рис. 3 приводятся кривые зависимости коэффициента диффузии от скорости вдува при водородно- и метановоздушных смесях. Из этого рисунка видно, что при увеличении доли горючего газа в смеси и скорости вдува кривые зависимости располагаются всё выше и выше в случае водородно-воздушной смеси и, наоборот, для метановоздушной смеси.

Для определения влияния скорости вдува газа на максимальную температуру расчёты проводились по формуле $T_e = T_0 + \eta_0 Q / c_p u_{\phi}$ при заданных скоростях вдува газа. Зависимости максимальной температуры от скорости вдува при различных составах водорода (55%, 65%) и метана (8.5%, 9.5%) в смеси приведены на рис.4. Заметим, что при

уменьшении доли воздуха в обеих смесях и увеличении скорости вдува максимальная температура повышается для всех рассмотренных составов.

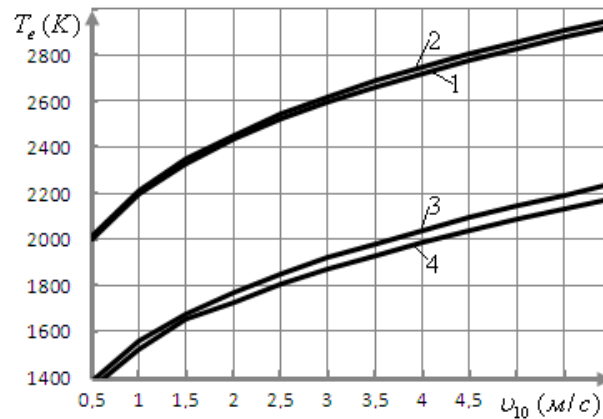


Рис. 4. Зависимость $T_e(\nu_{10})$ при различной смеси газов:

1 – 8.5% CH_4 +воздух, 2 – 9.5% CH_4 +воздух, 3 – 55% H_2 +воздух, 4 – 65% H_2 +воздух.

При одних и тех же скоростях вдува максимальная температура в метановоздушной смеси выше, чем в водородно-воздушной смеси.

Дополнительно рассчитаны кривые зависимости характерного размера от скорости вдува по формуле $L = \kappa \Lambda / (\nu_{10} + U) u_\phi$ для вышеуказанных смеси газов.

Для сравнения с характерным размером L , вычислили толщину, определяемую отношением коэффициента диффузии к скорости вдува – D / ν_{10} . Ниже в таблице приводится закономерность этого отношения и характерного размера с увеличением скорости вдува и процентного содержания горючего газа в смеси.

Водородно-воздушная смесь				
	ν_{10} (м/с)	0.5	1.5	3
33% H_2	D (м ² /с)	0.00345	0.00439	0.00519
	D / ν_{10} (м)	0.0069	0.00293	0.00173
	L (м)	0.0069	0.00292	0.00173
65% H_2	D (м ² /с)	0.00618	0.0079	0.00918
	D / ν_{10} (м)	0.01236	0.005266	0.00306
	L (м)	0.01236	0.00527	0.00306
Метановоздушная смесь				
7.5% CH_4	D (м ² /с)	0.00105	0.00126	0.00519
	D / ν_{10} (м)	0.0021	0.00084	0.000473
	L (м)	0.0021	0.000838	0.000473
9.5% CH_4	D (м ² /с)	0.000847	0.00101	0.00114
	D / ν_{10} (м)	0.001684	0.000673	0.00038
	L (м)	0.00169	0.000675	0.000382

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкадинский К.Г., Ивлева Т.П., Степанов Б.В. - Сб. науч. трудов. Распространение тепловых волн в гетерогенных средах. – Новосибирск: Наука СО, 1988, 286 с.
2. Вайнштейн П.Б., Кабилов М.М. –Изв. АН ТаджССР. Отд. физ.-мат. и хим.-геол. наук, 1991, №4, с. 47-51.
3. Лаевский Ю.М., Яушева Л.В. - Вычислительные технологии, 2007, т.12, №2, с. 90-103.
4. Кабилов М.М., Садриддинов П.Б., Халимов И.Х. –Изв. АН РТ, Отд. физ.-мат., хим., геол. и тех. н., 2011, №1(142), с. 47-54.
5. Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Мбарова М. - Физика горения и взрыва, 2006, т. 42, № 4, с. 8-20.
6. Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Намятов И.Г., Рычков А.Д. - Пожарная безопасность, 2006, № 5, с. 59-72.
7. Какуткина Н.А., Коржавин А.А., Рычков А.Д. - Вычислительные технологии, 2008, т. 13, с. 212-219.

М.М.ҚОБИЛОВ, Б.Қ.ГУЛБОВ*, П.Б.САДРИДДИНОВ**, И.Ҳ.ҲАЛИМОВ**

МОДЕЛРОНИИ АДАДИИ СЌЗИШИ ФИЛТРОНИИ ГАЗҲО ҲАНГОМИ СИММЕТРИ БУДАНИ ПРОФИЛҲОИ ҲАРОРАТ ВА КОНСЕНТРАТСИЯИ ТАРКИБАҲО

Донишгоҳи (Славяниш) Русияю Тоҷикистон,

**Донишгоҳи миллии Тоҷикистон,*

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

Нисбати характеристикаҳои мавҷи сӯзиши филтронаи омехтаҳои гидрогену ҳаво ва метану ҳаво дар муҳити ковоки инертӣ, ҳангоми симметрии будани профилҳои ҳарорати муҳит ва концентратсияи таркибаҳо ҳисобкунҳои ададӣ гузаронида шудааст. Вобастагҳои суръати мавҷи сӯзиш, ҳарорати максималӣ, коэффисиенти диффузия ва андозаи мутобиқ аз суръати ҳаводихии омехтаи газҳо таҳлил карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: суръати мавҷи сӯзиш – коэффисиенти диффузия – суръати ҳаводихии газ.

M.M.KABILOV, B.J.GULBOEV*, P.B.SADRIDDINOV**, I.H.HALIMOV**

**NUMERICAL MODELING OF FILTRATION COMBUSTION OF GASES FOR
THE SYMMETRY OF THE PROFILES OF TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF COMPONENTS**

Russian-Tajik (Slavic) University,

**Tajik National University,*

***Institute of Mathematics, Academy Sciences of the Republic of Tajikistan*

The numerical calculation of wave characteristics of filtration combustion of hydrogen- and methane-air mixtures in an inert porous medium with a symmetrical distribution of the medium temperature and the concentration of the components. Analyzes the speed of the combustion wave, the maximum temperature, the diffusion coefficient and the characteristic size depending on the speed of injection gas mixture

Key words: the speed of the combustion wave – the diffusion coefficient – speed gas injection.

УДК 538

Ф.Х.КАРИМОВ

**КОЭРЦИТИВНОСТЬ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛАСТИН
С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ЛИНЕЙНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию

На основе общих принципов количественных исследований доменных структур ферромагнетиков изучается модель процесса прохождения доменной стенки через магнитный линейный дефект кристаллической структуры при перемагничивании тонкой пластины. Выявленные закономерности дали основание сформулировать рекомендации для применения ряда магнитных методов в нанотехнологиях, а также в интерпретациях магнитных свойств горных пород.

Ключевые слова: доменная структура ферромагнетиков – доменные стенки – поверхностные магнитные неоднородности.

На основе общих принципов ферромагнетизма доменных структур [1] рассматриваются модели, в которых векторы намагниченностей смежных доменов направлены противоположно друг другу и копланарно плоскости пластины, так что магнитные поля рассеяния на границах доменов с компланарными поверхностями пластины отсутствуют, а с торцевыми – малы. Исследуются три случая, соответственно трём количественным соотношениям между толщиной доменной границы и размерами дефектов: граница бесконечно тонкая, толщина границы меньше, но соизмерима с размерами дефекта, и толщина границы больше размеров дефекта.

Рассмотрим сначала доменную структуру в пластине с линейным врезом у верхней плоскости, имеющим форму равнобедренного треугольника с основанием $2a$ и высотой b в правой прямоугольной системе координат $Oxyz$. Ось z направлена перпендикулярно в сторону от плоскости рис.1. Намагниченность \mathbf{J} в левом домене направлена вдоль оси z , в этом же направлении – магнитное поле с вектором \mathbf{H} . Намагниченность в

Адрес для корреспонденции: Каримов Фаршед Хилолович. 734063, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул.Айни, 263, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: fhkarim85@gmail.com

правом домене направлена вдоль оси $-z$. Линейные размеры пластины L в направлениях x, z будем считать много большими её толщины D (рис.1). Будем считать линейные неоднородности макроскопическими, если не оговорено, что рассматривается микроскопический масштаб. Высоту b будем считать, по крайней мере, в несколько раз меньшей по сравнению с толщиной пластины, так что структура доменной границы не нарушена. Эффекты искривлений доменной границы рассматривать не будем.

В соответствии с термодинамическими принципами расчётов доменных структур [1] будем считать, что их равновесное состояние определяется из условия минимума свободной энергии. Будем рассматривать наиболее часто встречающийся случай, когда три вида энергий взаимодействий играют основную роль в формировании и свойствах доменных структур: собственная энергия доменной границы, собственная магнитостатическая энергия и энергия доменов во внешнем магнитном поле. Поскольку векторы намагниченностей доменов в рассматриваемом случае параллельны плоскостям пластины, то магнитных полей рассеяния нет, и собственную магнитостатическую энергию пластины в расчёт принимать не будем.

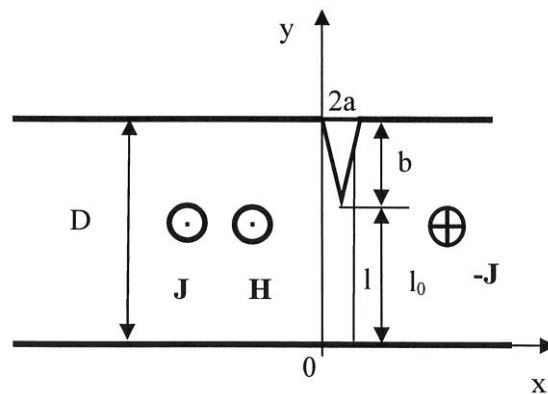


Рис. 1. Схема доменной пластины с линейным врезом.

Поскольку пластина считается достаточно протяжённой, $L \gg D$, то граница под действием предельно слабого внешнего поля, направленного параллельно оси z , подойдёт к основанию вреза с координатой $x = 0$. Далее верхняя часть доменной границы будет смещаться по левой боковой плоскости вреза до положения $x = a$, поскольку при этом уменьшается свободная энергия доменной границы и уменьшается магнитостатическая энергия во внешнем поле. Кроме того, сокращение длины доменной границы, будет способствовать снижению и собственной энергии магнитостатических взаимодействий самой доменной границы. Действительно, если для оценки последней выбрать, например, модель эллиптического цилиндра длиной L , с короткой и длинной осями сечения соответственно δ и l , то для собственной магнитостатической энергии границы можно получить выражение (см. в книге [1])

$$W_m = \frac{1}{2} J^2 \frac{l^2 \delta L}{l + \delta}, \quad (1)$$

где l – линейный размер доменной границы в направлении оси y .

Выражение (1) показывает, что при одних и тех же длине L и толщине границы δ энергетически выгодно сокращение границы в направлении оси y за счёт притяжения «магнитных зарядов» противоположных полюсов и отталкивания «зарядов» одноимённых полюсов, когда она расположена в интервале $a \geq x \geq 0$.

Состояние с наименьшей площадью доменной границы, когда $x = 0$, очевидно, будет энергетически выгодным, но для дальнейшего движения доменной стенки из-за роста её площади требуется рост внешнего поля в направлении $z > 0$.

Составим выражение для свободных энергий в случае, когда граница занимает некоторое положение в интервале $2a \geq x \geq a$. Для энергии стенки имеем –

$$W_\gamma = \gamma L \left(D - \frac{b}{a} x \right), \quad (2)$$

где γ – плотность поверхностной энергии доменной границы, включающей магнитокристаллические и магнитоупругие взаимодействия [1].

Для энергии доменов во внешнем магнитном поле H будем иметь выражение

$$W_h = -HJL \left(-a(2l_0 - b) + 2Dx - \frac{b}{a} x^2 \right). \quad (3)$$

Тогда на основании (2) и (3) можно составить выражение для свободной энергии рассматриваемой доменной структуры в виде

$$F_1 = \gamma L \left(D - \frac{b}{a} x - h \left[a(2l_0 - b) + 2Dx - \frac{b}{a} x^2 \right] \right), \quad (4)$$

где введено обозначение для нормированного магнитного поля – $h = \frac{HJ}{\gamma}$.

Элементарный анализ минимума полной энергии структуры (4) показывает, что при значениях поля, меньших критического h_c ,

$$h_c = \frac{b}{2l_0 \gamma a}, \quad (5)$$

доменная граница фиксируется в вершине вреза в положении с координатой $x = a$. В критическом поле h_c (5), соответствующем значению внешнего магнитного поля

$$H_c = \frac{\gamma b}{2J_0 a}, \quad (6)$$

положение доменной границы становится неустойчивым, и она прорывается до перемагничивания пластины в направлении z .

В пределе очень узкого вреза, как показывают выражения (5) и (6), значения критического поля стремятся к ∞ , что противоречит практически наблюдаемым значениям – это один из вариантов парадокса коэрцитивной силы, известного в физике магнитных доменов (см., например, в [1]). Причина возникновения парадокса в том, что при стремлении $a \cong 0$ a становится сравнимой или меньшей толщины доменной границы и необходимо принимать во внимание процесс перехода доменной границы конечной толщины через положение равновесия в $x = 0$ (рис.2).

Рассмотрим переход доменной границы конечной толщины δ через положение средней её линии с координатой $x = 0$ в промежутке от $a \geq x \geq -a$.

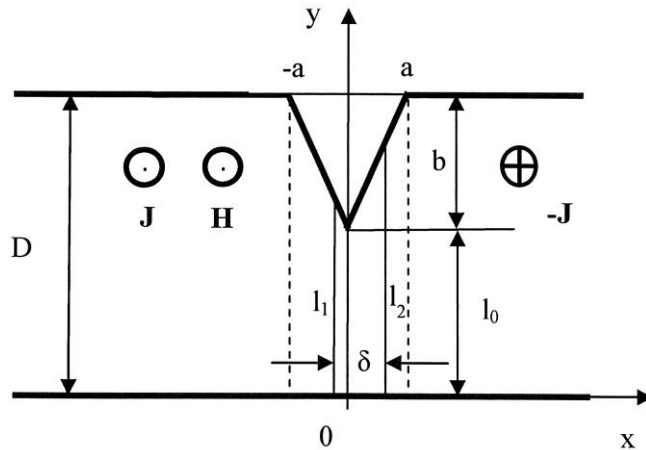


Рис.2. Схема доменной структуры с границей конечной толщины δ .

Энергию доменной границы представим с помощью её объёмной плотности ρ :

$$W_\rho = \rho L \left(l_0 \delta + \frac{b}{a} \left(x^2 + \frac{\delta^2}{4} \right) \right), \quad (7)$$

где $\rho = \frac{\gamma}{\delta}$, в силу определений объёмной и поверхностной плотностей энергии.

Вычисления для магнитостатической энергии пластины во внешнем магнитном поле приводят к следующему выражению

$$W_h = -HJL \left(2l_0 + \frac{b}{a} \delta \right) x. \quad (8)$$

Из (7) и (8) следует выражение для полной свободной энергии

$$F_2 = \gamma L \left(l_0 + \frac{b\delta}{4a} x + \frac{bx^2}{a\delta} - h \left(2l_0 + \frac{b\delta}{a} \right) x \right). \quad (9)$$

Соотношение (9) показывает, что в нулевом внешнем магнитном поле положение границы, симметричное относительно $x = 0$, – равновесное, отвечающее минимуму свободной полной энергии. Однако при квазистатическом увеличении этого поля в направлении z доменная граница плавно, квазиравновесно, смещается в направлении x , и равновесная координата границы x_0 определяется из условия минимума F_2 из (9):

$$x_0 = h\delta \left(\frac{al_0}{b} + \frac{\delta}{2} \right). \quad (10)$$

Доменная граница пройдёт вершину вреза при $x_0 = \frac{\delta}{2}$. Как вытекает из (10), это произойдёт в магнитном поле, нормированная величина которого равна

$$h_k = \frac{b}{2al_0 + b\delta},$$

а величина самого поля

$$H_k = \frac{\gamma b}{J(2al_0 + b\delta)}. \quad (11)$$

Из (12) следует, что даже при узком дефекте-врезе, когда $a \cong \delta$, значение критического поля остаётся конечным. Таким образом, учёт конечности толщины доменной границы позволяет избежать в (6) так называемого парадокса коэрцитивной силы [1].

Если основание вреза много меньше толщины границы, $\delta \gg a$, но остаётся величиной макроскопической, то, очевидно, влияние неоднородности не будет существенно сказываться на движении доменной границы. Действительно, объём границы тогда много больше объёма вреза и энергетический барьер для границы несущественен. Но, если узкий врез представляет собой не макроскопический, а микроскопический дефект, то может нарушаться сплошность границы из-за исчезновения обменного взаимодействия электронных спинов, расположенных по обе стороны от плоского дефекта. Если при этом высота вреза b много меньше толщины пластины D , то, очевидно, влияние кристаллического дефекта несущественно, коэрцитивность пластины изменяется незначительно, но, если b порядка толщины пластины, то нарушаются условия существования рассматриваемой доменной структуры и необходимо специальное исследование роли дефекта.

Рассмотрим теперь доменную структуру в пластине с линейным выступом у верхней плоскости, имеющим форму равнобедренного треугольника с основанием $2a$ и вы-

сотой b в правой прямоугольной системе координат $Oxuz$ (рис.3). Все остальные величины остаются как в рассмотренном случае вреза (рис.1).

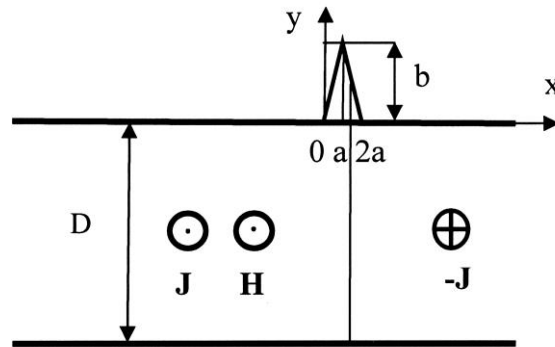


Рис. 3. Доменная пластина с линейным выступом.

Так как пластина достаточно протяжённая, $L \gg D$, то малое внешнее магнитное поле подвигает доменную границу до основания выступа в положение $x = 0$. Дальнейшее продвижение границы требует увеличения поля, поскольку его работа пойдёт на увеличение площади границы и увеличение энергии границы. Составим выражение для свободной энергии границы

$$W_\gamma = \gamma L \left(D + \frac{b}{a} x \right), \quad (12)$$

которое отличается от выражения для случая вреза (2) знаком перед вторым слагаемым.

Для энергии во внешнем магнитном поле –

$$W_h = -HJL \left(-a(2D+b) + 2Dx + \frac{b}{a} x^2 \right). \quad (13)$$

Тогда на основании (12) и (13) полная энергия запишется в виде

$$F_3 = \gamma L \left(D + \frac{b}{a} x - h \left(-a(2D+b) + 2Dx + \frac{b}{a} x^2 \right) \right). \quad (14)$$

Анализ минимума полной энергии структуры (14) показывает, что с учётом конечности толщины границы при значениях поля, меньших критического h_s ,

$$h_s = \frac{b}{2Da + b\delta}, \quad (15)$$

доменная граница фиксируется у основания выступа в положении с координатой $x = 0$. В критическом поле h_s (15), соответствующем значению внешнего магнитного поля

$$H_s = \frac{\gamma b}{J(2Da + b\delta)}, \quad (16)$$

положение доменной границы становится неустойчивым, и она преодолевает барьер при $x = a$, прорываясь до состояния перемагничивания пластины в направлении z . Критические поля, H_c и H_s имеют смысл полей старта для рассматриваемых доменных границ в представлении В.Дёринга (см. в [1]).

Также как и в случае линейного вреза, учёт конечности толщины доменной границы даёт возможность избежать бесконечности значения критического поля (16) и парадокса коэрцитивной силы при $a \cong \delta$.

Сравним величины полей старта в двух рассмотренных случаях линейных неоднородностей. Из выражений (6) и (16) следует, что при всех входящих в эти выражения величинах, имеющих одинаковый физический смысл, знаменатель у последнего больше, так как $D \geq l_0$. Следовательно, перемагничивание пластины путём преодоления барьеров, созданных линейными неоднородностями типа выступа, происходит при меньших полях старта.

Выполним оценку вклада рассмотренных поверхностных линейных неоднородностей в поля старта доменных границ, выраженных с помощью найденных выражений (6) и (16) для характерных значений некоторых магнитных материалов [1]: $\gamma = 1 \text{ú} \delta \tilde{a} / \tilde{n}^2$, $J = 100 \tilde{A} \tilde{n}$. Примем для оценок $D = 10^{-2} \tilde{n}$, $a = 10^{-4} \tilde{n}$, $b = 10^{-3} \tilde{n}$, $\delta = 10^{-5} \tilde{n}$. Подстановка этих величин в выражения (6) и (16) даёт для полей старта около 5 Э. Это может быть существенным вкладом для пластин, в которых движение доменных границ происходит в исчезающе малых внешних магнитных полях. Больше вклад в критические поля от более узких неоднородностей, толщины которых сравнимы с толщинами доменных границ. Например, если $a = 10^{-5} \tilde{n}$, то критические поля уже равны примерно 50 Э.

Таким образом, рассмотренные в настоящей статье линейные поверхностные неоднородности ферромагнитных пластин в виде врезов или выступов увеличивают поля старта доменных границ и коэрцитивные силы в соответствии с полученными выражениями (6) и (16), что в ряде случаев существенно для качества магнитных материалов. Полное прохождение доменных границ через линейные поверхностные неоднородности в виде врезов и выступов происходит в виде скачков при критических значениях внешнего магнитного поля H_c (6), H_k (11) и H_s (16), определяющих коэрцитивные свойства образцов. Гистерезисные кривые оказываются имеющими как плавные, так и скачкообразные участки. В частицах аксессуарных магнитных минералов горных пород магнетита и титаномагнетита магнитные дефекты кристаллической структуры в виде линейных выступов и макроскопических трещин-врезов могут при условиях, определённых выражениями (6) и (16), оказывать существенное влияние на магнитные коэрцитивные спектры горных пород [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вонсовский С.В. Магнетизм.– М.: Наука, 1977, 1032 с.
2. Karimov F.H. – Proceedings of the 6th International conference "Problems of Geocosmos". – SPb.:St. Petersburg University, 2006, pp.72-73.

Ф.Х.КАРИМОВ

ҲОСИЯТҲОИ КОЭРСИТИВИИ ЛАВҲАИ ФЕРРОМАГНЕТИИ САТҲИ ХАТТИИ ҒАЙРИЯКЧИНСА ДОШТА

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

Дар асоси принципҳои микродорӣ умумӣ тадқиқотҳои сохти домени ферромагнетикҳо модели процесси гузаштани монеъаи доменӣ аз сохти кристаллии ғайриякчинсаи магнети хаттӣ дар ҳолати азнав магнитнок кардани лавҳаи ферромагнетӣ омӯхта мешавад. Қонуниятҳои физикии ошкоршуда имкон додаанд, ки тавсияҳо барои дар амал тадбиқ намудани якчанд усулҳои магнитӣ дар нанотехнологияҳо ва инчунин барои шарҳдиҳии хосиятҳои магнети чинсҳои куҳӣ истифода шаванд.

Калимаҳои калидӣ: сохтори домени ферромагнетикҳо – монеъаи доменӣ – ғайриякчинсаи сатҳии магнети хаттӣ.

F.H.KARIMOV

COERCIVITY OF FERROMAGNETIC PLATES WITH SURFACE LINEAR INHOMOGENEITIES

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

Based on the common principles of quantitative researches of ferromagnetic domain structures there the model of domain border passing through linear crystal magnetic inhomogeneity under the remagnetization of a thin ferromagnetic slab is under the investigation. The regularities found provided the grounds for developing the recommendations for the applied methods in nanotechnology as well as in the interpretation of rocks' magnetic properties.

Key words: domain structures of ferromagnets – domain walls – surface linear magnetic inhomogeneity.

УДК 631

Х.М.АХМЕДОВ, Х.С.КАРИМОВ, К.КАБУТОВ*, А. А.АКОБИРОВ*, И.ХОМИДОВ*,
З.РАХМАТОВА*, Ф.АХМЕДОВ**

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ n-InP**

Центр инновационного развития науки и новых технологий

АН Республики Таджикистан,

**Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан,*

***Государственное научно-исследовательское и производственное учреждение*

АН Республики Таджикистан

В работе исследовано влияние температуры на электрические свойства электрохимического элемента n - InP/ОАК/ПС. Установлено, что напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, мощность и вольт-амперные характеристики зависят от температуры элемента.

Ключевые слова: мощность – напряжение – ток – фотоэлектрические свойства – элемент.

Электрохимические элементы широко используются на практике, и исследование их свойств остается весьма актуальным для разработки экономичных и высокоэффективных устройств [1,2]. Одним из перспективных направлений является изучение свойств электрохимических элементов на основе органических материалов. В [3,4] были исследованы электропроводность водного раствора органического азокрасителя (ОАК), $C_{17}H_{17}N_5O_2$ и электрохимический элемент Zn/ОАК/С.

Было установлено, что параметры и характеристики ОАК существенно зависят от концентрации красителя в водных растворах. В [5] были исследованы свойства фотоэлектрохимического элемента n-Si/ОАК/ПС, где ПС – проводящее стекло. Было обнаружено, что этот элемент является чувствительным в видимом спектре и может работать как фотоэлектрический дифференциатор.

В данной работе представлены результаты исследований электрических свойств электрохимического элемента n-InP/ОАК/ПС в интервале температур 20-80°C (рис.1).

Адрес для корреспонденции: Ахмедов Хаким Мунавварович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: khakim48@mail.ru

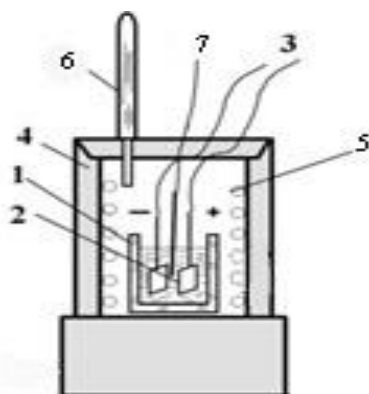


Рис. 1. Схематическая конструкция установки для исследования электрических свойств электрохимического элемента.

В измерительной установке расположен элемент, состоящий из прозрачной ёмкости 1 с раствором азокрасителя $C_{17}H_{17}N_5O_2$ (2). В ёмкость погружены два электрода (3) из проводящего стекла и монокристаллического n-InP с концентрацией примесей Te 10^{18}см^{-3} . Плоскость пластины n-InP соответствовала кристаллографической плоскости (111). Размеры электродов из проводящего стекла и пластины n-InP были равны $20 \times 10 \times 2 \text{ мм}^3$ и $20 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$ соответственно. Внутри камеры 4 имеется электронагреватель 5 с регулируемой температурой нагрева. Температура окружающей среды измерялась жидкостным термометром 6, а температура раствора азокрасителя контролировалась термопарой медь-константан 7. Рабочий объём ёмкости элемента равен 30.52 см^3 . Эксперименты проводили при разных концентрациях (3.0, 1.5 и 0.78 вес.%) водного раствора оранжевого азокрасителя ($C_{17}H_{17}N_5O_2$). Измерение токов и напряжений проводилось стандартными цифровыми приборами.

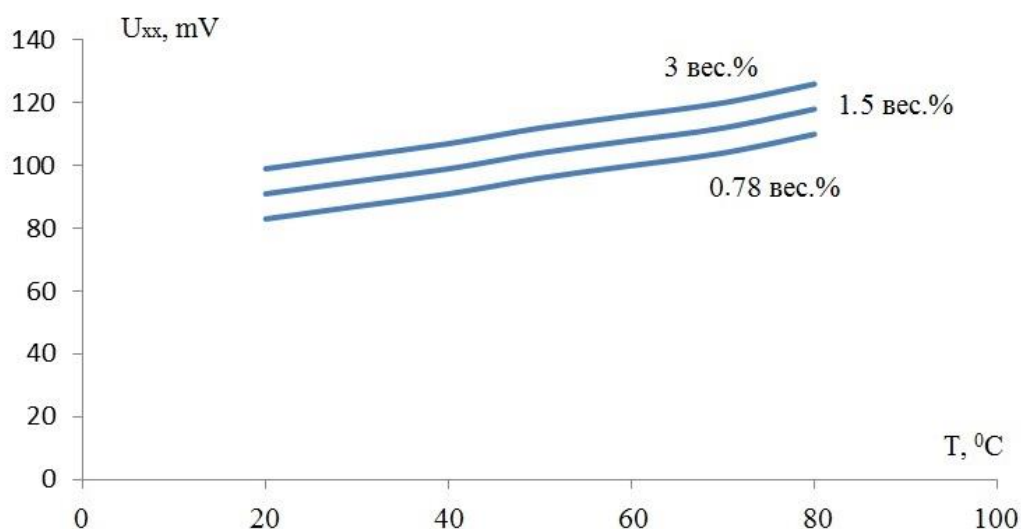


Рис.2. Зависимости напряжения холостого хода электрохимического элемента n-InP/OAK/PC от температуры при концентрациях 3.0, 1.5 и 0.78 вес.%.

На основании экспериментов были получены зависимости напряжения и тока элемента. На рис. 2 приведены зависимости напряжения холостого хода (U_{xx}) элемента от температуры при различных концентрациях электролитов. Как видно из графиков U_{xx} , возрастает с температурой. На рис. 3 приведены зависимости тока короткого замыкания ($I_{кз}$) элемента от температуры. Как видно из графиков, $I_{кз}$ существенно возрастает с температурой.

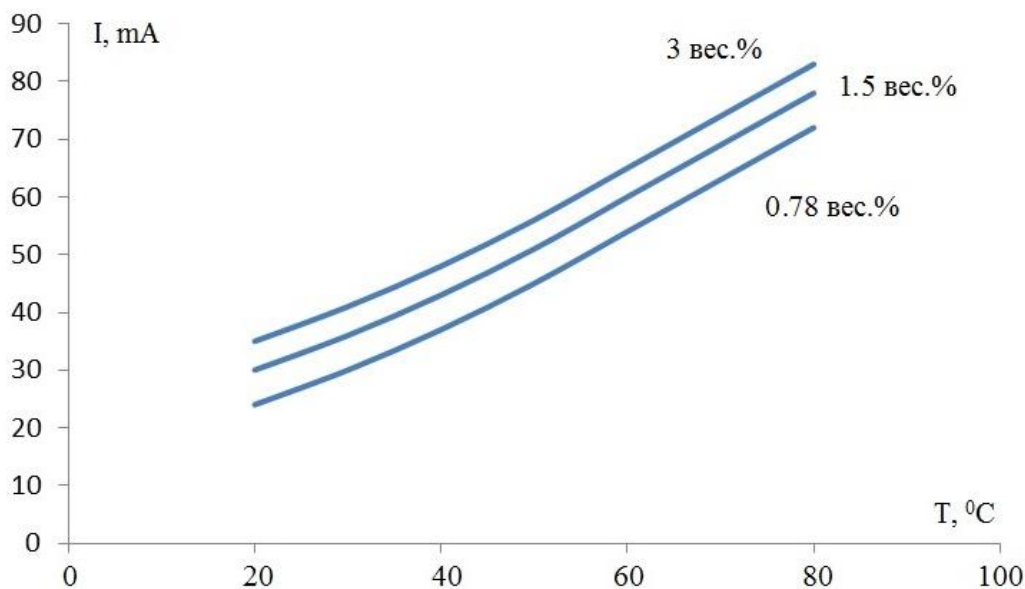


Рис.3. Зависимости тока короткого замыкания электрохимического элемента n-InP/OAK/ПС от температуры при концентрациях электролита 3.0, 1.5 и 0.78 вес.%.

На рис.4 приведены зависимости мощности (P) электрохимического элемента от T при концентрации 3 вес.%. Мощность (P) определялась по следующему выражению [6]:

$$P=U_{xx} \cdot I_{кз} \cdot FF, \quad (1)$$

где FF – фил-фактор, равный 0.7, определённый из вольтамперных характеристик (рис.5).

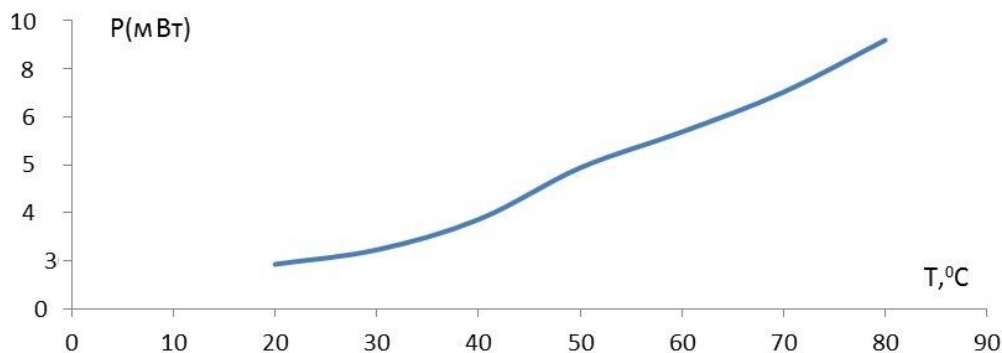


Рис.4. Зависимость мощности электрохимического элемента от температуры.

Как видно из рис. 4, мощность на выходе элемента растёт с возрастанием температуры. Полученные результаты могут быть объяснены возрастанием электропроводности n-InP и ОАК с температурой и разделением зарядов генерированных электронно-дырочных пар электрическим полем на границе раздела n-InP-ОАК. Этот механизм хорошо известен и наблюдался в полупроводниковых приборах [7].

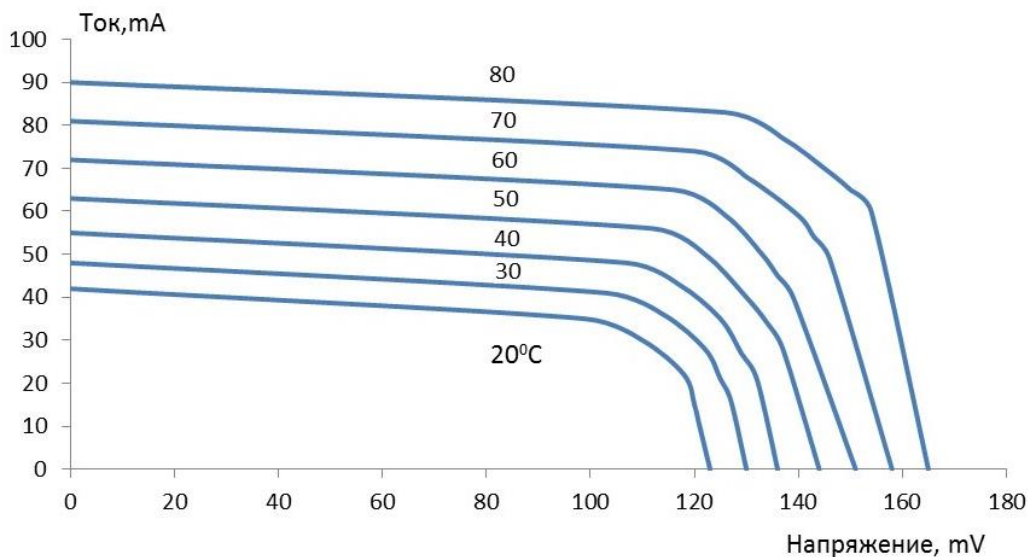


Рис.5. Вольт-амперные характеристики элемента n-InP/ОАК/ПС при различных температурах.

Таким образом, исследованы зависимости напряжения холостого хода и тока короткого замыкания электрохимического элемента n-InP/ОАК/ПС от температуры. Электрохимический элемент при оптимизации концентрации ОАК, размеров электрохимического элемента и стабилизации его параметров путём искусственного старения может быть использован в качестве датчика температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годнев И.Н., Краснов К.С., Воробьев Н.К. и др. Под ред. К.С. Краснова. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 1982, 688 с.
2. Hibbert D.B. Introduction to electrochemistry. Macmillan Press Ltd, London, UK, 1993, 294 p.
3. Каримов Х.С., Ахмедов Х.М., Тураева М.А., Кази И., Кариева З.М., Хан Т.А., Хомидов И., Валиев Дж. – ДАН РТ, 2006, т. 49, №9. с. 819-822
4. Каримов Х.С., Ахмедов Х.М., Тураева М.А., Сайяд М.Х., Али М., Хомидов И., Валиев Дж., Кариева З.М. – ДАН РТ, 2006, т. 49, №4, с. 340-343.
5. Каримов Х.С., Ахмедов Х.М., Марупов Р.И. и др. – ДАН РТ, 2005, т. XLVIII, №5-6, с. 80-86.
6. Markvart T., Solar Electricity, New York, John Wiley & Sons, 2000, 305 p.
7. Boylestad R.L., Nashelsky L. Electronic Devices and Circuit Theory, Sixth Edition, Prentice Hall, Inc., Englewood clifts, NJ, USA, 1996.

Ҳ.М.АХМЕДОВ, Ҳ.С.КАРИМОВ, К.КАБУТОВ, А.А.АКОБИРОВ*, И.ҲОМИДОВ*,
З.РАҲМАТОВА*, Ф.АХМЕДОВ**

ТАЪСИРИ ҲАРОРАТ БА ХОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ ЭЛЕМЕНТИ ЭЛЕКТРОХИМИЯВӢ ДАР АСОСИ n-InP

*Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави Академияи илмҳои
Ҷумҳурии Тоҷикистон,*

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

***Муассисаи давлатии илмӣ-таҷрибавӣ ва истеҳсолии Академияи илмҳои Ҷумҳурии
Тоҷикистон*

Дар мақолаи мазкур таъсири гармӣ ба хосиятҳои электрикии элементи
электрикӣ химиявӣ n-InP/ОАК/ПС омӯхта шудааст. Нишон дода шудааст, ки
шиддат, ҷараён ва тавоногии элемент вобаста аз ҳарорати элемент мебошад.

Калимаҳои калидӣ: тавоноӣ – шиддат – ҷараён – хосиятҳои фото-электрикӣ – элемент.

KH.M.AHMEDOV, KH.S.KARIMOV, K.KABUTOV*, A.A.AKOBIROV*, I.HOMIDOV*,
Z.RAHMATOVA*, F.AKHMEDOV**

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE TO ELECTRIC PROPERTIES OF n-InP BASED ON ELECTROCHEMICAL CELL

*Center of Innovation Development of science and New Technologies,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,*

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

***State Scientific Research and Production Institution,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

The influence of temperature to electric properties of n-InP/OD/ITO electrochemical
cell was investigated. It was found that open-circuit voltage, short-circuit current and output
powers depend on temperature of the cell.

Key words: power – voltage – current – effect of temperature – cell.

УДК 615.357: 554.773:547.458.88:547.962.4

З.К.МУХИДИНОВ, М.Р.БОБОКАЛОНОВА, И.Ф.РАХИМОВ, О.ШАМСАРА,
Д.Т.БОБОКАЛОНОВ*, Л.Ш.ЛИУ**

**КИНЕТИКА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ПИРОКСИКАМА ИЗ ЭМУЛЬСИОННЫХ
МИКРОЧАСТИЦ НИЗКОМЕТИЛИРОВАННЫХ ПЕКТИНОВ И
КОНЦЕНТРАТА ЛАКТОГЛОБУЛИНОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ**

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

**Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино,*

***Восточный региональный центр Госдепартамента США по сельскому хозяйству,
Филадельфия, США.*

Поступила в редакцию 09.01.2012г.

Исследована кинетика высвобождения модельного лекарственного вещества (ЛВ) пироксикама (РХ) из эмульсионных микрокапсул на основе низкометилированных пектинов и белков молочной сыворотки, в среде, моделирующей желудочно-кишечный тракт, in vitro. Разработаны различные системы доставки ЛВ в кишечное пространство с контролируемым высвобождением по кинетике нулевого порядка. Скоростью высвобождения РХ можно управлять путём изменения соотношения биополимеров и выбора пектина с разной молекулярной массой.

Ключевые слова: НМ-пектин – лактоглобулин – системы с контролируемым высвобождением – кинетика высвобождения – пироксикам.

В отличие от традиционных систем доставки (ТСД), системы с контролируемым высвобождением (СКВ) способны длительное время поддерживать концентрацию лекарственного вещества в плазме крови или в тканях-мишенях на определённом уровне [1]. Учитывая широкую применяемость СКВ в контрацепции, офтальмологии, одонтологии, при лечении рака, алкоголизма, сахарного диабета, тромбоза и рестеноза, необходимы новые подходы в терапевтическом лечении, цель которых заключается в повышении эффективности лекарственного препарата с понижением побочных действий. Этапы проектирования лекарственных форм являются важнейшим шагом при разработке и производстве СКВ, которые требуют определенных инженерных знаний. Следовательно, только

Адрес для корреспонденции: Мухидинов Зайниддин Камарович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: zainy@mail.ru

совместные усилия разработчиков и фармацевтов будут способствовать эффективному выполнению общей цели.

Однако, несмотря на достигнутые преимущества разработанных СКВ, необходимы традиционные методы контроля и тестирования ЛВ, к которым, прежде всего, относятся фармакокинетические исследования в опытах *in vitro*, *ex vivo* и *invivo*. Это приведёт к более глубокому пониманию основных механизмов транспорта ЛВ в желудочно-кишечном пространстве и будет способствовать оптимизации разработанных лекарственных форм. Методы математического моделирования для этих целей позволят прогнозировать кинетические параметры транспорта ЛВ до разработки СКВ форм [2].

Многочисленные модели, предсказывающие высвобождение ЛВ из СКВ матрикса, были описаны в литературе [3-6]

Механизм высвобождения ЛВ из таких форм включает управляемые полимерным матриксом (контролируемые) процессы: 1 – диффузия, 2 – набухание и 3 – химическое ферментативное разложение.

Модели высвобождения ЛВ могут быть разделены на процессы, подчиняющиеся кинетике нулевого или первого порядка, которые обычно проявляются первоначальным быстрым выходом части ЛВ с последующим медленным выходом из матрикса; либо по механизму кинетики нулевого или первого порядков. Целью СКВ ЛВ является длительное поддержание желаемой концентрации препарата в крови или в тканях-мишенях. Первоначальное быстрое высвобождение ЛВ необходимо для достижения эффективной терапевтической концентрации препарата и обеспечения в дальнейшем его постоянного уровня в крови.

Целью данной работы явилось исследование кинетики высвобождения модельного ЛВ пироксикама из разработанных СКВ в виде микрокапсул на основе низкометилированных пектинов и белков молочной сыворотки, в среде, моделирующей желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), в опытах *in vitro*.

Экспериментальная часть

В данной работе использовали низкометилированные (НМ) пектины: коммерческий цитрусовый пектин (GENU 12CG, CP Kelco, USA), обозначенный как НМПЦ-31, и пектин из подсолнечника типа ПП 120-5-2-д, выделенный методом флэш гидролиза [7], далее как НМПП-35. Для исследования кинетики процесса были приготовлены буферы, моделирующие среду желудка (HCl/KCl 0.2M, pH 1.2), содержащие гидролитический фермент – пепсин (ацидин-пепсин, Белоруссия) и среду кишечника (0.2M фосфатный буфер, pH 6.4), содержащую пектиназу (P2611Sigma, США). Концентрат лактоглобулинов (LgC): β -LgA 37.35%; β -Lg-B 52.9%; α -Lg 9.7%, был выделен разработанным в нашей лаборатории методом мембранной фильтрации, с последующим центрифугированием из подсырной сыворотки [8].

Микрокапсулы получали двустадийной процедурой, описанной в работе [9], полученную эмульсию промывали дистиллированной водой для удаления несвязанного ЛВ.

Количество инкапсулированного РХ определяли на УФ-спектрометре при 335 нм. Эмульсию хранили при комнатной температуре в течение 24 ч, затем проводили микроскопический анализ количества и размера частиц. По кривым распределения частиц в период хранения оценивали их стабильность. Для характеристики устойчивости микрокапсулы суспендированы в воде на гомогенизаторе при 9000 об/мин, затем количество частиц и их размеры определяли на микроскопе Motic type 102 M (Motic Instrument INC, Canada) с использованием компьютерной программы Motic Image Advanced 3.2. Размер частиц представлен объёмно-весовым средним диаметром, обозначенный как d_{43} . Все измерения были выполнены на двух свежеприготовленных образцах, результаты представлены как средневывесленные.

К полученным эмульсиям в объёме 5 мл добавляли по 10 мл буферов pH 1.2 и pH 6.4 соответственно, помещали в диализные мешочки, а в другую ячейку аппарат для растворения лекарств (DT 600 НН, LB-550, ERWEKA (Германия), содержащий 400 мл соответствующего буфера. Выход ЛВ контролировался на линии (онлайн) с УФ-спектрофотометрическим детектором UA-5 ISCO (США), подключённым с помощью мини-перистальтического насоса к ячейке аппарата. Температуру термостата устанавливали постоянную – 37°C, скорость перемешивания – 50 об/мин; через определённые промежутки времени проводили замер экстинкции растворов при 355 нм на спектрофотометре UV 1 Thermo Spectronic, (Англия) и по калибровочному графику, построенному по стандартному РХ, определяли количество высвобожденного РХ. Общее количество лекарства, вовлеченного в микрокапсулы (M_{∞}), и фракцию ЛВ, высвобожденную во времени (M_t), определяли по методике [10]. Все эксперименты проводили трижды с использованием свежеприготовленных эмульсий, за результаты принимали средневывесленные.

Результаты и их обсуждение

Микрокапсулы в эмульсионной среде масло в воде (м/в) получали на основе НМ-пектинов подсолнечника и коммерческого цитрусового. Пектины характеризовали по содержанию галактуроновой кислоты (ГК), степени этерификации (СЭ), молярной массе, молекулярно-массовому распределению (ММР) и гидродинамическим методом (табл. 1.) Как видно из табл. 1, образцы пектинов монодисперсные (M_w/M_n), отличаются по содержанию основной цепи гомогалактуронана (НГ) в макромолекуле пектина, представленной как процент ангидрогалактуроновой кислоты (АГК) от общего количества сахаров, также наличием агрегированных частиц микрогеля (МГ), молекулярной массе и гидродинамическим параметрам. Пектин из подсолнечника, в отличие от цитрусового, содержит больше участков НГ, но имеет низкое значение молекулярной массы, характеристической вязкости (η_w) и гидродинамического радиуса (R_w).

Таблица 1

Основные характеристики пектинов

Пектины	АГК, %	СЭ, %	МГ, %	M_w	M_w/M_n	η_w	R_w
НМПШ-35	82.00	35.50	4.50	72.60	3.06	61.30	8.00
НМПЦ-31	69.00	31.00	2.10	136.00	2.85	180.00	14.00

Оптимизированные микрокапсулы, полученные на основе двух пектинов и концентрата лактоглобулинов с различными соотношениями биополимеров, обладали максимальным объёмом стабильной эмульсии в течение недели с наибольшим захватом ЛВ, усреднённые по их объёму средним диаметром частиц (d_{43}) и количеством микрочастиц в 1 мл эмульсии (табл 2).

Таблица 2

Характеристика микрокапсул на основе пектинов

Тип пектина	LgC/Пектин М/М	V эмульсии, мл	pH эмульсии	Степень «захвата» РХ, %	d_{43} , мкм	N количество частиц в мл
НМПП-35	40	15.8	4.00	38.05	15.3	162500
	20	16.6	4.37	43.73	13.7	204167
	16	14.6	4.60	61.48	10.0	278000
	12	18.0	4.50	65.00	6.0	375000
НМЦП-31	57	14.8	3.67	62.10	7.08	12113818
	28	18.8	3.96	63.40	9.59	8772075
	17	21.0	4.10	53.10	8.02	11069523

Микрокапсулы, полученные на основе НМПП-35 (табл. 2.) при молярном соотношении LgC/Пектин от 12 до 40, имели стабильную эмульсию, содержащую максимальное количество микрочастиц в 1 мл – 162500 до 37500, со средним d_{43} 6-15мкм и максимальным захватом ЛВ 38-65%.

Параметры микрокапсул на основе НМЦП-31 несколько превосходили значения, полученные для микрокапсул НМПП-35 как по стабильности, так и по количеству микрочастиц и захвату ЛВ. Максимальное количество частиц для микрокапсулы в системе LgC/НМПП с молярным соотношением биополимеров 12 достигало 12113818 в 1 мл эмульсии с минимальным средним размером d_{43} 7.08 мкм. Увеличение доли пектина в микрокапсулах привело к стабилизации эмульсии в обеих системах, однако при этом степень захвата ЛВ увеличилась в системе НМПП-35 и уменьшилась для НМЦП-31. Оптимальные показатели характеристики микрокапсул по стабильности, количеству, размеру частиц и захвату ЛВ наблюдались в эмульсионных микрокапсулах с молярным соотношением LgC/НМПП 12 и LgC/НМЦП 17.

Кинетика высвобождения ЛВ

Одним из основных недостатков исследования процесса высвобождения ЛВ в опытах *invitro* с использованием буферных систем является то, что они только имитируют естественные условия (*invivo*), где ЛВ подвергаются воздействию различных сред. После введения ЛВ перорально, подкожно или внутримышечно как ТСД, оно будет находиться в контакте со средой, содержащей ферменты, желчные кислоты и живую ткань. Ситуация может осложниться во время приёма ТСД различными пациентами и физиологическим состоянием [11]. К сожалению, такие различия можно ожидать при кинетике высвобождения лекарственного средства из различных типов систем доставки на основе биоразлагаемых микрочастиц, в частности из микрокапсул на основе LgC/пектина. Кроме того, де-

градация биополимера в составе СКВ в ЖКТ сильно зависит от соответствующих ферментов: происходит гидролиз белков под действием протеаз и пектина пектолитическими ферментами. Следовательно, для приближения к более реальным условиям в экспериментах *in vitro* мы использовали гидролитический фермент – пепсин и пектолитический – пектиназу.

Профиль высвобождения РХ из микрокапсул на основе LgC и НМ-пектинов в буферных системах, моделирующих среду желудка (начальные линии, до 3.0 ч) и кишечника (от 3.5 ч и выше), приведены на рис. 1 и 2. Кривые высвобождения РХ с микрокапсулами на основе подсолнечного пектина (НМПП-35), без учёта начальных линий в среде желудка, линейные и на первый взгляд подчиняются степенному уравнению первого порядка. Профили высвобождения РХ для микрокапсул Lg/НМПП с соотношением 40 и 20 почти схожи, однако выход ЛВ из микрокапсул с соотношением Lg/НМПП 12 замедляется.

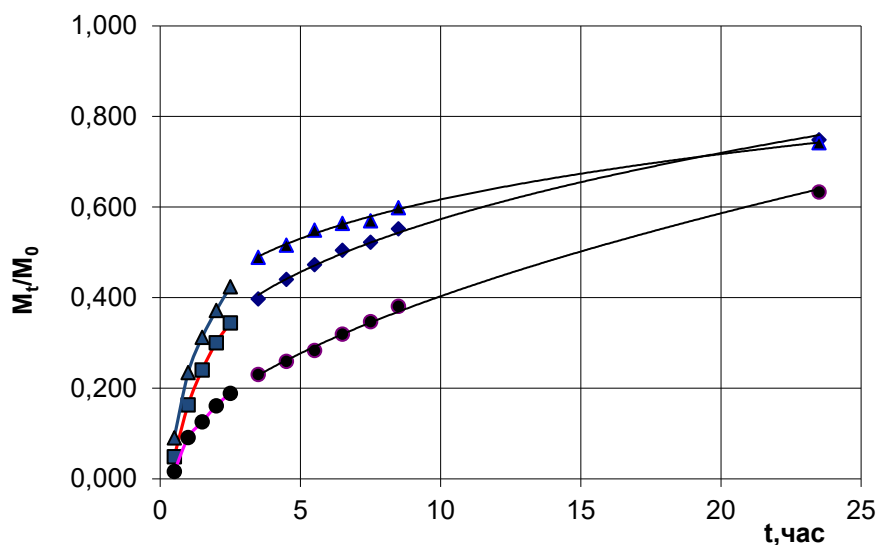


Рис. 1. Профиль высвобождения РХ из микрокапсул на основе НМ-подсолнечного пектина; молярное соотношение LgC/Пектин 40 (■), 20 (▲), 12 (●). Объем эмульсии в диализных мешках 5 мл; начальные кинетические кривые получены в буфере с pH 1.5 содержащем 1 таблетку пепсина (среда желудка), вторая часть в буфере с pH 6.4, содержащим 0.3 мл пектиназы (среда кишечника).

Профили высвобождения РХ для микрокапсул, полученных на основе цитрусового пектина (рис.2) и пектина подсолнечника (рис.1), при переходе в среду кишечника отличаются. Вначале (3-5 ч) наблюдается медленное высвобождение РХ, затем оно резко возрастает в течение 1 ч и ЛВ снова высвобождается по линейному закону. В отличие от профиля высвобождения ЛВ из микрокапсул на основе подсолнечного пектина, в данном случае выход ЛВ из микрокапсул при соотношении Lg/НМПЦ 20 замедляется.

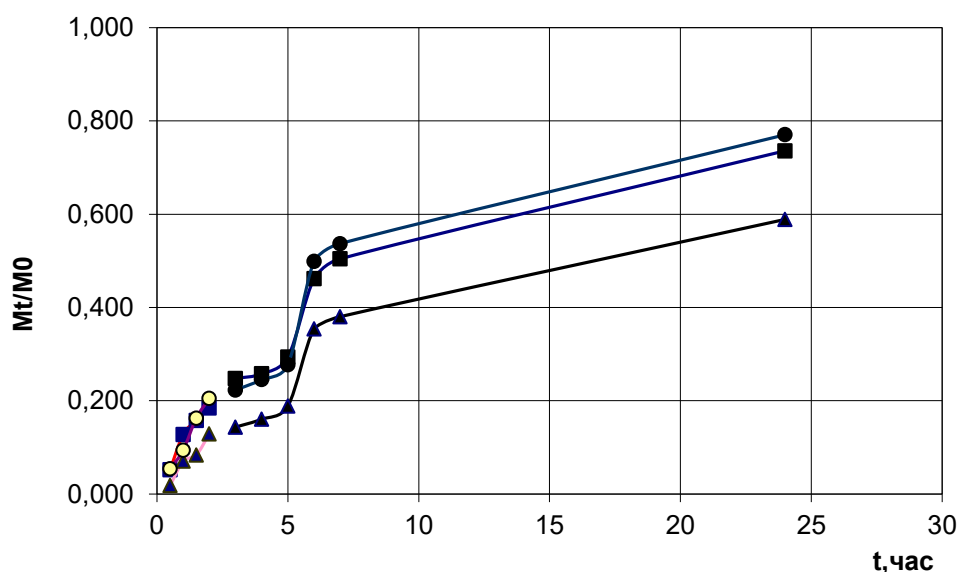


Рис. 2. Профиль высвобождения РХ из микрокапсул на основе НМ-цитрусового пектина; молярное соотношение LgC/Пектин 40 (■), 20 (▲), 12 (●). Объём эмульсии в диализных мешках 5 мл; начальные кинетические кривые получены в буфере с рН 1.5, содержащем 1 таблетку пепсина (среда желудка), вторая часть в буфере с рН 6.4, содержащем 0.3 мл пектиназы (среда кишечника)

Методы математического анализа кинетики высвобождения (или растворения) ЛВ из матрикса классифицируются по трём категориям: статистические, зависимые от модели и независимые. В данной работе для оценки кинетики высвобождения РХ из микрокапсул Lg/НМ-пектин была использована модель зависимого метода.

Для количественной оценки кинетики высвобождения РХ из разработанных СКВ в виде эмульсионных микрочастиц на основе Lg/НМ-пектинов были применены кинетические уравнения нулевого порядка (1) и модель Хигуши (2) [6].

$$\frac{Mt}{M_{\infty}} = k_d t, \quad (1)$$

$$\frac{Mt}{M_{\infty}} = k_H t^{1/2}, \quad (2)$$

где: M_t/M_{∞} – фракция высвободившегося ЛВ в момент времени t ; k – константа. Для оценки механизма диффузии ЛВ в дальнейшем, кинетические данные обрабатывались, используя степенную зависимость кинетики выхода ЛВ по уравнению Корсмейер-Пепасс [12].

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} = K t^n, \quad (3)$$

где: M/M_∞ – фракция высвободившегося ЛВ, K – константа, t – время и n – экспонент, показывающий механизм транспорта ЛВ из полимерного матрикса. Для процесса диффузии, подчиняющегося закону Фика $0.45 \leq n$, когда $0.45 < n < 0.89$, процесс транспорта не подчиняется закону Фика, когда $n = 0.89$, процесс транспорта подчиняется аномальной диффузии: релаксационный, так называемый случай II. Это уравнение также может предсказать диффузионные процессы супер случая II ($n > 0.89$), когда транспорт происходит по механизму нулевого порядка [3,13].

Поскольку цель создания СКВ – доставка РХ в кишечное пространство ЖКТ, в данной работе обсуждаются кинетические кривые профиля высвобождения РХ в условиях, моделирующих среду кишечника (3-24 ч).

Таблица 3

Кинетические параметры высвобождения РХ в буферной системе, моделирующей среду кишечника, из микрокапсул Lg/НМПП в опытах *in vitro*, найденные с использованием уравнений различных моделей

Lg/НМПП	Уравнение 1		Уравнение 2		Уравнение 3		
	$k_d \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	R^2	$k_H \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	R^2	$K \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	n	R^2
40	2.16	0.950	2.34	0.9884	47.54	0.384	0.996
20	1.58	0.955	1.22	0.9887	33.84	0.270	0.960
12	3.09	0.981	4.68	0.9981	74.02	0.542	0.996

Расчитанные параметры кинетики транспорта РХ из микрокапсул LgC/НМПП в среде кишечника приведены в табл. 3. Как видно из данных табл.3, кинетические кривые высвобождения РХ из СКВ на основе LgC/НМПП хорошо описываются уравнением нулевого порядка ($R^2 = 0.95-0.98$) и моделью Хигучи ($R^2 = 0.988-0.998$). Константа скорости высвобождения в обеих моделях проходит через минимум, в зависимости от соотношений биополимеров, то есть СКВ с высоким LgC/НМПП 40 и низким соотношением LgC/НМПП 12 высвобождают ЛВ быстрее, чем с LgC/НМПП 20. Следовательно, найденные соотношения биополимеров являются оптимальными для СКВ при проведении дальнейших опытов на животных.

Соответствующий график зависимости процента кумулятивного выхода ЛВ от логарифма времени по уравнению Корсмейер-Пепасс проявляется с хорошей линейностью при всех соотношениях биополимеров ($R^2 = 0.96-0.99$). Показатель механизма высвобождения в данном уравнении n для СКВ из LgC/НМПП 20 и 40, равный 0.27 и 0.384 соответственно, говорит о диффузионном механизме высвобождения РХ из микрокапсул, в то время как при повышении доли пектина в составе СКВ LgC/НМПП 12 показатель уравнения (3) увеличивается и соответствует процессу транспорта, не подчиняющемуся закону Фика. В данном случае повышение доли пектина в матриксе способствует выходу ЛВ в буфер посредством релаксационных процессов пектиновых цепей при pH 6.4, а также частичной дегградации СКВ под действием пектиназы.

Кинетические параметры высвобождения РХ в буферной системе, моделирующей среду кишечника, из микрокапсул Lg/НМЦП в опытах *in vitro*, найденные с использованием различных моделей, приведены в табл. 4.

В отличие от кинетики выхода РХ из СКВ на основе подсолнечного пектина, как видно из профиля высвобождения, для микрокапсул, полученных на основе цитрусового пектина (рис.2), при переходе в среду кишечника наблюдается начальное (3-5 ч) медленное высвобождение РХ, затем выход ЛВ резко возрастает за один час, и снова происходит высвобождение ЛВ по линейному закону до 24 ч. Поэтому для расчёта кинетических параметров по модели 1 (уравнение рекуции нулевого порядка) мы использовали только линейную область кривых, соответствующую интервалу времени от 6 до 24 ч.

Таблица 4

Кинетические параметры высвобождения РХ в буферной системе, моделирующей среду кишечника, из микрокапсул Lg/НМ-ПП в опытах *in vitro*, найденные с использованием уравнений различных моделей

Lg/НМЦП	Уравнение 1		Уравнение 2		Уравнение 3		
	$k_d \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	R^2	$k_n \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	R^2	$K \cdot 10^2, \text{ч}^{-1}$	n	R^2
57	1.970	0.991	4.48	0.878	82.41	0.72	0.917
28	2.160	0.997	5.70	0.866	91.23	0.71	0.824
17	1.880	0.994	4.99	0.834	80.33	0.63	0.810

Полученные константы скорости высвобождения РХ при изученных соотношениях биополимеров для первой модели, в интервале 6-24 ч, почти схожие ($0.0188-0.0216 \text{ час}^{-1}$) и точки хорошо ложатся на прямую линию ($R^2 = 0.99$). Кинетические данные, полученные (в условиях кишечника) с использованием второй модели, показывают, что не все точки укладываются на прямую линию ($R^2 = 0.83-0.88$), константы скорости выхода ЛВ в два раза превышают для СКВ, полученных на основе подсолнечного пектина.

Параметры n уравнения (3) для СКВ LgC/НМЦП, равные 0.63, 0.71 и 0.72 при соотношениях биополимеров 17, 28 и 57 соответственно, показывают, что высвобождение ЛВ из СКВ на основе цитрусового пектина происходит по механизму, не подчиняющемуся процессу обычной диффузии, что может свидетельствовать об высвобождении ЛВ, контролируемом более чем одним процессом. По всей вероятности, цитрусовый пектин с высокой молекулярной массой, связанный с лактоглобулинами на поверхности масляных частиц, набухает в среде буферного раствора.

Таким образом, результаты кинетических исследований позволили нам разработать различные системы доставки ЛВ в кишечное пространство с контролируемым высвобождением по кинетике нулевого порядка, способные длительное время поддерживать концентрацию ЛВ в плазме крови или в тканях-мишенях на определённом уровне. Скоростью высвобождения РХ можно управлять путём изменения соотношения биополимеров и подбора пектина с разной молекулярной массой. Разработанные СКВ в виде эмульсии

на основе белков молочной сыворотки и различных типов пектинов являются новой терапевтической системой, обеспечивающей оптимальные биофармацевтические характеристики ЛВ, эффективность препарата при минимальной дозе, сокращение частоты приёма, исключение побочных эффектов ЛВ, а также облегчают соблюдение приёма препарата пациентами.

Работа выполнена в рамках проекта Международного научно-технического центра T-1419 при финансовой поддержке Госдепартамента США по сельскому хозяйству.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wise R.S., Langer D.L. (editors). Medical Applications of Controlled Release (2 Volume Set: Classes of Systems, Applications and Evaluation) – CRC Press, 1984.
2. Grassi M., Grassi G. – Current Drug Deliver, 2005, v. 2 (1), pp. 97-116.
3. Siepmann J. Gopferich. – Adv. Drug Delivery Rev., 2001, v.48, pp. 229-247.
4. Lao L.L., Venkatraman S.S., Peppas N.A. – Eur. J. Pharm. Biopharm., 2008, v.70, pp. 796-803.
5. Siepmann J., Siepmann F. – Int. J. Pharm., 2008, v. 364, pp.328-343.
6. Higuchi T. – J. Pharm. Sci., 1963, 52, pp.1145-1149.
7. ПатентТJ 563, опуб. 2012 Бюл. № 86 НПИЦРеспубликаТаджикистан.
8. Мухидинов З.К., Джонмуродов А.С., Тешаев Х.И. и др. – Здравоохранение Таджикистана, 2009, №5, с.44-49.
9. Шарифова З.Б., Усманова С.Р., Мухидинов З.К. и др. – Изв. АН РТ. Отд. физ-мат, хим., геол. и техн.н., 2009, № 2 (135), с.72-78.
10. Бобокалонов Д.Т., Касимова Г.Ф., Мухидинов З.К., Джонмуродов А.С., Халиков Д.Х., Лиу ЛШ. – Хим.-фарм. журн., 2012, v.46(1), с. 34-37.
11. Klose D., Azaroual N., Siepmann F., Vermeersch G., and Siepmann J. – Pharmaceutical Research, 2008, v. 26 (3), pp. 691-699.
12. Korsmeyer R.W., Gurny R., Doelker E., Buri P., Peppas N.A. – Int. J. Pharm., 1983, v.15, p. 25.
13. Ritger P.L., Peppas N.A. – J. Controlled. Release, 1987, p. 5, pp.23-36.

З.Қ.МУҲИДИНОВ, М.Р.БОБОКАЛОНОВА, И.Ф.РАҲИМОВ, О.ШАМСАРА,
Ҷ.Т.БОБОКАЛОНОВ*, Л.Ш.ЛИУ**

КИНЕТИКАИ БАРОМАДИ ПИРОКСИКАМ АЗ МИКРОКАПСУЛАҶОИ ПЕКТИНИ КАММЕТИЛИ ВА ЛАКТОГЛОБУЛИНИ ЗАРДОБИ ШИР

Институтуи химияи ба номи В.И.Никитини Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,

**Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абӯалӣ ибни Сино,*

***Маркази Минтақавии Шарқии Департаменти давлатии ШМА дар хоҷагии қишлоқ*

Дар мақола кинетикаи баромади пироксикам аз микрокапсулаҳои пектини камметили ва лактоглобулини зардоби шир дар муҳити меъдаю руда дар ташхиси *in vitro* омӯхта шудааст. Дар натиҷаи ин ташхис як қатор система барандаи доругӣ коркард шудааст, ки метавонад модаи доруро бо тарзи кинетикаи дараҷаи нулӣ ба ҷои лозима расонад.

Калимаҳои калидӣ: пектин – лактоглобулин – системаи барандаи идорашаванда – кинетикаи баромад – пироксикам.

Z.K.MUHIDINOV, M.R.BOBOKALONOVA, I.F.RAHIMOV, O.SHAMSARA,
D.T.BOBOKALONOV*, L.S.LIU**

**PIROXICAM RELEASE KINETICS FROM EMULSION MICROCAPSULES
OF LM PECTIN AND WHEY LACTOGLOBULINES**

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

**Abuali ibn Sino Tajik State Medical University,*

***Eastern Regional Research Center ARS USDA, USA*

The study describes release kinetics of piroxicam as model drug from developed two different LM-pectins and concentrate of lactoglobulin in condition mimicking gastrointestinal tract. It is shows that the drug release from CRS tailored from LM-sunflower pectin exhibit zero order kinetics in the condition of intestinal. The results demonstrate effectiveness of microcapsules system as sustained delivery system able to prolong drug release, which may reduce drug dose and its side effect.

Key words: LM-pectin – lactoglobulin – microcapsules – CRS – release kinetics – piroxcam.

УДК 549.454.2

А.Р.ФАЙЗИЕВ, С.А.ЭЛЬНАЗАРОВ*

**ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
КУХИЛАЛСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНОЙ ШПИНЕЛИ**

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии
АН Республики Таджикистан,*

**Хорогский государственный университет им. М.Н.Назаршоева*

Поступила в редакцию 22.01.2013 г.

Приводятся данные о термобарогеохимических параметрах образования основных минералов месторождения Кухилал. Установлено, что кристаллизация собственно скарных минералов происходила в диапазоне температур 800-650°C, а послескарных – 690-600°C.

Ключевые слова: месторождение – Кухилал – включение – температура – твердая фаза – жидкая фаза – газовая фаза.

Кухилалское месторождение расположено в Ишкашимском районе Горно-Бадахшанской автономной области и издревле (с VII века) известно как источник знаменитых бадахшанских лалов (благородная шпинель). Оно локализовано в зоне развития нижней структурно-стратиграфической единицы метаморфической толщи Юго-Западного Памира – горанской серии. В этой серии основной объём отложений представлен биотитовыми и биотит-роговообманковыми гнейсами и мигматитами, содержащими многочисленные прослои, пласты и линзы магнезитовых мраморов. В структурном отношении месторождение находится на западном крыле Гармчашминской антиклинали, осложненной складками более низких порядков и серией мелких сжатых и нередко опрокинутых изоклинальных складок.

Месторождение Кухилал является уникальным объектом, в котором сочетаются оригинальная минералогия, широкий круг полезных ископаемых и своеобразные черты генезиса. Здесь сосредоточены разнообразные виды неметаллического минерального сырья, имеющего практическое значение. Наряду с благородной шпинелью на месторождении встречается прозрачный ювелирный клиногумит золотисто-жёлтого цвета. На объек-

Адрес для корреспонденции: Файзиев Абдулхак Раджабович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 263, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: faiziev38@mail.ru

те в промышленных масштабах развито магнезиально-силикатное (тальк, форстерит, энстатит) и магнезиально-карбонатное (магнезит) сырьё. Практический интерес на месторождении представляют также графит и поделочный нежно-зелёный серпентин. Кроме отмеченных минералов, в скарнах встречаются флогопит, доломит, антофиллит (жедрит), брусит, апатит, нигрин, пирит и др. Весь этот обширный комплекс минеральных образований связан с магнезиальными скарнами, развитыми в пределах метаморфической толщи Юго-Западного Памира. Скарны приурочены к контакту магнезитовых мраморов и алюмосиликатной плагиогнейсово-мигматитовой толщи архейского возраста, сформированной в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма.

До недавнего времени для определения физико-химических параметров становления скарнов, в том числе и на месторождении Кухилал, исследователи опирались главным образом на косвенные данные, полученные с помощью различных геотермометров, без прямого измерения температурных характеристик, слагающих скарны минералов. Проведённые детальные термобарогеохимические анализы основных минералов, как собственно скарновой стадии метасоматического процесса (форстерит, энстатит, шпинель), так и послескарновой регрессивной ветви процесса (тремолит, клиногумит, кальцит), позволили выявить термобарические параметры образования минеральных ассоциаций месторождения.

Некоторые сведения о физико-химических условиях образования месторождения Кухилал содержатся в [1-4].

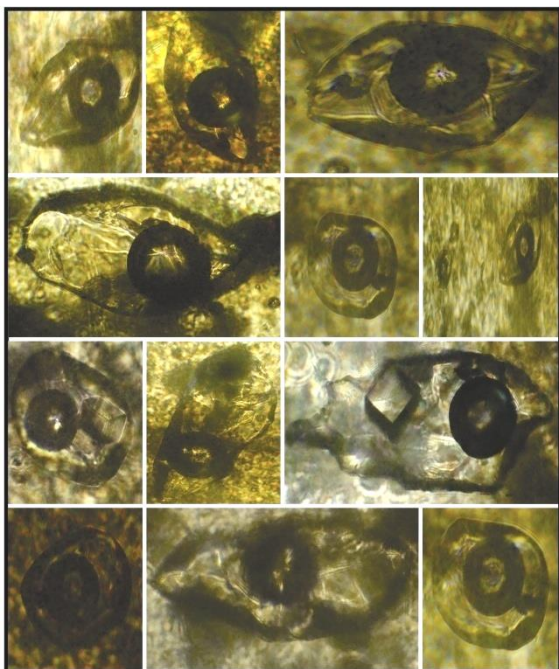


Рис. 1. Характерные включения в форстерите.

Форстерит. В форстерите обнаружено значительное количество включений флюидных растворов-расплавов. По форме они разнообразны: от изометричных, округлых и ромбовидных до удлинённо-призматических и неправильных (рис. 1). Среди них преобладают вакуоли, имеющие форму негативных кристалликов. Все включения раскристаллизованные, где наряду с тонкокристаллическим агрегатом анизотропных и рудных минералов встречаются изотропные кристаллики дочерних минералов (галит, сильвин). Галит в вакуолях образует кубики и уплощённые призматические формы, а сильвин – кубики с округлыми вершинами. Содержание газовой фазы в них сравнительно высокое (15-30%). Эта фаза находится обычно в массе раскристаллизованных агрегатов в виде

небольших обособлений.

При нагревании включений в форстерите первые признаки их изменения фиксируются в тонкораскристаллизованных агрегатах при температурах 545-570⁰С. При этих температурах мелкие газовые обособления в интерстициях дочерних кристалликов собираются в один пузырьрёк. Далее при температурах 660-710⁰С расплавляются все твёрдые фазы, с образованием солевого расплава–рассола с газовым пузырьрьком. Гомогенизация включений происходит в жидкую фазу в интервале температур 800-740⁰С. После охлаждения вакуолей неизменно происходила раскристаллизация солевого расплава в тонкозернистый агрегат с тёмными обособлениями флюидных фаз. Размер включений в форстерите 0.001-0.01мм.

Шпинель. В шпинели содержание включений минералообразующей среды, по сравнению с форстеритом, намного меньше. Они так же, как и в форстерите, раскристаллизованные. Состоят вакуоли из зернистых агрегатов дочерних кристаллов, имеющих полнокристаллическую микроструктуру. Высокая степень раскристаллизации агрегата во включениях позволяет сделать вывод о чрезвычайно медленном охлаждении захватываемых капель минералообразующего раствора–расплава при кристаллизации минерала-хозяина. Форма включений в шпинели различная (рис. 2). Чаще вакуоли изометрические и овальные, реже удлинённые и неправильной конфигурации. Полости включений нередко несут элементы огранки и представляют собой негативные кристаллики или их фрагменты. Размер вакуолей от 0.02 до 0.1 мм.

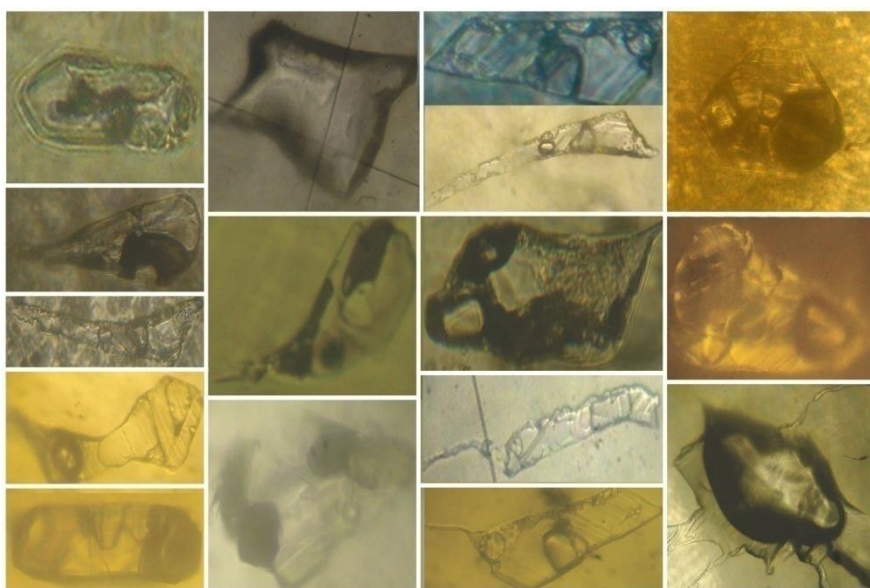


Рис. 2. Характерные включения в шпинели.

Включения представлены агрегатом изо- и анизотропных твёрдых фаз (65-75%), в интерстициях которых размещаются газовые (15-20%) и жидкие (10-15%) фазы. Среди дочерних кристаллов во включениях, наряду с галитом и сильвином, диагностированы карбонаты по проявляемому в них сильному двупреломлению.

При нагревании включений первые фазовые изменения начинаются при температурах 450-475°C. При этом разрозненные газовые фазы сливаются в один пузырек, а далее до температуры около 500-520°C объём пузырька увеличивается. При дальнейшем нагревании начинается уменьшение газовой фазы и одновременно растворение твёрдых фаз. Полная гомогенизация включений в солевой расплав происходит в интервале температур 770-650°C. В некоторых включениях отдельные твёрдые фазы остаются нерастворёнными. В шпинели фиксировались также случаи, когда некоторые включения, не достигнув момента гомогенизации, взрывались.

Энстатит. В энстатите обнаружены также раскристаллизованные включения расплавов-рассолов (рис. 3). По фазовому составу они представлены агрегатом зерен кристаллических фаз и флюидной фазой, деформированной ими. Дочерние кристаллы занимают во включениях более 70% от всего их объёма. Содержание газа 15-20, а жидкости 10-12%. По форме включения имеют преимущественно вытянутую форму в виде прямоугольников и трубочек, ориентированных вдоль оси *c* кристалла. Реже вакуоли имеют неправильную форму. Размер включений 0.001-0.005 мм. Интервал температур гомогенизации включений в энстатите падает на диапазон 690-650°C. Часть включений, не достигнув полной гомогенизации, растрескивалась.

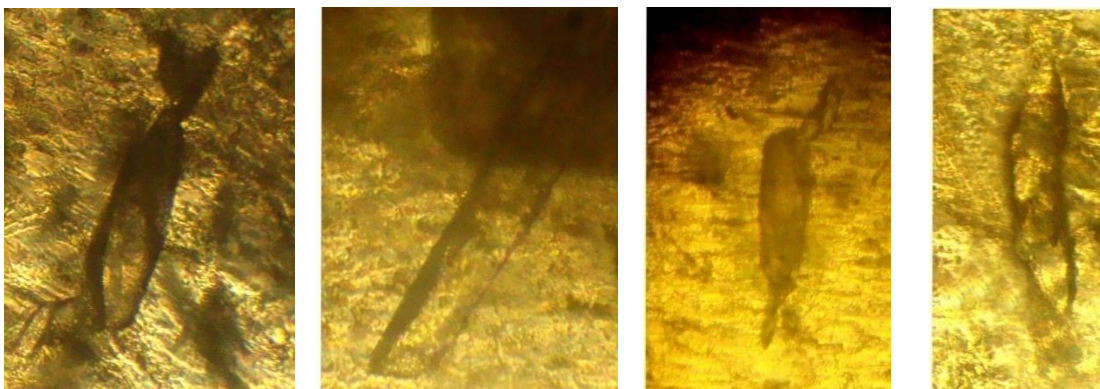


Рис. 3. Характерные включения в энстатите.

Клиногумит. В клиногумите первичные включения имеют округлую, изометрическую, ромбовидную, удлинённую и неправильную форму (рис. 4). Однако большая их часть несёт элементы огранки, среди которых преобладают негативные призматические и призматически-пирамидальные включения. Размеры включений разнообразны: от 0.01 до 0.1 мм. По агрегативному состоянию подавляющее большинство включений относится к раскристаллизованным, представленным преимущественно из анизотропных дочерних кристаллических фаз. В интерстициях между этими кристалликами размещаются жидкие и газовые фазы. Последние представлены обычно в виде тёмных сгустков неправильной формы, находящихся обычно на границе раскристаллизованных агрегатов и стенок вакуолей. В клиногумите обнаружены, наряду с раскристаллизованными, единичные флюид-

ные включения преимущественно газового состава, что свидетельствует о вскипании расплава–раствора на определённых этапах его кристаллизации. Температура гомогенизации первичных включений в клиногумите равна интервалу 680-600°C. Гомогенизируются включения в основном в жидкую фазу, реже в газовую. Однако многие включения в процессе нагревания разгерметизировались и при температурах 480-540°C, до момента достижения их полной гомогенизации, взрывались. Это говорит о том, что минералообразование происходило из среды с высокой флюидонасыщенностью.

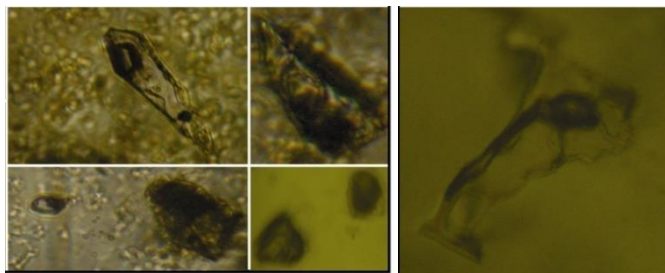


Рис. 4. Характерные включения в клиногумите.

Тремолит. В тремолите включения весьма разнообразны по морфологии и фазовому составу. Подавляющее их большинство имеет сильно вытянутое шестиугольное очертание и трубчатую форму. Размер включений измеряется тысячными долями мм. При комнатной температуре включения в тремолите содержат агрегат изо- и анизотропных кристаллических фаз с незначительным количеством жидкой и газовой фаз. При нагревании до температуры 450°C жидкий конденсат в них переходит в газовую фазу. Полная гомогенизация включений наступает в диапазоне температур 650-600°C. Иногда не все твёрдые фазы при нагревании растворяются и такие включения, не достигнув момента гомогенизации, взрываются, вероятно, из-за высокого внутреннего давления.

Кальцит. В минерале обнаружены флюидные включения, размер которых колеблется от 0.02 до 0.05 мм. Форма их овальная, изометричная, ромбовидная, удлиненная (рис. 5). Иногда включения имеют форму негативных кристаллов. По агрегативному состоянию они главным образом многофазовые кристалло-флюидные, реже однофазовые газовые. В кристаллофлюидных включениях водный раствор составляет не более 15-20, а содержание газовой фазы 20-25% их объёма. Остальной объём включений приходится на долю твёрдых фаз. Нередко встречаются консерваты с несколькими газовыми пузырями, или же газ деформирован и находится в интерстициях дочерних кристаллов.

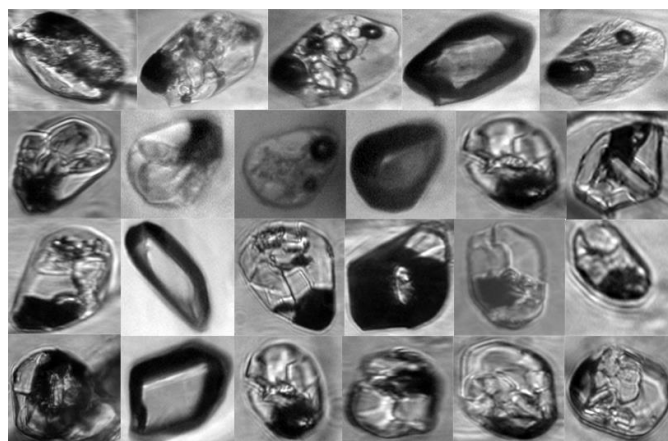


Рис. 5. Характерные включения в кальците.

Гомогенизация кристаллофлюидных включений происходит поэтапно. Вначале исчезает жидкая фаза включений, далее постепенно растворяются твёрдые фазы, а затем наступает общая гомогенизация исключительно в газовую фазу (рис. 6), что свидетельствует о высокой флюидонасыщенности минералообразующей среды. Температура гомогенизации включений равна интервалу 690-670°C.

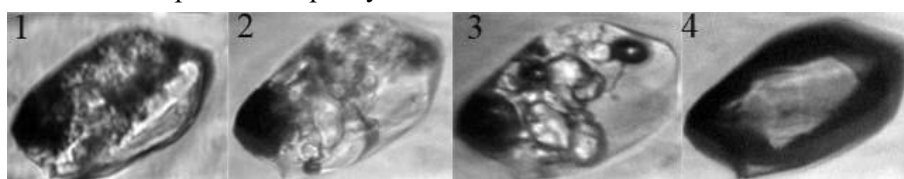


Рис. 6. Изменение включений в процессе нагревания:

1 – при комнатной температуре, 2 – 515°C, 3 – 590°C, 4 – 690°C.

Во всех изученных минералах находились разнообразные по морфологии, размерам и соотношениям фаз вторичные включения. Они главным образом двухфазовые газо-жидкие, редко трёхфазовые с кристалликами хлоридов. Гомогенизируются вторичные включения по первому типу в интервале температур 450-380°C, что соответствует, по видимому, температурам образования наложенных на скарны гидротермальных минералов. Например, по данным С.А.Морозова и Я.А.Гуревича [1], включения в магнетите гомогенизируются при 460°C.

Как следует из вышеизложенного материала, во всех отмеченных минералах обнаружены первичные флюидные включения растворов-расплавов, в большинстве своем негативно-ограниченных. При этом их форма зависит от агрегатного состояния минералообразующей среды: в игольчатых выделениях тремолита и энстатита включения сильно удлинённые, а в зернистых агрегатах кальцита, клиногумита и форстерита – более или менее изометрические. Особенно правильную форму имеют включения в шпинели. Форма их главным образом соответствует отрицательным кристаллам шпинели – октаэдрам. Размер включений в шпинели, клиногумите и кальците измеряется десятными и сотнями долями мм, а в

форстерите, энстатите и тремолите – сотыми и тысячными. По агрегатному состоянию они в основном многофазовые раскристаллизованные кристалло-флюидные, реже однофазовые газовые. Представлены включения агрегатом зёрен кристаллических фаз, количество которых достигает 8-10, и газовой фазой. Газовая фаза нередко сильно деформирована твёрдыми фазами и находится в их интерстициях. Иногда можно наблюдать несколько обособленных газовых фаз. Из твёрдых фаз диагностированы только зернистые агрегаты карбоната, кубики галита и сильвина, шестиугольные кристаллики флогопита, игольчатые кристаллики рутила и неправильной формы выделения графита. Включения в изученных минералах, кроме кальцита, гомогенизируются в жидкую фазу. Гомогенизация включений в кальците происходит исключительно в газовую фазу, что свидетельствует о высокой флюидонасыщенности минералообразующей среды в момент образования этого минерала. Нередко в раскристаллизованных включениях полной гомогенизации достичь не удается вследствие того, что вскоре после исчезновения газовой фазы они взрываются. Еще одна особенность этих включений заключается в том, что при их нагревании до температуры 400-450°C растворение твёрдых фаз не происходит, что, вероятно, говорит об отсутствии в составе твёрдых фаз легко растворимых солей.

Таким образом, общий интервал температур формирования основных минералов месторождения Кухилал, по данным исследования первичных флюидных включений, составляет 800-600°C (800-650°C для собственно скарновой минерализации или прогрессивной стадии процесса и 690-600°C для послескарновой или регрессивной стадии). Данные, полученные методом гомогенизации, в некотором приближении в целом согласуются с температурными условиями регионального метаморфизма вмещающих пород, установленными при помощи различных минеральных геотермометров: 900-700°C для гранулитовой и 650-600°C [5] и 670-650°C [6] для амфиболитовой фаций. Собственно скарновую стадию минералообразования можно параллелизовать с наиболее высокими степенями регионального метаморфизма (условия гранулитовой фации), а регрессивную ветвь процесса – с менее высокотемпературными степенями (условия амфиболитовой фации).

Давление в момент кристаллизации минералов было высоким и измерялось первыми килобарами. По данным [1], давление в процессе минералообразования было не ниже 1300 бар, но не больше 5-6 кбар. Давление при метаморфизме пород Юго-Западного Памира И.А.Зотовым [6] определено в 5-6 кбар.

Состав жидкой фазы включений в шпинели и клиногумите изучался С.А.Морозовым и Я.А.Гуревичом [1] методом водной вытяжки. Минералообразующие флюиды были в основном хлоридными, с незначительным содержанием HCO_3^- . Из катионов преобладали Ca^{2+} , Na^+ , K^+ и Mg^{2+} . Однако присутствие в многофазовых включениях нерастворимых твёрдых фаз позволяет предположить более сложный состав минералообразующих растворов–расплавов. В газовой фазе включений преобладает углекислота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов С.А., Гуревич Я.А. – ДАН ТаджССР, 1973, №3(16), с.47-50.
2. Файзиев А.Р., Киселев В.И., Искандаров Ф.Ш., Алидов Б.А. В кн.: Термобарогеохимия земной коры и рудообразование. – М.: Наука, 1978, с. 177-179.
3. Fayziev A.R., Safaraliev N.S., Elnazarov S.A. – Abstracts volume 3rd conference of Asian current research on fluid inclusions and 14th international conference on thermobarogeochemistry. - Novosibirsk, 2010, pp. 58-59.
4. Fayziev A.R., Elnazarov S.A. – Abstracts 4th Biennial Conference on Asian Current Research on Fluid Inclusions ACROFI IV, Brisbane, Australia, 2012, p. 28.
5. Буданова К.Т., Буданов В.И. – В кн.: Термодинамический режим метаморфизма. – Л.: Наука, 1976, с. 251-256.
6. Зотов И.А. – ДАН СССР, 1967, т. 177, №5, с. 1170-1174.

А.Р.ФАЙЗИЕВ, С.А.ЭЛНАЗАРОВ*

ШАРОИТИ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ ПАЙДОШАВИИ КОНИ ЛАЪЛИ КУҲИЛАЪЛ (ПОМИРИ ЧАНУБУ-ҒАРБӢ)

*Институти геология, сохтмони ба заминҷунбӣ тобовар ва сейсмологияи
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Донишгоҳи давлатии Хоруг ба номи М.Назаршоев

Дар мақола маълумот дар бораи шароити термобарогеохимии кони лаъли Куҳилаъл оварда шудааст. Муайян шудааст, ки минералҳои скарни хос дар фосилаи ҳарорати 800-650°C ва баъдискарнӣ – 690-600°C ба вучуд омадаанд.

Калимаҳои калидӣ: кон – Куҳилаъл – ғашӣ – ҳарорат – ҳолати сахтӣ – ҳолати моеъӣ – ҳолати газӣ.

A.R.FAYZIEV, S.A.ELNAZAROV*

THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF THE CONDITION OF FORMATION OF KUHILAL DEPOSIT OF NOBLE SPINEL

*Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
M.Nazarshoev Ghorog State University

Data are provided about thermobarogeochemistry parameters of formation main minerals of Kuhilal deposit. It is established that crystallization of actually skarn minerals happened in the range of temperatures of 800-650°C and after skarn 690-600°C.

Key words: deposit – Kuhilal – inclusion – temperature – solid phase – liquid phase – gas phase.

УДК 553.411 (575.3)

М.М.МАМАДВАФОВЕВ, Ю.И.ДЫЩУК

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ЗОЛОТОНОСНОСТИ
УЧКАДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ ГЕОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

*Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 15.01.2013 г*

В статье с учетом геологического строения, рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, типа оруденения, уровня эрозийного среза золотоносных зон и степени их разведанности рассматривается методика, а также оценка прогнозных ресурсов золота рудных зон и Учкандинского рудного поля в целом. Рекомендуется более детальное изучение рудного поля с целью оценки перспектив его золотоносности в промышленных категориях запасов.

Ключевые слова: Центральный Таджикистан – Учкандинское рудное поле – поисковые работы – вторичные литохимические ореолы – рудные зоны – рудные тела – кварц-антимонитовые жилы – кварцево-сульфидная минерализация – корреляционная связь – уравнение регрессии – оценка золотоносности – запасы и прогнозные ресурсы золота.

Учкандинское рудное поле, площадью около 20 кв. км, расположено в долине р.Ягноб в приводораздельной части северного склона Гиссарского хребта. Оно тяготеет к сводовой части Кугитангикульской антиклинали, расположенной к югу от зоны Гиссаро-Каратегинского разлома (см. рисунок). Рудное поле сложено палеозойскими метаосадочными и метавулканогенно-осадочными формациями, прорванными дайками диоритовых порфириров (С₃) и гранодиорит-порфириров (Р₁). Стратифицированные формации смяты в складки различных порядков, имеют преимущественно южное, крутое, падение. Рудоконтролирующими являются протяженные и выдержанные трещины скола СЗ и СВ простирания, реже широтного. Выделяются два морфологических типа оруденения: 1) вкрапленное и прожилково-вкрапленное, и 2) жильное. Более изучен второй тип, с ним связаны и наиболее высокие содержания Au. Оруденение первого типа тяготеет к мощным и протяженным брекчиевым, рассланцованным, окварцованным и графитизированным рудным зонам в метатерригенных породах. Рудные зоны подвержены сильному окислению суль-

Адрес для корреспонденции: Мамадвафоев Мабатишо Мамадвафоевич. 734025, г. Душанбе, ул. Мирзо Турсунзода, 27, Главное управление геологии при Правительстве РТ.

фидов, поэтому их изучение с поверхности вскрытием канавами малоэффективно. Наличие неокисленных руд устанавливается главным образом в восточной части рудного поля. Первичная руда сложена неравномерной вкрапленностью, прожилками и гнёздами пирита, арсенопирита, антимонита, реже – сфалерита, тетраэдрита, галенита, халькопирита. Нерудная минерализация состоит из кварца, альбита, карбонатов, эпидота, серицита, хлорита, барита.

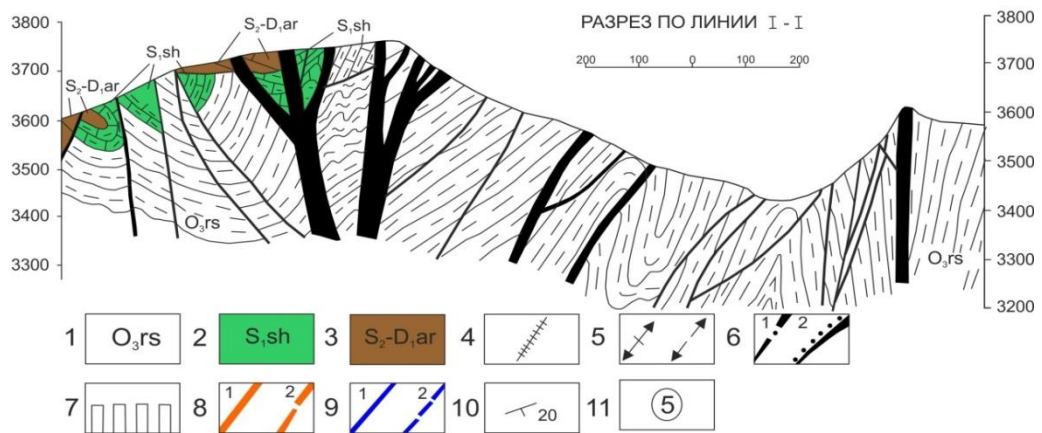
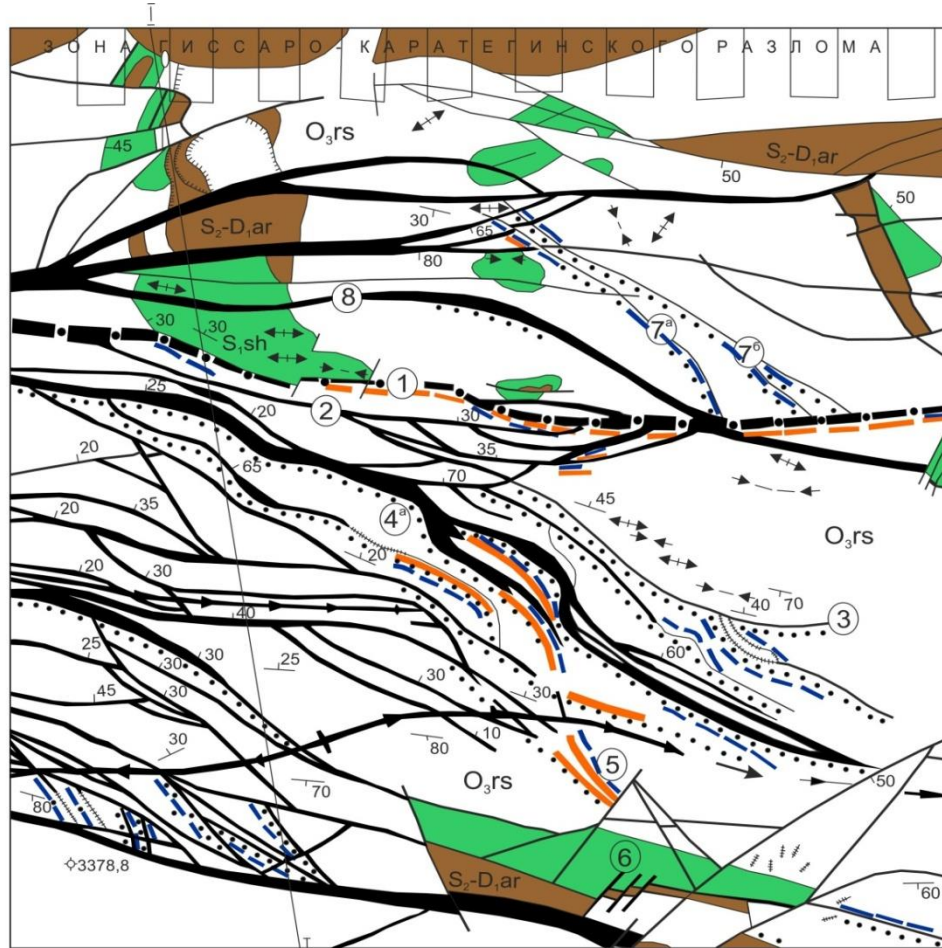


Рис. 2. Схема геологического строения Учкадинского рудного поля (по А.А.Никколову,1979): 1 – серицито-хлорито-кварцевые сланцы и кварцито-песчаники с редкими пачками песчаных известняков и вулканитов основного состава разской свиты верхнего ордовика (O_3rs); 2 – кварцито-сланцы, известняково-глинистые сланцы, тонкоплитчатые известняки и доломиты шингской свиты нижнего силура (S_1sh); 3 – известняки массивные, аргской свиты верхнего силура – нижнего девона ($S_2 - D_1 ar$), по другим данным – купрукской (S_2kr) и хавзакской (D_1hv) свит; 4 – кварцевые жилы (вне масштаба); 5–шарниры структур: антиклиналей (а), синклиналей (б); 6 – рудоконтролирующие дизъюнктивы: рудоподводящие (1), рудолокализирующие (2); 7 – зона глубинного рудоконтролирующего разлома; 8 – содержание Au: более 3 г/т (1), менее 3 г/т (2); 9 – содержание Sb, Cu, Pb, Zn: более 0.5 % (1), менее 0.5 % (2); 10 – уголь падения плоскости геологической структуры; 11– номера рудных зон (их описание см. в тексте).

Жильное оруденение в кварц-сульфидных и кварц-антимонитовых телах при мощности до первых метров имеет протяженность до первых сотен метров. Рудные тела, с раздувами и пережимами, простираются чаще диагонально, реже субмеридионально и субширотно.

Выделяется пять крупных рудоконтролирующих структур, к одной из которых приурочены олово- и золоторудные проявления Майданской площади и золото-сурьмяное месторождение Учкадо. В силу широкого развития на площади Учкадо четвертичных накоплений, увязка рудных зон носит ещё предварительный характер. Оценка их золотосодержания осуществлена нами в зависимости от степени их разведанности, а именно: по тем рудным зонам (р.з.), где система канав позволяла оконтурить рудные тела (р.т.), методом среднего арифметического [1] подсчитывались прогнозные ресурсы по категории P_1 . По тем же рудным зонам, где степень разведанности оказалась недостаточной и канавами вскрыта лишь окисленная руда, обеднённая золотом, оценка ресурсов Au осуществлялась по категории P_2 через содержание As, который находится в виде скородита. Такая оценка допустима, поскольку на ранних стадиях эволюции зоны окисления, при окислении золотоносного арсенопирита с образованием скородита, мышьяк из зоны окисления практически не выносится [2]. Рассчитанный нами по известной методике [3] коэффициент корреляции R_{Au-As} по выборке, объёмом 44 анализов бороздовых проб слабоокисленных руд, оказался равным + 0.67 и статистически значимым с надёжностью 95%. Золото анализировано пробирным методом, As – спектральным полуколичественным (ЦЛ УГ РТ,1976 г). Выборка анализов составлена нами по пробам, в которых содержание As не превышало 1%, поскольку концентрации As выше 1% анализами не расшифровывались. Уравнение регрессии Au на As, по которому, имея содержание As, можно находить содержание Au, имеет вид:

$$Au = R \frac{S_{Au}}{S_{As}} (As - As) + Au ,$$

или
$$Au = 0.65 \frac{1.4}{0.18} (As - 0.18) + 1.4,$$

или
$$Au = 5(As - 0.18) + 1.4$$

Конечный вид уравнения регрессии As на Au имеет вид: $As = 0.08 (Au - 1.4) + 0.18$. Его использование обеспечило, в конечном счёте, возможность подсчитать прогнозные ресурсы Au. На геохимическую связь Au с As в первичных рудах золото-сульфидных месторождений региона указывали ранее геологи геохимической экспедиции Таджикского геологического управления, а также Н.А.Блохина [4,5].

При выводе средних содержаний As по разведочным сечениям в тех пробах, где анализы показали содержание $As > 1\%$, при расчётах принималось содержание в 1.0% . Следовательно, средние содержания As и Au в конечных результатах занижены, что аналогично влияет на цифры прогнозных ресурсов.

За установленную длину рудной зоны (р.з.) принимался её интервал, вскрытый единичными канавами и сопровождающийся вторичными литохимическими ореолами As и Au. Учитывая надрудный и верхнерудный уровни среза рудных зон (р.з.) и рудных тел (р.т.), оценка их золотоносности дана до глубины 200 м. Ниже приводятся оценки их прогнозных ресурсов и отчасти – запасов (см. рисунок).

Рудная зона I имеет СЗ (290°) простирание и близкое к вертикальному падение. Её доказанная протяженность 1200 м, а прогнозная – 3500 м. Она трассируется вторичными ореолами Au, а также Au + Ag + Sb; в центральной части рудного поля зона вскрыта двумя канавами при расстоянии между ними – 1000 м. На восточном фланге она вскрыта не на полную мощность (31м). В ней отмечается Au от «следов» до 1.0 г/т, среднее – 0.4 г/т. Выделяется интервал мощностью 11 м, содержанием 0.7 г/т Au. As отмечается в содержаниях $0.05 \div 0.9\%$ (среднее – 0.5). На западном фланге зона вскрыта на полную мощность; со стороны лежачего бока на мощность 4 м зона представлена жёлтой глиной с мелкими обломками ожелезнённого кварца; висячем боку зоны находятся обломки интенсивно окварцованных, ожелезнённых сланцев и кварца с редкой вкрапленностью галенита. На мощность 10 м содержится $0.12 \div 1.08$ г/т Au, среднее – 0.52 г/т, As – от 0.1 до 0.4% (среднее – 0.21). Прогнозные ресурсы Au р.з. по категории P_2 определены по следующим её характеристикам: среднее содержание As – 0.43%, средняя мощность – 20 м, прогнозная протяжённость на глубину – 200 м, объёмный вес руды – 3 т/м^3 , среднее содержание Au – 2.65 г/т, площадь – $S = 24000 \text{ м}^2$, объём – $V = 4800000 \text{ м}^3$, запасы руды – $Q = 14400000 \text{ т}$, прогнозные ресурсы Au по категории $P_2 = 38 \text{ т}$. В западной части р. з., где оконтурены вторичные ореолы Au и Au + Ag + As, протяженностью 150 м, прогнозные ресурсы Au при тех же параметрах составляют 4.8 т (руды – 1.8 млн. т). Общие прогнозные ресурсы Au по р. з. № I по категории P_2 составляют 43 т.

Рудная зона 2 находится в 100–320 м южнее р.з. № I. Её крайне западный фланг фиксируется прерывистыми ореолами Au, а также Au + Ag + As. Восточная часть этого

фланга на полную мощность вскрыта в трёх пересечениях, а отдельные её фрагменты – в шести сечениях. В западной части данного фланга зона частично вскрыта по одному разведочному сечению. Мощность её вскрытой части 8.5 м, содержание Au – $0.1 \div 10$ г/т, (среднее – 1.82), As до 0.5%. К востоку, во вскрытом канавой, элювий рудной зоны содержит $0.08 \div 5$ г/т Au (среднее – 0.82) на интервал 46 м. Протяженность р. з. № 2 – 1200 м (прогнозная – 5000). В четырёх разведочных сечениях содержание As составляет $0.1 \div >1.0\%$ (среднее – 0.52). Средняя мощность р. з. на западном её фланге – 25 м. Канавами вскрыты брекчиевые зоны в «ягнобских сланцах», зачастую рыхлых. Они серицитизированы, окварцованы, содержат охры железа и скородит. Прогнозные ресурсы Au определены по категории P_2 по следующим её характеристикам: среднее содержание Au = $5 \cdot (0.52 - 0.18) + 1.4 = 3$ г/т, площадь – $S = 30\,000$ м², объём – $6\,000\,000$ м³, запасы руды – $Q = 18\,000\,000$ т, прогнозные ресурсы Au – $P = 54$ т.

Восточный фланг рудной зоны № 2 представляет ранее изучавшийся на Sb Центральный участок месторождения Учкадо. Рудная зона приурочена к контакту известняков S_1 и сланцев O_{2-3} , имеет мощность $5 \div 10$ м. Рудовмещающие породы в ней интенсивно перемяты, брекчированы, окварцованы, содержат вкраплённость сульфидов Fe, As, Cu, Zn, Pb, Sb. Местами развиты кварцево-антимонитовые и антимонитовые жилы. Простираение зоны субширотное, падает под углами $35 \div 50^\circ$ к Ю и ЮВ. Отмечаются и субмеридиональные р. з. с преимущественным падением к В и ЮВ под углами $50 \div 70^\circ$. Минерализация в них аналогична субширотным рудным зонам. В сурьмяных рудных телах №№ 1 и 5 Sb содержится в среднем 10 и 15.6% соответственно. Запасы руды по обоим рудным телам по категории C_1 составили 7125 т.

При разведке месторождения Учкадо на Sb (1952–1956 гг.) в штольне № 1 в зоне с вкраплённостью антимонита и арсенопирита спектроскопически установлено 0.0n% Au. В последующие годы (1961–1978 гг.) рудные тела (р.т.) по отдельным разведочным сечениям опробованы на Au с поверхности, а более глубокие их части охарактеризованы по дубликатам проб прошлых лет. В результате подсчитаны запасы Au по категории C_2 по р. т. № 1 (106 кг) при среднем его содержании – 8.5 г/т (руды – 20 тыс.т.). Запасы могут быть увеличены за счёт его флангов и глубоких горизонтов. По р. т. № 5 отобрано лишь 15 проб, содержащих Au от «следов» до 3.6 г/т, что не позволяет подсчитать запасы по высоким категориям. В этой части р. з. установлен ореол As, длиной 340 м. Приняв среднее содержание Au аналогичным западному флангу зоны – 3 г/т, можно получить прогнозные ресурсы по категории P_2 из расчетов: $S = 340 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 2380 \text{ м}^2$; $V = 476\,000 \text{ м}^3$, $Q = 1428000$ т; $P = 4284 \text{ кг} \approx 4.3$ т. Прогнозные ресурсы Au по категории P_2 по р. з. № 2 составили 58.3 т.

Рудная зона № 3 сложена маломощными кварцево-сульфидными жилами, прожилками, а также вкраплённой сульфидной минерализацией. Её ширина около 240 м, протяжённость 600 м. Она наименее изменена гипергенными процессами в силу преобладания в её составе жильного кварца. Зона детально вскрыта канавами, в ней оконтурены

р. т., по которым подсчитаны прогнозные ресурсы по категории Р₁. В ней шире развиты пирит и арсенопирит, подчинённо – антимонит и галенит. Преобладают нерудные минералы – кварц, альбит, карбонаты, эпидот, бесцветные слюды, хлорит. Золото отмечается как в кварцево-сульфидных жилах, так и во вмещающих их измененных породах.

Рудное тело № 1 имеет протяженность 600 м, мощность – 0.3 ÷ 4.1 м (средняя – 1.3 м); его фланги перекрыты четвертичными накоплениями. Падение р. т. к СВ под углами 45÷65°. Золото в отдельных разведочных сечениях находится от 0.2 до 27.3 г/т (среднее – 6). Прогнозные ресурсы Au, найденные по показателям: S = 780 м², V = 156000 м³, Q = 468000 т, составляют – P = 2808 кг.

Рудное тело № 2 имеет длину 300 м, простирается к С – СЗ. Юго-восточный его фланг перекрыт мощными четвертичными накоплениями, северный, вероятно, соединяется с рудным телом № 1. Его мощность 0.2÷5.3 м (средняя – 1.6). Содержание Au в отдельных разведочных его сечениях – 2 ÷16.5 г/т (среднее 8.4). Прогнозные ресурсы Au, определенные по параметрам: S = 480 м², V = 96000 м³, Q = 288000 т, составили – P = 2419 кг.

Рудное тело № 3 расположено в 40 м к СВ от р. т. № 1. Его протяженность 50 м, мощность 1.2 ÷ 4.9 м (средняя – 2.5). Содержание Au в отдельных разведочных его сечениях составляет 4.5 ÷ 6.8 г/т (среднее – 5.7). Прогнозные ресурсы Au, найденные из характеристик: S =125 м², V = 12500 м³, Q = 37500 т, равны – P = 214 кг.

Рудное тело № 4 находится в 140 м. южнее р.т. № 2. Его протяженность 120 м, мощность – 1.0÷2.6 м (средняя – 2.0); фланги перекрыты четвертичными накоплениями. Содержание Au в его разведочных сечениях – от 0.8 до 8.9 г/т (среднее – 5.5). Прогнозные ресурсы Au, найденные из выражений: S = 240 м², V = 48000 м³, Q = 144000 т, составляют – P = 792 кг.

Рудное тело № 5 расположено в 110 м к ЮЗ от р.т. № 1. Его протяженность 220 м, мощность 0.4÷4.2 м. (средняя – 1.5); фланги перекрыты четвертичными накоплениями. Содержание Au в отдельных его разведочных сечениях – 0.2 ÷ 5.9 г/т (среднее – 1.7). Прогнозные ресурсы Au найдены по параметрам: S = 330 м², V = 66000 м³, Q = 198000 т, и составляют – P = 337 кг. Общие прогнозные ресурсы Au по категории Р₁ р. з. № 3 составляют 6570 кг. Запасы Au могут быть приращены путём разведки флангов известных р.т. и обнаружения новых.

Рудная зона № 4 прослеживается в центральной части рудного поля на расстоянии 2500 м. На большей части она перекрыта четвертичными накоплениями, однако прослеживается под ними по данным геофизики и вторичных ореолов As. Зона представлена серией сближенных субширотных разрывов, сложенных гидротермально интенсивно изменёнными брекчиями серицито-хлорито-кварцевых сланцев, кварцито-песчаников и эффузивных метабазитов. В границах зоны, особенно в её восточной части, в которой она изучалась как восточная зона Южного участка месторождения Учкадо, развиты кварцево-антимонитовые и антимонитовые прожилки и жилы мощностью до первых метров. В ней

развито также тончайшее прокварцевание и вкрапленная минерализация антимонита, арсенопирита, пирита при подчинённой роли галенита, сфалерита, тетраэдрита, халькопирита. Более изучена часть зоны протяженностью 120 м при мощности 35÷40 м. В ней выделено восемь р.т. длиной 9 ÷ 28 м при мощности 0.8 ÷ 2.6 м. Среднее содержание Sb в рудных телах – от 4.4 до 9.91% , в одном из них – 31%. Суммарные запасы сурьмы рудных тел по категории P₁ составляют 874 т.

В последующие годы отдельные каналы переопробовались на Au, выявлены золотоносные сечения, оконтурен золоторудный интервал длиной 11.4 м, содержанием 2 г/т Au. В отдельных пробах минерализованных зон содержание Au достигает 5.2 г/т, а в кварцево-антимонит-арсенопиритовых жилах – до 35.6 г/т. Степень вскрытия каналами рудных зон оказался весьма недостаточной, в лучшем случае вскрывался элювий рудных зон, а вскрытые штольнями зоны вкрапленной сульфидной минерализации не опробовались. По данным последующих (1976 –1978 гг.) лет установлено, что содержание As в зоне колеблется от 0.4 до 1% (среднее – 0.6). Прогнозное среднее содержание Au, определённое нами по уравнению регрессии: $5 \cdot (0.6 - 0.18) + 1.4$, составляет 3.5 г/т. Для определения прогнозных ресурсов по категории P₂ р. з., средняя её мощность принята в 20 м, длина определена по сумме длин ореолов As – 1400 м; другие её параметры: площадь – $S = 28000 \text{ м}^2$, объём – $V = 5600000 \text{ м}^3$, ресурсы руды – $Q = 16\,800\,000 \text{ т}$, ресурсы Au – $P = 58.8 \text{ т}$.

Рудная зона № 5 находится в 200÷400 м к Ю от р. з. № 4. Она в СЗ направлении прослеживается через всё рудное поле на расстояние 6 км. Западная её часть известна под названием Южно-Майданской зоны. Основная часть зоны проходит по контакту известняков S₂ – D₁ и сланцев O₃, каналами же вскрыты её оперяющие, мощностью 1 ÷ 4 м. Содержание полезных компонентов в зоне, % : Sb – до 0.98, Pb – до 0.68, Ag – до 152.9 г/т, Au – 0.1 ÷ 1.0 г/т, в одной пробе – 19.4 г/т на мощность 1 м. Центральная часть р.з. № 5, совпадающая с западной частью месторождения Учкадо, изучена на интервале 500 м проходкой канав и двух небольших штолен на Sb. Её простирание – З – СЗ, падение на Ю – ЮЗ под углами до 60°. Зона сложена сильно перемятыми, лимонитизированными серицит-хлорит-кварцевыми сланцами с вкрапленностью антимонита, пирита, арсенопирита и небольшим количеством кварцево-антимонитовых и антимонитовых жил и прожилков, протяжённостью 1.5 ÷ 2.0 м, мощностью 5 ÷ 10 см; отдельные линзы достигают мощности 2 ÷ 8 м, протяжённость – 30 ÷ 40 м. На Au и As пробы не анализировались. Восточная часть р.з. в последующие годы опробована по единичным сечениям. Её мощность – 21 м, падение к югу под углом 75°. Часть проб проанализирована на Au, его содержания – от «следов» до 1.4 г/т. Содержание As в зоне – от 0.06 до > 1 % (среднее – 0.51). Содержание Au в р.з. – 3.4 г/т – найдено по уравнению регрессии Au на As: $5 \cdot (0.51 - 0.18) + 1.4$. Для определения прогнозных ресурсов Au рудной зоны её средняя мощность принята в 20 м; длина, определенная по сумме длин ореолов As, составляет 1500 м; её площадь – $S =$

30 000 м², объём – V = 6 000 000 м³, ресурсы руды – Q = 18 000 000 т, ресурсы Au составляют 54 т.

Южнее р.з. № 5 в СЗ направлении, по геофизическим и геохимическим данным, прослеживается ряд р.з., которые из-за перекрытия мощными четвертичными накоплениями горно-разведочными работами не вскрыты и в подсчёт прогнозных ресурсов нами не включены. Не учтёнными также остались ресурсы Au, которые могут быть локализованы в оперяющих основные рудные зоны оруденелых участках. Кроме того, отсутствие вторичных ореолов Au над отдельными участками рудных зон может быть обусловлено их перекрытием флювиогляциальными накоплениями. По этим причинам, а также из-за явно заниженных средних содержаний золота, полученных по уравнению регрессии, прогнозные ресурсы Au рудного поля подсчитаны как минимальные. Они составляют 221 т., в том числе: по категории P₁ – 6.6 т, по P₂ – 214.1 т, по C₂ – 0.106 т. Эти данные дают основание прогнозировать в Учкадинском рудном поле выявление месторождения Au крупного масштаба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.И., Прокофьев А.А., Борзунов В.М. и др. Подсчёт запасов месторождений полезных ископаемых. – М.: Госгеолтехиздат, 1960, 672 с.
2. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. – М.: АН СССР, 1951, 336 с.
3. Шарапов И.П. Применение математической статистики в геологии. – М.: Недра, 1965, 260 с.
4. Блохина Н. А. – ДАН ТаджССР, 1985, т. XXVIII, № 3, с. 165 – 167.
5. Блохина Н. А. – ДАН Тадж ССР, 1985, т. XXVIII, № 4, с. 221 – 224.

М.М.МАМАДВАФОЕВ, Ю.А.ДИШУК

БАҲОДИҲИИ ОЯНДАНОКИ ТИЛЛОНОКИИ МАЙДОНИ МАЪДАНИИ УЧКАДО БО УСУЛҲОИ ГЕОХИМИЯВИ (ТОЧИКИСТОНИ МАРКАЗӢ)

Саридораи геологияи назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола бо назардошти сохти геологи, сохторҳои маъданназораткунанда ва маъданиҳотақунанда, типҳои маъдан, сатҳи бурриши эрозионии зонаҳои тиллодор ва дараҷаи иктишофи онҳо, усул (методика) ва ҳамчунин баҳодиҳии захираҳо ва захираҳои пешгуишудаи зонаҳои маъдандор ва майдони маъдани Учкадо дар маҷмуъ, аз назар гузаронида шудааст. Омӯзиши пурратари майдони маъдани бо мақсади баҳодиҳии оянданоки тиллонокии он бо категорияҳои саноатии захираҳо тавсия шудааст.

Калимаҳои калидӣ: Тоҷикистони Марказӣ – майдони маъдани Учкадо – қорҳои ҷустуҷуи – ореолҳои дуввумини литохимиявӣ – зонаҳои маъданӣ – қисмҳои маъданӣ – рағҳои кварц-антимонитӣ – минералнокшавии кварц-сульфидӣ – алоқаи коррелясионӣ – муодилаи регрессионӣ – баҳодиҳии тиллонокӣ – захираҳо ва захираҳои пешгуишудаи тилло.

M.M.MAMADVAFOEV, Y.I.DISCHUK

**EVALUATION OF PERSPECTIVES OF GOLD PRESENCE IN UCHKADO
ORE FIELD (CENTRAL TAJIKISTAN)**

General Directorate of Geology under the Government of the Republic of Tajikistan

Taking in to account the geological structure, ore-controlling and ore-containing structures, type of mineralization, level of erosion section of gold-bearing zones and the degree of their study, the article describes methods as well as assessment of expected resources of gold for zones and Uchkado ore field in general. It is recommended to study in detail the ore field to assess gold presence in terms of industrial categories of reserves.

Key words: Central Tajikistan – Uchkado ore field – prospecting works – secondary lithochemical envelopes – ore zones – ore bodies – quartz-antimonite veins – quartz-sulfide mineralization – correlation – equation of regression – gold presence assessment – stocks and expected reserves.



АКАДЕМИКУ
ЛЕОНИДУ ГРИГОРЬЕВИЧУ МИХАЙЛОВУ

85 ЛЕТ

28 февраля 2013 г. исполнилось 85 лет со дня рождения доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники Республики Таджикистан, лауреата Государственной премии им. Абуали ибн Сино, заведующего отделом дифференциальных уравнений Института математики им.А.Джураева АН РТ, академика АН Республики Таджикистан Леонида Григорьевича Михайлова.

В 1964 г. он защитил докторскую диссертацию в Математическом институте СО АН СССР г. Новосибирска на тему «Новый класс особых интегральных уравнений и его применения к дифференциальным уравнениям с сингулярными коэффициентами».

Научные работы Л.Г.Михайлова посвящены: новым классам особых интегральных уравнений; дифференциальным уравнениям с сингулярными коэффициентами; вырождению порядка дифференциальных уравнений типа Эйлера, Коши-Римана, Келдыша; созданию двумерного сингулярного анализа. Исследования Л.Г.Михайлова по краевым задачам и интегральным уравнениям отличает несомненная близость и важность для многих прикладных разделов науки – гидро- и аэродинамики, теории упругости и в теориях электромагнитных полей. Научные достижения академика Л.Г.Михайлова и его научной школы широкое признание среди математиков.

С 1945 по 1950 гг. Л.Г.Михайлов учился в Казанском государственном университете. В 1950 г. Л.Г.Михайлов с отличием окончил этот университет.

С 1950 по 1959 гг. Л.Г.Михайлов работал в ТГУ им. В.И.Ленина, а с 1959 г. и по сей день работает в Институте математики им.А. Джураева Академии наук республики. Л.Г. Михайлов стоял у истоков зарождения и формирования математической науки в Советском Таджикистане.

В 1963 г. он показал свою докторскую диссертацию почти в четыреста машинописных страниц президенту АН Республики Таджикистана Султану Умаровичу Умарову, и она была издана в виде монографии. Затем она была переиздана в переводе на англий-

ский язык престижными в мировой науке научными издательствами Wolters-Noord-Hoof. Groningen (Голландия) и Academie-Verlag. Berlin (1970).

Вторая его монография «Интегральные уравнения с ядрами однородными степени -1» вышла в 1966 г. в издательстве «Дониш» Академии наук Таджикистана.

С 1969 по 1971гг. Л.Г.Михайлов работал заведующим кафедрой уравнений математической физики Горьковского университета.

В 1968 г. Л.Г.Михайлов был избран членом-корреспондентом Академии наук Таджикистана, а в 1987 г. - академиком. В 1993-1994 гг. был вр.и.о. вице-президента, председателя Отделения физико-математических и химических наук АН Таджикистана.

С 1961 г. является членом редколлегии журнала «Доклады АН Республики Таджикистан», был членом редколлегий международных научных журналов США, Греции, Румынии и Германии.

В 1986 г. была издана третья монография Л.Г.Михайлова «Некоторые переопределенные системы уравнений в частных производных с двумя неизвестными функциями» (Душанбе: Дониш).

Л.Г.Михайловым опубликовано около 300 научных статей, ряд из них в ДАН СССР: «О некоторых сингулярных уравнениях с частными производными», «Об одном свойстве сингулярных дифференциальных уравнений», «К теории полных дифференциалов с сингулярными точками» и др.

Ему принадлежат многочисленные статьи обзорного характера. К примеру, по предложению журнала «Mathematische Nachrichten» Л.Г.

Михайлов написал большую статью, включающую обзор цикла работ 1958-1963 гг. в юбилейный номер, посвященный 100-летию Эрхардта Шмидта (ученика и сотрудника великого Д.Гильберта), о многомерных интегральных уравнениях с ядрами $\theta(x,y)$ однородными порядка -n, где n – размерность пространства.

Начиная с 1991 г. его научные работы публикуются в ДАН России, например, в 2009 г. с докторантом Р.Акбаровым, в 2010 г. с докторантом А.Мухсиновым, в 2013 г. с докторантом Р.Пировым.

Л.Г.Михайлов – специалист по дифференциальным уравнениям, по теории функций и математическому анализу. Глубоко владеет аппаратом теории функций и математической физики. Он ставит перед учениками нелегкие, важные актуальные научные проблемы.

Под его непосредственным научным руководством и при оказании им научных консультаций защитили диссертации более сорока кандидатов и докторов наук, двое из которых стали академиками АН Таджикистана.

Леонид Григорьевич Михайлов привлекает к науке любознательных, трудолюбивых студентов, надо их найти. Интерес к науке сам по себе не рождается, а прививается учителем. Здесь, как и в поэзии, всё передается «от сердца к сердцу». Л.Г.Михайлов явля-

ется настоящим учёным, его богатство, как и всех преданных своему делу учёных, - его ученики.

Судьба не слишком баловала его. И всего того, что он достиг в жизни, пришлось добиваться самым упорным трудом.

От своего деда Федора Михайлова, гвардейца императорской гвардии, он унаследовал врождённую выправку и статью, а от родителей – трудолюбие.

Любовью к жизни, тягой к творчеству он заряжается в горах. Всю жизнь Леонид Григорьевич проводит свой отдых на лоне природы. Совместно с супругой Наталией Михайловной Просоедовой они с высоты гор наслаждаются красотой родного края.

Правительство Республики Таджикистан высоко оценило его заслуги в науке, подготовке и воспитании научных кадров, присвоив ему в 1998 г. высокое звание «Заслуженный деятель науки и техники Таджикистан» и наградив его в 2007 г. Государственной премией имени Абуали ибн Сино.

Л.Г.Михайлов имеет также награды от Университета имени Мартина Лютера (г. Галле, Германия), американскую медаль доблести и славы, медаль к столетию М.А.Лаврентьева (СО РАН).

Леонид Григорьевич Михайлов считает, что надо стремиться быть в первых рядах мировой науки, проявляя смелость, выдержку, самоотверженность. Пожелаем Леониду Григорьевичу Михайлову многих лет жизни.

*М.И.Илолов, Н.Р.Раджабов, Н.У.Усмонов,
Г.Джангибеков, Р.Пиров.*

АБДУАЛИ АБДУМАНОНОВУ – 60 ЛЕТ



Абдуали Абдуманонов родился 22.02.1953 г. в Исфаринском районе Ленинабадской области в семье учителя. В 1975 г. с отличием окончил физический факультет Ленинабадского пединститута. Учитывая склонность к научным изысканиям, его приняли на работу в качестве преподавателя кафедры общей физики. В ноябре 1975 г. А.Абдуманонова перевели на должность стажёра-исследователя и прикомандировали в ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР. После прохождения стажировки и сдачи кандидатских минимумов в 1977 г. поступил в аспирантуру Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе.

В те годы композиционные материалы (КМ) были предложены как перспективные материалы. Назревала необходимость исследования физико-механических свойств КМ. Физики полагали, что исследование физических вопросов деформирования и разрушения КМ позволяет объяснить причины их уникальных механических свойств, даёт возможность управлять этими свойствами и станет научной базой для получения материалов с заданными свойствами. Под руководством известного физика, лауреата госпремии СССР, профессора В.Р.Регеля и доктора физ-мат. наук, профессора А.М.Лексовского Абдуманонов А. участвовал в выполнении программы по исследованию физики прочности КМ. Они одними из первых исследовали кинетику разрушения волокнистых металлических КМ, как на феноменологическом уровне, так и на уровне анализа образования дефектов и их взаимодействия. В результате системного исследования долговечности бороалюминия и других КМ им удалось сформулировать «кинетическое правило смесей», которое позволяет прогнозировать долговечность КМ с учётом условий их работы. Летом 1980 г. Абдуали Абдуманонов в эксперименте обнаруживает, что взаимодействие дефектов, которые возникают при деформировании КМ, происходит не со скоростью звука, как полагали многие физики, а гораздо медленнее. Детальное исследование закономерности взаимодействия дефектов (микро- и мезотрещин) стало темой его докторской диссертации.

После успешной защиты кандидатской диссертации (ФТИ, 1981г.) он возвращается в Ленинабад (ныне Худжанд), работает доцентом кафедры общей физики, а в период

1982-1992 гг. - замдеканом физического факультета по науке. В эти годы он вносит значительный вклад в организацию НИР факультета. Участники кружка по решению задач, который организовал А.Абдуманонов, неоднократно занимали первые места в республиканских олимпиадах по физике. Вместе с соратниками он организовал научную лабораторию, где выполнялись заказы на НИР в рамках хоздоговора. Так что помимо решения конкретных научных задач, укреплялась лабораторная база НИР, которая позволяет решать диссертационные задачи по физике.

В трудные 1992-1994 годы А.Абдуманонов перешёл на должность старшего научного сотрудника и продолжил исследовательскую работу в Лаборатории физики прочности КМ ФТИ им. А.Ф.Иоффе. В этот период совместно с профессором А.М.Лексовским и старшим научным сотрудником А.П.Тишкиным А.Абдуманонов проводил эксперименты с целью выяснения механизма взаимодействия дефектов и условий формирования макроразрушения КМ. Итогом этих работ стала диссертация «Коррелированность микроразрушений при деформировании однонаправленных композитов», которую он защитил в Санкт-Петербургском техническом университете (2002 г.) и стал доктором физико-математических наук. С 2003 по 2010 гг. он заведовал кафедрой общей физики и физики твёрдого тела ХГУ и внёс значительный вклад в развитие НИР как кафедры, так и факультета.

Начиная с 1995 г. А.Абдуманонов является снс лаборатории физики Худжандского научного центра (ХНЦ) АН РТ. Сотрудничество учёных ХГУ и ХНЦ даёт положительные результаты в деле развития науки и подготовки научных кадров. Учитывая вклад А.Абдумановова в развитие науки и подготовки кадров, Президиум АН РТ в 2009 г. назначил его заместителем председателя, а с мая 2010 года председателем ХНЦ, где и поныне он успешно работает. Так, по его инициативе, при поддержке президента АН РТ, академика М.Илолова в ХНЦ в 2012 г. осуществлялся коммуникационный проект. В рамках этого проекта в ХНЦ установлена современная коммуникационная техника, что значительно улучшило условия работы учёных ХНЦ.

А.Абдуманонов внёс заметный вклад в развитие теории разрушения КМ. На базе уникального экспериментального оборудования он впервые обнаружил и обосновал релаксационный механизм взаимодействия микро- и мезотрещин в нагруженном КМ. Этот результат со стороны ведущих специалистов признан как базис в создании теории перехода от микро- к макроразрушению КМ. А.Абдуманонов является автором более 160 научных, научно-методических работ и изобретений. Его статьи опубликованы в ведущих научных журналах России, США, Японии, Польши, Латвии, Таджикистана и других стран. Он является участником многих международных, региональных и республиканских конференций по физике прочности. Под его руководством подготовили и защитили кандидатские диссертации несколько аспирантов. В настоящее время А.Абдуманонов является руководителем двух аспирантов и одного соискателя. Заслуги А.Абдумановова отмечены званием «Отличника народного образования Республики Таджикистан», грамота-

ми Министерства образования, ректората ХГУ, Хукумата Согдийской области А.Абдуманонов награждён знаком «Учёный года ХГУ» (2006). Ему присущи высокие нравственные качества учёного-педагога.

*Саидмухаммад Одинаев – академик АН РТ, профессор,
Гафур Усмонов – ректор ХГУ им.Б.Гафурова, профессор,
Рустам Валиев – зам. директор ХНЦ АН РТ, доцент*

ПАМЯТИ УЧЁНОГО

**ИВАН АЛЕКСЕЕВИЧ ГЛУХОВ –
ЯРКИЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ХИМИЧЕСКОЙ НАУКИ ТАДЖИКИСТАНА
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**



В мае 2013 года видному ученому, одному из основателей направления химии редких рассеянных элементов, члену-корреспонденту АН РТ, доктору химических наук, профессору Ивану Алексеевичу Глухову исполнилось бы 100 лет.

Его жизнь оборвалась в 2005 г., на 92-м году жизни, и он много сделал для развития химии и технологии редких металлов, построенной на низкотемпературном хлорном процессе.

В профессоре И.А.Глухове гармонично сочетались жизнь и работа, ум и характер, творчество. Он был прекрасным химиком-экспериментатором и преданным

науке человеком.

Роль И.А.Глухова в развитии процесса низкотемпературного хлорирования в природных соединениях редких и рассеянных элементов огромна, и дело не только в конкретных экспериментальных работах учёного, на которые продолжает ссылаться немало авторов, а в универсальности метода Глухова И.А.

В последующих работах сотрудников Института химии АН РТ, для других природных объектов показана возможность низкотемпературного хлорирования для получения хлоридов бора, алюминия, железа и переходных металлов.

Сегодня ученики, сотрудники, друзья и близкие И.А.Глухова вспоминают свои встречи и беседы с ним, рисуя образ прекрасного человека, гуманиста, учёного.

Профессор И.А.Глухов родился 4 мая 1936 г. В 1936 г. окончил Среднеазиатский государственный университет и был направлен на работу в Таджикистан. Работал заведующим лабораторией Среднеазиатской станции «Главпарфюмер». С 1946 г. работал в Институте химии АН Таджикистана.

Работая в Институте химии со дня его открытия, И.А.Глухов являлся одним из активных организаторов становления научных направлений в области неорганической химии. В свое время в лаборатории, возглавляемой профессором И.А.Глуховым, возникли новые научные направления и коллективы научных работников вокруг этих исследова-

ний, которые впоследствии выделились в самостоятельные лаборатории. К ним относятся все лаборатории неорганического профиля, которые существуют на сегодня в Институте химии.

На основе обширных исследований в области химии хлорирования и химии хлоридных соединений редких металлов, изучен химизм процессов низкотемпературного хлорирования, отработаны рациональные методы синтеза новых и малоизвестных хлоридных соединений редких металлов, изучена природа этих соединений. Работы коллектива лаборатории в этом направлении являются значительным вкладом в развитии химии редких металлов. На основе материалов этих исследований И.А.Глухов защитил в 1955 г. кандидатскую диссертацию, а в 1966 г. – докторскую. Под руководством профессора И.А.Глухова на базе этих же исследований сотрудниками лаборатории защищено шесть кандидатских диссертаций, опубликовано более 100 научных статей. Профессор И.А.Глухов являлся автором первого изобретения в республике и 26 изобретений за весь период его деятельности. За долготелную работу в вузах республики, за подготовку кадров высокой квалификации И.А.Глухову в 1968 г. было присвоено ученое звание профессора.

Для вольфрамово-молибденовой отрасли металлургии профессор Глухов И.А. создал низкотемпературный хлорный процесс, отличающийся предельно короткой технологической схемой, селективностью, универсальностью и пригодностью для бедных руд. По этой технологии найдены инженерные решения. Технология была рекомендована для внедрения в промышленность высшими научными инстанциями – Госкомитетом СССР по науке и технике и АН СССР. На основе научно-технического договора с Министерством цветной металлургии СССР проводились работы по внедрению технологии в промышленность. В В/О «Лицензинторг» были задействованы мероприятия по продаже лицензии на эту технологию за рубеж.

На принципах низкотемпературного хлорирования были отработаны основы технологии получения вольфрама и молибдена высокой чистоты. Дальнейшими научными изысканиями была доказана пригодность низкотемпературного хлорного процесса для извлечения ряда других редких металлов из рудного сырья.

Профессор И.А.Глухов систематически оказывал консультативную помощь предприятиям и ведомствам республики, он был внештатным инспектором Комитета народного контроля республики, научным консультантом Научно-технического отдела МВД Республики Таджикистан и Республиканского бюро судебно-медицинской экспертизы Минздрава Республики Таджикистан.

В Министерстве цветной металлургии СССР с большим уважением относились к профессору И.А.Глухову. Были выделены средства для пилотной установки в Институте химии для опытно-промышленных испытаний процесса низкотемпературного хлорирования.

В основе процесса низкотемпературного хлорирования лежит реакция хлорирования оксидных минеральных форм редких металлов газовой смесью хлора и паров хлори-

дов серы (хлористой серы). В присутствии паров хлоридов серы оксидные формы по обменной реакции переходят в хлоридные соединения. При этом кислород оксида обменивается на хлор хлоридов серы. Реакция эта, реакция обмена, не требует высоких энергий активации и поэтому протекает при низких (200-300°C) температурах. Хлориды серы являются удобным, доступным хлоридом-реагентом, но не единственным агентом для осуществления обменной реакции; имеется широкий выбор хлоридов-реагентов, с которыми оксидные соединения элементов легко могли бы вступить в обменную реакцию.

И.А.Глуховым впервые в Таджикистане в 50-х гг. прошлого века были начаты систематические исследования в области переработки вольфрам-, ванадийсодержащих руд Таджикистана. Результаты этих работ позволили разработать ряд принципиальных технологических схем переработки указанных руд.

У профессора И.А.Глухова было сильно развито чувство ответственности и долга перед наукой. Круг его интересов был широк. Также он прекрасно разбирался в электрохимии.

В лице И.А.Глухова мы всегда видели настоящего ученого, который все свои силы и знания посвящал служению на благо развития науки. Своими научными трудами он внес огромный вклад в развитие химической науки Таджикистана.

Хотя И.А.Глухова нет среди нас, но мы всегда чувствуем его присутствие, его доброжелательность, оптимизм и чуткость.

Особенно дорог нам его подход к пониманию химических процессов, смелость его суждений. Его качества ученого-химика снискали ему уважение в очень широком кругу ученых у нас в стране и за рубежом.

Становление многих химиков-неоргаников свершилось при его участии. До самого последнего часа он беспокоился о внедрении своего метода в практику. Он все свои силы посвящал Институту химии и развитию химии в Таджикистане.

За заслуги в научной и общественной деятельности И.А.Глухову в 1973 г. было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки Таджикской ССР. Он награжден медалью «За трудовые отличия» и Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Таджикской ССР.

В течение ряда лет И.А.Глухов был заместителем председателя диссертационного совета в Институте химии АН РТ.

Каждая встреча с И.А.Глуховым была проникнута духом теплоты и взаимной заинтересованности. Все, кто знал профессора И.А.Глухова, навсегда сохранят в памяти облик скромного, доброго и отзывчивого человека.

Память о Иване Алексеевиче Глухове навсегда сохранится в наших сердцах.

*Академик АН РТ Д.Халиков
Академик АН РТ У.Мирсадов*

МАНЗУР РАХИМОВИЧ ДЖАЛИЛОВ
(К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Чем дальше в прошлое уходят годы, когда жил и работал академик Манзур Рахимович Джалилов – видный учёный и умелый организатор науки, тем лучше и полнее мы можем оценить тот вклад, который он внёс в развитие геологической науки в Таджикистане.

Академик М.Р.Джалилов, которому в этом году исполнилось бы 80 лет, относился к числу тех учёных, благодаря которым в научной среде создаётся обстановка высокой преданности науке, доброжелательности, согласия, взаимопомощи, взаимного уважения.

Родился он 12 июня 1933 г. в г. Ленинабаде (Худжанде) в семье видного таджикского писателя Рахима Джалила. Воспитание, полученное им в интеллигентной семье, в которой царил высокий дух морали, взаимного уважения, доброжелательности и тяги к знаниям, сказалось на характере и всей дальнейшей жизни Манзура Рахимовича. После окончания с медалью школы в 1951 г. он поступил на геологическое отделение факультета естественных наук Таджикского госуниверситета, который окончил с отличием в 1956 г., получив диплом инженера-геолога по специальности «Геологическая съёмка и поиски полезных ископаемых». В стенах университета он проявил большой интерес к научным исследованиям, принимал активное участие в работе студенческого научного общества. Дальнейшую судьбу Манзура Рахимовича как научного работника определили увлекательные занятия, которые проводила ныне покойная профессор Дина Михайловна Чедия, пробудив у него интерес к палеонтологии и исторической геологии.

После окончания университета он связал свою судьбу с Институтом геологии АН Таджикистана, где прошёл путь от младшего научного сотрудника до директора Института.

Начало его научной деятельности связано с изучением гастропод и стратиграфии меловых отложений Юго-Западного Дарваза, по результатам которого в 1963 г. во ВСЕГЕИ в г. Ленинграде им была защищена кандидатская диссертация на тему «Стратиграфия и брюхоногие моллюски верхнемеловых отложений Юго-Западного Дарваза».

С 1967 по 1978 гг. он проработал заведующим сектором стратиграфии отдела региональной геологии, а с 1978 по 1988 гг. – заведующим отделом палеонтологии и стратиграфии Института геологии АН Таджикской ССР. С 1988г. и до самой своей кончины - 7 октября 1994 г. он возглавлял Институт геологии, будучи его директором.

В 1974 г. Манзур Рахимович защитил докторскую диссертацию на тему: «Меловые брюхоногие юго-востока Средней Азии (систематика, стратиграфическое и зоогеографическое значение)» во ВСЕГЕИ в г. Ленинграде. В 1981 г. он был избран членом-корреспондентом АН Таджикской ССР, с 1989 по 1991 гг. был членом Президиума и главным учёным секретарем, а с 1991 г. – действительным членом (академиком) и вице-президентом АН Таджикской ССР.

Манзур Рахимович фактически был создателем и руководителем широко известной в научном мире школы таджикских палеонтологов и биостратиграфов. Он около 40 лет возглавлял палеонтолого-стратиграфические работы в Таджикистане, укрепляя сотрудничество палеонтологов республики между собой и с палеонтологами из других республик бывшего СССР, будучи председателем Таджикского отделения Всесоюзного палеонтологического общества. Занимая должности председателя секции мела Среднеазиатской региональной межведомственной стратиграфической комиссии и заместителя председателя Среднеазиатского совета по координации палеонтолого-стратиграфических работ, он являлся одним из организаторов палеонтолого-стратиграфических работ на территории всей Средней Азии. Решению этих и многих других задач способствовало и то, что он одновременно был членом Совета Всесоюзного палеонтологического общества, членом бюро Меловой комиссии Межведомственного стратиграфического комитета СССР, членом комиссии по брюхоногим моллюскам Научного совета по проблеме «Пути и закономерности исторического развития животных и растительных организмов», председателем Национального Комитета по истории геологических наук Таджикистана. После распада СССР, в 1992 г. он был избран ассоциированным членом Совета Палеонтологического общества при Российской академии наук и ассоциированным членом Бюро меловой комиссии Межведомственного стратиграфического комитета России.

Обширной и многогранной была научная деятельность Манзура Рахимовича. В области палеонтологии много внимания им было уделено вопросам морфологии, систематики, стратиграфического и зоогеографического значения меловых гастропод, установлено и описано много новых подсемейств, родов и видов этих моллюсков, которые признаны всеми специалистами и широко используются коллегами из разных стран мира. При изучении морфологии раковин этих организмов он стал применять количественные методы для выяснения систематики этих организмов, наряду с применявшимися до этого

качественными методами. Впервые для поздне меловых представителей брюхоногих моллюсков ему удалось установить признаки полового диморфизма. Вместе со своими коллегами он принимал непосредственное участие в открытии и изучении следов и скелетных фрагментов меловых динозавров, выявленных в ряде стратиграфических горизонтов Таджикистана.

В области стратиграфии им проделана большая работа по упорядочению региональных стратиграфических схем меловых отложений Средней Азии, в пределах Таджикской депрессии выделено шесть типов разрезов и создана региональная схема расчленения верхнемеловых отложений для всей Таджикской депрессии, в основу которой были положены региональные горизонты.

Особое внимание Манзур Рахимович уделял вопросам, связанным с географической дифференциацией меловых гастропод Средней Азии. На основании изучения их распространения, с учётом данных по другим группам организмов, была установлена развивавшаяся с альбского по маастрихтский века Среднеазиатская палеогеографическая область. Согласно его данным, в отдельные периоды этого времени эта область распадалась на Таджикскую и Ферганскую провинции. Вопросы палеобиогеографии разрабатывались им как в общетеоретическом плане, так и с позиций изучения конкретных меловых бассейнов осадконакопления. При рассмотрении проблемы соотношения зоогеографии и палеозоогеографии им показано, что в силу специфичности ископаемого материала не все принципы зоогеографии можно применять в палеозоогеографии, что в определении палеозоогеографических единиц, наряду с указанием эндемичности таксонов, специфичности экологических особенностей сообществ организмов, должно найти отражение и время их существования. Им была предложена методика составления палеозоогеографических карт в соответствии с общими принципами палеозоогеографического районирования, которая легла в основу коллективной монографии «Биогеографическое районирование Южного Таджикистана. Мезозой. Кайнозой».

По инициативе и при непосредственном участии М.Р. Джалилова в последние годы его жизни впервые велись работы по реперному датированию конкретных интервалов верхнемеловых отложений Таджикской депрессии по глаукониту с использованием калий-аргонового и рубидий-стронциевого методов абсолютной геохронологии.

Манзур Рахимович проводил обширную педагогическую и общественную работу. Он был научным руководителем и консультантом целого ряда молодых специалистов в области палеонтологии, стратиграфии и других областей геологии, многие из которых продолжают работать как в Таджикистане, так и за его пределами. Он постоянно занимался просветительской деятельностью, выступая в различных аудиториях с пропагандой достижений геологической науки, а также публикуя различные научно-популярные статьи и брошюры на русском и таджикском языках. Манзур Рахимович был организатором и председателем Всесоюзной школы по гастроподам и симпозиума «Ископаемые гастроподы – методы изучения, стратиграфическое и зоогеографическое значение», которые с

успехом прошли в Душанбе в 1982 г. Он в разные годы организовал и провёл в Душанбе и на базе дома отдыха Академии наук, с выездом на полевые экскурсии, несколько международных симпозиумов и совещаний по различным группам фауны и геологическим системам.

Манзур Рахимович был участником ряда международных совещаний, проходивших как на территории СССР, так и в странах дальнего зарубежья.

В течение 10 лет, с 1980 по 1990 гг., Манзур Рахимович был членом диссертационного совета по защите кандидатских диссертаций, а с 1991 г. и до самой кончины – председателем диссертационного совета по защите диссертаций на соискание учёной степени доктора наук в Институте геологии АН Таджикской ССР. В 1989 г. он был избран членом Комитета, а с 1991 г – учёным секретарем Комитета по государственным премиям им. Абуали ибн Сино Республики Таджикистан в области науки и техники и главным редактором журнала «Известия АН Республики Таджикистан. Науки о Земле».

Большую работу Манзур Рахимович провел по организации Худжандского научного центра, первым председателем которого был избран в 1992 г. К сожалению, из-за кончины Манзура Рахимовича этим планам не суждено было осуществиться.

Под его научным руководством в нашей стране издан ряд палеонтологических сборников с описаниями новых таксонов ископаемых животных и растительных организмов, а также созданы Атласы ископаемой фауны и флоры и карбонатных пород Таджикистана в семи томах, из которых три к настоящему времени опубликованы.

Манзуром Рахимовичем опубликовано более 150 работ, в том числе шесть монографий. Он был редактором 23 научных работ – сборников трудов, монографий, атласов и др.

Его коллегами, как таджикскими, так и зарубежными, в честь Манзура Рахимовича названы один новый род и 11 новых видов из различных групп ископаемых организмов.

Высокие моральные принципы Манзура Рахимовича, его внутренняя культура, трудолюбие, любовь к науке, доступность, доброжелательность и уважение к людям служили и всегда будут служить примером для всех, кто хранит память о нём как о талантливом учёном и Человеке большой души.

*М.И.Илолов, С.О.Одинаев, Х.М.Ахмедов,
С.Х.Негматуллаев, З.Д.Усманов, А.Р.Файзиев,
Ю.М.Мамаджанов, А.А.Сабиров, Р.И.Костова*

ПАМЯТИ УЧЁНОГО

БАРАТОВ РАУФ БАРАТОВИЧ

10.10.1921 г.– 14.01.2013 г.



Наука Таджикистана понесла тяжёлую утрату – 14 января 2013 г. после продолжительной болезни, на 92 году жизни скончался Рауф Баратович Баратов, академик Академии наук Республики Таджикистан, доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Государственной премии имени Абуали ибн Сино в области науки и техники, заслуженный деятель науки Таджикистана, почётный директор Института геологии АН РТ (с 2011 г. – Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ), один из основателей современной геологической науки Таджикистана.

Р.Б.Баратов родился в Канибадамском районе Согдийской (бывшей Ленинабадской) области. В 1937 г. после окончания Канибадамского педагогического училища он поступил на геолого-почвенный факультет Среднеазиатского (Ташкентского) государственного университета, который окончил с отличием и был оставлен в аспирантуре. В 1941-1943 гг., ещё будучи студентом, Р.Б. Баратов работал в Геологическом институте Таджикского филиала АН СССР под руководством доцента Ленинградского горного института И.К.Никитина. В 1949 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Интрузивные формации Южно-Варзобского гранитоидного массива», а в 1966 г. за работу «Интрузивные комплексы южного склона Гиссарского хребта и связанное с ними оруденение» ему была присуждена учёная степень доктора геолого-минералогических наук.

Рауф Баратович Баратов, начиная с 1941 г., прошёл трудный, но славный путь становления его как учёного – от рядового коллектора, младшего научного и старшего научного сотрудника, заведующего отделом до директора Института геологии, в должности которого он проработал более 35 лет (1953-1988 гг.), а затем, до последних лет своей жизни был почетным директором института.

В 1959-1979 гг. выполнял обязанности академика-секретаря Отделения физико-математических, химических и геологических наук. В 1976-1984 гг. он был вице-президентом АН Таджикистана, с 1988 г. – советником Президиума АН РТ.

Р.Б.Баратов – патриарх геологической науки Таджикистана, авторитетный учёный в области региональной геологии, петрологии и металлогении Таджикистана, автор более 750 научных работ, в том числе 15 монографий. В его работах обобщены материалы по геологии, петрологии и полезным ископаемым Таджикистана и рассмотрены вопросы развития горнорудной промышленности в республике. При его активном участии открыто несколько месторождений полезных ископаемых, что дало возможность осуществить промышленные разработки.

Р.Б.Баратов в течение многих лет был членом Национального геологического комитета СССР, членом ряда научных советов, председателем нескольких научных отраслевых обществ по различным направлениям геологической науки, организатором международных конференций, совещаний и симпозиумов в Таджикистане. Он принимал деятельное участие в работе Научно-технического совета Главного геологического управления при Правительстве Республики Таджикистан.

В 1953 г. по инициативе Р.Б.Баратова было утверждено Таджикское отделение Всесоюзного минералогического общества, председателем которого он был многие годы.

В Рауфе Баратовиче органически сочетались замечательные качества учёного и талантливого педагога, создавшего школу геологов, известную своими достижениями в нашей стране и за рубежом. Наряду с научными исследованиями он оказывал содействие воспитанию молодых геологических кадров. По инициативе Р.Б.Баратова при Институте геологии был организован диссертационный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций. На протяжении многих лет он преподавал на геологическом факультете Таджикского государственного университета Таджикистана (ныне Таджикского национального университета), руководил научными работами аспирантов и студентов. Под его научным руководством защищены 8 кандидатских и 2 докторские диссертации.

Р.Б.Баратов внёс большой вклад в распространение геологических знаний среди населения. Его перу принадлежат интересные научно-популярные книги «Полезные ископаемые Таджикистана», «Подземные богатства Хатлонской области», «Проблемы экологии Таджикистана» и другие, в том числе свыше 40 статей в газетах и журналах нашей страны.

Научная и общественная деятельность Р.Б.Баратова была отмечена многочисленными государственными наградами и премиями, в том числе орденом Дружбы народов, двумя орденами «Знак Почёта», медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», «За трудовую доблесть», «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И.Ленина», «Тридцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», «Ветеран труда», медалью академика С.И.Вавилова «За заслуги в разведке недр», золотым значком Организационного Комитета XXVIII Всемирного геоло-

гического конгресса (Москва, 1988 г.), Почётным знаком Академии наук Республики Таджикистан. Он также был награждён многими дипломами и почётными грамотами.

В 1970 г. он стал лауреатом Государственной премии им.Абуали ибн Сино, а в 2007 г. – премии им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан. В 1974 г. ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Таджикской ССР».

Новому минералу, открытому в Таджикистане, присвоено имя – «Баратовит» (1975 г.).

Комиссия Американского биографического института по международным исследованиям дважды назвала Р.Б.Баратова «Человеком года» – в 2000 и 2002 гг.

Светлая память о Рауфе Баратовиче Баратове навсегда сохранится в памяти народа Таджикистана, его коллег, сотрудников и учеников, друзей и товарищей.

*М.И.Илолов, Х.М.Ахмедов, П.Б.Бабаджанов,
Р.М.Марупов, У.М.Мирсаидов, С.О.Одинаев,
Д.Х.Халиков, А.Р.Файзиев, Ю.М.Мамаджанов*

ПАМЯТИ УЧЁНОГО

МЭЛС ИКРАМОВИЧ САЛАХУТДИНОВ

(10.10.1938 Г. – 06.01.2013 Г.)



6 января 2013 года на 75-м году жизни в г. Воронеже (Российская Федерация) скончался Салахутдинов Мэлс Икрамович, доктор физико-математических наук, профессор, видный учёный в области теоретической и молекулярной физики.

Физико-технический институт им. С.У.Умарова Академии наук Республики Таджикистан в мае 2014 г. отметит свое 50-летие. С высоты прошедших лет отчетливее видна значимость пройденного пути по становлению института, организации каждого из его подразделений, подбору научного контингента, подготовке кадров и определению основных направлений исследований ин-

ститута.

К числу тех учёных, которые стояли у истоков становления Физико-технического института как центра развития физической науки в Таджикистане, несомненно, относится Мэлс Икрамович Салахутдинов – талантливый учёный, замечательный педагог, неутомимый труженик, честный и порядочный Человек.

Салахутдинов Мэлс Икрамович родился 10 октября 1938 г. в г. Душанбе. После окончания средней школы в 1955 г. он поступил на физическое отделение физико-математического факультета Таджикского государственного университета им. В.И.Ленина. После окончания университета в 1960 г. М.И.Салахутдинов был оставлен на кафедре теоретической физики в должности ассистента, а в 1961 г. переведён на должность старшего преподавателя.

С 1963 г. по 1966 г. он аспирант Физико-технического института АН Таджикской ССР, был командирован в Московский областной пединститут им. Н.К.Крупской.

В 1970 г. после защиты кандидатской диссертации ему была присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук. В Физико-техническом институте им. С.У.Умарова Салахутдинов М.И. работал в должностях младшего научного сотрудника (1966-1974 гг), старшего научного сотрудника (1974-1978 гг.), учёного секретаря

(1978-1979 гг.), заведующего лабораторией (1978-1993 гг.), заместителя директора по научной работе (1993-2004 гг.).

С 2004 г. аботал исполняющим обязанности профессора кафедры теплотехники и теплотехнического оборудования Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими, с 2007 г. – профессором этой же кафедры и одновременно по совместительству главным научным сотрудником ФТИ АН Республики Таджикистан.

В круг его научных интересов входили термодинамические, структурные и акустические свойства жидкостей, жидких кристаллов и магнитных жидкостей в окрестности фазовых переходов.

В 1978-1993 гг. будучи заведующим лабораторией физической акустики М.И.Салахутдинов был инициатором и научным руководителем исследований структуры, термодинамических свойств и фазовых переходов в жидких кристаллах методом Монте-Карло, исследований в области теплофизики жидких кристаллов и акустики магнитных жидкостей – теплофизических свойств жидких кристаллов методом прецизионной адиабатической калориметрии и исследований свойств магнитных жидкостей методом акустической спектроскопии. Эти исследования проводились в тесном сотрудничестве и координации с лабораторией жидких кристаллов Института кристаллографии им. А.В.Шубникова АН СССР и другими ведущими научными центрами России, Украины и Узбекистана.

Мэлс Икрамович, будучи в 1983-1991 гг. членом секции «Жидкие кристаллы» Научного Совета АН СССР по проблеме «Образование и структура кристаллов», организовал проведение в 1985 г. выездной сессии секции в г. Душанбе, что способствовало развитию исследований по жидким кристаллам в Таджикистане. Результаты этих многолетних исследований легли в основу докторской диссертации «Вопросы теории термодинамических и кинетических свойств жидкостей и жидких кристаллов вблизи точек фазовых переходов», защищенной в 1993 г.

Мэлс Икрамович Салахутдинов умело сочетал свою научную деятельность с педагогической. Более 40 лет он читал лекции по курсам теоретической и общей физики в вузах республики, руководил научной работой аспирантов и соискателей учёной степени. Под его научным руководством подготовлены один доктор и четыре кандидата наук. Он является автором более 150 печатных научных работ, из которых 70 работ опубликованы в ведущих международных журналах.

В 1998-2005 гг. состоял членом редколлегии журнала « Доклады Академии наук Республики Таджикистан».

Активно участвуя в подготовке научных кадров страны, М.И.Салахутдинов в 1994-1999 гг. был членом диссертационного совета Д 065.01.04, а в 2000-2002 гг. – заместителем председателя объединённого диссертационного совета Д 737.004.01. при Таджикском национальном университете. В 2002-2006 гг. был членом диссертационного

совета К 737.007.02. при Таджикском техническом университете им. академика М.С.Осими.

Трудно найти какую-либо диссертационную работу по физике, защищенную в эти годы, в которой в той или иной мере не проявился бы вклад Мэлса Икрамовича.

Последнюю редакцию экспертных заключений всех работ проводил Мэлс Икрамович лично. Будучи глубоко эрудированным учёным, он мог найти в каждой работе самое главное, существенное и точно отразить это в официальных документах.

В течение 33 лет М.И.Салахутдинов был бессменным членом Учёного совета ФТИ АН РТ, в определённые периоды выполнял обязанности ученого секретаря и заместителя председателя этого совета. В 2003 и 2006 гг. был членом Международного оргкомитета V и VI-й Международных конференций по лиотропным жидким кристаллам (г. Иваново, Россия).

За плодотворную научную деятельность, весомый вклад в подготовку научных кадров высокой квалификации, активное участие в работе научных организаций и укрепление научных связей между научными центрами и учёными Российской Федерации и Республики Таджикистан Мэлс Икрамович Салахутдинов в 2001 г. был награждён орденом «Дусти» («Дружба») Республики Таджикистан.

Ушёл из жизни наш коллега – неординарный, одаренный, целеустремлённый, скромный, строгий и требовательный учёный.

В нашей памяти Мэлс Икрамович Салахутдинов останется образцом интеллигентного, необычайно трудоспособного ученого, внесшего большой вклад в развитие физической науки в Таджикистане.

*М.И.Илолов, С.Одинаев, Р.М.Марупов,
Х.Х.Муминов, И.И.Исмаилов, Р.А.Кариева*

Редакция и корректура – Н.Г.Сапожников

Сдано в набор 08.04.2013 г. Подписано в печать 22.04.2013 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. 11.
Тел.:2-21-62-64. E-mail: danrt@mail.ru
Издательство «Дониш»: 734029, Душанбе, ул.Айни, 121, корп.2.0*
