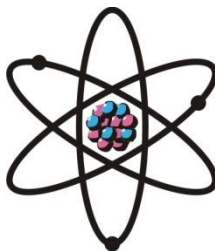


ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 1 (170)
2018 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

О.А.Джурахонов. Верхние грани средеквадратических приближений некоторых классов функций двух переменных суммами Фурье-Чебышева 7

А.С.Сатторов, Дж.Ю.Назаров. Интегральные представления и решения задач типа Коши для одного вырождающегося дифференциального уравнения четвертого порядка первого рода..... 21

ИНФОРМАТИКА

Х.А.Эвазов. О таджикском компьютерном корректоре..... 29

ФИЗИКА

Х.Х.Муминов, Ш.Ф.Мухамедова, М.Асгари-Ларими. Анализ бризерной динамики многосолитонных решений скалярного нелинейного уравнения Шредингера с конденсатными граничными условиями..... 33

Т.М.Алидодов, Х.Ш.Абдулов, Х.Х.Муминов. Расчет внутренних напряжений в многослойных гетероструктурах на основе GaInAsP/InP..... 49

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М.А.Салиев, Х.М.Ахмедов. Исследование эффективности солнечной фотоэлектрической установки в реальных условиях эксплуатации 57

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

И.К.Каландарбеков, И.И.Каландарбеков, Д.Н.Низомов. Инновационные методы защиты зданий и сооружений от землетрясений 64

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.М.Баротов, Ф.А.Назаров, А.С.Курбонов, Ш.Б.Назаров, У.М.Мирсаидов. Оценка процесса спекания боросиликатной руды с различными реагентами..... 73

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Р.Д.Исмонов, И.Н.Ганиев, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров. Потенциодинамическое исследование сплава АВ1, легированного индием, в среде электролита 3%-ного NaCl..... 78

МИНЕРАЛОГИЯ

М.А.Мираков, А.Р.Файзиев, Л.А.Паутов, М.А.Шодибеков. К минералогии пегматитов Намангутского пегматитового поля (Юго-Западный Памир) 84

Ф.А.Файзиев, А.Р.Файзиев, С.Б.Ятимов. О сереброносности скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара (Северный Таджикистан)..... 97

ГЕОЛОГИЯ

М.Х.Ишанов, Д.М.Ишанов, Н.С.Сафаралиев, Ш.А.Одинаев. Прямые методы поисков крупных месторождений углеводородов в Юго-Западном Таджикистане 107

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Ш.Н.Узакова, И.Р.Караев. Геологические угрозы и их последствия на территории Юго-Западного Памира 116

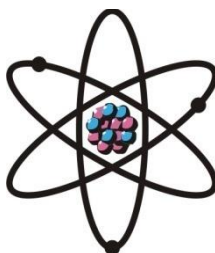
Х.Аброров, А.С.Раджабова. Проблемы охраны водных ресурсов Горного Зеравшана 122

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

К 80-летию члена-корреспондента Академии Наук Республики Таджикистан Абдулхака Раджабовича Файзиева..... 128

ШҮЪБАИ
ИЛМҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз моҳи
январӣ соли 1952
нашр мешавад



№ 1 (170)
с. 2018

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

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

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

О.А.Ҷӯрахонов. Қимати аниқи сарҳадии болоии наздиккунии миёнаи квадрати баъзе синфҳои функсияҳои ду тағйирёбанда ба воситаи суммаҳои Фурье-Чебишев 7
А.С.Сатторов, Ҷ.Ю.Назаров. Тасвири интегралӣ ва ҳалли масъалаи навъи Кошӣ барои як муодилаи дифференсиалии таназзулбандаи чинси якуми тартиби чор 21

ИНФОРМАТИКА

Х.А.Эвазов. Дар бораи таҳриргари компютери матни тоҷикӣ 29

ФИЗИКА

- Ҳ.Ҳ.Муминов, Ш.Ф.Мухамедова, М. Асгарӣ-Ларимӣ.** Таҳлили динамикаи бризерии ҳаллҳои бисёрсолитонии муодилаи скалярии ғайрихаттии Шредингер бо шартҳои сарҳадии конденсатӣ..... **33**
- Т.М.Алидодов, Х.Ш.Абдулов, Ҳ.Ҳ.Муминов.** Муҳосиботи шиддатҳои дохилӣ дар гетеросохторҳои бисёрқабата дар асоси GaInAsP/InP..... **49**

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- М.А.Салиев, Ҳ.М.Ахмедов.** Таҳқиқи самаранокии энергетикӣ дастгоҳи фотоэлектрикӣ офтобӣ дар шароити истифодабарии воқеӣ **57**

МЕХАНИКА БИНОКОРӢ

- И.Қ.Қаландарбеков, И.И.Қаландарбеков, Ҷ.Н.Низомов.** Методи фановарии химояи биноҳо ва иншоотҳо аз заминчунбӣ..... **64**

ХИМИЯИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ

- А.М.Баротов, Ф.А.Назаров, А.С.Қурбонов, Ш.Б.Назаров, У.М.Мирсаидов.** Баҳодиҳии раванди гудозиши маъданҳои боросиликатӣ бо реагентҳои гуногун..... **73**

ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ

- Р.Д.Исмонов, И.Н.Ганиев, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров.** Таҳқиқоти потенциодинамикӣ ҳулаи АБ1, кӣ бо индӣ чавхаронидашудааст, дар маҳлули электролитии 3%-и NaCl..... **78**

МИНЕРАЛОГИЯ

- М.А.Мираков, А.Р.Файзиев, Л.А.Паутов, М.А.Шодибеков.** Оиди минералогияи пегматитҳо аз майдони пегматитии Намангут (Помири Ҷанубу-Ғарбӣ) **84**
- Ф.А.Файзиев, А.Р.Файзиев, С.Б.Ятимов.** Оид ба нукрадорӣ конҳои скарн-полиметаллии Қарамазори Ғарбӣ (Тоҷикистони Шимолӣ) **97**

ГЕОЛОГИЯ

- М.Ҳ.Ишанов, Д.М.Ишанов, Н.С.Сафаралиев, Ш.А.Одинаев.** Усулҳои мустақими ҷустуҷуи конҳои бузурги нафту газ дар Ҷанубу Ғарбии Тоҷикистон..... **107**

ГЕОЭКОЛОГИЯ

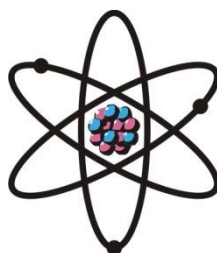
- Ш.Н.Узакова, И.Р.Қараев.** Хатарҳои геологӣ ва натиҷаи онҳо дар қисмати Ҷанубу-Ғарбии Помир..... **116**
- Ҳ.Аброров, А.С.Раҷабова.** Масъалаҳои ҳифзи захираҳои оби Кӯхистони Зарафшон **122**

ҶАШНИ ОЛИМОН

- А.Р.Файзиев - 80 сол**..... **128**

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

The journal was established
in January 1952



№ 1 (170)
2018

EDITORIAL BOARD

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

CONTENTS

MATHEMATICS

- O.A.Jurakhonov**. Least upper bounds of mean square deviation approximations of some classes of functions of two variables by Fourier-Chebyshev sums..... **7**
A.C.Sattorov, J.Y.Nazarov. Integral representations and solutions of the Cauchy type problem, for a degenerated differential equation of the fourth order of the first kind **21**

INFORMATICS

- Kh.A.Evazov**. About the tajik spellchecker..... **29**

PHYSICS

- Kh.Kh.Muminov, Sh.F.Muhamedova, M.Asghari-Larimi**. Analysis of the breather dynamics of multisoliton solutions of the scalar nonlinear Schrödinger equation with condensate boundary conditions **33**

T.M.Alidodov, Kh.Sh.Abdulov, Kh.Kh.Muminov. Calculation of stresses in the multilayer GaInAsP/InP heterostructures..... **49**

ELECTROTECHNICS

M.A.Saliev., Kh.M.Akhmedov. Study of efficiency of solar photoelectric installation in real operating conditions **57**

STRUCTURAL MECHANICS

I.K.Kalandarbekov, I.I.Kalandarbekov, J.N.Nizomov. Innovative methods of protection of buildings and constructions from earthquakes **64**

INORGANIC CHEMISTRY

A.M.Barotov, F.A.Nazarov, A.S.Kurbonova, Sh.B.Nazarov, U.M.Mirsaidov. Estimation of the process of sintering of borosilicate ore with various reagents..... **73**

PHYSICAL CHEMISTRY

R.D.Ismonov, I.N.Ganiev, H.O.Odinazoda, A.M.Safarov. Potentiodynamic investigation of AB1 alloy doped by indium, in electrolyte medium of 3% NaCl **78**

MINERALOGY

M.A.Mirakov, A.R.Fayziev, L.A.Pautov, M.A.Shodibekov. To the mineralogy of pegmatites of the Namangut pegmatite field (South-Western Pamir) **84**

F.A.Fayziev, A.R.Fayziev, S.B.Yatimov. About silver-bearing of skarn-polymetallic deposits of Western Karamazar (Northern Tajikistan) **97**

GEOLOGY

M.H.Ishanov, D.M.Ishanov, N.S.Safaraliev, Sh.A.Odinaev. Direct methods for large hydro-carbon deposits' searching in the South-Western Tajikistan..... **107**

GEOECOLOGY

Sh.N.Uzakova, I.R.Qaraev. Geological threats and their consequence in territory South-West Pamir **116**

H.Abrorov, A.S.Rajabova. The problems of protection of water resources of mountain Zeravshan..... **122**

JUBILEE OF SCIENTIST

A.R.Fayziev - 80 year old **128**

УДК 517.5

О.А.ДЖУРАХОНОВ

**ВЕРХНИЕ ГРАНИ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ
НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИЙ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ СУММАМИ
ФУРЬЕ-ЧЕБЫШЕВА**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 12.02.2018 г.

В статье найдены точные значения верхних граней среднеквадратических приближений некоторых классов функций двух переменных "круговыми" частичными суммами Фурье-Чебышева.

Ключевые слова: среднеквадратичное приближения, "круговые" суммы, частичные суммы Фурье-Чебышева, оператор сдвига.

1. Классические многочлены Чебышева имеют многочисленные применения в экстремальных задачах теории аппроксимации и прикладной математике. Так, например, хорошо известна роль многочленов Чебышева при минимизации остатка квадратурных формул, при приближённом решении дифференциальных и интегральных уравнений, а также в задачах интерполяции функций (см. например, монографии [1-4]). Что же касается работ, посвященных применению многочленов Чебышева двух и большего числа переменных в прикладных задачах, то их совсем мало. Укажем работы [3-7], где вводятся и изучаются многочлены Чебышева многих переменных, рассматриваются некоторые практические применения многочленов Чебышева двух переменных. В [8] изучается ряд теоретических вопросов, связанных с разложениями функций двух переменных в двойных рядах Фурье по многочленам Чебышева и исследуются их скорости сходимости, а также оценка их остаточных членов.

Настоящая статья продолжает указанную тематику и посвящена вопросам вычисления верхних граней приближения в среднем двойными суммами Фурье-

Адрес для корреспонденции: Джурахонов Олимджон Акмалович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: olim74@tajnet.tj

Чебышева некоторых классов дифференцируемых функций двух переменных. При этом важную роль играет оператор обобщенного сдвига соответствующий многочленам Чебышева двух переменных и введенный этим оператором обобщенный модуль непрерывности.

2. Введём необходимые для дальнейшего определения и предварительные факты. Пусть в $L_{2,\rho} := L_2(Q; \rho)$, где

$$Q = \{(x, y) := -1 \leq x, y \leq 1\}, \quad \rho := \rho(x, y) = 1 / \sqrt{(1-x^2)(1-y^2)},$$

пространство суммируемых с квадратом функций f двух переменных в области Q с весом ρ и нормой

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

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

$$\begin{aligned} F_h f(x, y) = & \frac{1}{4} [f(x \cos h + \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h + \sqrt{1-y^2} \sin h) + \\ & + f(x \cos h + \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h - \sqrt{1-y^2} \sin h) + \\ & + f(x \cos h - \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h + \sqrt{1-y^2} \sin h) + \\ & + f(x \cos h - \sqrt{1-x^2} \sin h, y \cos h - \sqrt{1-y^2} \sin h)], \end{aligned} \quad (1)$$

который будем называть оператором обобщенного сдвига.

Следуя работе [8], определим разности первого и высших порядков равенствами

$$\Delta_h(f) := \Delta_h(f; x, y) = F_h f(x, y) - f(x, y) = (F_h - E)f(x, y),$$

$$\Delta_h^k(f) := \Delta(\Delta_h^{k-1}(f)) = \Delta_h(\Delta_h^{k-1}(f; \cdot, \cdot), x, y) =$$

$$= (F_h - E)^k f(x, y) = \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \binom{k}{i} F_h^i f(x, y),$$

где

$$F_h^0 f(x, y) = f(x, y), F_h^i f(x, y) = F_h(F_h^{i-1} f(x, y)) \quad (i = \overline{1, k}, k \in \mathbb{N}, 0 < h < 1),$$

и E – единичный оператор в $L_{2,\rho}$. Величину

$$\Omega_m(f, t)_{2,\rho} := \sup \left\{ \|\Delta_h^m(f)\|_{2,\rho} : 0 < h \leq t \right\}, 0 < t < 1 \quad (2)$$

будем называть обобщённым модулем непрерывности m -го порядка функции $f \in L_{2,\rho}$.

Далее мы предположим, что функция $f \in L_{2,\rho}$ имеет обобщённые частные производные в смысле Леви ([9, с.172]). Введём операторы

$$D_x := (1-x^2) \frac{\partial^2}{\partial x^2} - x \frac{\partial}{\partial x}, \quad D_y := (1-y^2) \frac{\partial^2}{\partial y^2} - y \frac{\partial}{\partial y},$$

и положим

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

дифференциальный оператор Чебышева второго порядка по переменным x и y .

Рассмотрим следующий класс функций: $L_2^{(r)} := L_2^{(r)}(D)$ – класс функций $f \in L_2$, имеющих обобщённые частные производные

$$\frac{\partial^k}{\partial x^{k-i} \partial y^i} f(x, y), \quad i = 0, 1, \dots, k; \quad k = 1, 2, \dots, 2r, \quad r \in \mathbb{N}$$

в смысле Леви, принадлежащие пространству L_2 и для которых $\|D^r f\|_{2,\rho} < \infty$, где, как обычно, $D^0 f \equiv f$, $D^r f \equiv D(D^{r-1} f)$, $r \in \mathbb{N}$. Пусть далее

$$T_0(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}}, \quad T_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos(n \arccos x), \quad n = 1, 2, \dots$$

– ортонормированная система многочленов Чебышева [10, с.76] в пространстве $L_{2,\rho}$.

Разложим функции f в двойной ряд Фурье-Чебышева

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} c_{kl}(f) T_k(x) T_l(y), \quad (3)$$

где

$$c_{kl}(f) = \iint_{(Q)} \rho(x, y) f(x, y) T_k(x) T_l(y) dx dy \quad (4)$$

– коэффициенты Фурье-Чебышева функции $f \in L_{2,\rho}$, а равенство в (3) понимается в смысле сходимости в $L_{2,\rho}$. Обозначим символом

$$S_R(f; x, y) = \sum_{0 \leq k^2 + l^2 \leq R^2} c_{kl}(f) T_k(x) T_l(y)$$

"круговые" частные суммы ряда (3) и пусть

$$E_R(f)_{2,\rho} := E_R(f)_{L_{2,\rho}} = \inf \left\{ \|f - p_R\|_{2,\rho} : p_R \in \mathcal{P}_R \right\}$$

– наилучшее приближение функции $f \in L_{2,\rho}$ множеством \mathcal{P}_R – алгебраических полиномов вида

$$p_R(x, y) = \sum_{0 \leq k^2 + l^2 \leq R^2} a_{kl} x^k y^l$$

в пространстве $L_{2,\rho}$. Хорошо известно, что

$$\begin{aligned} E_R(f)_{2,\rho} &:= \inf \left\{ \|f - p_R\|_{2,\rho} : p_R(x, y) \in \mathcal{P}_R \right\} = \\ &= \|f - S_R(f)\|_{2,\rho} = \left\{ \sum_{k^2 + l^2 \geq R^2} c_{kl}^2(f) \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (5)$$

В [8] доказано, что для произвольной $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ в смысле сходимости в $L_{2,\rho}$ имеет место равенство

$$\|\Delta_h^m(D^r f)\|_{2,\rho} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (1 - \cos kh \cos lh)^{2m} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f). \quad (6)$$

Легко проверить, что

$$DT_k(x)T_l(y) = -(k^2 + l^2)T_k(x)T_l(y). \quad (7)$$

Применяя метод математической индукции, из (7) получим

$$D^r T_k(x)T_l(y) = (-1)^r (k^2 + l^2)^r T_k(x)T_l(y). \quad (8)$$

Учитывая (8), из (3) после r -кратного применения оператора D имеем:

$$D^r f(x, y) = (-1)^r \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (k^2 + l^2)^r c_{kl}(f) T_k(x) T_l(y). \quad (9)$$

Очевидно, что для любой $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ полученный двойной ряд в (9) сходится в смысле пространства $L_{2,\rho}$. Поэтому он будет служить рядом Фурье-Чебышева функции $D^r f \in L_{2,\rho}$ (см., например, [11, с.169]). Пользуясь равенством Парсеваля, из (9) будем иметь

$$\|D^r f\|_{2,\rho}^2 = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f).$$

Кроме того, очевидно

$$E_R(D^r f)_{2,\rho} = \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f). \quad (10)$$

Условимся далее при вычислении верхних граней по всем функциям $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ в соотношениях общего характера подразумевать, что $D^r f \neq \text{const}$.

Лемма 1. При любом $r \in \mathbb{Z}_+$ справедливо равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{E_R(f)_{2,\rho}}{E_R(D^r f)_{2,\rho}} = \frac{1}{R^{2r}}. \quad (11)$$

Доказательство. Пользуясь равенствами (5) и (10), для произвольной $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ получаем

$$\begin{aligned} E_R^2(f)_{2,\rho} &= \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} c_{kl}^2(f) = \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} \frac{1}{(k^2 + l^2)^{2r}} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \leq \\ &\leq \frac{1}{R^{4r}} \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) = \frac{1}{R^{4r}} E_R^2(D^r f)_{2,\rho}. \end{aligned}$$

Отсюда следует оценка сверху величины, стоящей в левой части равенства (11),

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{E_R(f)_{2,\rho}}{E_R(D^r f)_{2,\rho}} \leq \frac{1}{R^{2r}}. \quad (12)$$

С целью получения оценки снизу рассмотрим функцию

$$f_0(x, y) = \frac{1}{R^{2r}} T_0(x) T_R(y),$$

которая очевидно принадлежит классу $L_{2,\rho}^{(r)}$.

В самом деле, для функции f_0 в силу формул (5) и (10) имеем:

$$E_R(f_0)_{2,\rho} = \frac{1}{R^{2r}}, \quad E_R(D^r f_0)_{2,\rho} = 1. \quad (13)$$

Пользуясь равенствами (13), запишем оценку снизу для экстремальной характеристики, стоящей в левой части неравенства (12):

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{E_R(f)_{2,\rho}}{E_R(D^r f)_{2,\rho}} \geq \frac{E_R(f_0)_{2,\rho}}{E_R(D^r f_0)_{2,\rho}} = \frac{1}{R^{2r}}. \quad (14)$$

Из сопоставления оценки сверху (12) и оценки снизу (14) получаем требуемое равенство (11). Лемма 1 доказана.

3. При решении различных экстремальных задач теории аппроксимации функций важную роль играют неравенства между нормами последовательных производных функций или неравенства типа Колмогорова в различных банаховых пространствах. Если $\mathbb{S} = \mathbb{R}$ или $\mathbb{S} = \mathbb{R}_+$, то неравенство Колмогорова имеет вид

$$\|f^{(s)}\|_{L_p(\mathbb{S})} \leq M \|f\|_{L_q(\mathbb{S})}^\alpha \cdot \|f^{(r)}\|_{L_\gamma(\mathbb{S})}^\beta, \quad (15)$$

где

$$\alpha = \frac{r-s-1/\gamma+1/p}{r-1/\gamma+1/q}, \quad \beta = 1-\alpha.$$

Следует отметить, что различные неравенства типа (15) с точными константами приведены в монографии [12]. В статье [13] приведён обстоятельный обзор всех результатов неравенства вида (15), где получены наилучшие константы и анализируется связь задачи Стечкина о наилучшем приближении оператора дифференцирования D^k порядка k с неравенством (15). Здесь докажем точное неравенство Колмогорова для функций $f \in L_2^{(r)}(D)$ в пространстве L_2 . Поскольку функция $f \in L_2^{(r)}$ и её промежуточные производные $D^s f$, $s=1,2,\dots,r-1$, $r \in \mathbb{N}$ принадлежат пространству L_2 , то представляет несомненный интерес изучение поведения наилучших приближений $E_R(D^s f)$, $s=1,2,\dots,r-1$, $r \in \mathbb{N}$ на классе $L_2^{(r)}(D)$. Справедливо следующее утверждение

Теорема 1. Пусть $r, s \in \mathbb{N}$, $r > s$. Тогда для произвольной функции $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ справедливо точное на $L_{2,\rho}$ неравенство

$$\|D^s f\|_{2,\rho} \leq \|D^r f\|_{2,\rho}^{s/r} \cdot \|f\|_{2,\rho}^{1-s/r}. \quad (16)$$

Доказательство. В самом деле, в силу линейности оператора D^s из равенства (3) с учётом равенства (8) имеем:

$$D^s f(x, y) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (-1)^s (k^2 + l^2)^s c_{kl}(f) T_k(x) T_l(y)$$

Применяя равенство Парсеваля, запишем

$$\|D^s f\|_{2,\rho}^2 = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (k^2 + l^2)^{2s} c_{kl}^2(f). \quad (17)$$

Воспользовавшись неравенством Гельдера для двойного ряда, из равенства (17) получаем

$$\begin{aligned} \|D^s f\|_{2,\rho}^2 &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \left((k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \right)^{s/r} \cdot \left(c_{kl}^2(f) \right)^{1-s/r} \leq \\ &\leq \left(\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \right)^{s/r} \cdot \left(\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} c_{kl}^2(f) \right)^{1-s/r} = \|D^r f\|_{2,\rho}^{2s/r} \cdot \|f\|_{2,\rho}^{2(1-s/r)}, \end{aligned}$$

откуда и вытекает неравенство (16).

Для рассмотренной нами при доказательстве леммы 1 функции $f_0(x, y) = \frac{1}{R^{2r}} T_0(x) T_R(y) \in L_2^{(r)}(D)$, для которой $\|f_0\|_{2,\rho} = R^{-2r}$, имеем

$$\begin{aligned} D^s f_0(x, y) &= (-1)^s R^{-2(r-s)} T_0(x) T_R(y), \quad \|D^s f_0\|_{2,\rho} = R^{-2(r-s)} \\ D^r f_0(x, y) &= (-1)^r T_0(x) T_R(y), \quad \|D^r f_0\|_{2,\rho} = 1. \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$\|D^s f_0\|_{2,\rho}^2 = \|D^r f_0\|_{2,\rho}^{2s/r} \cdot \|f_0\|_{2,\rho}^{2(1-s/r)} = R^{-2(r-s)},$$

откуда и следует точность неравенства (16). Теорема 1 полностью доказана.

Теорема 2. Пусть $r, s \in \mathbb{N}, 1 \leq s \leq r-1, r \geq 2$. Тогда для произвольной функции $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ справедливо точное неравенство

$$E_R(D^s f)_{2,\rho} \leq (E_R(D^r f)_{2,\rho})^{s/r} \cdot (E_R(f)_{2,\rho})^{1-s/r}. \quad (18)$$

Доказательство. Так как равенство (9) имеет место для любого $r \in \mathbb{N}$, то при любом $s(1 \leq s \leq r-1, r \geq 2)$ запишем

$$\begin{aligned} E_R^2(D^s f)_{2,\rho} &= \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} (k^2 + l^2)^{2s} c_{kl}^2(f) = \\ &= \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} \left((k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \right)^{s/r} \cdot \left(c_{kl}^2(f) \right)^{1-s/r} \leq \\ &\leq \left(\sum_{k^2+l^2 \geq R^2} (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \right)^{s/r} \cdot \left(\sum_{k^2+l^2 \geq R^2} c_{kl}^2(f) \right)^{1-s/r} \leq \\ &\leq (E_R^2(D^r f)_{2,\rho})^{s/r} \cdot (E_R^2(f)_{2,\rho})^{1-s/r}, \end{aligned}$$

откуда и вытекает неравенство (18).

Так как для функции $f_1(x, y) = T_R(x)T_0(y)$ в силу равенств (5) и (10) имеют место соотношения

$$E_R(f_1)_{2,\rho} = 1, E_R(D^s f_1)_{2,\rho} = R^{2s}, E_R(D^r f_1)_{2,\rho} = R^{2r}, \quad (19)$$

то будем иметь

$$E_R(D^s f_1)_{2,\rho} = (E_R(D^r f_1)_{2,\rho})^{s/r} \cdot (E_R(f_1)_{2,\rho})^{1-\frac{s}{r}} = (R^{2r})^{\frac{s}{r}} = R^{2s}.$$

Этим доказана точность неравенства (18) и теорема 2 полностью доказана.

4. В этом пункте приведём более общие результаты. Имеет место следующая

Теорема 3. Пусть $m \in \mathbb{N}, r \in \mathbb{Z}_+, R \in \mathbb{R}_+, 0 < p \leq 2, 0 < h \leq \pi / R, q(t) \geq 0$ – произвольная суммируемая не эквивалентная нулю на отрезке $[0, h]$ функция. Тогда справедливо равенство

$$\sup_{f \in L^{(r)}_{2,\rho}} \frac{R^{2r} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}} = \frac{1}{\left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{pm} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (20)$$

Доказательство. Воспользуемся одним вариантом неравенства Минковского, приведенного в монографии [14, с.104]:

$$\left\{ \int_0^h \left(\sum_{j=N}^{\infty} |\tilde{f}_j(t)|^2 \right)^{p/2} dt \right\}^{1/p} \geq \left\{ \sum_{j=N}^{\infty} \left(\int_0^h |f_j(t)|^p dt \right)^{2/p} \right\}^{1/2}, \quad (21)$$

где $0 < p \leq 2$. Полагая в неравенстве (21) $\tilde{f}_j := f_j q^{1/p}$, получаем

$$\left\{ \int_0^h \left(\sum_{j=N}^{\infty} |f_j(t)|^2 \right)^{p/2} q(t) dt \right\}^{1/p} \geq \left\{ \sum_{j=N}^{\infty} \left(\int_0^h |f_j(t)|^p q(t) dt \right)^{2/p} \right\}^{1/2}.$$

Используя равенство (6), из последнего неравенства будем иметь

$$\begin{aligned} \left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p} &\geq \left(\int_0^h \|\Delta_r^m(D^r f)\|^p q(t) dt \right)^{1/p} \geq \\ &\geq \left[\sum_{k^2+l^2 \geq R^2} (1 - \cos kt \cos lt)^{2m} \cdot (k^2 + l^2)^{2r} c_{kl}^2(f) \right]^{p/2} q(t) dt \Bigg]^{1/p} \geq \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\geq \left\{ \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} c_{kl}^2(f) \left((k^2+l^2)^{pr} \int_0^h (1-\cos kt \cos lt)^{pm} q(t) dt \right)^{2/p} \right\}^{1/2} \geq \\
&\geq \inf_{\substack{k^2+l^2 \geq R^2 \\ k, l \in \mathbb{N}}} \left\{ (k^2+l^2)^{pr} \int_0^h (1-\cos kt \cos lt)^{pm} q(t) dt \right\}^{1/p} \cdot \left\{ \sum_{k^2+l^2 \geq R^2} c_{kl}^2(f) \right\}^{1/2} = \\
&= \left\{ R^{2pr} \int_0^h (1-\cos Rt)^{pm} q(t) dt \right\}^{1/p} \cdot E_R(f) = \\
&= R^{2r} \left\{ \int_0^h (1-\cos Rt)^{pm} q(t) dt \right\}^{1/p} \cdot E_R(f).
\end{aligned}$$

Отсюда для произвольной функции $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ вытекает оценка сверху

$$\frac{R^{2r} E_R(f)_{2,\rho}}{\left\{ \int_0^h \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} q(t) dt \right\}^{1/p}} \leq \frac{1}{\left\{ \int_0^h (1-\cos Rt)^{pm} q(t) dt \right\}^{1/p}}. \quad (22)$$

Для получения соответствующей оценки снизу рассмотрим функцию $f_1(x, y) = T_R(x)T_0(y)$, использованную нами в конце доказательства теоремы 2. Для этой функции в силу (6) имеем

$$\| \Delta_h^m(D^r f_1) \|_{2,\rho}^2 = (1-\cos Rh)^{2m} R^{4r},$$

откуда сразу следует, что

$$\Omega_m^p(D^r f_1, t)_{2,\rho} := (1-\cos Rt)^{pm} R^{2pr} \quad (0 < p \leq 2; 0 < Rt \leq \pi). \quad (23)$$

Учитывая полученные равенства, запишем оценку снизу

$$\begin{aligned}
&\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}} \geq \frac{R^{2r} E_R(f_1)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f_1, t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}} = \\
&= \frac{R^{2r} \cdot 1}{R^{2r} \left(\int_0^h (1-\cos Rt)^{pm} q(t) dt \right)^{1/p}} = \frac{1}{\left(\int_0^h (1-\cos Rt)^{pm} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (24)
\end{aligned}$$

Из сопоставления оценки сверху (22) и оценки снизу (24) получаем требуемое равенство (20). Теорема 3 доказана.

Из доказанной теоремы 3 вытекает ряд следствий

Следствие 1. Если в условиях теоремы 3 положить $q(t) = R \sin Rt$, то имеем

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r-\frac{1}{p}} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} \sin Rtdt \right)^{1/p}} = \left\{ \frac{mp+1}{(1-\cos Rh)^{mp+1}} \right\}^{1/p}.$$

В частности, отсюда при $h = \pi / R$ вытекает равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r-\frac{1}{p}} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^{\pi/R} \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} \sin Rtdt \right)^{1/p}} = \left\{ \frac{mp+1}{2^{mp+1}} \right\}^{1/p}. \quad (25)$$

В свою очередь, если в (25) положить $p = 1/m$, то при $2r > m, r, m \in \mathbb{N}$ получаем аналог одной теоремы В.В.Шалаева [15]:

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r-m} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^{\pi/R} \Omega_m^{1/m}(D^r f, t)_{2,\rho} \sin Rtdt \right)^m} = \frac{1}{2^m}.$$

Следствие 2. В условиях теоремы 3 при $q(t) = 1, h = \pi / R$ справедливо равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-\frac{1}{p})} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^{\pi/R} \Omega_m^p(D^r f, t)_{2,\rho} dt \right)^{1/p}} = \left\{ \frac{\Gamma(mp+1)}{2^{mp} \sqrt{\pi} \Gamma(mp + \frac{1}{2})} \right\}^{1/p},$$

где $\Gamma(u)$ – гамма-функция Эйлера. В частности, при $p = \frac{1}{m}, r \geq m, r, m \in \mathbb{N}$

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-m)} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^{\pi/R} \Omega_m^{1/m}(D^r f, t)_{2,\rho} dt \right)^m} = \frac{1}{\pi^m}.$$

Следствие 3. При $q(t) \equiv 1, p = 1/m, m \in \mathbb{N}, r \in \mathbb{Z}_+, 2r > m, 0 < h \leq \pi / R$ из (19) вытекает

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r-m} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^{1/m} (D^r f, t)_{2,\rho} dt \right)^m} = (Rh - \sin Rh)^{-m}.$$

В частности, полагая в полученном равенстве $h = \pi / (2R)$, имеем

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2r-m} E_R(f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^{\pi/(2R)} \Omega_m^{1/m} (D^r f, t)_{2,\rho} dt \right)^m} = \left\{ \frac{2}{\pi - 2} \right\}^m.$$

Следующая теорема базируется на неравенстве (18).

Теорема 4. Пусть $m, r, s \in \mathbb{N}$, $r \geq s$ ($1 \leq s \leq r-1$, $r \geq 2$), $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq 3\pi / (4R)$, $R \in \mathbb{R}_+$, $q(t)$ – неотрицательная суммируемая на отрезке $[0, h]$ не эквивалентная нулю функция. Тогда имеет место равенство

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)} E_R(D^s f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p (D^r f, t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}} = \left\{ \int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right\}^{-1/p}. \quad (26)$$

В частности, если в (26) полагать

$$p = 1/m, \quad m \in \mathbb{N}, \quad 2(r-s) > m, \quad r, s \in \mathbb{N}, \quad q(t) \equiv 1,$$

то имеем

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)-m} E_R(D^s f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^{1/m} (D^r f, t)_{2,\rho} dt \right)^m} = (Rh - \sin Rh)^{-m},$$

а если же полагать $p = 1/m$ и $q(t) = t$, то будем иметь

$$\begin{aligned} & \sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)-m} E_R(D^s f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h t \Omega_m^{1/m} (D^r f; t)_{2,\rho} dt \right)^m} = \\ & = 2^m \{ Rh(Rh - \sin Rh) - [(Rh)^2 - 2(1 - \cos Rh)] \}^{-m}. \end{aligned}$$

Отсюда, в частности, при $h = \pi / R$ имеем

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)-m} E_R(D^s f)}{\left(\int_0^{\pi/R} t \Omega_m^{1/m}(D^r f; t)_{2,\rho} dt \right)^m} = \frac{1}{2^m}.$$

Доказательство. Из неравенства (22) для произвольной функции $f \in L_{2,\rho}^{(r)}$ получаем

$$E_R(f)_{2,\rho} \leq \frac{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f; t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}}{R^{2r} \left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (27)$$

Если в (27) полагать $r = 0$, будем иметь

$$E_R(f)_{2,\rho} \leq \frac{\left(\int_0^h \Omega_m^p(f; t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}}{\left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (28)$$

Согласно определению класса $L_{2,\rho}^{(r)}$, из принадлежности функции f этому классу следует, что оператор $D^r f \in L_{2,\rho}$, а потому, заменяя в (28) функцию f на $D^r f$, запишем

$$E_R(D^r f)_{2,\rho} \leq \frac{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f; t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}}{\left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (29)$$

Подставляя в правую часть неравенства (18) вместо величины $E_R(f)_{2,\rho}$ и $E_R(D^r f)_{2,\rho}$ их оценки сверху из неравенств (27) и (16), получаем

$$E_R(D^r f)_{2,\rho} \leq \frac{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f; t)_{2,\rho} q(t) dt \right)^{1/p}}{R^{2(r-s)} \left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}} \quad (1 \leq s \leq r-1)$$

Отсюда сразу следует оценка сверху

$$\sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)} E_R(D^s f)_{2,\rho}}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f; t)_{2,\rho} \cdot q(t) dt \right)^{1/p}} \leq \frac{1}{\left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (30)$$

С другой стороны, для рассмотренной при доказательстве теоремы 3 функции $f_1(x, y) = T_R(x)T_0(y) \in L_{2,\rho}^{(r)}$, согласно равенствам (19) и (23), будем иметь

$$\begin{aligned} \sup_{f \in L_{2,\rho}^{(r)}} \frac{R^{2(r-s)} E_R(D^s f)}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f; t) q(t) dt \right)^{1/p}} &\geq \frac{R^{2(r-s)} E_R(D^s f_1)}{\left(\int_0^h \Omega_m^p(D^r f_1; t) q(t) dt \right)^{1/p}} = \\ &= \frac{R^{2(r-s) \cdot R^{2s}}}{\left(R^{2sp} \int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}} = \frac{1}{\left(\int_0^h (1 - \cos Rt)^{mp} q(t) dt \right)^{1/p}} \end{aligned} \quad (31)$$

Равенство (26) получаем из сопоставления оценки сверху (30) и снизу (31), чем и завершаем доказательство теоремы 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fox L., Parker I. Chebyshev polynomials in numerical analysis. – Oxford: Univer. Press, 1992.
2. Rivlin T. The Chebyshev polynomials. – New York etc.: Fohn Wiley and Sons, 1975.
3. Пашковский С. Вычислительные применения многочленов и рядов Чебышева – М.: Физматгиз, 1983.
4. Васильев Н.И., Клоков Ю.А., Шкерстения А.Я. Применение полиномов Чебышева в численном анализе. – Рига: Знатне, 1984.
5. Beerends R.I. Chebyshev polynomials in several variables and the radial part of the Laplace – Beltrami operator. – Trans. Amer. Math. Sec., 1991, v. 328, №2, pp. 1951-1961
6. Lide R. Tschebyscheffpolynome in mehreren Variablen. – I. reine und angew. Math., 1975, bd. 273, s.178-198
7. Ricci P.E. I polinomi di Tchbycheff in piu variabli. – Rend. Math. Appl., 1978, m. 11, №2, pp. 295-327.
8. Абилов В.А., Керимов М.К. Об оценках остаточных членов кратных рядов Фурье-Чебышева и кубатурных формул Чебышевского типа. – ЖВМ и МФ, 2003, т. 43, №5, с. 643-663.
9. Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теории вложения. – М.: Наука, 1977, 456 с.
10. Суетин П.К. Классические ортогональные многочлены. – М.: Наука, 1979, 416 с.
11. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представления групп. – М.: Наука, 1965, 596 с.
12. Бабенко В.Ф., Корнейчук Н.П., Кофанов С.А., Пичугов С.А. Неравенства для производных и их приложения. – Киев: Наукова думка, 2003, 590 с.
13. Арестов В.В. Приближение неограниченных операторов ограниченными и родственные экстремальные задачи. – Усп. мат. наук. 1996, т.51, №6, с.88-124.
14. Pinkus A. n-Widths in Approximation Theory. – Berlin: Springer-Verlag. 1985.

15. Шалаев В.В. О поперечниках в L_2 классов дифференцируемых функций, определяемых модулями непрерывности высших порядков. – Укр. матем. журнал, 1991, т. 43, №1, с.125-129.

О.А.ЧЎРАХОНОВ

**ҚИМАТИ АНИҚИ САРҲАДИИ БОЛОИИ НАЗДИККУНИИ МИЁНАИ
КВАДРАТИИ БАЪЗЕ СИНФҶОИ ФУНКСИЯҶОИ ДУ ТАҒЙИРЁБАНДА
БА ВОСИТАИ СУММАҶОИ ФУРЬЕ-ЧЕБИШЕВ**

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар мақола, қимати аниқи сарҳадии болоии наздиккунии миёнаи квадратии баъзе синфи функция ду тағйирёбанда бо воситаи суммаҳои хусусии "доиравии" Фурье-Чебишев ёфта шудааст.

Калимаҳои калидӣ: наздиккунии миёнаи квадратӣ, сумма "доиравӣ", суммаҳои хусусии Фурье-Чебишев, оператори кӯчиш.

O.A.JURAKHONOV

**LEAST UPPER BOUNDS OF MEAN SQUARE DEVIATION
APPROXIMATIONS OF SOME CLASSES OF FUNCTIONS OF TWO
VARIABLES BY FOURIER-Chebyshev SUMS**

Tajik National University

In work exact values of least upper bounds of mean square deviation of approximations for some classes of functions of two variables by the "circular" partial Fourier-Chebyshev sums.

Key words: mean square deviation of approximations, "circular" sums, private sums Fourier, shift operator.

УДК 517.53.517.945

А.С.САТТОРОВ, ДЖ.Ю.НАЗАРОВ

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТИПА КОШИ
ДЛЯ ОДНОГО ВЫРОЖДАЮЩЕГОСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
УРАВНЕНИЯ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА ПЕРВОГО РОДА**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 11.11.2017 г.

В работе в зависимости от принимаемых значений коэффициентов вырождающегося дифференциального уравнения четвертого порядка первого рода находятся интегральные представления решения. Затем полученные интегральные представления применяются для решения задач типа Коши.

Ключевые слова: уравнения первого рода, регулярные решения, интегральные представления.

В [1] было отмечено, что изучение движения идеальной жидкости, от сжимаемости которой нельзя отвлечься, приводит к уравнению в частных производных второго порядка, оказывающемуся уравнением эллиптического типа в дозвуковой области, и гиперболического типа в сверхзвуковой, а именно этот процесс приводит к изучению уравнением смешанного типа. А.Б.Бицадзе в [2] отметил, что для гиперболических уравнений выше второго порядка задача Коши с начальными данными на линии параболического вырождения в общем не исследована.

М.В.Келдыш в [3] выяснил, что постановка задач для вырождающегося дифференциального уравнения существенно зависит от коэффициентов уравнения при младших производных. В [4-10] изучены различные вырождающиеся и сингулярные дифференциальные уравнения второго и четвертого порядков.

В данной работе исследуются вырождающиеся уравнения четвертого порядка первого рода с двумя линиями вырождения в гиперболической части области.

Адрес для корреспонденции: Назаров Джамшиед Юсуфович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: Dzhamshed_1987@mail.ru

Пусть D^- – конечная область в четвертом квадранте, ограниченная частью оси ox с концами в точках $O(0,0)$ и $A(1,0)$ и ограничена характеристическими линиями уравнения. В области D^- рассмотрим уравнение следующего вида

$$L_{\alpha,\beta} [Q(x,y)L_{\mu,\nu}U] = 0, \quad (1)$$

где $L_{\mu,\nu}U \equiv y \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{6\mu-1}{2} \frac{y}{x} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{6\nu-1}{2} \frac{x}{y} \cdot \frac{\partial u}{\partial y}$, α, β, μ, ν – вещественные числа,

$$Q(x,y) = \frac{x^{\frac{4-3\alpha+3\mu}{2}} (-y)^{\frac{4-3\beta+3\nu}{2}}}{(\beta-\nu)(\beta+\nu-1)x^3 + (\alpha-\mu)(\alpha+\mu-1)y^3}.$$

Введём следующий интегральный оператор

$$T_{\alpha,\beta}\varphi_i = A_\alpha A_\beta \int_0^1 d\sigma \int_0^1 \frac{\varphi_i \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) - (-y)^{\frac{3}{2}}(1-2\tau) \right]}{[\sigma(1-\sigma)]^\alpha [\tau(1-\tau)]^\beta} d\tau,$$

где φ_i ($i=1,2,3,4$) – произвольные функции, $A_\alpha = \frac{1}{\Gamma(\alpha)}$, $A_\beta = \frac{1}{\Gamma(\beta)}$ – функции Эйлера второго рода.

Регулярным решением уравнения (1) в области D^- будем называть функцию $U(x,y)$, имеющую непрерывные частные производные первого и второго порядка по x и y в D^- , непрерывную в \bar{D}^- .

Теорема 1. Пусть $2\mu \geq 1$, $2\nu \geq 1$, $2\alpha \geq 1$, $2\beta \geq 1$ и $\alpha > \mu$, $\beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$U(x,y) = A_\mu A_\nu T_{1-\mu,1-\nu}\varphi_1 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha,1-\beta}\psi_1, \quad (2)$$

где φ_1, ψ_1 – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_\nu, A_\alpha, A_\beta$ – постоянные числа.

Теорема 2. Пусть $0 < 2\mu < 1$, $2\nu \geq 1$, $2\alpha \geq 1$, $2\beta \geq 1$ и $\beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$U(x,y) = A_\mu A_\nu T_{1-\mu,1-\nu}\varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu,1-\nu}\varphi_2 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha,1-\beta}\psi_1, \quad (3)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\mu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta$ – постоянные числа.

Теорема 3. Пусть $0 < 2\mu < 1, 0 < 2\nu < 1, 2\alpha \geq 1, 2\beta \geq 1$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$U(x, y) = A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu, 1-\nu} \varphi_2 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_3 + \\ + A_{1-\mu} A_{1-\nu} x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{\mu, \nu} \varphi_4 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1, \quad (4)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \psi_1$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\mu}, A_{1-\nu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta$ – постоянные числа.

Теорема 4. Пусть $0 < 2\mu < 1, 2\nu \geq 1, 0 < 2\alpha < 1, 2\beta \geq 1$ и $\alpha > \mu, \beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$U(x, y) = A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu, 1-\nu} \varphi_2 \\ + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1 + A_{1-\alpha} A_\beta x^{\frac{3}{2}(1-\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{\alpha, 1-\beta} \psi_2, \quad (5)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\mu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta, A_{1-\alpha}$ – постоянные числа.

Теорема 5. Пусть $2\mu \geq 1, 0 < 2\nu < 1, 2\alpha \geq 1, 2\beta \geq 1$ и $\alpha > \mu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представим в виде

$$U(x, y) = \\ = A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_2 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1, \quad (6)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\nu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta$ – постоянные числа.

Теорема 6. Пусть $2\mu \geq 1, 0 < 2\nu < 1, 2\alpha \geq 1, 0 < 2\beta < 1$ и $\alpha > \mu, \beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$U(x, y) = A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_2 + \\ + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1 + A_\alpha A_{1-\beta} x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-\beta-\nu)} T_{1-\alpha, \beta} \psi_2, \quad (7)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \psi_1, \psi_2$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\nu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta, A_{1-\beta}$ – постоянные числа.

Теорема 7. Пусть $0 < 2\mu < 1$, $0 < 2\nu < 1$, $0 < 2\alpha < 1$, $2\beta \geq 1$ и $\alpha > \mu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$\begin{aligned} U(x, y) = & A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu, 1-\nu} \varphi_2 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_3 + \\ & + A_{1-\mu} A_{1-\nu} x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{\mu, \nu} \varphi_4 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1 + \\ & + A_{1-\alpha} A_\beta x^{\frac{3}{2}(1-\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{\alpha, 1-\beta} \psi_2, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \psi_1, \psi_2$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$ и $A_\mu, A_{1-\mu}, A_{1-\nu}, A_\nu, A_\alpha, A_\beta, A_{1-\beta}$ – постоянные числа.

Теорема 8. Пусть $0 < 2\mu < 1$, $0 < 2\nu < 1$, $2\alpha \geq 1$, $0 < 2\beta < 1$ и $\beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$\begin{aligned} U(x, y) = & A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu, 1-\nu} \varphi_2 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_3 + \\ & + A_{1-\mu} A_{1-\nu} x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{\mu, \nu} \varphi_4 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1 + \\ & + A_\alpha A_{1-\beta} x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-\beta-\nu)} T_{1-\alpha, \beta} \psi_2, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \psi_1, \psi_2$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$.

Теорема 9. Пусть $0 < 2\mu < 1$, $0 < 2\nu < 1$, $0 < 2\alpha < 1$, $0 < 2\beta < 1$ и $\alpha > \mu, \beta > \nu$. Тогда регулярное решение уравнения (1) в области D^- представимо в виде

$$\begin{aligned} U(x, y) = & A_\mu A_\nu T_{1-\mu, 1-\nu} \varphi_1 + A_{1-\mu} A_\nu x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} T_{\mu, 1-\nu} \varphi_2 + A_\mu A_{1-\nu} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{1-\mu, \nu} \varphi_3 + \\ & + A_{1-\mu} A_{1-\nu} x^{\frac{3}{2}(1-2\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-2\nu)} T_{\mu, \nu} \varphi_4 + A_\alpha A_\beta x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{1-\alpha, 1-\beta} \psi_1 + \\ & + A_{1-\alpha} A_\beta x^{\frac{3}{2}(1-\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(\beta-\nu)} T_{\alpha, 1-\beta} \psi_2 + A_\alpha A_{1-\beta} x^{\frac{3}{2}(\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-\beta-\nu)} T_{1-\alpha, \beta} \psi_3 + \\ & + A_{1-\alpha} A_{1-\beta} x^{\frac{3}{2}(1-\alpha-\mu)} (-y)^{\frac{3}{2}(1-\beta-\nu)} T_{\alpha, \beta} \psi_4, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ – произвольные функции одного аргумента из класса $C^2(D^-)$.

Теоремы 1-9 доказываются непосредственно.

В дальнейшем, используя некоторые из полученных интегральных представлений, решим ряд задач типа Коши в характеристической области D^- .

Задача K_1 . Требуется найти регулярное решение уравнения (1), при $2\mu \geq 1, 2\nu \geq 1, 2\alpha \geq 1, 2\beta \geq 1, \alpha > \mu$ и $\beta > \nu$ удовлетворяющее начальным условиям:

$$\lim_{y \rightarrow 0} U(x, y) = f_1(x) \quad \lim_{y \rightarrow 0} \left[x^{\frac{3}{2}(\mu-\alpha)} (-y)^{\frac{2+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \right] = g_1(x), \quad (k_1),$$

где $f_1(x)$ и $g_1(x)$ – заданные функции в интервале $0 < x < 1$.

Для решения задачи K_1 используем интегральное представление (2). Учитывая начальные условия (K_1) , из (2) получим

$$A_\mu \int_0^1 \frac{\varphi_1 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\mu}} = f_1(x), \quad A_\alpha \int_0^1 \frac{\psi_1 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\alpha}} = \frac{2}{3A_\alpha(\nu-\beta)} g_1(x), \quad (11)$$

Аналогично [6] обращая равенство (17), имеем

$$\varphi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = \frac{1}{\mathbf{B}(\mu, \mu)} F_1(x), \quad \psi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = \frac{2}{3(\nu-\beta)\mathbf{B}(\alpha, \alpha)} G_1(x), \quad (12)$$

$$\text{где } F_1(x) = \frac{2^{2\mu-2} \mathbf{B}^{-1}(\lambda; 1-\lambda)}{3^k (k+\lambda-1) \cdots (\lambda-1) \lambda} \frac{d}{dx} \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^k \left[s^{\frac{6\mu-1}{2}} f_1(s) \right] \frac{ds}{(x^3 - s^2)^\lambda},$$

$$G_1(x) = \frac{2^{2\mu-2} \mathbf{B}^{-1}(\lambda; 1-\lambda)}{3^k (k+\lambda-1) \cdots (\lambda-1) \lambda} \frac{d}{dx} \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^k \left[s^{\frac{6\mu-1}{2}} g_1(s) \right] \frac{ds}{(x^3 - s^2)^\lambda}.$$

Таким образом доказана следующая теорема

Теорема 10. Если $f(x) \in C^{4+k}$, $g(x) \in C^{3+k}$. Тогда решение задачи (K_1) даётся равенством (2), где функции ϕ_1 и ψ_1 соответственно находятся из равенства (12).

Задача K_2 . Требуется найти регулярное решение уравнения (1), при $2\mu \geq 1$, $0 < 2\nu < 1$, $2\alpha \geq 1$, $2\beta \geq 1$, $\alpha > \mu$ и $\alpha > \mu$, $\nu + \beta > 1$ удовлетворяющее начальным условиям:

$$\lim_{y \rightarrow 0} U(x, y) = f_1(x), \quad \lim_{y \rightarrow 0} (-y)^{3\nu-\frac{1}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} = f_2(x),$$

$$\lim_{y \rightarrow 0} \left[x^{\frac{3}{2}(\mu-\alpha)} (-y)^{\frac{5+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial}{\partial y} \left[(-y)^{3\nu-\frac{1}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right] = g_1(x), \quad (k_2),$$

где $f_1(x)$, $f_2(x)$ и $g_1(x)$ – заданные функции в интервале $0 < x < 1$.

Для решения задачи K_2 используем интегральное представление (4). Аналогичное решение задачи (K_1) , учитывая начальные условия (K_2) , из (4) находим

$$\begin{aligned}
A_\mu \int_0^1 \frac{\varphi_1 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\mu}} &= f_1(x), \quad A_\mu \int_0^1 \frac{\varphi_2 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\mu}} = f_2(x) \\
A_\alpha \int_0^1 \frac{\psi_1 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\alpha}} &= g_1(x)
\end{aligned} \tag{13}$$

Обращая равенство (13), как раньше, будем иметь

$$\begin{aligned}
\varphi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) &= \frac{1}{\mathbf{B}(\mu, \mu)} F_1(x), \quad \varphi_2 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = \frac{1}{\mathbf{B}(\mu, \mu)} F_2(x), \\
\psi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) &= \frac{1}{\mathbf{B}(\alpha, \alpha)} G_1(x).
\end{aligned} \tag{14}$$

Теорема 11. Если $f_1(x) \in C^{4+k}$, $f_2(x) \in C^{3+k}$ и $g_1(x) \in C^{2+k}$. Тогда решение задачи (K_2) в области (D^-) даётся равенством (4), где функции ϕ_1, ϕ_2 и ψ_1 соответственно находятся из равенства (14).

Задача K_3 . Требуется найти регулярное решение уравнения (1) в области D^- при $2\mu \geq 1$, $0 < 2\nu < 1$, $2\alpha \geq 1$, $0 < 2\beta < 1$, $\alpha > \mu$ и $\beta > \nu$, удовлетворяющее начальным условиям:

$$\begin{aligned}
\lim_{y \rightarrow 0} U(x, y) &= f_1(x), \quad \lim_{y \rightarrow 0} \left[x^{\frac{3}{2}(\mu-\alpha)} (-y)^{\frac{2+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \right] = g_1(x), \\
\lim_{y \rightarrow 0} \left\{ x^{\frac{3}{2}(\mu-\alpha)} (-y)^{\frac{6\beta-1}{2}} \frac{\partial}{\partial y} \left[(-y)^{\frac{2+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right\} &= g_2(x), \\
\lim_{y \rightarrow 0} \left\{ (-y)^{\frac{2+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (-y)^{\frac{6\beta-1}{2}} \frac{\partial}{\partial y} \left[(-y)^{\frac{2+3\nu-3\beta}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right\} \right\} &= f_2(x),
\end{aligned}$$

где $f_1(x)$, $f_2(x)$ и $g_1(x)$, $g_2(x)$ – заданные функции на интервале $0 < x < 1$.

Для решения задачи K_3 используем интегральное представление (6). Аналогично, как выше, находим

$$\varphi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = F_1(x), \quad \varphi_2 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = F_2(x), \quad \psi_1 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = G_1(x), \quad \psi_2 \left(x^{\frac{3}{2}} \right) = G_2(x), \tag{15}$$

$$A_\mu \int_0^1 \frac{\varphi_1 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\mu}} = f_1(x), \quad A_\mu \int_0^1 \frac{\varphi_2 \left[x^{\frac{3}{2}}(1-2\sigma) \right] d\sigma}{[\sigma(1-\sigma)]^{1-\mu}} = f_2(x),$$

$$A_\alpha \int_0^1 \frac{\psi_1 \left[x^{\frac{3}{2}} (1-2\sigma) \right] d\sigma}{\left[\sigma(1-\sigma) \right]^{1-\alpha}} = g_1(x), \quad (16)$$

где

$$F_1(x) = \frac{2^{2\mu-1}}{3^k \text{B}(\lambda; 1-\lambda)(k+\lambda-1)\cdots(\lambda-1)\lambda \text{B}(\mu; \mu)} \frac{d}{dx} \times$$

$$\times \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^k \left[s^{\frac{3}{2}(2\mu-1)} f_1(s) \right] \frac{s ds}{(x^3 - s^2)^\lambda},$$

$$F_2(x) = \frac{2^{k+2\lambda}}{\text{B}(\mu; \mu)(1-2\nu)(\nu-\beta)(1-\beta-\nu)\text{B}(\lambda; 1-\lambda)(k+\lambda-1)\cdots(\lambda-1)\lambda} \frac{d}{dx} \times$$

$$\times \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^k \left[s^{\frac{3}{2}(2\mu-1)} f_2(s) \right] \frac{s ds}{(x^3 - s^2)^\lambda},$$

$$G_1(x) = \frac{2^{2\alpha-1}}{\text{B}(\alpha; \alpha)3^{m+1}(\nu-\beta)\text{B}(\ell; 1-\ell)(m+\ell-1)\cdots(\ell-1)\ell} \frac{d}{dx} \times$$

$$\times \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^m \left[s^{\frac{3}{2}(2\alpha-1)} g_1(s) \right] \frac{s ds}{(x^3 - s^2)^\ell},$$

$$G_2(x) = \frac{2^{2\alpha}}{\text{B}(\alpha; \alpha)3^{m+2}(1-6\beta)(1-\nu-\beta)\text{B}(\ell; 1-\ell)(m+\ell-1)\cdots(\ell-1)\ell} \frac{d}{dx} \times$$

$$\times \int_0^{x^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{d}{s^2 ds} \right)^m \left[s^{\frac{3}{2}(2\alpha-1)} g_2(s) \right] \frac{s ds}{(x^3 - s^2)^\ell},$$

$\mu = k + \lambda$, $k = \{\mu\}$ – целая часть, $\lambda = \{\mu\}$ – дробная часть μ и $\alpha = m + \ell$, $m = \{\alpha\}$ – целая часть, $\ell = \{\alpha\}$ – дробная часть α

ЛИТЕРАТУРА

1. Трикоми Ф. Лекции по уравнениям в частных производных, издательстве иностранных литературы. – М., 1957, 443 с.
2. Келдыш М.Б. О некоторых случаях вырождения уравнения эллиптического типа на границе области. – ДАН СССР, 1951, т. 77, №2, с. 181-183.
3. Бицадзе А.В. Уравнения смешанного типа – М.: Изд-во АН СССР, 1959.
4. Смирнов М.М. Модельные уравнения смешанного типа четвертого порядка. – Л., 1972, 125 с.
5. Раджабов Н. Интегральные представления и граничные задачи для некоторых дифференциальных уравнений с сингулярной линией и сингулярными поверхностями. – Душанбе, ч. I, 1980, 127 с.

6. Сатторов А.С. Интегральные представления и задача типа Коши для одного вырождающегося уравнения четвертого порядка первого рода с двумя сингулярными линиями. – Вестник ЛГУ, сер I, 1990, №3(15), с. 41-46.
7. Сатторов А.С., Назаров Дж. Интегральные представления для одного вырождающегося уравнения второго порядка в эллиптической части области. – Мат-лы науч.-теорет. конф. проф.-препод. состава и студентов, посв. 18-ой годовщине независимости Республики Таджикистан и году памяти Имама Аъзама. – Душанбе, 2010, с. 42-43.
8. Сатторов А.С., Назаров Дж. Интегральное представление и решение задачи типа Рикье для одного дифференциального уравнения четвертого порядка с двумя сингулярными линиями. – Вестник Института предпринимательства и сервиса. – Душанбе, 2010, с. 110-115.
9. Назаров Дж. Интегральные представления и решение задачи типа Коши для одного вырождающегося дифференциального уравнения первого рода. – Вестник ТНУ, 2014, №1/1(126), с. 28-31.

А.С.САТТОРОВ, Ҷ.Ю.НАЗАРОВ

**ТАСВИРИ ИНТЕГРАЛӢ ВА ҲАЛЛИ МАСЪАЛАИ НАВЪИ КОШӢ
 БАРОИ ЯК МУОДИЛАИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТАНАЗЗУЛӢБАНДАИ
 ЧИНСИ ЯКУМИ ТАРТИБИ ЧОР**

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар мақола тасвири интегралӣ ва ҳалли як муодилаи дифференсиалии таназзулбандаи чинси якуми тартиби чор вобаста аз қиматҳои қабулкардаи коэффитсиентҳои он муайян карда мешавад. Пас аз он ҳалли ҷуфташуда барои ҳалли масъалаи намуди Коши татбиқ карда мешаванд.

Калимаҳои калидӣ: муодилаи чинси якум, ҳалли регулярий, тасвири интегралӣ.

A.C.SATTOROV, J.Y.NAZAROV

**INTEGRAL REPRESENTATIONS AND SOLUTIONS OF THE CAUCHY TYPE
 PROBLTM, FOR A DEGENERATED DIFFERENTIAL EQUATION
 OF THE FOURTH ORDER OF THE FIRST KIND**

Tajik National University

In this work, depending on the values of the coefficients of degenerated differential equations of the fourth order of the first kind integral representations of solutions are found. Then, the obtained integral representation is used to solve the Cauchy type problem. The solution of Cauchy type problem is found in explicit form.

Key words: Equations of the first type, regular solution, integral representation.

УДК 81'322::811.222.8

Х.А.ЭВАЗОВ

О ТАДЖИКСКОМ КОМПЬЮТЕРНОМ КОРРЕКТОРЕ

Технологический университет Таджикистана

Поступила в редакцию 17.01.2018 г.

В статье отмечается современное состояние вопроса об автоматической проверке таджикской орфографии и предлагается новый программный продукт Spell Checker Tj.

Ключевые слова: таджикский язык, корректор, компьютерный.

К числу первых работ по созданию компьютерного корректора таджикского языка относятся исследования [1,2], в которых в предположении полноты баз корней, префиксов и постфиксов и четырех гипотез о возможном характере допущенной ошибки конструировалось правильное написание слова. Работа не была доведена до конца по причине отсутствия сколь-нибудь представительных баз данных.

В дальнейшем это было выполнено авторами монографий [3,4], что позволило в 2012 г. создать на основе технологии Hunspell, в которую были загружены 81 префикс, 76 539 корней и 128 760 постфиксов, первые таджикские языковые пакеты для системы OpenOffice.Org и для проверки орфографии в Microsoft Office [5,6]. Вычислительные эксперименты на специально предъявляемых примерах показали 95% эффективность в исправлениях ошибок правописания.

В настоящее время пакет для системы OpenOffice.Org используется эпизодически, поскольку пользователи предпочитают работать с Microsoft Office, а пакет для проверки орфографии в Microsoft Office 2000-2007, функционирующий под управлением ОС WINDOWS-XP/7/Vista, стал непригодным для новых версий.

Ранее был разработан алгоритм и компьютерная программа коррекции таджикского текста, набранного без использования специфических букв таджикского алфавита [7, 8]. Настоящая работа является продолжением [7, 8] и описывает разработанную компью-

Адрес для корреспонденции: Эвазов Хисрав Азизович. 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Н.Карабаева, 63/3, Технологический университет Таджикистана. E-mail: khisrav.evazov@bk.ru

терную программу коррекции таджикского текста - Spell Checker Tj. Программа работает под операционной системой Windows XP/7/Vista/8/10 в виде самостоятельной программы, а не как дополнение (plug-in, add-in) к существующим текстовым процессорам.

Программа предназначена для проверки текста на таджикском языке. В ней предусматривается исправление орфографических ошибок следующих типов: нарушение порядка букв в слове (*киотб* вместо *китоб*), отсутствие одной буквы в слове (*ктоб* вместо *китоб*), добавление лишней буквы в слово (*киторб* вместо *китоб*) и замена одной буквы другой (*китор* вместо *китоб*). Программа создана на языке программирования C#.

Концептуальная модель программы представлена на рис. 1.

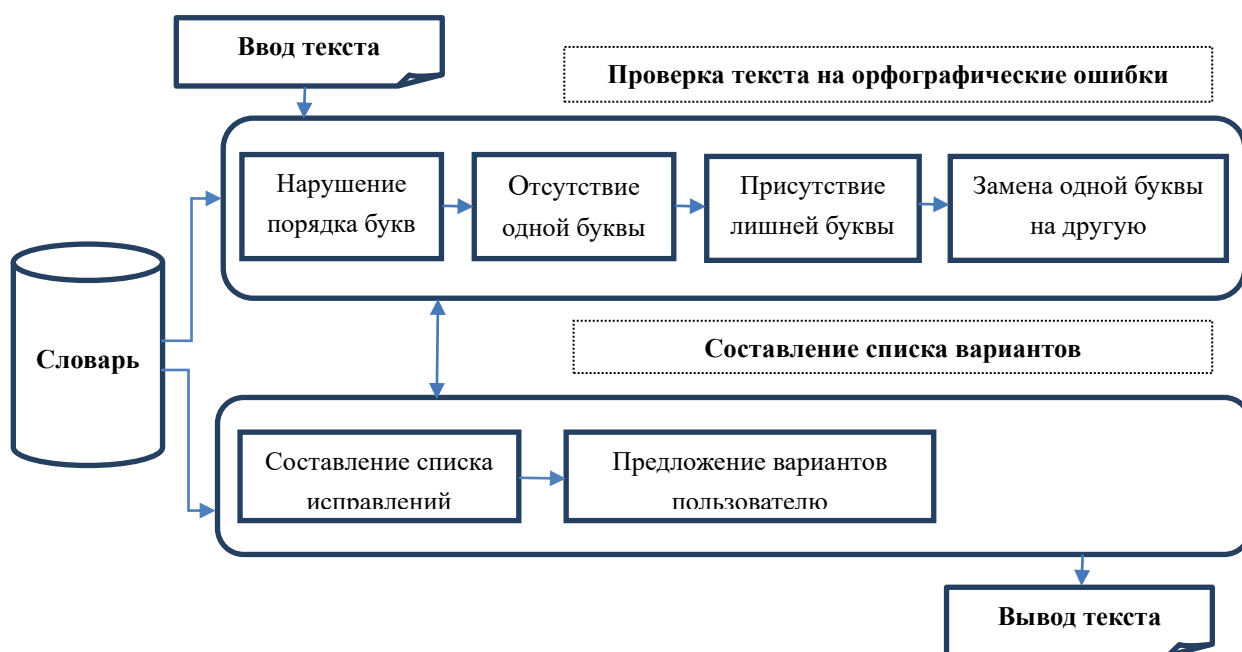


Рис. 1. Концептуальная модель программы проверки текста.

База данных словоформ разработанной программы сформирована в результате статистической обработки таджикских текстов объемом более 7000 страниц и включает свыше 150 000 словоформ. Словарь словоформ хранится в виде текстового файла.

В процессе проверки предъявляемого таджикского текста найденные ошибки выделяются подчёркиванием соответствующего слова красной волнистой линией. По отношению к таким словоформам пользователю предоставляется возможность выбрать из контекстного меню один из предлагаемых программой вариантов корректного написания выделенной словоформы. В случае отсутствия словоформ в словаре, также пользователь может добавить словоформы в словарь или игнорировать возможные ошибки. Интерфейс программы (на таджикском языке) приведен на рис. 2.

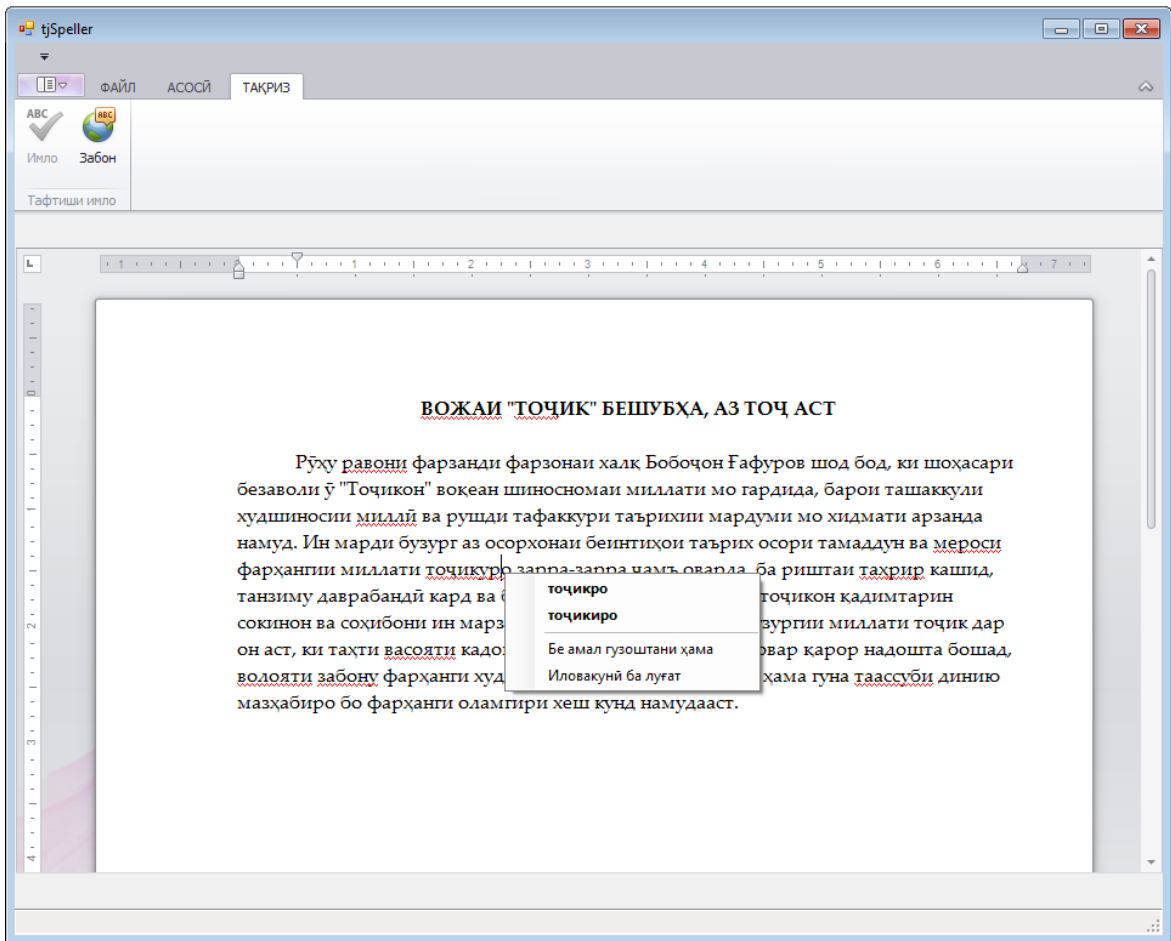


Рис. 2. Интерфейс программы компьютерной коррекции таджикского текста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гафуров Д.А. Алгоритм исправления неправильно написанных таджикских слов. – ДАН РТ, 2003, т.46, № 3-4, с.63-67.
2. Усманов З.Д., Исмаилов М.А., Гафуров Д.А. Распознавание словоформ таджикского языка. – ДАН РТ, 2002, т.45, № 5-6, с.4-8.
3. Усманов З.Д., Довудов Г.М. Формирование базы морфов таджикского языка. – Душанбе: Дониш, 2014, 110 с.
4. Усманов З.Д., Довудов Г.М. Морфологический анализ словоформ таджикского языка. – Душанбе: Дониш, 2015, 130 с.
5. Усманов З.Д., Солиев О.М., Давудов Г.М. Таджикский языковой пакет для системы OpenOffice.Org. - Лицензия (информационный ресурс). Зарегистрирован ЗИ-03.2.222 ТД, 11.01.2012. Национальный патентно-информационный центр. Министерство экономического развития и торговли РТ.
6. Усманов З.Д., Солиев О.М., Худойбердиев Х.А., Довудов Г.М. Таджикский языковой пакет для проверки орфографии в Microsoft Office. – Свидетельство (информационный ресурс). Зарегистрирован 04.10.2012 за № 4201200235. Национальный патентно-информационный центр. Министерство экономического развития и торговли РТ.

7. Усманов З.Д., Эвазов Х.А. Компьютерная коррекция таджикского текста, набранного без использования специфических букв. – ДАН РТ, 2011, т. 54, №1, с. 23-26.
8. Усманов З.Д., Эвазов Х.А. Компьютерная коррекция таджикского текста (Tajik Text Corrector). – Свидетельство (информационный ресурс). Зарегистрирован 21.06.2012 за № 1161200232. Национальный патентно-информационный центр. Министерство экономического развития и торговли РТ.

Х.А.ЭВАЗОВ

ДАР БОРАИ ТАҲРИГАРИ КОМПЮТЕРИИ МАТНИ ТОЧИКӢ

Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон

Дар мақола ҳолати муосири масъалаи санҷиши худкори имлои тоҷикӣ баррасӣ шуда таъминоти барномавии нави Spell Checker Tj пешниҳод мегардад.

Калимаҳои калидӣ: забони тоҷикӣ, таҳриргар, компютерӣ.

KH.A.EVAZOV

ABOUT THE TAJIK SPELLCHECKER

Technological University of Tajikistan

The article notes the current state of the issue of automatic verification of the Tajik orthography and offers a new software product Spell Checker Tj.

Key words: Tajik language, speller, computer.

УДК 541.123

Х.Х.МУМИНОВ, Ш.Ф.МУХАМЕДОВА, М.АСГАРИ-ЛАРИМИ

**АНАЛИЗ БРИЗЕРНОЙ ДИНАМИКИ МНОГОСОЛИТОННЫХ РЕШЕНИЙ
СКАЛЯРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА
С КОНДЕНСАТНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ**

*Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 30.11.2017 г.*

Методами численного моделирования проведен анализ бризерной динамики нелинейных возбуждений многосолитонного вида в бозе-эйнштейновском конденсате, описываемом скалярным нелинейным уравнением Шредингера с нетривиальными (конденсатными) граничными условиями. Наблюдается формирование солитонного решения, аналогичного бризеру, при наличии ненулевой скорости солитона, бризерная динамика которого замораживается при стремлении скорости движения к нулю.

Ключевые слова: n-солитон, конденсатные граничные условия, скалярное нелинейное уравнение Шредингера.

Хотя в первые нелинейные волновые явления наблюдались еще в середине XIX века Джоном Скоттом Расселом [1], а первые нелинейные эволюционные уравнения, описывающие нелинейные волны в гидродинамике (уравнение Кортевега-де Фриза [2], уравнение Буссинеска [3]), исследуются еще с конца XIX века, тем не менее они продолжают оставаться основным объектом исследования как в математической физике [4], так и в теории конденсированного состояния [5], оптике [6] и нелинейных непертурбативных теориях поля [7].

Весьма привлекательным в нелинейных волновых процессах является то, что солитонные возбуждения в процессе эволюции и взаимодействий проявляют не только уникальные частицеподобные свойства, а также и то, что могут существовать так называемые бризерные решения, обладающие динамикой внутренних степеней свободы, наподобие

Адрес для корреспонденции: Муминов Хикмат Халимович, Мухамедова Шоира Файзуллоевна, Мо-хаммад Асгари-Ларими. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: muminov.khikmat@mail.ru, shoira74@mail.ru, asghari@gmail.com

колебательных и вращательных степеней свободы молекул. В процессе своего возбуждения и эволюции в конденсированных средах в виде так называемого солитонного газа или распространения в виде отдельных импульсов, нелинейные брызговые возбуждения могут обуславливать уникальные свойства конденсированных сред и проявляться, например, в виде дополнительных сателлитов в спектре рассеяния тепловых нейтронов [8]. Топологические, вихревые решения многомерных полевых моделей в процессе взаимодействия, благодаря наличию топологического (барионного) заряда, могут проявлять свойства аннигиляции и рождения солитон-антисолитонной пары, по аналогии со взаимодействием элементарных частиц [9], что вселяет оптимизм в ходе создания нелинейных непертурбативных моделей теории поля [7].

В последние годы в связи с развитием новых методов решения и исследования нелинейных эволюционных уравнений, в частности появлением конечнозонного, алгебро-геометрического метода интегрирования [10], все большее значение приобретает физическое осмысление полученных решений, исследование динамики, эволюции и определения областей их применения. Особую роль в связи с развитием вычислительной техники и информационных технологий начинают играть численные исследования и математическое моделирование эволюции динамических и топологических решений нелинейных эволюционных уравнений [11,12].

Таким образом, исследование нелинейных динамических возбуждений в физических процессах, описываемых нелинейными эволюционными уравнениями, представляет значительный мультидисциплинарный интерес и находит широкие приложения в различных областях физики.

Ниже мы рассмотрим скалярное нелинейное уравнение Шрёдингера следующего вида

$$i \psi_t - \psi_{xx} - 2(|\psi|^2 - b^2)\psi = 0. \quad (1)$$

Это уравнение хорошо известно в физике конденсированного состояния и, в частности, описывает бозе-эйнштейновский конденсат [5].

Многосолитонное решение этого уравнения было получено в [12] методом конечнозонного интегрирования [10] в виде

$$\psi = b \left(1 + \frac{C_3 \cos(qx + wt + w_{02}) + C_4 e^{\beta^+(x+v^+t)}}{C_1 \cosh(\beta^+(x+v^+t) + h_1) + C_2 \cos(qx + wt + w_{01})} \right) e^{ik_1(x+k_1t)}, \quad (2)$$

где

$$C_1 = \left(\frac{|C_{12}|^2 |\mathcal{Z}_{12}|^2}{|\mathcal{Z}_{12}|^2 \mathcal{Z}_{11} \mathcal{Z}_{22}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad e^{h_1} = \left(\frac{|\mathcal{Z}_{12}|^2}{|C_{12}|^2 |\mathcal{Z}_{12}|^2 \mathcal{Z}_{11} \mathcal{Z}_{22}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned}
C_2 &= -\left(\frac{C_{11}C_{22}}{\bar{\varkappa}_{12}\bar{\varkappa}_{21}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad e^{iw_{01}} = \left(\frac{C_{12}\bar{\varkappa}_{12}}{C_{21}\bar{\varkappa}_{21}}\right)^{\frac{1}{2}} \\
C_3 &= \left(\frac{C_{12}C_{21}}{(k_1 - \varkappa_1)(k_1 - \varkappa_2)}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad e^{iw_{02}} = \left(\frac{C_{12}(k_1 - \varkappa_2)}{C_{21}(k_1 - \varkappa_1)}\right)^{\frac{1}{2}} \\
C_4 &= -\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\varkappa}_{21}}{(k_1 - \varkappa_1)\bar{\varkappa}_{12}\bar{\varkappa}_{22}} - \frac{\bar{\varkappa}_{12}}{(k_1 - \varkappa_2)\bar{\varkappa}_{21}\bar{\varkappa}_{11}} \right)^{\frac{1}{2}}, \\
q &= \alpha_2 - \alpha_1, \quad w = (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) + (\beta_2^2 - \beta_1^2) \\
\varkappa_{ij} &= \varkappa_i - \bar{\varkappa}_j, \quad \bar{\varkappa}_{ij} = \bar{\varkappa}_i - \varkappa_j, \quad \beta^+ = \beta_1 + \beta_2, \quad \beta^- = \beta_2 - \beta_1, \\
v^\pm &= \frac{2(\alpha_2\beta_2 \pm \alpha_1\beta_1)}{\beta_2 \pm \beta_1}, \quad i, j = 1, 2,
\end{aligned}$$

при конденсатных граничных условиях.

Интеграл числа частиц N и гамильтониан H уравнения (1) определяются следующим образом

$$N = \int |\psi|^2 dx, H = \int (|\psi_x|^2 - (|\psi|^2 - b^2)^2) dx. \quad (3)$$

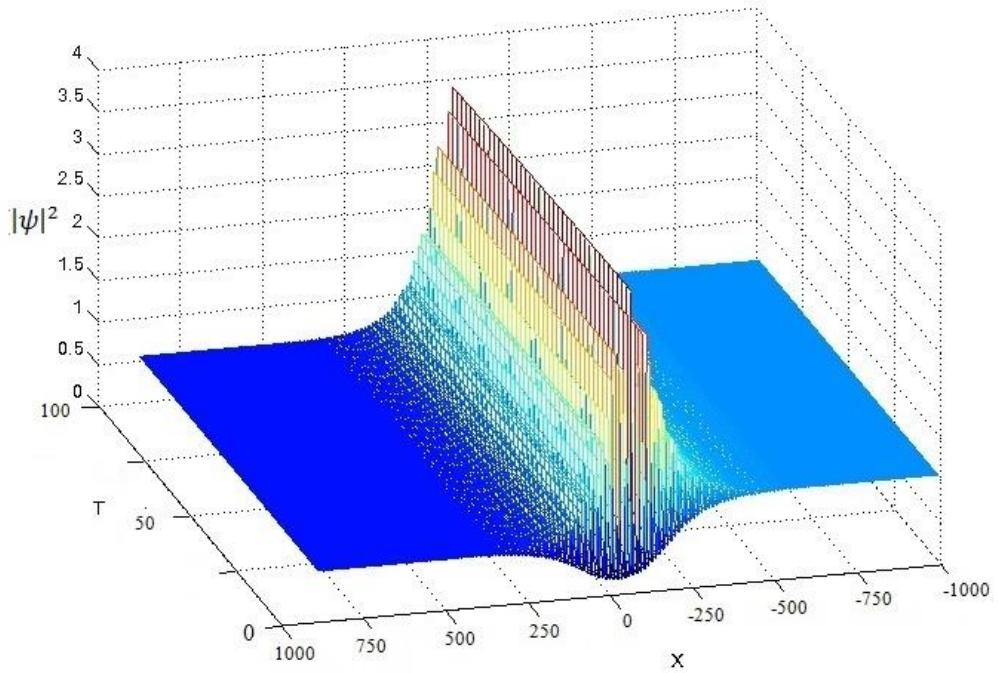
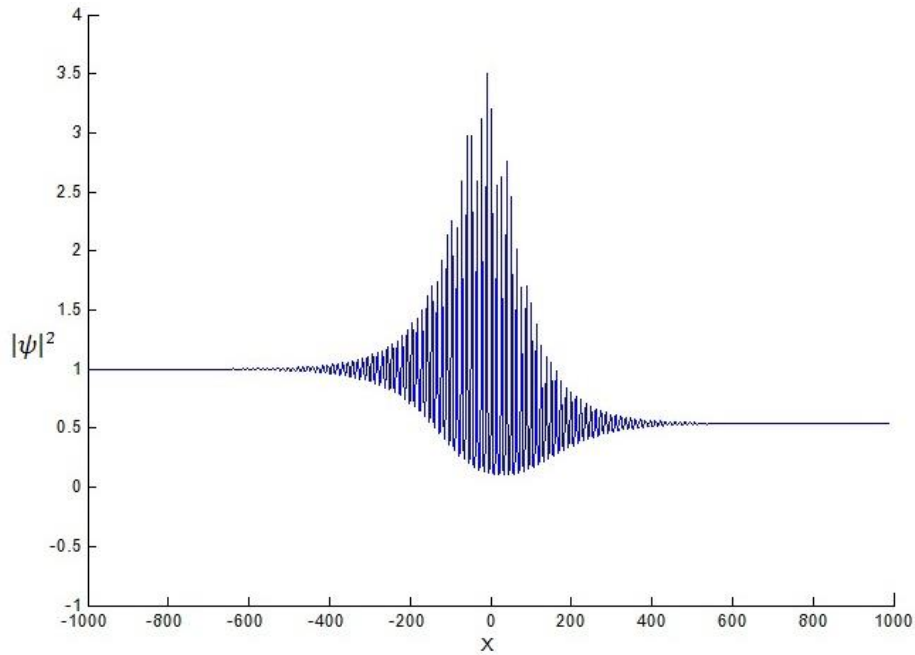
Ряд особенностей динамики и эволюции солитонных решений, как отмечалось выше, можно установить методами численного моделирования [11].

Например, устойчивость солитона в ходе его эволюции в процессе численного моделирования, не претендуя на полноту исследования и его математическую строгость, может дать указание об устойчивости полученного аналитического решения.

Для проведения анализа эволюции многосолитонного решения (2) скалярного НУШ (1) на основе теории разностных схем разработан нами алгоритм и комплекс компьютерных программ численного моделирования. Использовалась трехслойная разностная схема явного типа, на пятиточном шаблоне с весами, второго порядка точности, как по времени, так и по координате, так называемая схема “Leap-frog”, с условием устойчивости $\tau \leq \frac{h^2}{4}$ где τ – шаг по времени, h – шаг по координате. Моделирование велось на отрезке $x \in [-1000, 1000]$ с шагом по координате $h=0.004$ на промежутках времен $t \in [0, 100]$ с шагом по времени $\tau=0.0002$. Интеграл энергии в тестовых вычислениях сохранялся с относительной точностью $\Delta E / E \approx 10^{-3} - 10^{-4}$, а интеграл числа частиц $\Delta N / N \approx 10^{-4} - 10^{-5}$.

Численное моделирование и анализ эволюции многосолитонного решения (2) проводились в широком интервале изменения параметров $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \lambda, \gamma_1$ и γ_2 и де-

монстрировали устойчивость солитона, при сохранении его формы, на значительных временах численного интегрирования. Вместе с тем численное моделирование показывает, что неподвижный солитон (при $v=0$) не проявляет бризерной динамики и представляет собой модулированную стоячую волну с различающимися на правой и левой границах конденсатными условиями. Результаты наиболее интересных численных экспериментов при значениях параметров $b=1$, $k_1=1$, $\alpha_1=0.39$, $\alpha_2=0.9$, $\beta_1=0.097$, $\beta_2=0.086$, $\lambda=1$, $\gamma_1=1.95$, $\gamma_2=0.428$ приведены на рис. 1-4.



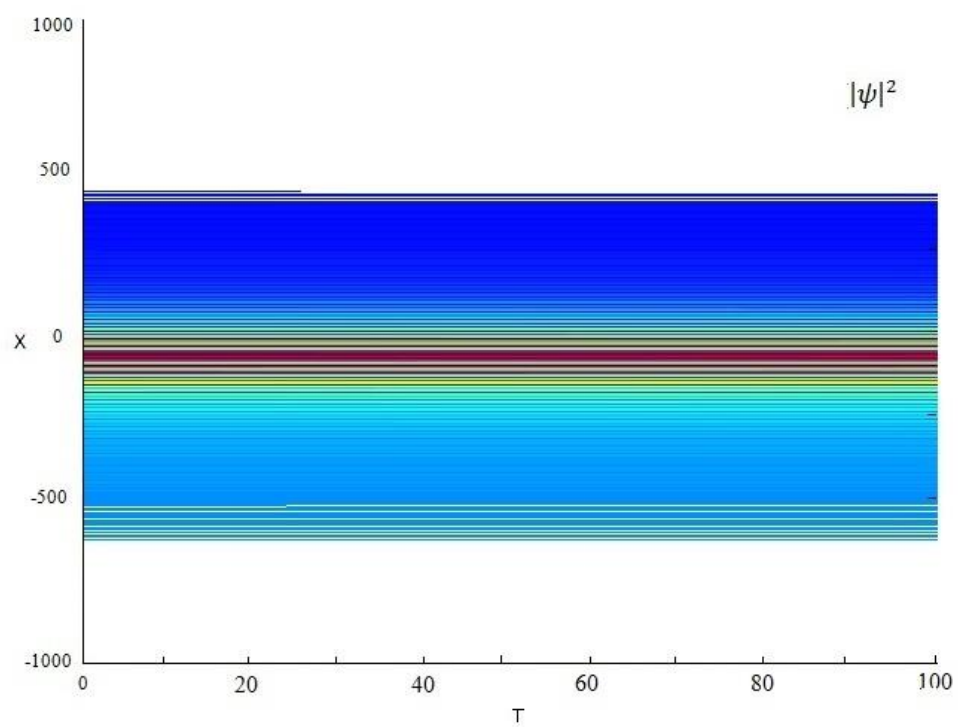
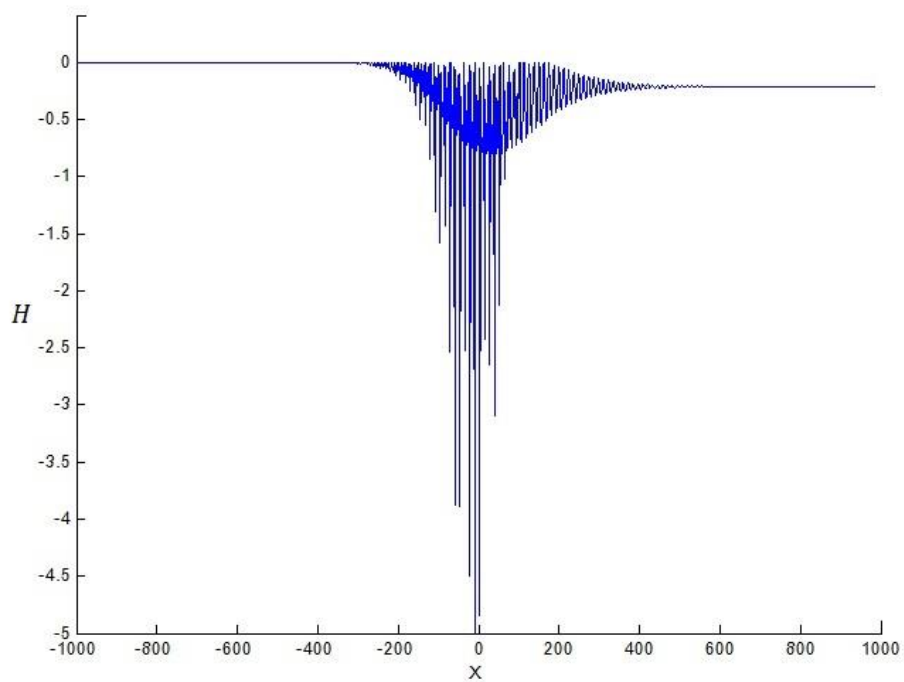


Рис.1. Динамика эволюции числа частиц солитона.



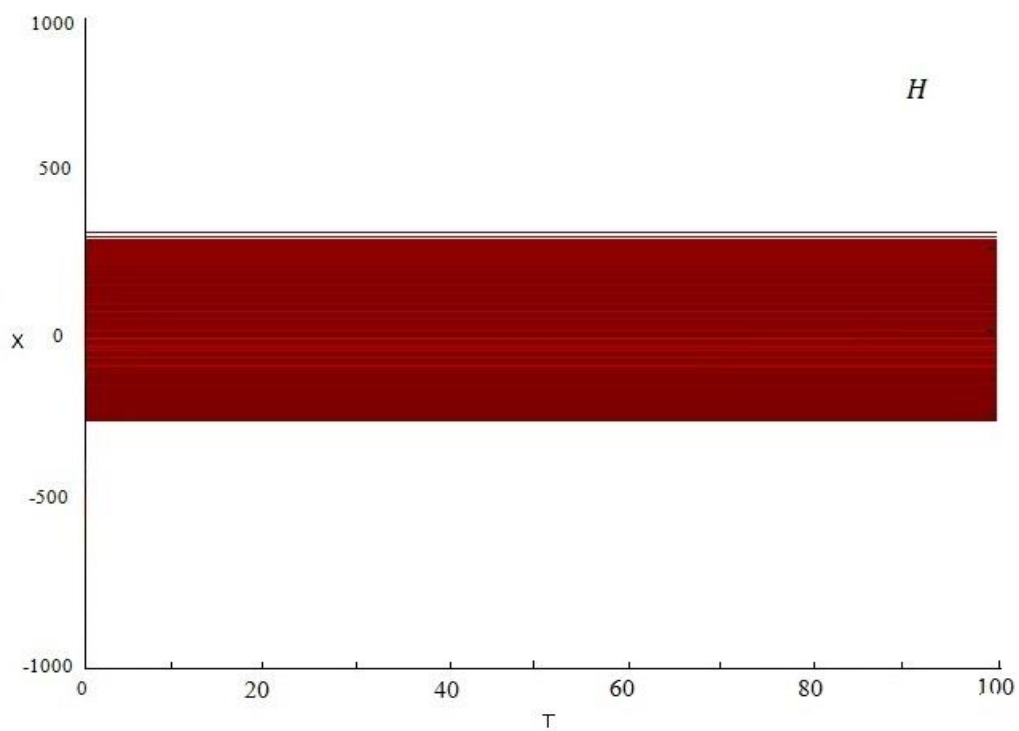
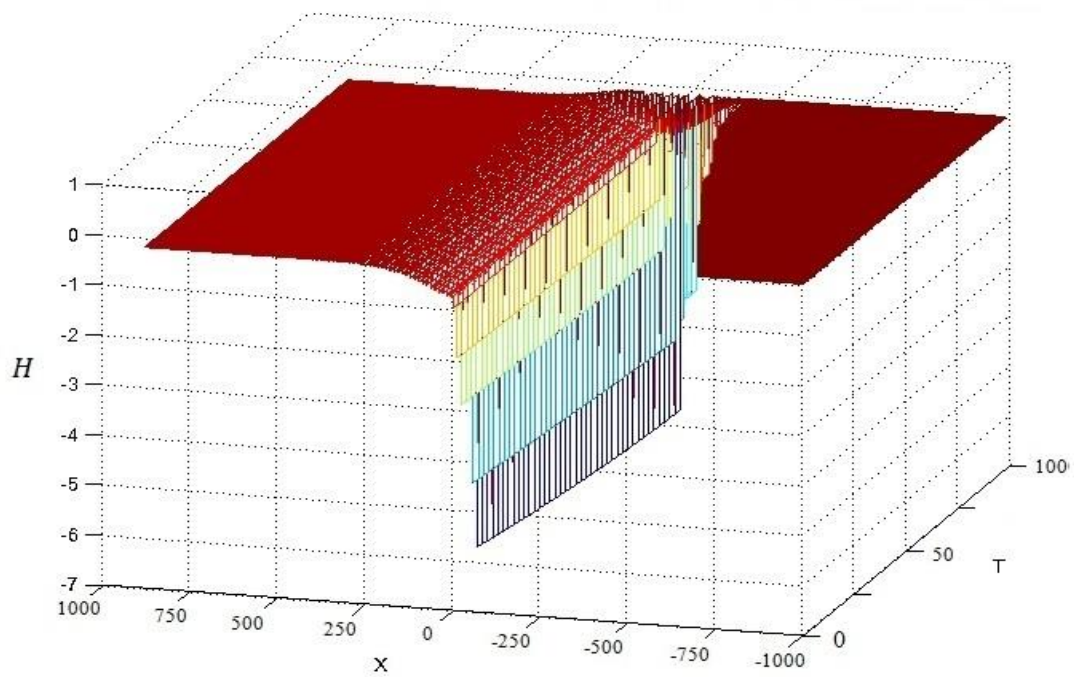


Рис.2. Динамика плотности энергии солитона.

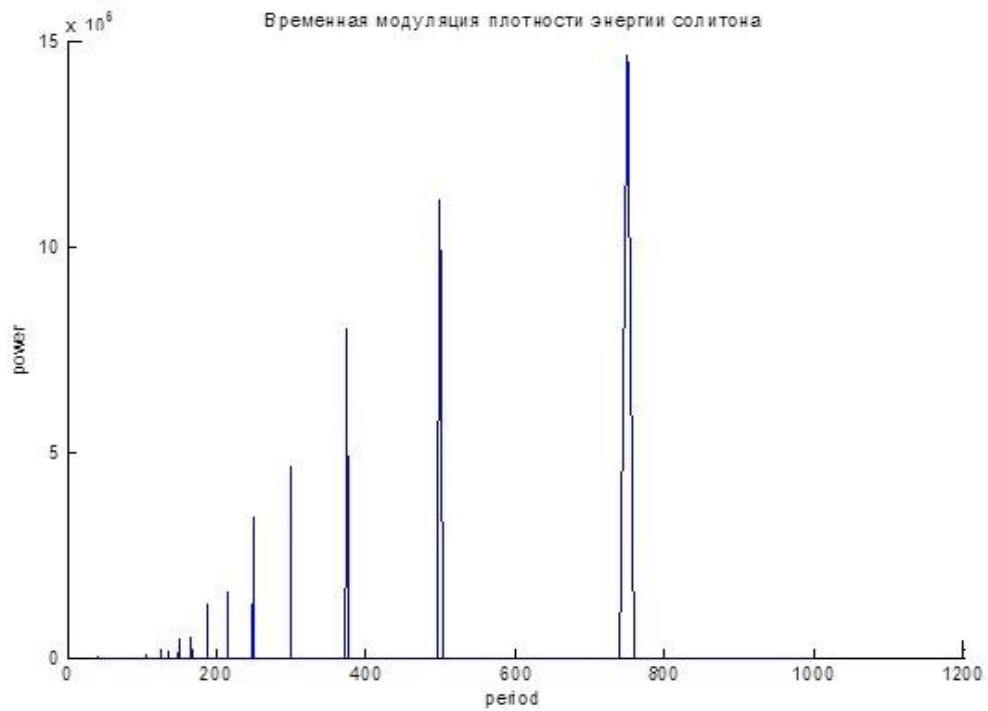


Рис. 3. Фурье-анализ временной модуляции плотности энергии солитона.

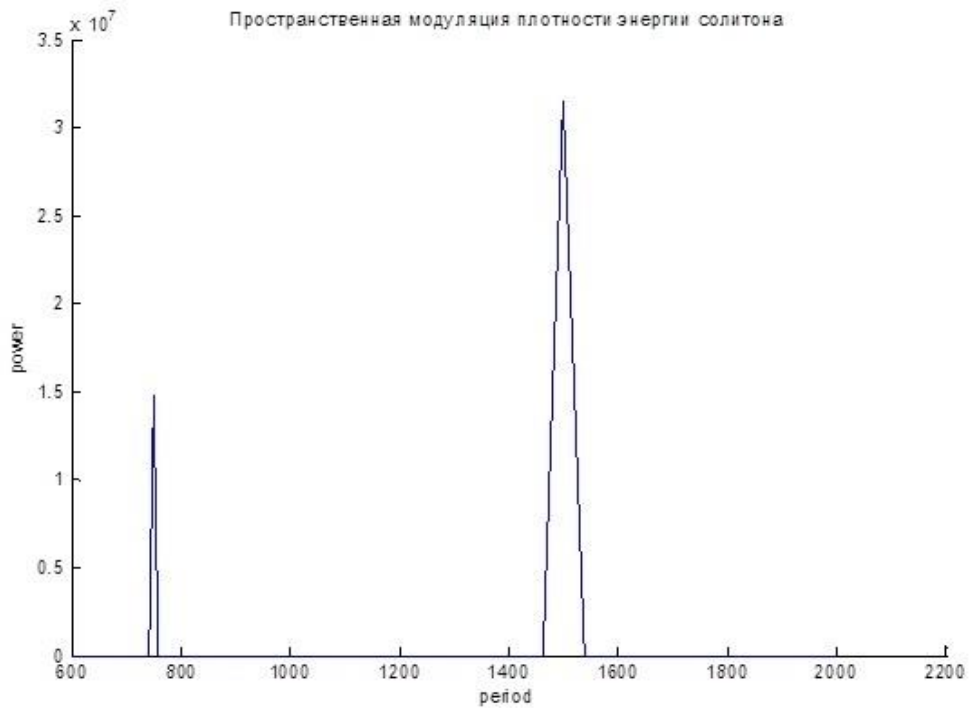
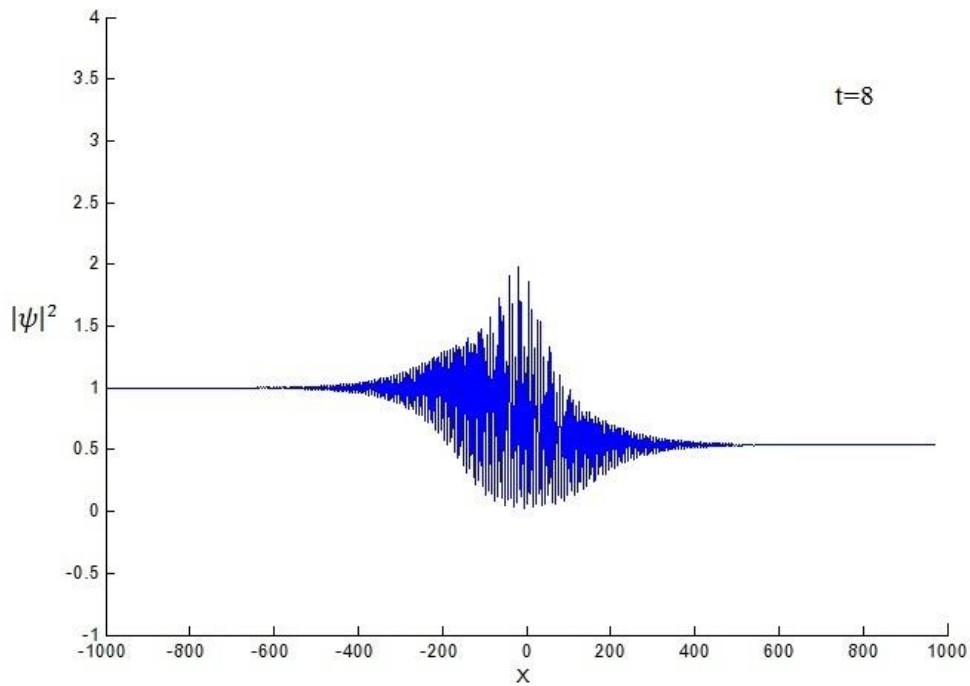


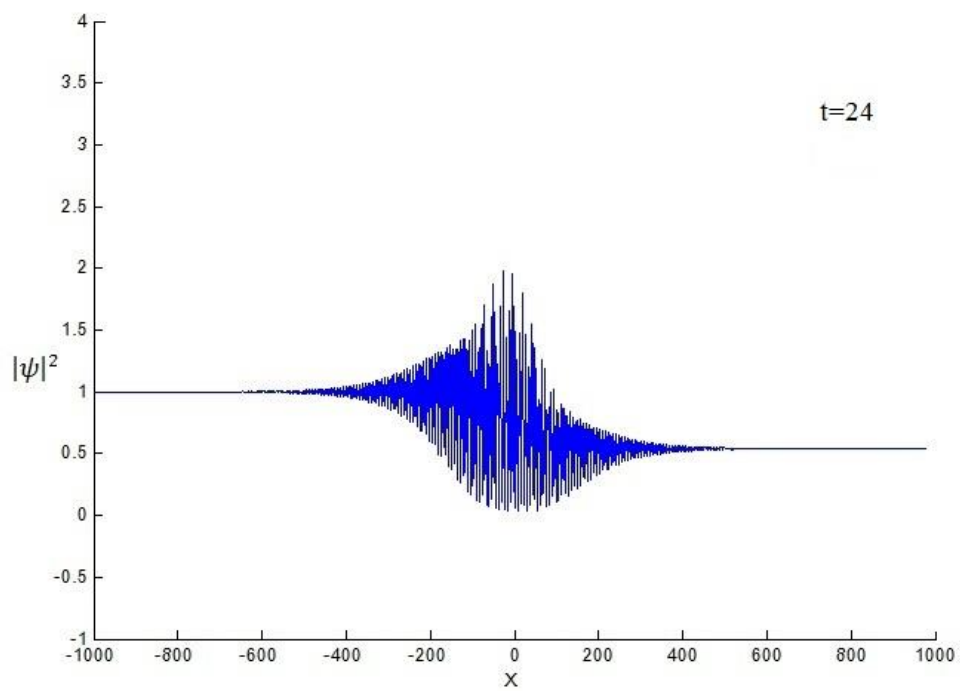
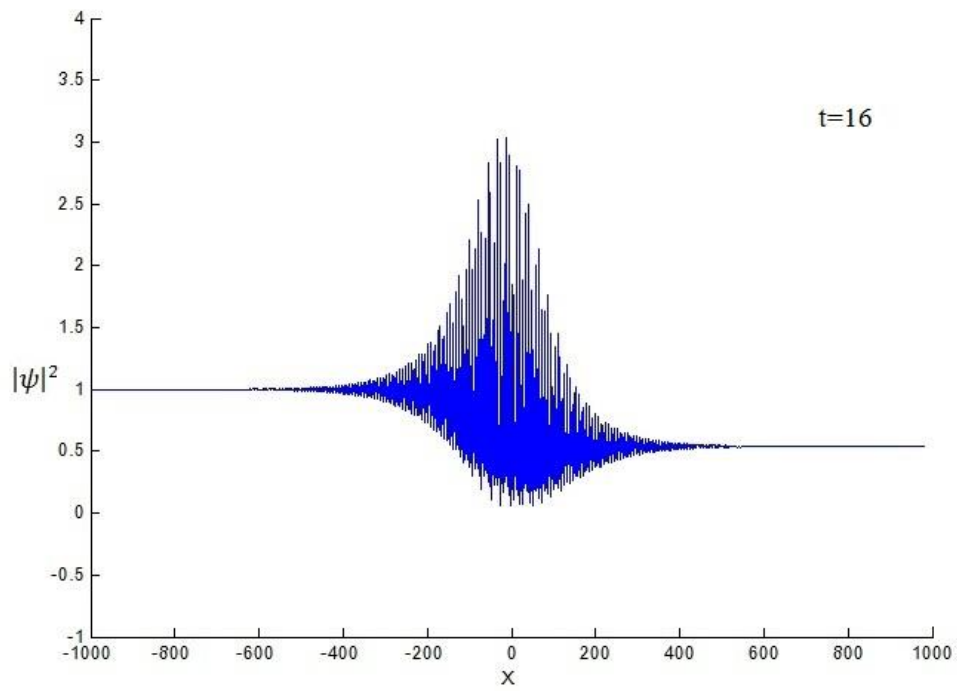
Рис. 4. Фурье-анализ пространственной модуляции плотности энергии солитона.

Фурье-анализ решения (2), проведенный численно в системе Matlab, показывает наличие как временной, так пространственной модуляции. На рис. 3 и 4 показан спектр

временной и пространственной модуляции для плотности энергии многосолитонного решения.

Численные эксперименты по моделированию многосолитонного решения (2) при скоростях v , отличных от нуля, демонстрирует проявление внутренних степеней свободы солитонной динамики, то есть бризерной динамики. Результаты численных экспериментов для плотности числа частиц и плотности энергии многосолитонного решения приведены на рис.5 и 6. Видно, что при ненулевых скоростях солитон в процессе своего движения последовательно сжимается, при этом наблюдается рост амплитуды огибающей, и расширяется, при этом уменьшается его амплитуда, что напоминает дыхание, то есть проявляется бризерная динамика. Интегралы числа частиц и плотности энергии в ходе численных экспериментов сохранились с хорошей относительной точностью порядка 10^{-3} .





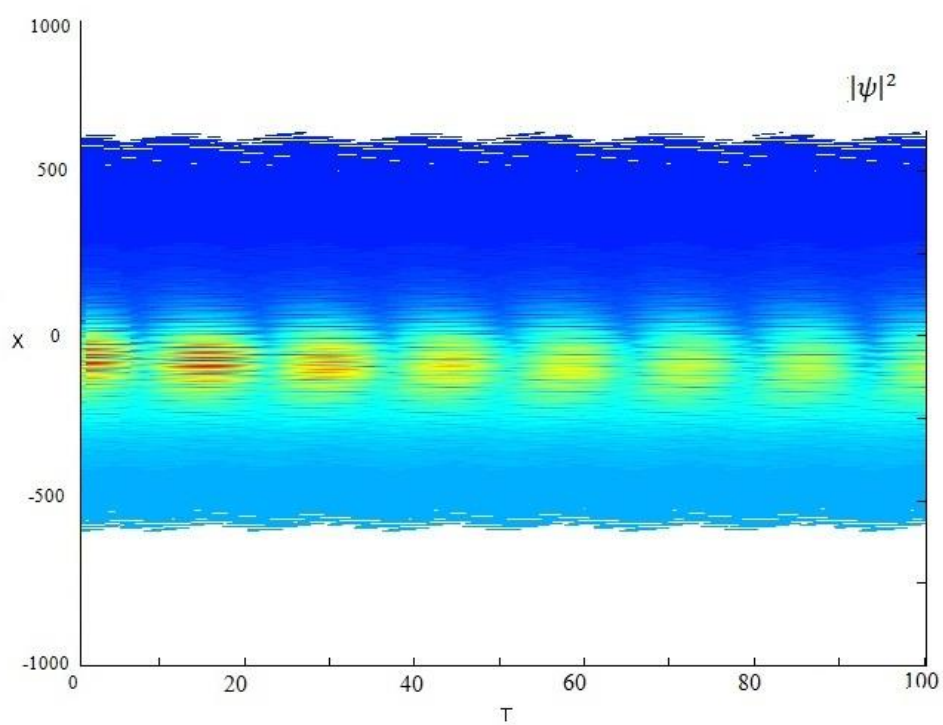
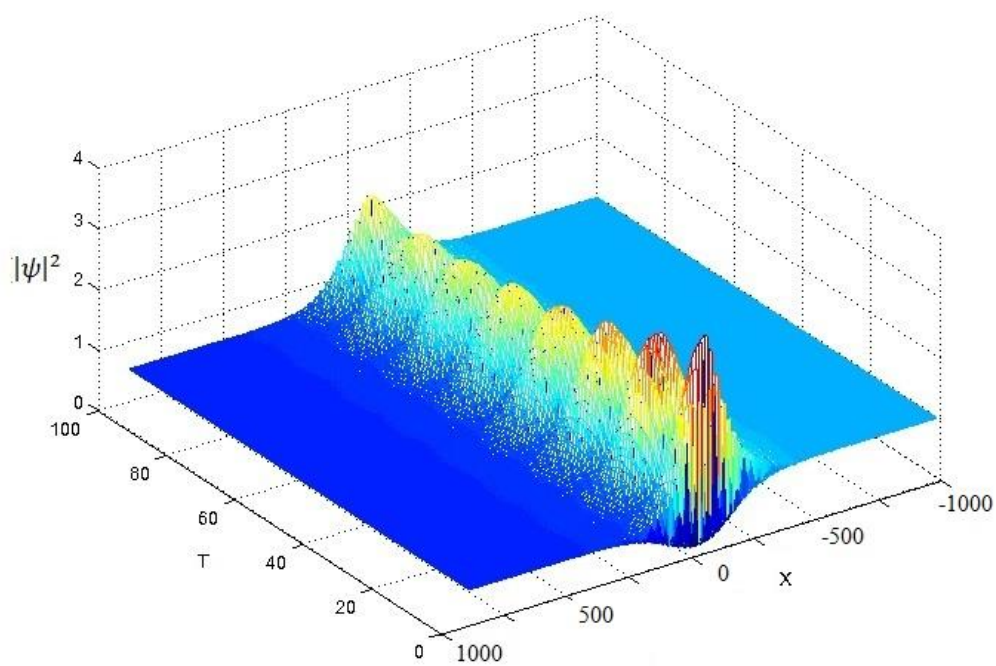
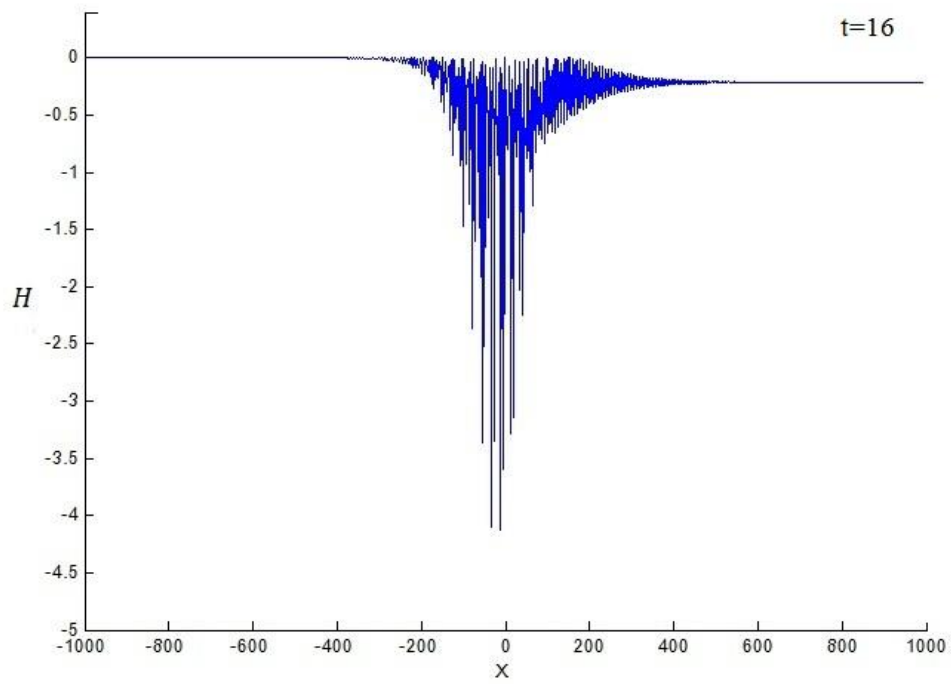
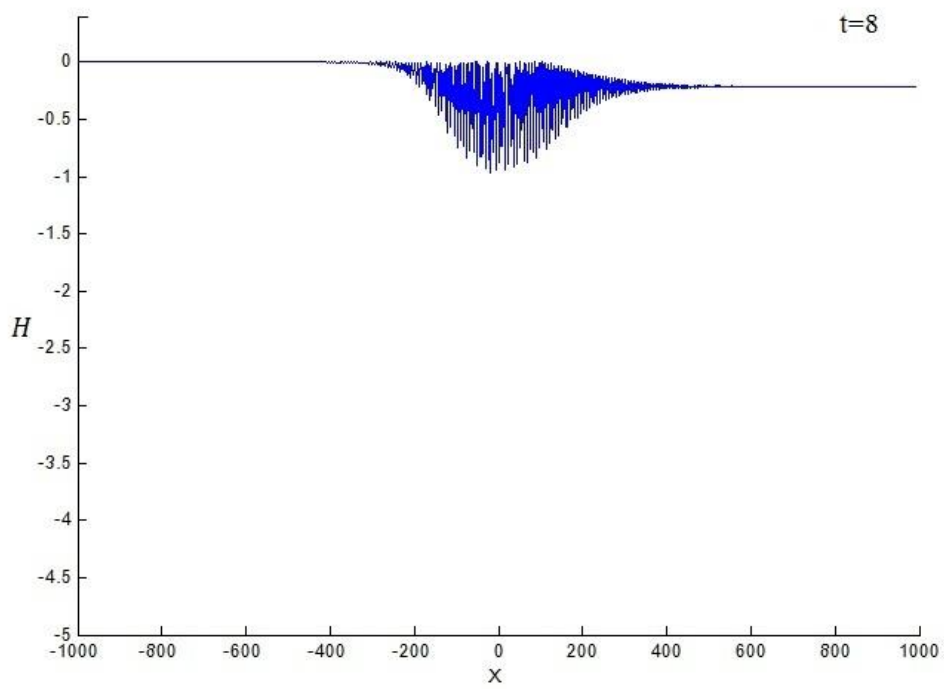
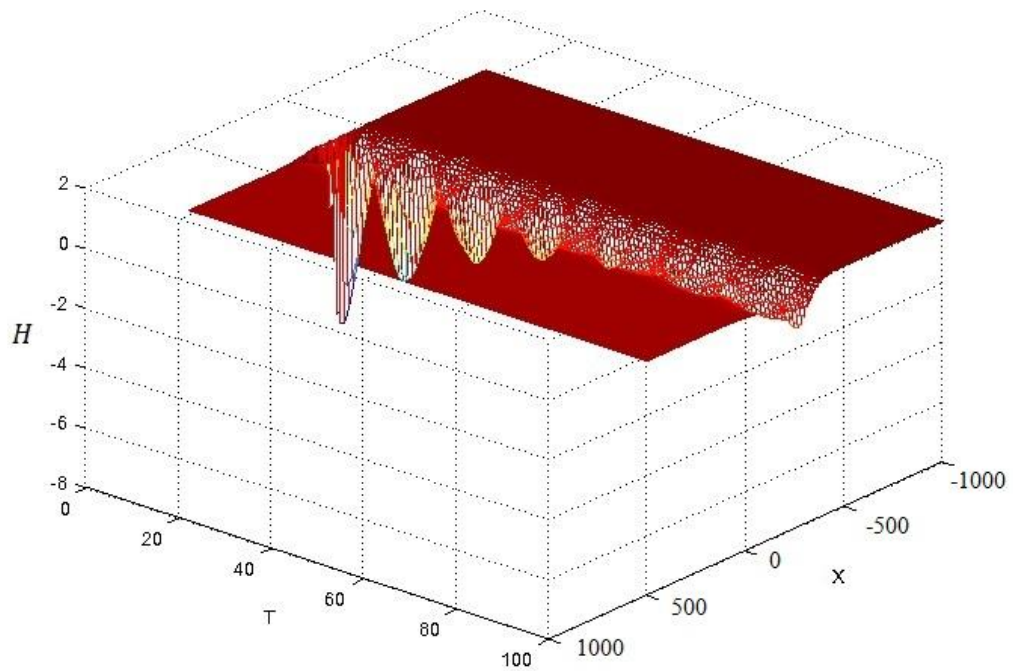
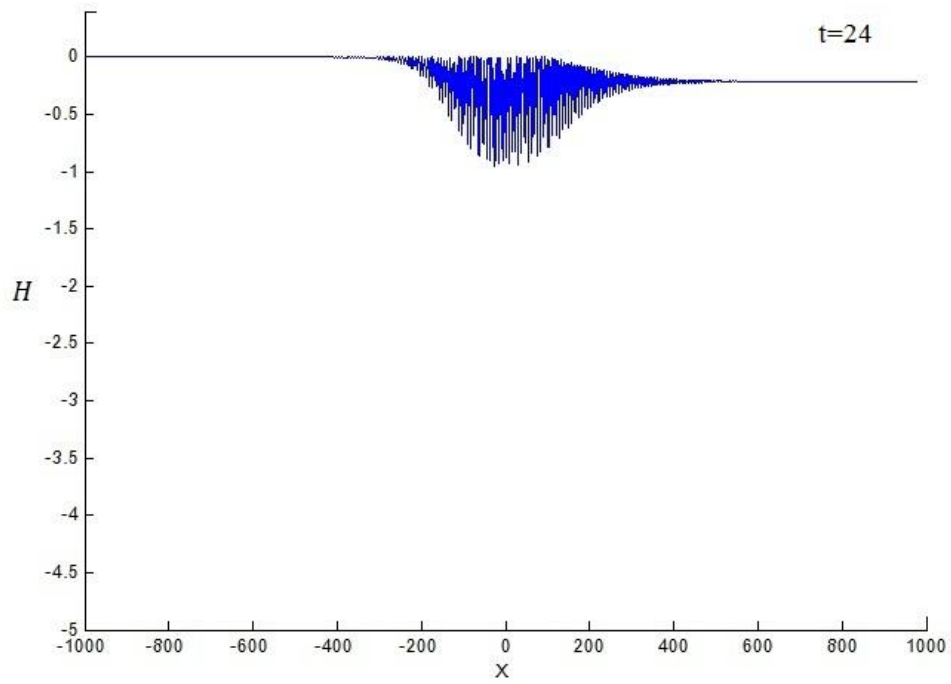


Рис.5. Динамика эволюции числа частиц движущегося солитона.





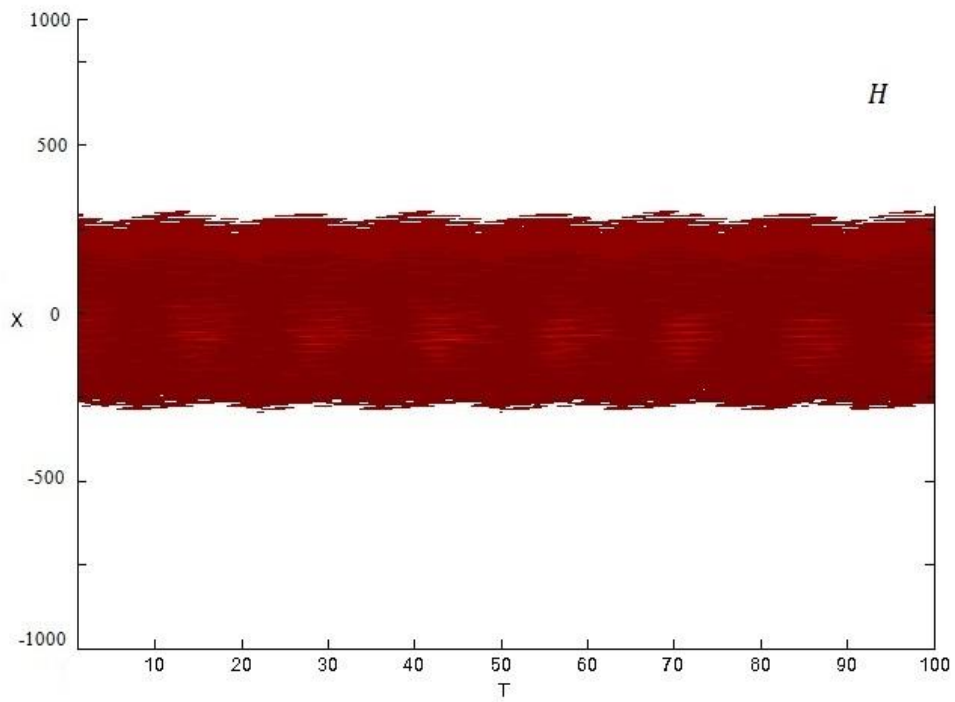


Рис.6. Динамика плотности энергии солитона движущегося со скоростью $v=1.32$.

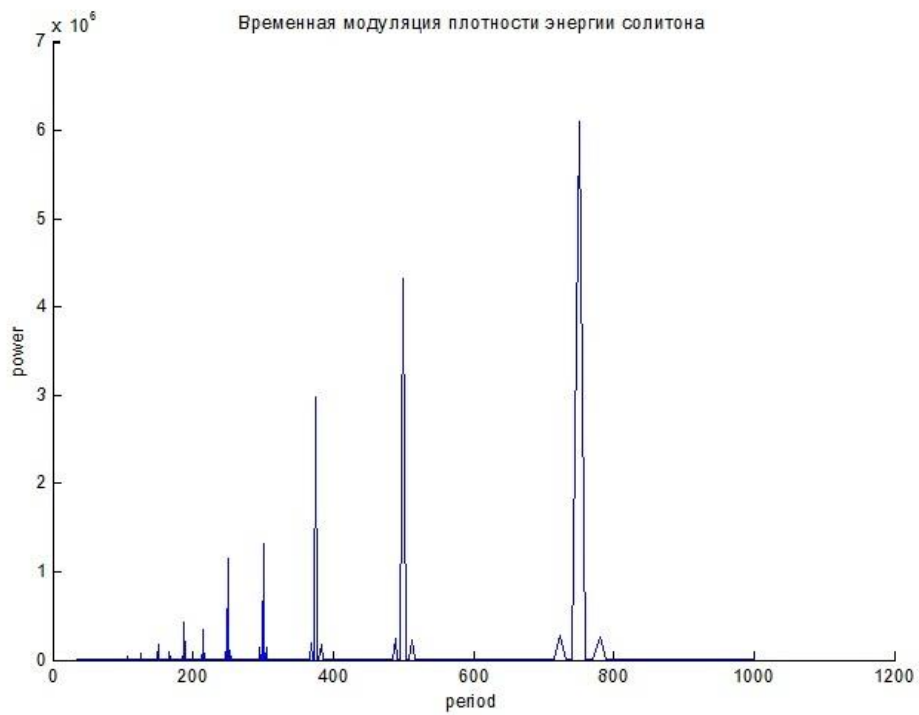


Рис. 7. Фурье-анализ временной модуляции плотности энергии движущегося солитона.

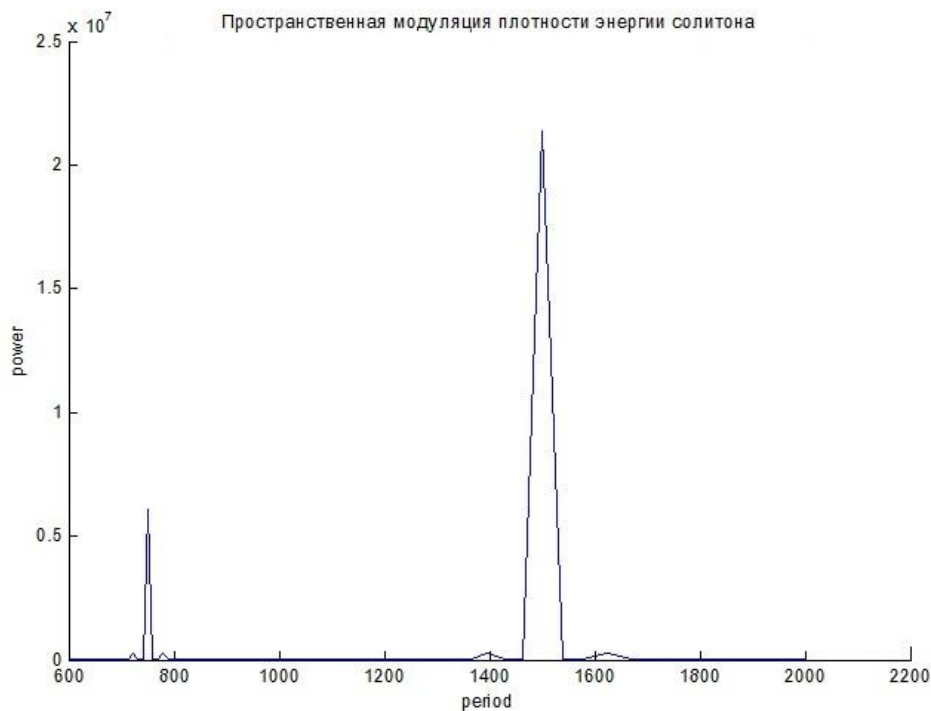


Рис. 8. Фурье–анализ пространственной модуляции плотности энергии солитона при ненулевой скорости.

Проявление бризерной динамики многосолитонного решения (2) находит своё отражение в появлении спутников у основных гармоник при проведении Фурье-анализа, как пространственной, так и временной модуляции.

Таким образом, проведенный цикл численных экспериментов показывает, что многосолитонные решения (2) нелинейного уравнения Шредингера с отталкивающим потенциалом с конденсатными граничными условиями (1) демонстрируют устойчивость в численных экспериментах, а динамика внутренних степеней свободы носит характер бризерного, хотя и проявляется исключительно при наличии ненулевой скорости солитона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Russell John Scott. "Report on Waves: Made to the Meetings of the British Association in 1842-43". Издательство: Оникс, ISBN: 9785884445178, 2012.
2. Korteweg D. J., de Vries G. On the Change of Form of Long Waves Advancing in a Rectangular Canal, and on a New Type of Long Stationary Waves. *Philosophical Magazine*, 1895, v. 39, pp. 422-443.
3. Boussinesq J. *Essai sur la theorie des eaux courantes*, 1877, 680 с.
4. Абловиц М., Сигу. Х. Солитоны и метод обратной задачи. – М.: «Книга по требованию», 2012, 478 с.
5. Makhankov V.G., Fedyanin. V.K. Non-linear effects in quasi-one-dimensional models of condensed matter theory. – *Phys. Rep.* 1984, 104, pp. 1-86.

6. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. – М.: Физматлит, 2005, 648 с.
7. Skyrme T.H. A nonlinear field theory. – Proceedings of the Royal Society A, 1961. 260:127–138.
8. Lisy V., Makhankov V.G., Fedyanin V.K. Bion contribution to DSF of scattering of neutrons by C_3NiF_3 patterns. – In: Problems of Statistical Mechanics, JINR publ. D17-84-850. – Dubna, 1984, V.I., pp.443-449.
9. Муминов Х.Х., Шокиров Ф.Ш. Динамика взаимодействий двумерных топологических солитонов в $O(3)$ нелинейной векторной сигма-модели. – Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2010, 53, №9, с. 679-685.
10. Дубровин Б.А., Маланюк Т.М., Кричевер И.М., Маханьков В.Г. Точные решения нестационарного уравнения Шредингера с самосогласованными потенциалами. – ЭЧАЯ, 1988, т. 19, в. 3, 579 с.
11. Маханьков В.Г. Солитоны и численный эксперимент. – ЭЧАЯ, 1983, т.14, вып.1, с. 123-180.
12. Абдуллоев Х.О., Максудов А.Т., Муминов Х.Х., Рахимов Ф.К., Маханьков В.Г. Двухсолитонные решения скалярного нелинейного уравнения Шредингера с конденсатными граничными условиями. – ЖТФ, 1995, т. 65, в. 6, с. 191-196.

Х.Х.МУМИНОВ, Ш.Ф.МУҲАМЕДОВА, М. АСҒАРӢ-ЛАРИМӢ

**ТАҲЛИЛИ ДИНАМИКАИ БРИЗЕРИИ ҲАЛЛҶОИ БИСӢРСОЛИТОНИИ
МУОДИЛАИ СКАЛЯРИИ ҒАЙРИХАТТИИ ШРЕДИНГЕР БО
ШАРТҶОИ САРҶАДИИ КОНДЕНСАТӢ**

Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Бо методи амсиласозии ададӣ таҳлили динамикаи бризерии ангеизишҳои ғайрихаттии намуди бисёрсолитона дар конденсати Бозе-Эйнштейн, ки тавассути муодилаи скалярии ғайрихаттии Шредингер бо шартҳои сарҳадии конденсатӣ тасвир карда мешавад, гузаронида шудааст. Ташаккули ҳалли солитонии бризермонанд мушоҳида мешавад, ки хангоми таназзули суръати ҳаракаташ динамикаи бризерӣ суст мешавад.

Калимаҳои калидӣ: n -солитонҳо, шартҳои сарҳадии конденсатӣ, муодилаи скалярии ғайрихаттии Шредингер.

Kh.Kh.MUMINOV, Sh.F.MUHAMEDOVA, M.ASGHARI-LARIMI

ANALYSIS OF THE BREATHER DYNAMICS OF MULTISOLITON SOLUTIONS OF THE SCALAR NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION WITH CONDENSATE BOUNDARY CONDITIONS

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

By use of numerical simulation methods the breather dynamics of multisoliton nonlinear excitations in Bose-Einstein condensate described by the scalar nonlinear Schrödinger equation with non-trivial (condensate) boundary conditions has been investigated. Formation of solitonic solution is observed analogous to the conventional breather, under condition of non-zero velocity of soliton, which breather dynamics freezes as the velocity tends to zero.

Key words: n -soliton, condensate boundary conditions, scalar nonlinear Schrödinger equation.

УДК 621.315.592

Т.М.АЛИДОДОВ, Х.Ш.АБДУЛОВ, Х.Х.МУМИНОВ

**РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ
ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ GaInAsP/InP**

*Физико-технический институт им. С.У.Умаров АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 23.11.2017 г.*

В работе разработана методика определения и проведен расчет напряжений и радиусов кривизны на каждой границе раздела в многослойных гетероструктурах на основе GaInAsP/InP с различной толщиной активного слоя. В разных партиях с разным относительным несоответствием параметров решетки ($\Delta a / a$) получено растяжение или сжатие эпитаксиальных слоев в зависимости от знака напряжений на подложке. Показано, что при одном и том же значении $\Delta a / a$ с уменьшением толщины эпитаксиальных слоев GaInAsP наблюдается рост уровня напряжения в них.

Ключевые слова: гетероструктуры, GaInAsP/InP, внутренние напряжения, упругая деформация, радиус кривизны.

Полупроводниковая гетероструктура является сложной композицией материалов, обладающих различными параметрами постоянной решетки, коэффициентами термического расширения и геометрическими размерами. Это обуславливает возникновение упругих напряжений, деформаций и сеток дислокаций несоответствия в гетероструктурах.

Эти деформации порождают механические напряжения в эпитаксиальных слоях, которые изгибают подложку. Часть этих напряжений и деформаций уходит на образование в гетероструктурах различных дефектов (кривизна пластины, вызванная сжатой пленкой, стремящейся растянуться; возникновение пор, поверхностные трещины в растянутой пленке; отслоения, вызванные трещинами в растянутой пленке). Поэтому по уменьшению радиуса кривизны пластины можно судить о концентрации дефектов. Такие дефекты, как дислокации несоответствия и трещины, резко ухудшают электрические и

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

оптические характеристики пленки. Возможны и ”положительные“ дефекты, которые позволяют снизить деформации несоответствия, не повреждая кристаллической структуры пленки. Например, межслойные пустоты (поры, отслоения) исключают взаимодействие между частью подложки и пленки, формируя свободно висящие ”мостовые пролеты“.

Как было показано в предыдущих работах [1-3], упругое напряжение в пределах когерентности решётки в гетероструктурах приводит к улучшению излучательных характеристик в лазерах, изготовленных на основе гетероструктур GaInPAs/InP, причём вид деформации не имеет значения.

Следовательно, получить гетероструктуру с заданным уровнем напряжения является важной задачей. В данной работе мы поставили задачу рассчитать упругое напряжение в слоях гетероструктуры GaInAsP/InP.

По методу, использованному в [4], произведен расчет напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP с различной толщиной активного слоя и относительного изменения периодов решетки ($\Delta a/a$) от $0.5 \cdot 10^{-3}$ до $3 \cdot 10^{-3}$, наблюдающегося в изученных нами партиях гетероструктур GaInAsP/InP [2].

Предполагается, что задано несколько гетероэпитаксиальных слоев, длина которых в ненапряженном состоянии различна. Если эти слои подвергнуть упругой деформации, соединив их таким образом, чтобы их поверхности были полностью согласованы друг с другом, тогда в каждом слое установятся продольные напряжения, а сама многослойная структура будет изогнута под действием изгибающего момента. Физическая модель гетероэпитаксиальной структуры представлена на рис.1.

Направления стрелок соответствуют положительным значениям величины R , F_i и M_i .

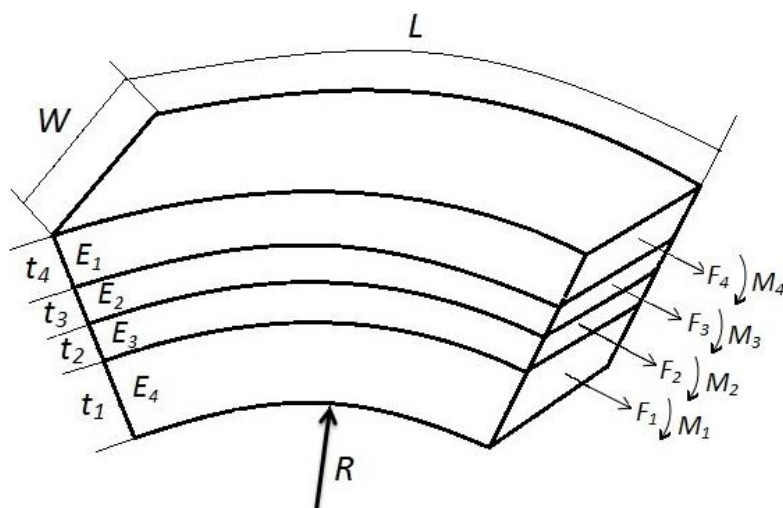


Рис. 1. Физическая модель изогнутой гетероэпитаксиальной структуры.

Типичная схематическая зонная диаграмма гетеролазера из исследованных партий приведена на рис. 2. Такой лазерный гетеродиод состоит из подложки InP, буферного слоя InP, активного слоя, окруженного четверным слоем с большей шириной запрещенной зоны E_g , и верхнего эмиттерного слоя InP.

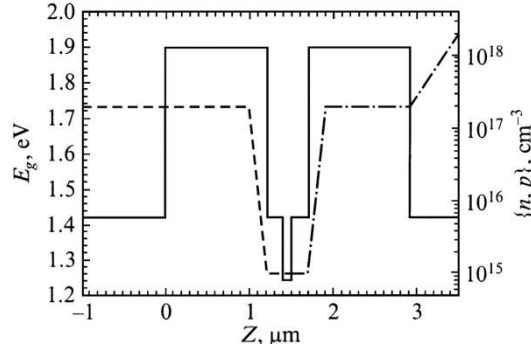


Рис. 2. Схематическая зонная диаграмма GaInPAs/InP гетероструктуры раздельного ограничения (сплошная кривая). Расчетные профили легирования для донорной примеси (Si – пунктир) и акцепторной примеси (Zn – штрихпунктир).

Для структуры, состоящей из n слоев, на основе теории упругости и условий механической устойчивости многослойной структуры в [5] была получена следующая система уравнений для продольных сил и радиуса кривизны:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{i+1}}{E_{i+1} \cdot W t_{i+1}} - \frac{F_i}{E_i W t_i} - \frac{t_i + t_{i+1}}{2R} = E_{i+1} - E, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \\ \sum_{i=1}^n F_i = 0, \\ \sum_{i=1}^n \left[\frac{E_i t_i^3 W}{12R} + F_i \sum_{i=1}^i \left(t_i - \frac{t_i}{2} \right) \right] = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где F_i – продольная сила в i -ом слое, а E_i , t_i – соответственно модуль Юнга, толщина и деформация i -го слоя. R – радиус кривизны многослойной структуры, W – ширина слоя.

При выводе системы уравнений (1) предполагается, что $L > W$ (L – длина слоя). При этих условиях поперечным изгибом можно пренебречь.

В [5] при допущении, что упругие модули всех слоев одинаковы, получено решение системы (1) в замкнутой форме.

На основе численного решения системы (1) предлагаем алгоритм расчета продольных напряжений в каждом слое многослойной структуры и ее радиуса кривизны.

Систему линейных уравнений (1) решить численно невозможно, так как при подстановке численных значений E_i , t_i , характерных для данной задачи, в уравнения (1) матрица системы оказывается близкой к вырождению. Необходимо преобразовать эту систему линейных уравнений таким образом, чтобы матрица полученной системы не была

близкой к вырождению. Для этого в системе уравнений (1) перейдем к новым переменным f_i :

$$f_i = \frac{F_i}{W}, \quad i=1,2,\dots,n.$$

Используя (n-1)-е уравнение системы уравнений (1), выражая $\frac{1}{2R}$ через f_n и f_{n-1}

получим:

$$\frac{1}{2R} = \frac{f_n}{E_n t_n (t_{n-1} + t_n)} - \frac{f_{n-1}}{E_{n-1} t_{n-1} (t_{n-1} + t_n)} - \frac{E_n - E_{n-1}}{t_{n-1} + t_n}. \quad (2)$$

Последовательно исключая $\frac{1}{2R}$ из уравнений (1), после несложных преобразований получим следующую систему n линейных уравнений для n неизвестных f_i ($i=1,2,\dots,n$):

$$\begin{aligned} & \frac{t_{n-1} + t_n}{E_i} f_i + \frac{t_{n-1} - t_n}{E_{i+1}} f_{i+1} + \frac{t_i + t_{i+1}}{E_{n-1}} f_{n-1} - \frac{t_i + t_{i+1}}{E_n} f_n = \\ & = (E_{i+1} - E_i)(t_{n-1} + t_n) - (E_{i+1} + E_i)(t_i + t_{i+1}), \end{aligned}$$

$$i=1,2,\dots,(n-3),$$

$$\begin{aligned} & -\frac{t_{n-1} + t_n}{E_{n-2}} f_{n-2} + \frac{t_{n-2} + 2t_{n-1} + t_n}{E_{n-1}} f_{n-1} - \frac{t_{n-2} + t_{n-1}}{E_n} f_n = \\ & = (E_{n-1} - E_{n-2})(t_{n-1} + t_n) - (E_{i+1} - E_i)(t_{n-2} + t_{n-1}), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n f_i = 0$$

где $D = \sum_{i=1}^n \frac{E_i t_i^3}{6}$.

Матрица системы линейных уравнений (3) с теми же значениями E_i , t_i , невырожденная. Следовательно, численное решение этой системы можно реализовать на компьютере.

Используя решение линейной системы уравнений, радиус кривизны многослойной гетероструктуры вычисляется по формуле (2), а напряжения в j -ом слое вычисляется по следующей формуле [5]

$$\sigma(y) = \frac{f_i}{t_i} + \frac{E_i}{2R} \left(y - \frac{t_i}{2} \right)$$

для чего вводится число слоев n , E_i , t_i и y_i ; для каждого слоя. Здесь y_i – координата положение внутри i -го слоя, для которого определяется напряжение.

На основе этого алгоритма написана программа на языке Microsoft Fortran для вычисления напряжения и радиуса кривизны многослойной гетероструктуры. Работоспособность программы была проверена на расчете значений напряжения каждого эпитаксиального слоя и радиуса кривизны многослойной радиусной структуры с двусторонними гетеропереходами на основе GaAs/AlGaAs, которая была рассмотрена в [5].

Расчет напряжения на каждой границе раздела и радиусы кривизны многослойной гетероструктуры для ряда партий гетероструктур при различных величинах несоответствия параметров решетки подложки и четверного слоя представлены в таблице.

В таблице значениям отрицательные значения σ соответствует растяжению, а положительные – сжатию слоев по нормали к плоскости активного слоя. Радиус кривизны R положителен, если он отсчитывается снизу, то есть когда структура обращена вогнутостью вниз к подложке. В этих расчетах модуль Юнга принят равным $1 \cdot 10^{12}$ дин/см² для всех слоев. Относительное несоответствие параметров решетки принято лежащим в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-3}$, что наблюдаются на практике в гетероструктурах GaInAsP/InP.

Качественную картину распределения напряжений в рассматриваемой структуре можно легко представить, если принять во внимание, что период решетки эпитаксиальных слоев GaInAsP может отличаться от периода решетки InP (подложка), и что доминирующее влияние на структуру оказывает подложка, которая гораздо толще всех эпитаксиальных слоев.

На рис. 3 показано расчетное распределение напряжений в структуре InP-InP (буферный слой), GaInAsP- (три слоя), InP (верхний слой) в зависимости от расстояния до верхней поверхности.

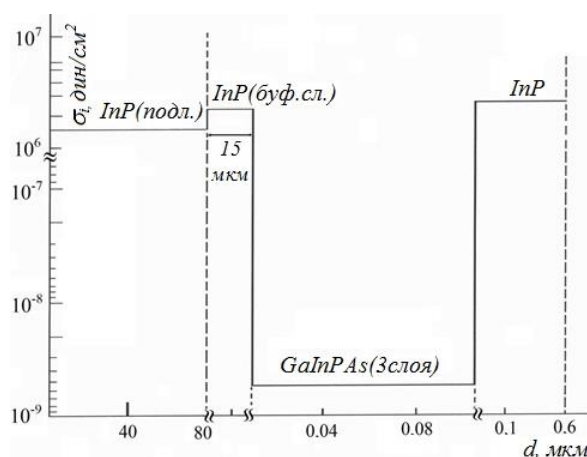


Рис.3. Распределение напряжений в структуре, схематически показанной на рис.2, в зависимости от расстояния до верхней поверхности.

Видно, что при сжатом состоянии подложки тонкие слои четверного твердого раствора находятся в состоянии сильного напряжения растяжения. В других партиях с разной ($\Delta a/a$) (табл.) получены растяжения или сжатия эпитаксиальных слоев в зависимости от знака напряжения на подложке. Для тонких эпитаксиальных слоев величины напряжений у верхней и нижней поверхности каждого слоя приблизительно одинаковы.

При одном и том же значении ($\Delta a/a$) с уменьшением толщины d эпитаксиальных слоев GaInAsP наблюдается рост уровня напряжения σ в них.

Таблица

Напряжения в многослойной гетероструктуре

Структура	R, м	InP (подложка)		InP (эпит. слой)		Ga _{1-x} In _x P _y As _{1-y}		InP (верх.слой)		ε , 10 ⁻³
		T, мкм	σ , 10 ⁸ дин/см ²	T, мкм	σ , 10 ⁸ дин/см ²	T, мкм	σ , 10 ⁸ дин/см ²	T, мкм	σ , 10 ⁸ дин/см ²	
1	-13.0	100	-0.030	15	-0.053	0.1	14.62	1.0	-0.054	1.5
2	-16.2	100	-0.024	15	-0.042	0.1	11.69	1.0	-0.044	1.2
3	-21.7	100	-0.018	15	-0.032	0.1	8.77	1.0	-0.033	0.9
4	21.7	100	-0.018	15	-0.032	0.1	8.77	1.0	-0.033	0.9
5	16.2	100	0.024	15	0.042	0.1	-11.69	1.0	0.044	-1.2
6	13.0	100	0.030	15	0.053	0.1	-14.62	1.0	0.054	-1.5
7	73.1	120	0.154	15	0.265	0.5	-17.33	1.0	0.273	-1.8
8	6.2	120	0.077	15	0.132	0.5	-8.67	1.0	0.137	-0.9
9	9.3	120	0.052	15	0.088	0.5	-5.78	1.0	0.091	-0.6
10	-9.3	120	-0.052	15	0.088	0.5	-5.78	1.0	-0.091	-0.6
11	-4.63	120	-0.103	15	0.177	0.5	11.56	1.0	-0.182	1.2
12	-3.7	120	-0.128	15	-0.221	0.5	14.44	1.0	-0.228	
13	-42.01	80	-0.007	15	-0.013	0.05	5.85	0.5	-0.014	0.6
14	-27.8	80	-0.011	15	-0.02	0.05	8.98	0.5	-0.02	0.88
15	-21.04	80	-0.015	15	-0.026	0.05	11.71	0.5	-0.027	1.17
16	42.01	80	0.007	15	0.013	0.05	-5.85	0.5	0.014	-0.6
17	28.06	80	0.011	15	0.02	0.05	-8.78	0.5	0.020	-0.9
18	21.04	80	0.015	15	0.026	0.05	-11.71	0.5	0.027	-1.2
19	13.8	80	0.023	15	0.04	0.05	-17.56	0.5	0.041	-1.8
20	11.99	80	0.027	15	0.046	0.05	-11.72	0.5	0.017	-2.1
21	34.5	80	0.009	15	0.016	0.03	-11.72	0.5	0.017	-1.2
22	23.75	80	-0.013	15	-0.024	0.03	-17.58	0.5	-0.024	-1.7
23	22.1	80	0.013	15	0.027	0.05	-5.84	0.02	-5.84	0.05
24	21.9	80	0.013	15	0.027	0.03	-8.77	0.02	-8.77	0.03
25	16.3	80	0.017	15	0.037	0.03	-11.7	0.02	-11.7	0.03
26	13.2	80	0.021	15	0.045	0.03	-14.6	0.02	-14.6	0.03
27	11.0	80	0.026	15	0.045	0.03	-17.5	0.02	-17.5	0.03
28	47.7	80	0.006	15	0.012	0.02	-5.85	0.015	-5.85	0.02
29	23.8	80	0.012	15	0.025	0.02	-11.7	0.015	-11.7	0.02
30	18.8	80	0.015	15	0.031	0.02	-14.6	0.015	-14.6	0.02
31	15.1	80	0.018	15	0.039	0.02	-17.6	0.015	-17.6	0.02
32	13.4	80	0.020	15	0.044	0.02	-20.5	0.015	-20.5	0.02

Выявление и исследование внутренних напряжений и соответствующей им упругой деформации в гетероэпитаксиальных структурах на основе GaInAsP/InP дало некоторые важные результаты. Оказалось, что оптимизация уровня упругого напряжения в ак-

тивном слое приводит к снижению порога генерации, увеличению дифференциальной эффективности и температурного параметра лазерных структур GaInAsP/InP, для этого требуется расчет упругих напряжений и оптимального введения напряжений в активных слоях приборных структур.

В многослойных гетероструктурах, где требуется расчет упругой деформации и напряжений во всех слоях, можно использовать метод теоретического расчета. Предложена методика определения и расчета напряжений в многослойных гетероструктурах. Разработана физическая и математическая модель расчета, алгоритм и программа для расчета с помощью персонального компьютера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев П.Г., Свердлов Б.Н, Шохуджаев Н. – Препринт ФИАН №107. – М.: 1984.
2. Шохуджаев Н., Алидоов Т.М. Об определении упругих напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP с ультратонкой активной областью по поляризации излучения. – ДАН РТ, 2002, т.45, № 9, с. 61-65.
3. Шохуджаев Н., Алидоов Т.М., Абдулов Х.Ш. Расчет напряжений в гетероэпитаксиальных слоях. – Тез. докл. научно-практ. конф. «Соврем. проблемы физики и астрофизики». – Душанбе: ТГНУ, 2005.
4. Форсайт Дж., Мальколм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980, с.65.
5. Олсен Г-Х., Эттенберг М. Рост кристаллов. Вып.2. Под ред. К.Гудмана. – М.: Мир, 1981, с.9-75.

Т.М.АЛИДОДОВ, Х.Ш.АБДУЛОВ, Х.Х.МУМИНОВ

МУҲОСИБОТИ ШИДДАТҲОИ ДОХИЛӢ ДАР ГЕТЕРОСОХТОРҲОИ БИСӢРҚАБАТА ДАР АСОСИ GaInAsP/InP

Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола усули ҳисобкунии шиддати чандирӣ дар сохтори бисёрқабатаи гетероструктура нишон дода шудааст. Дар ҳар як сатҳи сохтори бисёрқабатаи гетероструктураи GaInAsP/InP ҳисобҳои шиддати чандирӣ ва радиуси қачии он бо ғафсиҳои гуногуни қабати ғаёол, оварда шудаанд. Дар қисмҳои гуногун бо ҳосиятҳои гуногуни номутаносиби параметрҳои панҷара ($\Delta a/a$), ёзиш ё фишурдашавии қабатҳои эпитаксиалӣ вобаста аз аломати шиддат дар зертахта муайян карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки дар ҳамон як қимати ($\Delta a/a$) бо кам кардани ғафсии қабатҳои эпитаксиали d , афзоишҳои сатҳи шиддат мушоҳида карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: гетеросохторҳо, GaInAsP/InP, шиддати дохилӣ, деформатсияи чандирӣ, радиуси қачӣ.

T.M.ALIDODOV, Kh.Sh.ABDULOV, Kh.Kh.MUMINOV

CALCULATION OF STRESSES IN THE MULTILAYER GaInAsP/InP HETEROSTRUCTURES

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

The work has developed methods for determining and calculating the stress and radius of curvature at each interface in multilayer heterostructures based on GaInAsP/InP with different active layer thickness. In different batches with different relative mismatch of the lattice parameters, the tension or compression of epitaxial layers was obtained depending on the sign of the stresses on the substrate. It is shown that at the same value with a decrease in the thickness of the epitaxial GaInAsP layers, an increase in the voltage level in them is observed.

Key words: heterostructures, GaInAsP / InP, internal stresses, elastic deformation, radius of curvature.

УДК 620.97:621.31

М.А.САЛИЕВ, Х.М.АХМЕДОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Центр инновационного развития науки и новых технологий

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 05.02.2018 г.

Исследована эффективность солнечной фотоэлектрической установки по данным мониторинга температуры и выходных параметров солнечного модуля в реальных условиях эксплуатации. Определены средний суточный КПД, фактическая продолжительность работы, выработка электроэнергии солнечного модуля в период зимнего минимума инсоляции.

Ключевые слова: солнечное излучение, продолжительность солнечного сияния, температура солнечного модуля, эффективность, выработка энергии.

Разработка и производство систем преобразования солнечной энергии в электричество является наиболее перспективным и активно развиваемым направлением создания экологически чистых возобновляемых источников энергии. Исследование систем различных типов проводится с целью повышения эффективности установок, понижения стоимости получаемой энергии.

Целью настоящей работы является исследование энергетической эффективности солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) в реальных условиях эксплуатации. На основе созданной автоматизированной системы регистрации данных по данным мониторинга рабочих выходных параметров нами разработана инновационная методика определения КПД, выработки электроэнергии, суммы суммарного солнечного излучения (СИ) и фактической продолжительности эффективной работы СФЭУ.

Адрес для корреспонденции: Ахмедов Хаким Мунавварович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Рудаки, 33 а, Центр инновационного развития науки и новых технологий АН РТ.
E-mail: khakim48@mail.ru

Оценка эффективности работы СФЭУ определяется коэффициентом полезного действия. КПД СФЭУ равен КПД фотоэлектрического модуля (ФЭМ), умноженному на коэффициент потерь электрической схемы подключения нагрузки. Энергетическая эффективность работы СФЭУ зависит от технических параметров солнечных элементов и поступления солнечного излучения на приемную плоскость установки. Прозрачность атмосферы, температура воздуха, скорость ветра влияют на эффективность работы СФЭУ [1]. Поэтому необходимо исследование влияния климатических условий местности на эффективность работы солнечных электрических установок и коллекторов, как для разработки эффективных технологий использования СИ, так и для их адаптации к местным условиям. Расчет параметров солнечных энергетических установок основан на данных СИ в период летнего максимума и зимнего минимума инсоляции. Оценка возможностей солнечной энергии в условиях центральных, северных и горных регионов Республики Таджикистан (РТ) проведена в работах [2-4]. Суточная сумма суммарного СИ в северных долинных регионах РТ достигает минимальных значений в декабре и составляет 1.5 кВт.ч/м², что в 5 раз меньше, чем в период летнего пика инсоляции в июне. В зимний период существенно уменьшается продолжительность солнечного сияния. Теоретическое значение солнечного сияния ($T_{\text{с.теор.}}$) определяется по координатам широты и долготы местности с момента восхода до момента захода солнца при ясном небе [1]. Фактическое солнечное сияние ($T_{\text{с.факт.}}$) и суточные суммы суммарного СИ зависят от атмосферных условий и рельефа местности, особенно в горных регионах. Данные более полувековой давности о солнечном сиянии и суммарном СИ по регионам РТ приведены в справочнике [5]. При разработке новых технологий с использованием СИ необходимы точные современные данные о солнечном сиянии и суммарном СИ местности. Источником точных данных о СИ могут быть действующие солнечные станции при оснащении установок современными информационными системами [6].

В Центре инновационного развития науки и новых технологий АН РТ разработана информационная система для солнечных фотоэлектрических установок. Для контроля процессов получения, хранения и потребления энергии в реальных условиях эксплуатации СФЭУ нами создана автоматизированная система непрерывного мониторинга рабочих параметров СФЭУ в масштабе реального времени. Система регистрации данных на микрокомпьютере обеспечивает запись и хранение данных на флэш-карте объемом 1ГВ. Компьютерная программа обработки базы данных позволяет получить аналитическую информацию в заданном интервале времени суток, месяца, года. Использование точных цифровых технологий, автоматизация измерений, записи, хранения и обработки данных СИ в масштабе реального времени является инновационным решением проблем использования солнечной энергии. Ниже приводятся результаты исследований с кратким описанием методики получения и обработки выходных данных ФЭМ, состоящей из 7 этапов:

1. Определение КПД ФЭМ. Температура модуля T_m , ток I и напряжение U на выходе ФЭМ измеряется и записывается через определенный интервал времени на флэш-

карту микрокомпьютером. При необходимости данные передаются непрерывно в масштабе реального времени или 1 раз в сутки (неделю, месяц, год) в компьютер и хранятся в формате Excel. Средний КПД ФЭМ η_i в заданном i -том интервале времени определяется формулой [4]

$$\eta_i = \eta(0^\circ\text{C}) + kT_{mi}, \quad (1)$$

где $\eta(0^\circ\text{C})$ – КПД модуля при температуре 0°C , k – коэффициент, T_{mi} – температура модуля.

Данные мониторинга температуры воздуха T_v и температуры T_m ФЭМ для зимнего минимума инсоляции ясного дня 23 декабря 2017 г. приведены на рис.1а. Средняя температура воздуха T_v в тени ФЭМ на расстоянии 15 см составила 10.6°C в дневное время работы установки. Минимальная температура T_m ФЭМ составила утром $+5^\circ\text{C}$ (8:00) и максимальная температура $+24.7^\circ\text{C}$ после полудня (13:45). Средняя температура ФЭМ составила 15.4°C в дневное время работы установки с 8.00 по 17.00.

Расчитанная по выражению (1) дневная кривая КПД модуля приведена на рис.1б. КПД ФЭМ максимален утром (8.00), при температуре модуля $+5^\circ\text{C}$ составляет 0.198. КПД ФЭМ понижается до 0.175 из-за увеличения температуры модуля до $+24.7^\circ\text{C}$ (13.45). Эффективность ФЭМ понижается на 0.024 или на 12.1% ($0.024/0.198$). Средний КПД ФЭМ составляет 0.186 в дневное время работы установки с 8.00 по 17.00 (23.12.2017 г.). При определении КПД ФЭМ средним значением η_i за день по выражению (1) не учитывается изменение интенсивности солнечного излучения в течение дня. Расчет среднего суточного КПД, учитывающий изменение интенсивности СИ, дается ниже п.6.

2. Электрическая мощность на выходе ФЭМ P_i определяется по формуле

$$P_i = I_i U_i, \quad (2)$$

где I_i – ток, U_i – напряжение на выходе ФЭМ.

Дневной ход кривых напряжения $U_{\text{вых}} = U_i$ и тока короткого замыкания $I_{\text{к.з.}} = I_i$, на выходе ФЭМ приведены на рис. 2а и рис.2б.

Расчетная электрическая мощность $P = P_i$ приведена на рис.2в.

3. Выработка электроэнергии в заданном интервале i определяется по формуле:

$$W_i = P_i \Delta t_i, \quad (3)$$

где $\Delta t_i = 5 \text{ мин} = \text{const}$ является интервалом измерений. Величина P_i – считается средней электрической мощностью в i -том интервале. Расчетная электрическая мощность P_i и выработка электроэнергии W_i ФЭМ приведены на рис.3 и рис.4, соответственно для 23.12.2017 г., где по временной оси абсцисс показаны интервалы измерений $i = 1N$. Число измерений $N=288$ в сутки.

4. Суточная выработка электроэнергии определяется суммой выработки в интервалах

$$W_c = \sum_{i=1}^N W_i \quad (4)$$

или

$$W_c = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i \quad (5)$$

По данным мониторинга для 23.12. 2017 г., выработка электроэнергии ФЭМ, установленной под углом 40° относительно горизонтальной плоскости и направлением нормали на юг, с площадью $S = 1.8 \text{ м} \times 0.8 \text{ м} = 1.44 \text{ м}^2$ составила:

$$W_c = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = 25668 \text{ Вт.мин} = 0.43 \text{ кВт.ч}$$

Удельная выработка электроэнергии в сутки составила: $W_c/S = 0.3 \text{ кВт.ч/м}^2$.

5. Суточная сумма СИ определяется

$$E_c = \sum_{i=1}^N W_i / \eta_i \quad (6)$$

По данным мониторинга для 23.12. 2017 г., суточная сумма СИ составила:

$$E_c = \sum_{i=1}^N W_i / \eta_i = 142600 \text{ Вт.мин} = 2.38 \text{ кВт.ч}$$

Удельная суточная сумма СИ на плоскости ФЭМ составила:

$$Q_c(40^\circ) = E_c / S = 2.38 \text{ кВт.ч} / 1.44 \text{ м}^2 = 1.65 \text{ кВт.ч/м}^2$$

Удельная суточная сумма СИ на горизонтальной плоскости, по нашим экспериментальным данным, уменьшается на 10% и составляет:

$$Q_c(0^\circ) \approx 1.5 \text{ кВт.ч/м}^2$$

6. Средний суточный КПД фотоэлектрического модуля (ФЭМ) определяется:

$$\eta_c = W_c / E_c, \quad (7)$$

где W_c – суточная выработка электроэнергии, E_c – суточная сумма СИ.

Средний суточный КПД ФЭМ для 23.12.2017 г. составил:

$$\eta_c = W_c / E_c = 25668 \text{ Вт.мин} / 142600 \text{ Вт.мин} = 0.18$$

При определении среднего суточного КПД ФЭМ η_c по выражению (7) учитывается изменение интенсивности СИ в течение дня. Средний КПД ФЭМ, рассчитанный по выражению (1) равен 0.186 и больше на 3.3% (см.п.1). КПД ФЭМ в выражении (1) зависит только от температуры ФЭМ и не учитывается изменение интенсивности СИ. Данные

температуры модуля T_m могут использоваться для расчета КПД при учете фактической продолжительности работы ФЭМ с погрешностью 3%.

Для наглядного изложения предложенной ниже методики, электрическая мощность (рис.3) и выработка электроэнергии (рис.4) показаны по точкам измерений, записанных системой регистрации данных с интервалом 5 мин в течение суток для 23.12.2017 г.

7. Определение фактической продолжительности эффективной работы ФЭМ. Уравнение (5) можно представить в виде:

$$W_c = \sum_{i=1}^a P_i \Delta t_i + \sum_{i=a}^b P_i \Delta t_i + \sum_{i=b}^N P_i \Delta t_i, \quad (8)$$

где P_i – средняя мощность выработки электроэнергии в i -том интервале.

Точки a начала и конца b эффективной выработки энергии даются условиями:

$$\sum_{i=1}^a P_i \Delta t_i < 0,005 W_c, \quad (9)$$

$$\sum_{i=b}^N P_i \Delta t_i < 0,005 W_c. \quad (10)$$

Подставляя условия (9) и (10) в выражение (8), получим:

$$\sum_{i=a}^b P_i \Delta t_i > 0,99 W_c. \quad (11)$$

Таким образом, заданная часть суточной выработки W_c (более 99%) получена в интервале измерений (a , b).

Выработка электроэнергии ФЭМ по данным мониторинга составила:

$$W_c = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = 25668 \text{ Вт.мин},$$

откуда находим

$$0.005 W_c = 128.3 \text{ Вт.мин}.$$

Определим точку a из условия (9) при $i = 1$, $t = 00:05$, $a = 91$, $t = 7:10$.

$$\sum_{i=1}^a P_i \Delta t_i = 126.8 \text{ Вт.мин} < 128.3 \text{ Вт.мин}$$

Определим точку b из условия (10) $b = 200$, $t = 15:25$, $N = 288$, $t = 24:00$

$$\sum_{i=b}^N P_i \Delta t_i = 12.6 \text{ Вт.мин} < 128.3 \text{ Вт.мин}$$

$$\sum_a^b P_i \Delta t_i = 25414 \text{ Вт.мин.}$$

Условное начало выработки $a=91$, $t=7:10$, конец интервала $b=200$, $t=15:25$. Заданные условия (9) и (10) являются критериями, определяющими фактическую продолжительность эффективной работы СФЭУ, которую обозначим $T_{\text{эфф.факт}}$. Продолжительность работы ФЭМ при условиях (9), (10) составила $T_{\text{эфф.факт}} = 15 \text{ ч } 25 \text{ мин} - 7 \text{ ч } 10 \text{ мин} = 8 \text{ ч } 15 \text{ мин}$.

Величина $T_{\text{эфф.факт}}$ как показатель, имеющий нормированные заданные условия, является эффективной частью продолжительности фактического солнечного сияния. $T_{\text{эфф.факт}}$ определяется условно заданным дневным интервалом времени, в котором вырабатывается более 99% суточной электроэнергии. Величина $T_{\text{эфф.факт}}$ используется для анализа фактического солнечного сияния и уровня инсоляции местности.

Таким образом, исследована энергетическая эффективность солнечного фотоэлектрического модуля для зимнего минимума инсоляции в реальных условиях эксплуатации в г. Худжанд (широта $40^{\circ}17'$, долгота $69^{\circ}37'$). Разработана инновационная методика определения энергетической эффективности ФЭМ по температуре модуля в масштабе реального времени. Показано, что средний расчетный суточный КПД ФЭМ составил 0.18 при средней дневной температуре ФЭМ 15.4°C на дату 23.12.2017 г. Удельная выработка электроэнергии ФЭМ составила 0.3 кВт/м^2 в сутки при угле установки 40° относительно горизонта и направление нормали на юг. Фактическая продолжительность работы ФЭМ для зимнего минимума инсоляции составила 8 часов 15 минут для г.Худжанд. Расчетная суточная сумма суммарной солнечной радиации на единицу площади в горизонтальной поверхности составила 1.5 кВт.ч/м^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Б.И., Салиев М.А., Назаров Р.Р., Абдуллаев С.Ф. Оценка возможностей солнечной энергии на основе точных измерений солнечной радиации. - Ученые записки ХГУ им.акад. Б.Гафурова. Естествен. и эконом. науки. – Худжанд, 2015, №4, с.35-41.
2. Салиев М.А., Назаров Р.Р., Иброгимов И.И. Оценка возможностей солнечной энергетики в северных регионах Республики Таджикистан. - Ученые записки ХГУ им.акад. Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд, 2014, №4, с.39-43.
3. Салиев М.А., Ахмедов Х.М., Назаров Р.Р. Оценка возможностей солнечной энергии в регионах Горного Бадахшана Республики Таджикистан. - Ученые записки ХГУ им. акад. Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд, 2015, №2, с.31-35.
4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов. / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2008, с.320.
5. Справочник по климату СССР. Т. 31, вып. 1.- Л.: Гидрометеиздат, 1966, с.66.
6. Дубинин Д.В., Лаевский В.Е.- Изв.Томского политех.университета, 2015, т.326, № 3, с.58-61.

М.А.САЛИЕВ, Ҳ.М.АХМЕДОВ

**ТАҲҚИҚИ САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ ДАСТГОҲИ
ФОТОЭЛЕКТРИКИИ ОҒТОБӢ ДАР ШАРОИТИ ИСТИФОДАБАРИИ
ВОҶЕӢ**

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

Самаранокӣ дастгоҳи барқи офтобӣ ба воситаи мониторинги ҳарорат ва нишондиҳандаҳои кори модули офтобӣ дар шароити истифодабарии воқеӣ таҳқиқ карда шудааст. Давомнокӣ ва коэффитсиенти кори самаранок, истехсоли шабонарузии энергияи барқи модули офтобӣ дар давраи зимистон ҳангоми минимуми афканиши офтобӣ муайян карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: афканиши офтоб, давомнокии нурафканиши офтоб, ҳарорати модули офтобӣ, самаранокӣ, истехсоли энергияи барқ.

M.A.SALIEV., Kh.M.AKHMEDOV

**STUDY OF EFFICIENCY OF SOLAR PHOTOELECTRIC INSTALLATION IN
REAL OPERATING CONDITIONS**

*Center for Innovative Development of Science and New Technologies,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

The energy efficiency of the solar power station by monitoring data from the output of photovoltaic module under real operating conditions were investigated. The duration of effective operation of photovoltaic module, the power efficiency and output power per day in winter period of the minimum insolation were determined.

Key words: solar radiation, sunshine duration, temperature of the photovoltaic solar module, power efficiency, output power.

УДК 624.042

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

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 10.01.2018 г.

В статье, на основе разработанной математической модели и компьютерной программы, получены результаты динамического расчета многоэтажных зданий с сейсмоизоляцией. На основе прямого метода численного интегрирования проведены исследования свободных и вынужденных колебаний динамической модели здания без сейсмоизоляции и с учетом сейсмоизоляции.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, математическая модель, сейсмостойкость сооружений, сейсмозащита, суперструктура, спектр частот.

Сейсмическая безопасность является одной из важнейших задач социально-экономического развития. В настоящее время во многих странах, с целью снижения сейсмического риска, проводятся фундаментальные и прикладные исследования в области активной сейсмозащиты зданий и сооружений. Проблема обеспечения сейсмостойкости сооружений и обеспечения безопасности проживания людей на сейсмически активных территориях является актуальной.

Сейсмоизоляция считается одним из наиболее перспективных методов сейсмозащиты зданий и сооружений. Основная идея сейсмоизоляции состоит в том, чтобы увеличить основной период свободных колебаний здания и выйти из области преобладающих периодов сейсмических воздействий.

С 1980 г. в строительной науке и практике получили широкое развитие разработка и практическое применение устройств сейсмозащиты и сейсмоизоляции различных видов зданий, сооружений, оборудования, снижающих интенсивность сейсмических нагрузок и

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

повышающих их сейсмостойкость [1,2]. В 1959 г. в Ашхабаде было построено трехэтажное кирпичное здание с сейсмоизоляцией системы Ф.Д.Зеленькова, где надземные конструкции с помощью тяжей и пружин подвешивались к стенам монолитного железобетонного фундамента. В 1972 г. в Севастополе было построено пятиэтажное крупнопанельное здание с сейсмоизолирующим поясом, состоящим из армоцементных опор в форме эллипсоидов вращения, уложенных по всей площади фундамента. В Бишкеке в 80-х годах было построено несколько зданий со скользящим поясом [3]. Наиболее полно разработана теория адаптивных систем сейсмозащиты, получившая основное развитие в ЦНИИСКе им. В.А.Кучеренко [4]. В Армении разрабатываются проекты и осуществляется строительство 10–20-этажных зданий с системами сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор. В Японии первые исследования сейсмоизоляции сооружений в современном представлении были начаты в 1981 г. Начиная с 1986 г., продолжалось устойчивое строительство сейсмоизолированных зданий, к концу 1994 г. было построено около 80 таких зданий, расположенных главным образом в районе г. Токио. Первое сейсмоизолированное здание в Китае было построено в 1993 г. Огромный интерес применения в сооружениях систем сейсмоизоляции и регулирования сейсмической реакции наблюдается в Тайване, Новой Зеландии, Турции, Чили, Греции, Португалии, Мексике, Иране [5].

Достигнут определенный прогресс в разработке систем сейсмоизоляции, методике определения их основных параметров – коэффициентов трения, жесткостей сейсмоизолирующих и демпфирующих элементов, выборе конструктивных решений. В то же время задачи обоснования эффективности систем сейсмоизоляции и оптимизации их параметров еще полностью не решены. Имеют место значительные расхождения в рекомендациях по выбору систем сейсмоизоляции по жесткости и демпфированию. Основную сложность при подборе параметров демпфирования сейсмоизолирующих систем представляет учет грунтовых условий строительной площадки. Некоторые исследователи отмечают низкую эффективность сейсмоизоляции зданий, возведенных на слабых грунтах [6]. Другие специалисты утверждают, что грунты не влияют на работу сейсмоизоляции. Несмотря на то, что на слабых грунтах возведено большинство сейсмоизолированных зданий и сооружений, вопрос их сейсмоизоляции является наименее изученным в теории сейсмостойкости.

Наиболее эффективным способом сейсмоизоляции считается использование резинометаллических опор (РМО), которые представляют собой слоистые конструкции из попеременно уложенных друг на друга листов натуральной или искусственной резины [7,8]. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные различными авторами, показывают особую их эффективность.

Коэффициент горизонтальной жесткости РМО определяется по формуле $k_1 = GA_b / H_r$, где G – модуль сдвига, A_b – площадь поверхности резины, H_r – общая толщина слоев резины. Модуль упругости эластомерной опоры при сжатии определяется по формуле $E = 6GS^2$, где G – модуль сдвига, $S = A_1 / A_2$ – коэффициент формы, A_1 –

площадь нагружения, A_2 – площадь поверхности сейсмоизоляции [9]. Резинометаллические опоры со свинцовым сердечником были впервые использованы в Новой Зеландии в конце 1970-х годов [10] и стали широко использоваться для сейсмоизоляции в США и Японии [11].

Следует отметить, что применение таких систем, в которых основные параметры зависят от характеристик землетрясений, требует дополнительных исследований. Следовательно, данное направление является актуальным.

Рассмотрим динамическую модель здания, которая состоит из трех составных частей: субструктуры, системы сейсмоизоляции и суперструктуры. Задача состоит в уменьшении величины горизонтальных сейсмических нагрузок на суперструктуру за счет изменения частотного спектра ее собственных колебаний – увеличения периодов колебаний суперструктуры по основному тону. Уравнение движения суперструктуры динамической модели представляется в матричной форме

$$M_S \ddot{W}_S + C_S \dot{W}_S + K_S W_S = -M_S I (\ddot{z}_g + \ddot{w}_b), \quad (1)$$

где M_S, C_S, K_S – диагональная матрица масс, матрицы затухания и жесткости, $W_S = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$, \dot{W}_S, \ddot{W}_S – векторы относительных смещений, скоростей и ускорений, \dot{w}_b, \ddot{z}_g – относительное ускорение массы фундаментной плиты m_b и ускорения грунта соответственно, I – единичный вектор. Уравнение движения массы m_b представляется в виде

$$m_b \ddot{w}_b + f_b - k_1 w_1 - c_1 \dot{w}_1 = -m_b \ddot{z}_g, \quad (2)$$

здесь f_b – восстанавливающая сила сейсмоизоляции, k_1, c_1 – коэффициенты жесткости и демпфирования первого этажа.

Восстанавливающая сила f_b в общем имеет нелинейный характер изменения в зависимости от перемещения изоляции. Согласно [12], нелинейный закон изменения восстанавливающей силы может быть заменен эквивалентной линейной моделью на основе эффективной упругой жесткости и эффективного вязкого затухания

$$f_b = k_{eff} w_b + c_{eff} \dot{w}_b, \quad (3)$$

$$k_{eff} = k_2 + f_0 / \Delta_2, \quad c_{eff} = 2\xi_{eff} M \omega_{eff}, \quad \omega_{eff} = 2\pi / T_{eff}, \quad T_{eff} = 2\pi \sqrt{N / k_{eff} g},$$

здесь M – масса суперструктуры, $N = Mg$, ξ_{eff}, T_{eff} – эффективные коэффициент затухания и основной период свободных колебаний изоляции.

Система дифференциальных уравнений (1), (2) не может быть решена классическим методом разложения по собственным формам по следующим причинам: во-первых,

из-за разницы в затуханиях изоляции и суперструктуры, матрица затухания не сможет удовлетворять условия ортогональности; во-вторых, график зависимости " $f - \Delta$ " имеет нелинейный характер изменения. Следовательно, реакция системы должна определяться совместным интегрированием этих уравнений шаговым методом. Выражения для ускорения и скорости, полученные путем последовательной аппроксимации [13-15], соответствующие моменту времени t_i , представляются в виде

$$\ddot{W}_i = \alpha_1 (W_i - W_{i-1}) / \tau_i^2 - \alpha_2 \dot{W}_{i-1} / \tau_i - \alpha_3 \ddot{W}_{i-1}, \quad (4)$$

$$\dot{W}_i = \beta_1 (W_i - W_{i-1}) / \tau_i - \beta_2 \dot{W}_{i-1} - \tau_i \beta_3 \ddot{W}_{i-1}, \quad (5)$$

здесь τ_i – шаг интегрирования на отрезке времени $[t_{i-1}, t_i]$, α_j, β_j – коэффициенты аппроксимации. Внося (4), (5) в (1) и (2), получаем систему алгебраических уравнений, которая решается на каждом шаге итерационным методом Зейделя [16].

Пример. Исследование динамических поведений многоэтажных каркасных зданий с учетом сейсмоизоляции. Рассматриваются 10-15-20-25 и 30-этажные здания с сейсмоизоляцией типа РМО. Указанные здания имеют следующие параметры: размеры в плане 12x30 м, сетки колонн 6x6 м, сечение колонн 40x50 см, балки 25x40 см, толщина плиты – 20 см, высота этажа – 3,3 м. Для изоляции здания используются 18 РМО типа SI-H 500/102 фирмы «FIP Industriale». Параметр затухания для суперструктуры $\xi = 0,05$, а для изоляции $\xi_{eff} = 0,1$. В качестве сейсмических воздействий использованы акселерограммы землетрясений El Centro (1940) и синтезированная акселерограмма СА-482 с пиковыми ускорениями 0,31g и 0,4g соответственно. На первом этапе были исследованы свободные колебания зданий.

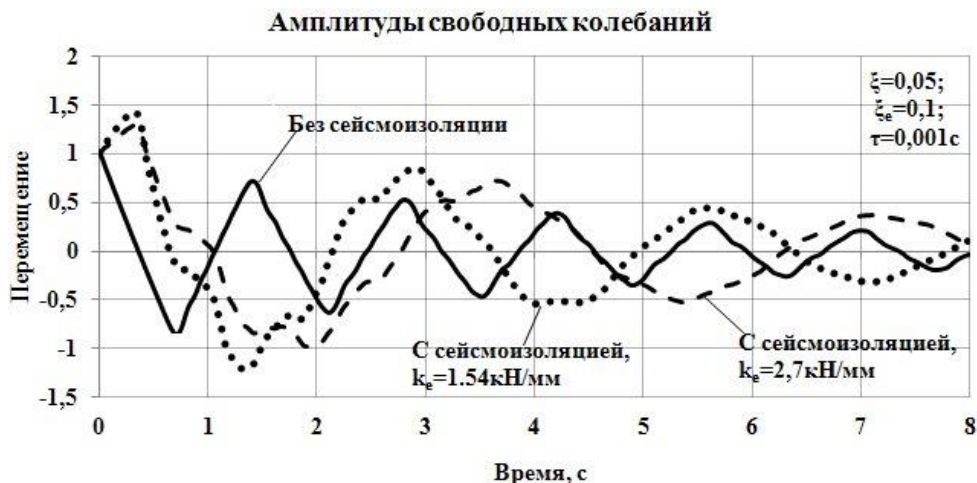


Рис.1. Свободные колебания 15-этажного каркасного здания без сейсмоизоляции и с сейсмоизоляцией при различных значениях k_e .



Рис.2. Свободные колебания 20-этажного каркасного здания без сейсмоизоляции и с сейсмоизоляцией при различных значениях k_e .

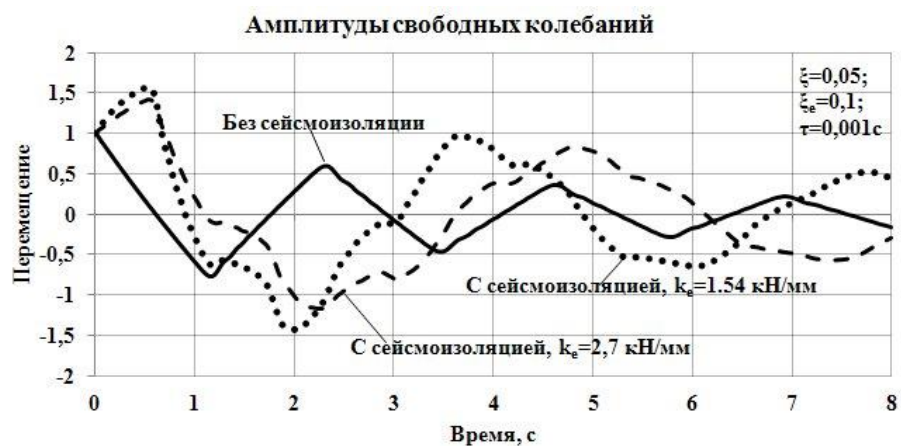


Рис.3. Свободные колебания 25-этажного каркасного здания без сейсмоизоляции и с сейсмоизоляцией при различных значениях k_e .



Рис.4. Свободные колебания 30-этажного каркасного здания без сейсмоизоляции и с сейсмоизоляцией при различных значениях k_e .

На рис.1-4 представлены результаты свободных колебаний для зданий различной этажности, полученные от действия мгновенного импульса, распределенного по высоте здания. Можно заметить, что основной период свободных колебаний здания с сейсмоизоляцией увеличивается примерно в 3 раза по сравнению со зданием без сейсмоизоляции.

На втором этапе исследованы и получены результаты от сейсмических воздействий. На рис. 5-8 сравниваются результаты, полученные от землетрясения El Centro (1940). В таблице приводятся данные, полученные от действия двух акселерограмм для зданий без сейсмоизоляции (строка А) и с сейсмоизоляцией (строка В). Как следует из таблицы, с увеличением высоты здания относительное ускорение уменьшается.

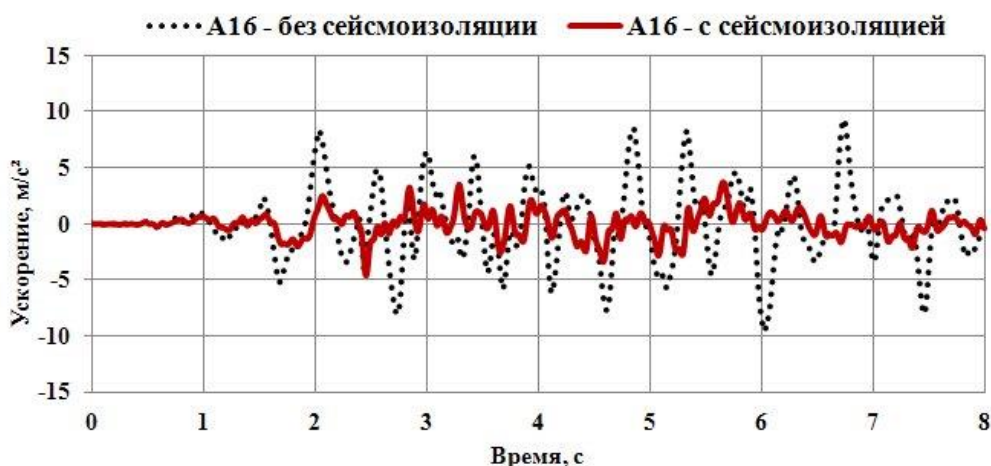


Рис.5. Сравнение относительного ускорения массы m_{16} здания без и с сейсмоизоляцией.

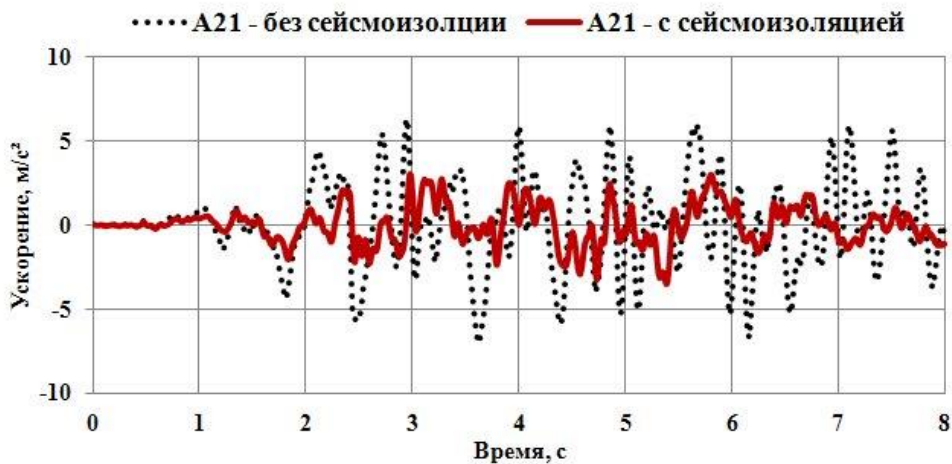


Рис.6. Сравнение относительного ускорения массы m_{21} здания без и с сейсмоизоляцией.

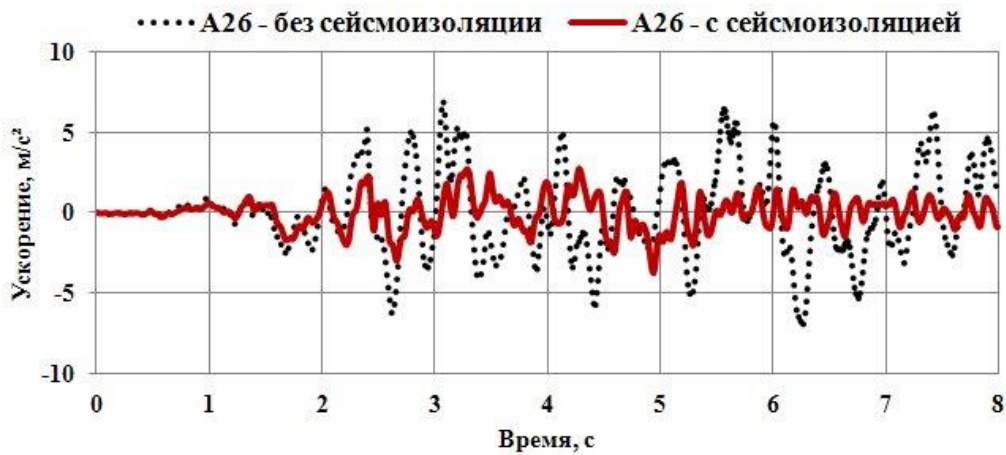


Рис.7. Сравнение относительного ускорения массы m_{26} здания без и с сейсмоизоляцией.

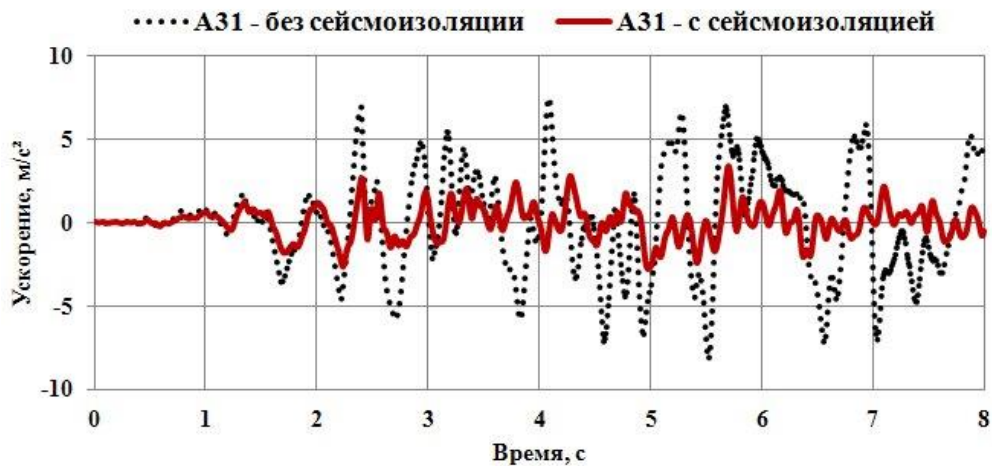


Рис.8. Сравнение относительного ускорения массы m_{31} здания без и с сейсмоизоляцией.

В зданиях без сейсмоизоляции с увеличением высоты здания в 3 раза относительное ускорение уменьшается в 1.7 раза при действии акселерограммы El Centro. Такая же тенденция наблюдается и в случае действия синтезированной акселерограммы CA-482. Следует также отметить, что в сейсмоизолированных зданиях с увеличением высоты здания относительное ускорение уменьшается в пределах от 8 до 25%.

Таблица

Максимальные относительные ускорения (m/c^2) на уровне покрытия зданий

Воздействие		Число этажей				
		10	15	20	25	30
EL Centro	A	12.6	9.23	6.52	6.92	7.48
	B	3.79	4.21	3.48	3.15	2.83
CA-482	A	15.8	14.3	11.9	10,2	10.5
	B	5.36	5.12	5.44	4.46	4.90

Выводы

1. Актуальным направлением современной науки о сейсмостойком строительстве становится разработка способов сейсмозащиты и оценки их эффективности на основе различных динамических моделей систем «сооружение-изоляция-фундамент-основание» с учётом характера сейсмического воздействия в форме инструментальных записей землетрясений.

2. На основе разработанных алгоритмов и программ полученные результаты численного моделирования подтверждают эффективность сейсмоизолирующих резинометаллических опор.

3. Использование сейсмоизоляции приводит к значительному уменьшению ускорения и относительного межэтажного сдвига, но при этом увеличивается абсолютное перемещение здания по сравнению со зданием без сейсмоизоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я.М. Сейсмоизоляция высоких зданий. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2004, вып. 1, с. 28-32.
2. Савинов О.А. Сейсмоизоляция сооружений. Избранные статьи и доклады. Динамические проблемы строительной механики. – СПб., 1993, с.155-178.
3. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.А. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте. – М.: Стройиздат, 1984, 31 с.
4. Айзенберг Я.М. О расчёте адаптирующихся систем с выключающимися связями при неполной сейсмологической информации. – В сб.: Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. – М.: Стройиздат, 1972, с.4-19.
5. Смирнов В.И. Испытания зданий с системами сейсмоизоляции динамическими нагрузками и реальными землетрясениями. – М., Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2009, № 4, с. 23-28.
6. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. – М.: Стройиздат, 1988, 318 с.
7. СП. Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования. / В.И.Смирнов, А.А.Бубис. Центр исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Институт ОАО НИЦ Строительство. – М.: Мин. регион России, 2013, 45 с.
8. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Акбиев Р.Т. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор. – М.: РАСС, 2008, 46 с.
9. Chalhoub M.S., Kelly, J.M. Effect of bulk compressibility on the stiffness of cylindrical base isolation bearings. – Int. J. Solids Struct., 1990, v. 26, pp.743-760.
10. Robinson W.H. A lead-rubber shear damper. – Bull. N. Z. Natl. Soc. Earthq. Eng., 1977, v. 3, pp.93-101.
11. Skinner R.I., Robinson W.H., Mc Verry G.H. An Introduction to Seismic Isolation; John Wiley and Sons Inc.: New York, NY, USA, 1993.
12. Uniform Building Code, International conference of building officials, Whittier; California, USA, 1997, p. 1079.
13. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Динамический расчет многоэтажных зданий на основе метода сосредоточенных деформаций. – Изв. АН РТ. Отд. физ.–мат., хим., геол. и техн. н., 2007, №1(126), с.98-106.

14. Низомов Д.Н. Анализ сейсмического риска многоэтажного здания на основе расчета с учетом упругопластических деформаций. – В сб.: Снижение сейсмического риска зданий и сооружений г. Алматы при сильных землетрясениях, 2007, с.194-200.
15. Каландарбеков И. Исследование сейсмической реакции здания методом сосредоточенных деформаций. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2009, №3, с.27-28.
16. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. – Душанбе: Дониш, 2015, 435 с.

И.Қ.ҚАЛАНДАРБЕКОВ, И.И.ҚАЛАНДАРБЕКОВ, Ҷ.Н.НИЗОМОВ
МЕТОДИ ФАНОВАРИИ ҲИМОЯИ БИНОҲО ВА ИНШООТҲО АЗ
ЗАМИНҚУНБӢ

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

Дар мақола дар асоси таҳияи модели математикӣ ва барномаи компютерӣ, натиҷаҳои ҳисоби динамикии биноҳои бисёршӯна бо бунбасти сеймикӣ ба даст оварда шудааст. Дар асоси методи бевоситаи ҳамгирии ададӣ таҳқиқоти лапишҳои озод ва маҷбурии модели динамикии бино ба бунбасти сеймикӣ ва бо бунбасти сеймикӣ гузаронида шудааст.

Калимаҳои калидӣ: бунбасти сеймикӣ, модели математикӣ, ба заминқунбӣ тобоварии иншоотҳо, ҳифзи сеймикӣ, суперструктур, спектри зудӣ.

I.K.KALANDARBEKOV, I.I.KALANDARBEKOV, J.N.NIZOMOV
INNOVATIVE METHODS OF PROTECTION OF BUILDINGS AND CON-
STRUCTIONS FROM EARTHQUAKES

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

In the article, based on the developed mathematical model and computer program, the results of the dynamic calculation of multi-storey buildings with seismic isolation were obtained. On the basis of a direct method of numerical integration, studies of free and forced oscillations of a dynamic model of a building without seismic isolation and taking into account seismic isolation were carried out.

Key words: seismic isolation, mathematical model, seismic stability of structures, seismic protection, superstructure, frequency spectrum.

УДК 546.273(575.3)

А.М.БАРОТОВ*, Ф.А.НАЗАРОВ, А.С.КУРБОНОВ, Ш.Б.НАЗАРОВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ОЦЕНКА ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ БОРОСИЛИКАТНОЙ РУДЫ
С РАЗЛИЧНЫМИ РЕАГЕНТАМИ**

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

**Агентство по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан*

Поступила в редакцию 19.02.2018 г.

Представлена оценка процесса спекания боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения Таджикистана с различными реагентами. Показано преимущество хлорида кальция как наиболее доступного и дешёвого реагента в процессе спекания.

Ключевые слова: спекание, боросиликатная руда, хлорид кальция, гидроксид натрия, оценка.

В работах [1-4] изучены процессы спекания боросиликатных руд с различными реагентами.

В настоящей работе представлена оценка результатов спекания борной руды Ак-Архарского месторождения Таджикистана щёлочью и хлоридом кальция, найдены оптимальные параметры процесса спекания и предложены наиболее доступные реагенты для спекания.

В табл.1 и 2 приведены химический и минералогический составы боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения.

При спекании исходной боросиликатной руды с содержанием B_2O_3 – 10.4% (табл.1) с NaOH найдены следующие оптимальные параметры: температура спекания 800°C; продолжительность процесса 60 мин; соотношение реагентов 2:1. В этих условиях степень извлечения составила (в %): B_2O_3 – 67.2; Al_2O_3 – 63.3.

Для достижения более эффективных условий спекания борной руды бы изучен процесс спекания обожжённой исходной боросиликатной руды с NaOH.

Адрес для корреспонденции: Курбанов Амиршо Сохибназарович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: amirsho_77@mail.ru

Таблица 1

Химический состав боросиликатной руды Ак-Арзарского месторождения
и её концентрата (в %)

Наименование	Компоненты												
	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.
Исходная руда	10.4	59.8	1.27	2.2	1.39	19.6	0.75	0.15	0.29	0.1	0.03	0.11	3.91
Концентрат	17.1	46.8	2.45	2.67	1.68	23.6	0.86	0.17	0.33	0.11	0.05	0.12	4.06

Таблица 2

Содержание минералов в составе боросиликатной руды

№	Наименование минералов	Содержание минералов в составе руды (мас%)
1	Данбурит	20
2	Датолит	10
3	Гранат	29
4	Пироксен	10
5	Кварц	17
6	Кальцит	7

Согласно проведённым опытам и полученным результатам, наиболее эффективными условиями разложения обожжённых боросиликатных руд при спекании с гидроксидом натрия являются следующие: температура спекания 800-850°C; продолжительность процесса спекания 60 мин; массовое соотношение руды и NaOH – 1:1. При этих условиях в раствор переходит 79.58% B₂O₃ и 73.43% Al₂O₃.

Для оценки процесса спекания проведены исследования с участием CaCl₂. Опыты были проведены с исходной борной рудой и с её концентратом (табл.1).

Термическое спекание проводили в присутствии хлорида кальция и угля при температуре 800-850°C. После термической обработки спёк обрабатывали водой для удаления избытка CaCl₂. Затем пульпу отфильтровывали и обрабатывали 20% соляной кислотой.

Результаты исследования солянокислотного разложения спёка исходного боросиликатного сырья показали следующие оптимальные параметры: температура спекания - 800-850°C; кислотная обработка при концентрации HCl – 20%; продолжительность кислотной обработки – 60 мин; температура обработки спёка – 80°C. При этих условиях выделение составляет (в %): B₂O₃ – 84.3; Al₂O₃ – 87.3; Fe₂O₃ – 94.1.

После проведения опытов можно рекомендовать следующие эффективные условия разложения концентрата боросиликатного сырья при спекании с хлоридом кальция:

температура спекания – 900-950°C; продолжительность спекания – 80 мин; массовое соотношение руды и CaCl₂ составляет 1:2.

После спекания и водно-кислотной обработки оптимальными условиями выделения полезных компонентов для исходного борного сырья и его концентрата являются: температура – 90°C; продолжительность процесса – 60 мин; концентрация соляной кислоты – 20%.

Таким образом, степень извлечения оксидов из спёка с участием исходного сырья и CaCl₂ составляет (в %): B₂O₃ – 84.3; Al₂O₃ – 87.3; Fe₂O₃ –94.1. Для спёка с участием концентрата борного сырья и CaCl₂ составляет (в %): B₂O₃ – 93.2; Al₂O₃ – 95.3; Fe₂O₃ –98.6.

В табл.3 и на рис.1 и 2 систематизированы полученные данные по спеканию боросиликатных руд с различными реагентами.

Как видно из табл.3 и рисунков, при спекании руды с CaCl₂ степень извлечения полезных компонентов выше и CaCl₂ является наиболее дешёвым и доступным реагентом. Кроме того, при спекании наиболее подходящим сырьём является концентрат боросиликатной руды.

Таблица 3

Спекание боросиликатной руды с различными реагентами

Реагенты	Исходная боросиликатная руда			Обоженная боросиликатная руда		Концентрат боросиликатного сырья			Обоженный концентрат боросиликатного сырья	
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃
NaOH	63.3	-	67.2	73.4	79.2	79.8	-	88.7	85.2	92.4
CaCl ₂	87.3	94.1	84.3	-	-	95.3	98.6	93.2	-	-
NaNO ₃	86.8	86.5	72.2	-	-	-	-	-	-	-

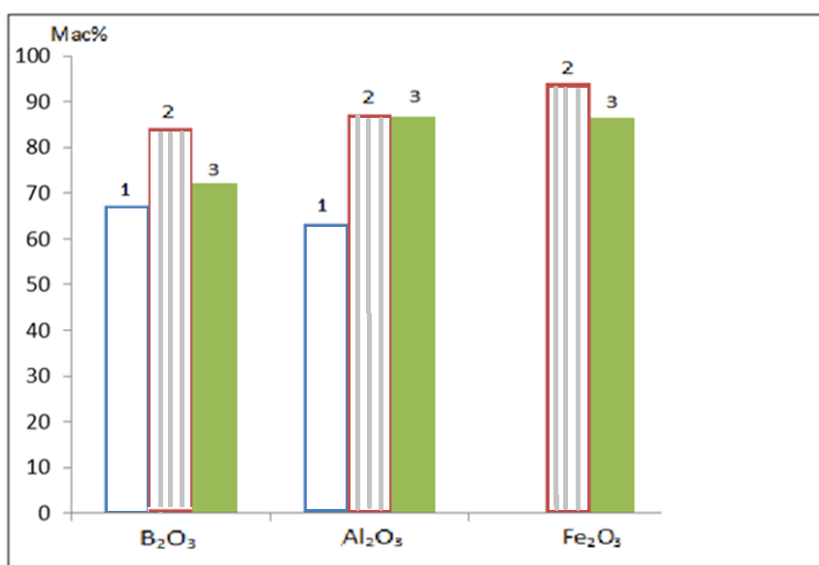


Рис.1. Извлечение полезных компонентов из исходной боросиликатной руды методом спекания (1 – NaOH, 2 – CaCl₂, 3 – NaNO₃).

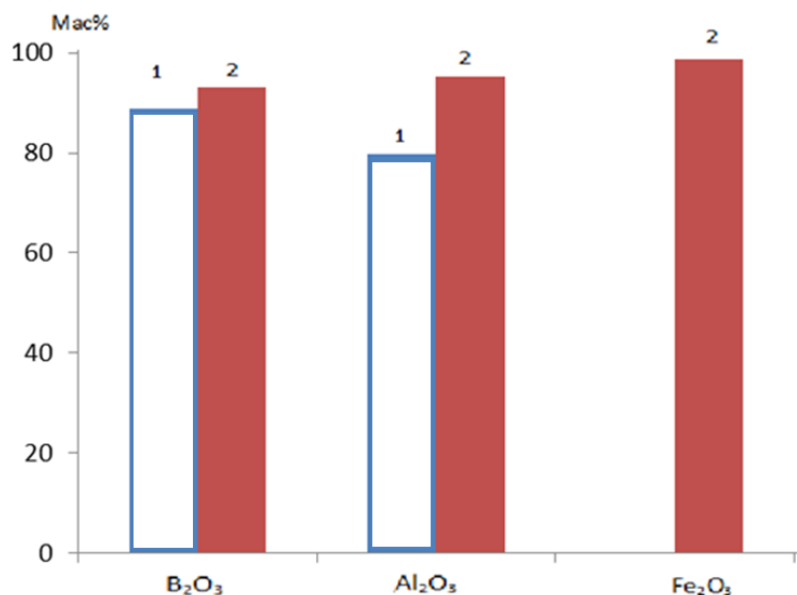


Рис.2. Извлечение полезных компонентов из концентрата боросиликатной руды (1 – NaOH, 2 – CaCl₂).

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Ф.А., Курбонов А.С., Баротов А.М., Назаров Ш.Б., Мисратов Ж.А., Мирсаидов У.М. Переработка боросиликатных руд методом спекания. – ДАН РТ, 2017, т.64, №7-8, с.329-332.
2. Курбонов А.С., Баротов А.М., Назаров Ф.А., Мирсаидов У.М. Разложение концентрата боросиликатной руды методом спекания с хлоридом кальция. – ДАН РТ, 2016, т.59, №1-2, с.53-56.
3. Курбонов А.С., Назаров Ф.А., Якубов З.Т., Назаров Ш.Б., Мирсаидов У.М. Кинетика процесса спекания боросиликатного концентрата с NaOH. – ДАН РТ, 2017, т.60, №9, с.443-446.
4. Маматов Э.Д., Тагоев М.М., Мирсаидов У.М. Спекание боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения с нитратом натрия. – ДАН РТ, 2015, т.58, №3, с.232-236.

А.М.БАРОТОВ*, Ф.А.НАЗАРОВ, А.С.ҚУРБОНОВ, Ш.Б.НАЗАРОВ,
У.М.МИРСАИДОВ

БАҲОДИҲИИ РАВАНДИ ГУДОЗИШИ МАЪДАНҲОИ БОРОСИЛИКАТӢ БО РЕАГЕНТҲОИ ГУНОГУН

*Институти химияи ба номи В.И.Никитини Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,
Агентии амнияти ядрои ва радиационии Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Баҳодиҳии раванди гудозиши маъданҳои боросиликати кони Ак-Архари Тоҷикистон бо реагентҳои гуногун оварда шудааст.

Афзалияти хлориди калсий, ҳамчун реагенти дастрас ва арзонтар дар раванди гудозиш нишон дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: гудозиш, маъданҳои боросиликатӣ, хлориди калсий, гидроксиди натрий, баҳодиҳи.

A.M.BAROTOV*, F.A.NAZAROV, A.S.KURBONOVA, SH.B.NAZAROV,
U.M.MIRSAIDOV

**ESTIMATION OF THE PROCESS OF SINTERING OF BOROSILICATE ORE
WITH VARIOUS REAGENTS**

*V.I.Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
Nuclear and Radiation Safety Agency Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

The estimation of sintering process of borosilicate ore of Ak-Arkhar field of Tajikistan with various reagents is presented. The advantage of calcium chloride as the most accessible and cheap reagent in the process of sintering is shown.

Key words: sintering, borosilicate ore, calcium chloride, sodium hydroxide, estimation.

УДК 539.219.3

Р.Д.ИСМОНОВ, И.Н.ГАНИЕВ*, Х.О.ОДИНАЗОДА, А.М.САФАРОВ

**ПОТЕНЦИОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА АБ1,
ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3%-НОГО NaCl**

*Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими,
*Институт химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 25.12.2017 г.*

Приведены результаты исследования анодного поведения сплава алюминия с 1 мас.% бериллием (АБ1), легированного от 0.01 до 0.5 мас.% индием, в среде электролита 3%-ного NaCl.

Ключевые слова: сплав алюминия с бериллием (АБ1), индий, потенциостатический метод, анодное поведение, скорость коррозии, потенциал коррозии, потенциал питтингообразования, потенциал репассивации.

Определение уровня коррозионных свойств алюминиевых полуфабрикатов, выпускаемых промышленностью, важная и актуальная проблема. Это объясняется, прежде всего тем, что существенно расширилось применение алюминиевых сплавов в различных отраслях промышленности, повысились требования к качеству деталей. В технические условия введены требования, регламентирующие сопротивление коррозионному растрескиванию и расслаивающей коррозии полуфабрикатов ответственного назначения [1,2].

Предварительный анализ выявил, что в качестве критериев коррозионной оценки следует принять нормативные коррозионные характеристики, под которыми понимают типичные величины, описываемые математически, то есть статически достоверные [1,2].

При изучении электрохимических свойств сплавов тройной системы Al-Be-In применяли нижеследующий метод исследования. Сплавы для исследования получали в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750-800°C из алюминия марки А995 (ГОСТ 11069-2001), бериллия марки БрМ1, индия марки Ин-1 (ГОСТ 10297-94).

Адрес для корреспонденции: Исмонов Рустам Довудович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. ак. Раджабовых, 10, Таджикский технический университет. E-mail: ird-78@mail.ru

Из полученных таким образом сплавов отливали в графитовую изложницу образцы диаметром 8 мм и длиной 140 мм, нижняя часть которой покрывалась смесью 50% канифоли плюс 50% парафина, что позволило во всех образцах исследовать одинаково подготовленную площадь поверхности сплава.

Перед погружением образца в рабочий раствор торцевую часть образцов зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали, травили в 10%-ном растворе NaOH в течение 1 мин., затем промывали проточной водой и осветляли в 30%-ном растворе HNO₃ с последующим промыванием в проточной и полосканием в горячей дистиллированной воде. После травления образцы выдерживали в эксикаторе с хлористым кальцием в течение суток и лишь затем погружали в раствор при температуре 20°C для исследований.

Исследования проводились в нейтральной среде электролита 3%-ного хлорида натрия с помощью потенциостата ПИ-50.1.1. Ток, отвечающий каждому значению потенциала, регистрировался в координатах «потенциал-ток» на автоматическом самописце ЛКД-4. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, то есть электродные потенциалы измеряли относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

При электрохимических испытаниях потенциодинамическим методом образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования. Затем поляризовали в обратном направлении до потенциала – 1600 мВ, в результате чего происходило подщелачивание приэлектродного слоя поверхности сплава и, наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении. Последовательность снятия поляризационных кривых на примере алюминиево-бериллиевого сплава АБ1 показана на рис. 1. При электрохимических исследованиях образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении в исследуемый раствор ($E_{\text{св.корр}}$ – потенциал свободной коррозии, или стационарный) до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание тока растворения (рис.1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала -1,2 В, в результате чего происходило подщелачивание приэлектродного слоя поверхности сплава и удаление оксидного слоя (рис.1, кривые II и III).

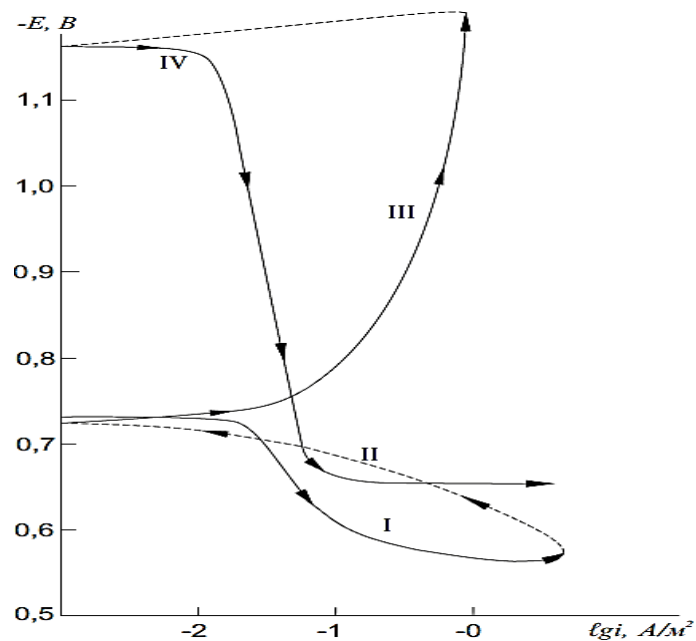


Рис. 1. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава АБ1 в среде электролита 3%-ного NaCl.

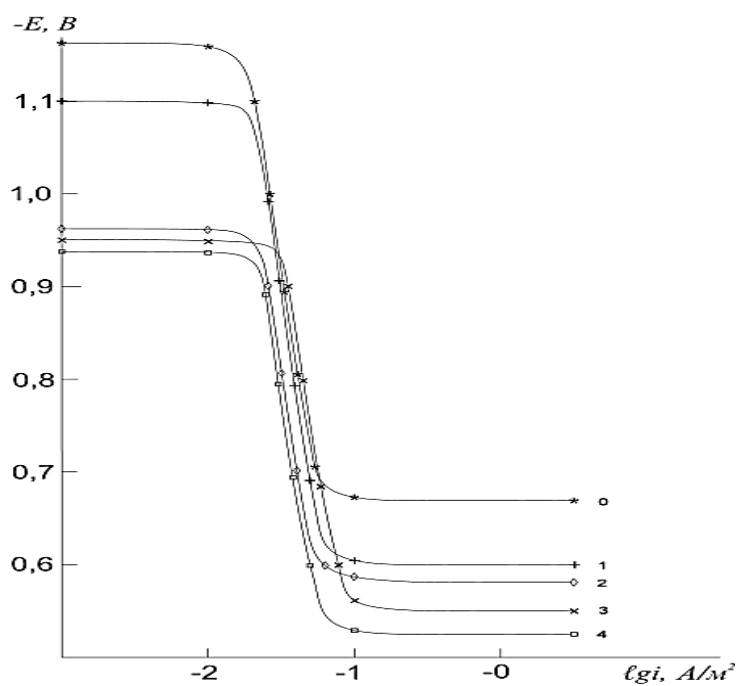


Рис 2. Потенциодинамические (2мВ/с) анодные поляризационные кривые сплава АБ1 (0), содержащего индий, мас. %: 0,01 (1); 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4) в среде электролита - 3 % -ного NaCl.

E – потенциал (В), i – плотность тока ($A \cdot m^{-2}$).

Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис.1, кривая IV), и при этом определялись потенциалы коррозии ($E_{корр.}$), питтингообразования ($E_{п.о.}$) и репассивации ($E_{р.п.}$). Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской

наклонной $v_k=0.12В$, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии в свою очередь является функцией тока коррозии и определялось по формуле:

$$K = i_{кор} \cdot k,$$

где $k = 0.335$ г/А·ч для алюминия. Подробная методика исследования сплавов потенциостатическим методом описан в работах [3-11].

Динамика изменения электродного потенциала сплавов системы Al-Be-In во времени приведена в таблице 1 и на рис. 2. Для всех исследованных сплавов, независимо от содержания легирующего компонента – индия, отмечается смещение потенциала в положительную область. После одного часа выдержки в растворе электролита 3%-ного NaCl величина потенциала свободной коррозии сплава АБ1 равняется (-0.728 В), а у сплава, содержащего 0.05 мас.% In, составляет (-0.632 В) (табл. 1).

Таблица 1

Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{св.к.}$, В) сплава АБ1 от содержания индия, в среде электролита 3%-ного NaCl

Время выдержки, минут	Содержания индия, мас. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1.070	0.940	0.932	0.926	0.920
0,15	1.065	0.915	0.912	0.910	0.906
0,2	1.060	0.906	0.900	0.898	0.890
0,3	1.056	0.892	0.885	0.880	0.876
0,4	1.044	0.878	0.870	0.868	0.860
0,5	1.030	0.864	0.862	0.850	0.846
0,6	1.005	0.850	0.849	0.830	0.828
2	0.940	0.826	0.820	0.810	0.806
3	0.870	0.780	0.777	0.775	0.773
4	0.858	0.756	0.753	0.751	0.748
5	0.820	0.735	0.730	0.725	0.720
10	0.780	0.712	0.710	0.705	0.700
20	0.760	0.686	0.682	0.680	0.675
30	0.746	0.670	0.666	0.660	0.652
40	0.730	0.658	0.631	0.646	0.640
50	0.728	0.642	0.632	0.630	0.624
60	0.728	0.642	0.632	0.626	0.620

Исследования показывают, что добавки индия в пределах 0.01-0.5 мас.% способствуют смещению потенциалов свободной коррозии и коррозии в положительную область. При этом потенциалы питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений. Скорость коррозии сплавов, содержащих 0.01-0.5% индия, на 25-30% меньше, чем у исходного сплава АБ1 (табл. 2).

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АБ1, легированного индием, в среде электролита 3%-ного NaCl

Содержание индия в сплаве АБ1, мас. %	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
	-E _{св.к.}	-E _{корр.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{кор.} ·10 ⁻²	K·10 ⁻³
					A/м ²	г/м ² ·час
-	0.728	1.160	0.670	0.700	0.042	14.07
0.01	0.642	1.100	0.580	0.680	0.038	12.73
0.05	0.632	0.960	0.565	0.670	0.036	12.06
0.1	0.626	0.950	0.540	0.660	0.034	11.40
0.5	0.620		0.520	0.660	0.033	11.05

Таким образом, потенциодинамическим методом со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с в среде 3%-ного электролита NaCl определены основные коррозионно-электрохимические параметры анодного поведения сплава АБ1 с индием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синявский В.С., Калинин В.Д., Вальков В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. –М.: Металлургия, 1986, 368 с.
2. Кеше Г. Коррозия металлов. –М.: Металлургия, 1984, 400 с.
3. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М. Анодное поведение сплава Al+1%Be, легированного празеодимом и неодимом, в среде электролита 3%-ного NaCl. –ДАН РТ, 2016, т.59. №1-2. с.67-75.
4. Сафаров А.М., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О. Физикохимия алюминиевых сплавов с бериллием и РЗМ. –Душанбе, ИО филиала МГУ, 2011, 282 с.
5. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Анодные сплавы алюминия с марганцем, железом и редкоземельными металлами. –Душанбе: Дониш, 2009, 232 с.
6. Сафаров А.М., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О. Сплавы алюминия с бериллием и РЗМ. –Берлин: Изд. дом LAP LAMBERT Academic Publishing GmdH & Co. KG, 2011, 170 с.
7. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Сафаров А.М., Самиев К.А. Анодное поведение сплава АБ1, легированного галлием, в среде электролита 0,3%-ного NaCl. –Вестник ТУТ, №2 (29), 2017, с.7-11.
8. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. – Душанбе: Дониш, 2007, с.49-51.
9. Умаров М.А., Ганиев И.Н., Махмадуллоев Х.А., Норова М.Т. Потенциодинамическое исследование сплавов свинца с бериллием, в среде электролита 3%-ного NaCl. –ДАН РТ, 2013, т.56. №3, с.228-231.
10. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Влияние свинца на анодное поведение сплава Al+2,18%Fe. –Вопросы материаловедения, 2016, №2 (86), с.147-152.
11. Азимов Х.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Джайлоев Д.Х., Потенциодинамическое исследование сплава Al+2,18%Fe, модифицированного литием, в среде электролита NaCl. –Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, 2016, т.59. №2, с.74-79.

Р.Д.ИСМОНОВ, И.Н.ГАНИЕВ*, Х.О.ОДИНАЗОДА, А.М.САФАРОВ
**ТАҲҚИҚОТИ ПОТЕНСИДИНАМИКИИ ХҶЛАИ АБ1, КҶ БО ИНДИЙ
ҶАВҲАРОНИДАШУДААСТ, ДАР МАҲЛУЛИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ 3%-и
NaCl**

*Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ,
*Институди кимиёи ба номи В.И.Никитини
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар мақола бо усули потенциостатикӣ нишон дода шудааст, ки иловаи 0.01- 0.5% (вазӣ) индий ба хӯлаи АБ1, суръати коррозияро дар муҳити электролити 3%-и NaCl 25-30% кам мекунад.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи алюминий бо бериллий (АБ1), индий, усули потенциостатикӣ, рафтори анодӣ, суръати коррозия, потенциали коррозия, потенциали омӯзиши пitting-хосилкунӣ, потенциали репассиватсия.

R.D.ISMONOV, I.N.GANIEV*, H.O.ODINAZODA, A.M.SAFAROV
**POTENTIODYNAMIC INVESTIGATION OF AB1 ALLOY DOPED
BY INDIUM, IN ELECTROLYTE MEDIUM OF 3% NaCl**

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

The article presents the results of the investigation of the anodic behavior of an aluminum alloy with 1% by weight beryllium (AB1) doped with 0.01 to 0.5% by weight of indium in an electrolyte medium of 3% NaCl.

Key words: aluminum alloy with beryllium (AB1), indium, potentiostatic method, anodic behavior, corrosion rate, corrosion potential, pitting potential, repassivation potential.

УДК 549 (575.3)

М.А.МИРАКОВ, А.Р.ФАЙЗИЕВ, Л.А.ПАУТОВ*, М.А.ШОДИБЕКОВ

**К МИНЕРАЛОГИИ ПЕГМАТИТОВ НАМАНГУТСКОГО
ПЕГМАТИТОВОГО ПОЛЯ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)**

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

**Минералогический музей им. А.Е.Фермана РАН*

Поступила в редакцию 30.01.2018 г.

В статье приводится описание касситерита, колумбита-танталита и турмалина из пегматитов Намангутского пегматитового поля с приведением их химического состава и некоторых других свойств. Адрес для корреспонденции: Файзиев Абдулхак Раджабович. 7734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: faiziev38@mail.ru

Ключевые слова: Намангутское пегматитовое поле, касситерит, колумбит-танталит, турмалин, химический состав, элементы-примеси.

Намангутское пегматитовое поле расположено на крайнем Юго-Западе Памира между райцентром Ишкашим и к. Намангути-боло. В его геологическом строении принимает участие верхнетриасовая толща филлитовидных сланцев и кварцитов, смятая в синклинальную складку. Толща прорвана на флангах поля двумя массивами двуслюдяных гранитов, крупной дайкой микродиоритов и жильными дериватами гранитов – пегматитовыми, лампрофировыми и кварцевыми жилами.

Нами исследовались образцы пегматита из участка «Главный» Намангутского пегматитового поля. Пегматиты представляют собой лейкократовую, практически белую мелко-среднезернистую породу, сложенную из зерен кварца (5-10%), выделений мусковита (10-15%) и удлиненных таблитчатых сдвойникованных лейст кислого плагиоклаза.

Характер границ зерен всех минералов индукционный, что говорит об их близко одновременной кристаллизации.

Кварц пегматитов представлен округлыми изометричными зернами со слабо волнистым погасанием. Размеры его зерен в основной ткани породы от 0.2 до 1 мм, реже встречаются участки сегрегации кварцевых индивидов, образующих агрегаты с размерами отдельных зерен до 10 мм.

Плагиоклаз в породе образует удлинённые таблитчатые сдвойникованные зерна (0.3-1.5 мм длиной) с волнистыми границами. По составу он отвечает практически чистому альбиту ($\text{SiO}_2 - 68.88$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 19.36$, $\text{CaO} - 0.10$, $\text{Na}_2\text{O} - 11.94$, сумма – 100.28; $\text{Na}_{1.01}\text{Al}_{0.99}\text{Si}_{3.00}\text{O}_8$).

Мусковит в пегматите в основном представлен чешуйками, соизмеримыми по размерам с лейстами альбита, а в участках сегрегации зерен кварца более крупными пластинчатыми индивидами и их сростками. Химический состав и формула мусковита: $\text{SiO}_2 - 45.99$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 37.72$, $\text{FeO} - 0.58$, $\text{MgO} - 0.03$, $\text{K}_2\text{O} - 10.48$, $\text{F} - 0.25$, $\text{K}_{0.89}\text{Fe}_{0.03}\text{Al}_{2.95}\text{Si}_{3.05}\text{O}_{10}(\text{OH}_{0.88}\text{F}_{0.12})$.

Акцессорные минералы пегматитов представлены касситеритом, минералами серии колумбита-танталита, цирконом, фторапатитом и др. В количественном отношении доминирует касситерит.

Касситерит является наиболее распространенным акцессорным минералом в описываемых породах. Макроскопически его цвет темно-бурый, темно-коричневый. Встречается он как в виде отдельных зерен, так и их сростков. Найдены также и двойники касситерита (рис. 1).

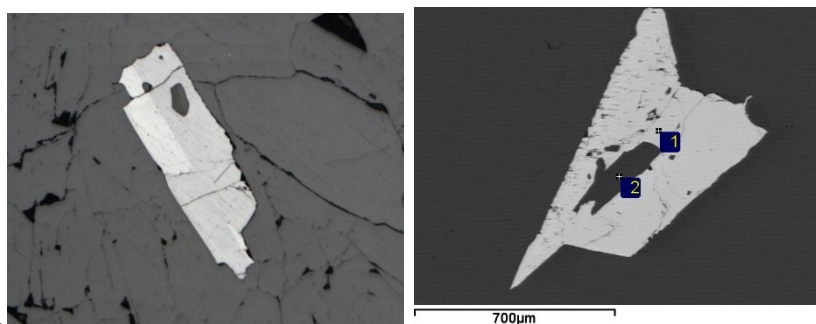
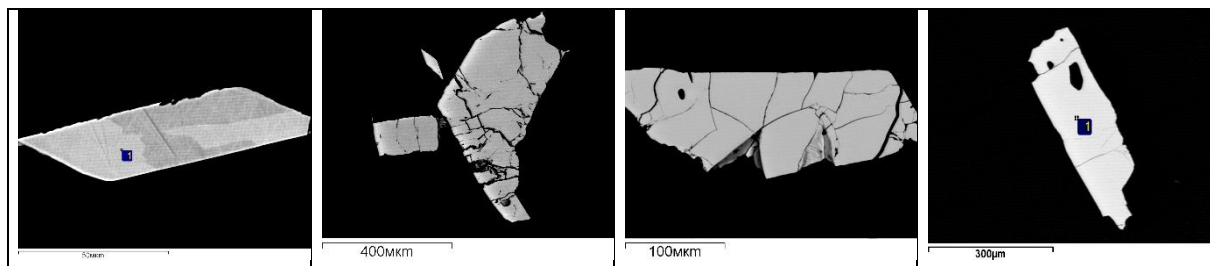


Рис 1. Сдвойникованные сростки кристаллов касситерита в режиме BSE

Морфология и характер границ зерен касситерита показаны на рис.2.



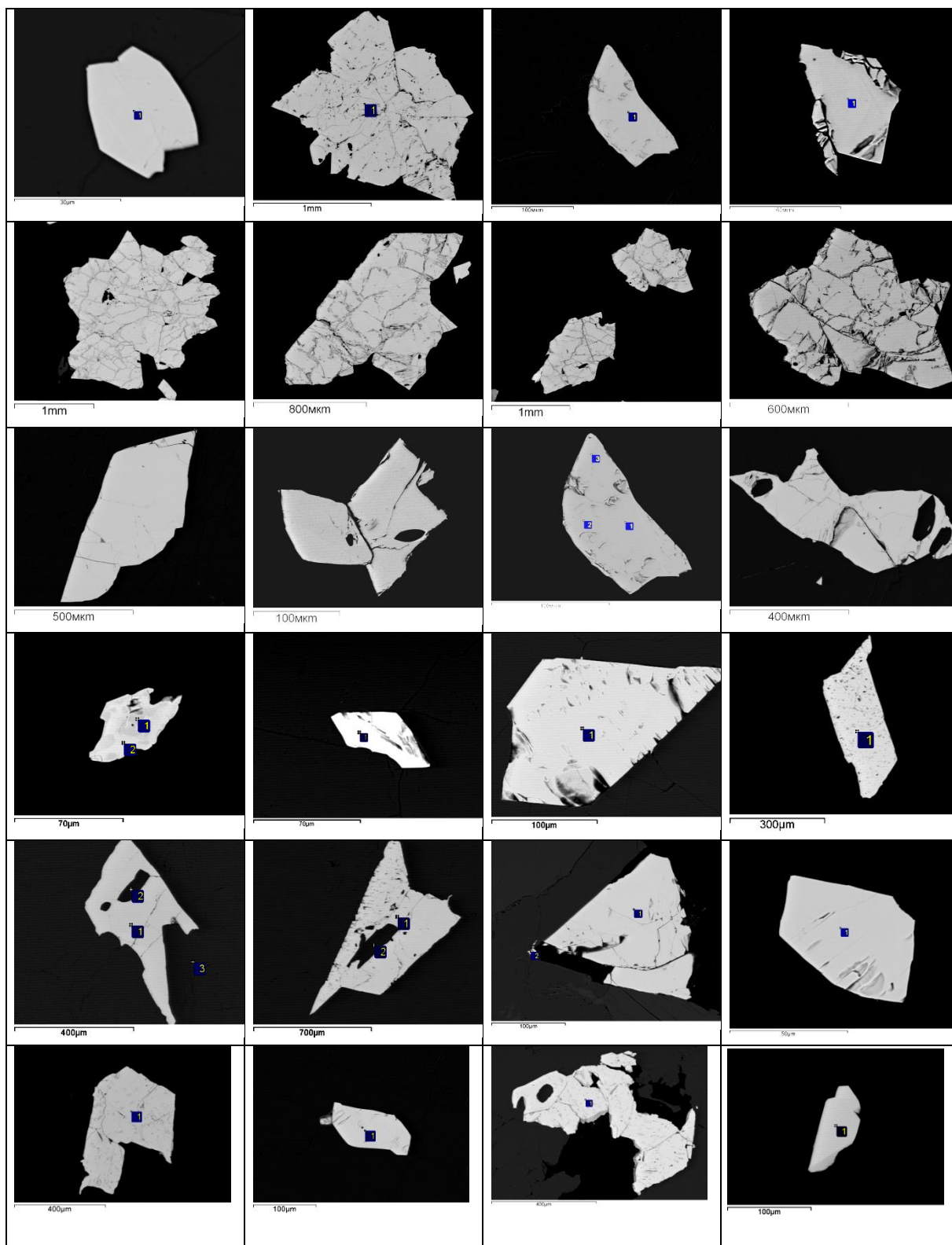


Рис. 2. Изображения зерен касситерита в отраженных электронах (BSE), характеризующие форму и размеры выделений.

Как видно из рис. 2, форма зерен касситерита разнообразная. Подавляющее большинство выделений касситерита имеют размеры менее 1 мм. На рис. 3 показано одно из выделений касситерита в агрегате альбита. Кстати, в агрегате альбита размещается основная масса зерен касситерита.

Химический состав касситерита, изученный с помощью Si(Li) - полупроводникового детектора и системы анализа INCA Energy-350 при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА на рентгеновском микроанализаторе JCXA-733 JEOL, приводится в табл. 1. Как видно из нее, наиболее характерными элементами-примесями минерала являются тантал и ниобий, что присуще касситериту редкометалльных пегматитов [1].

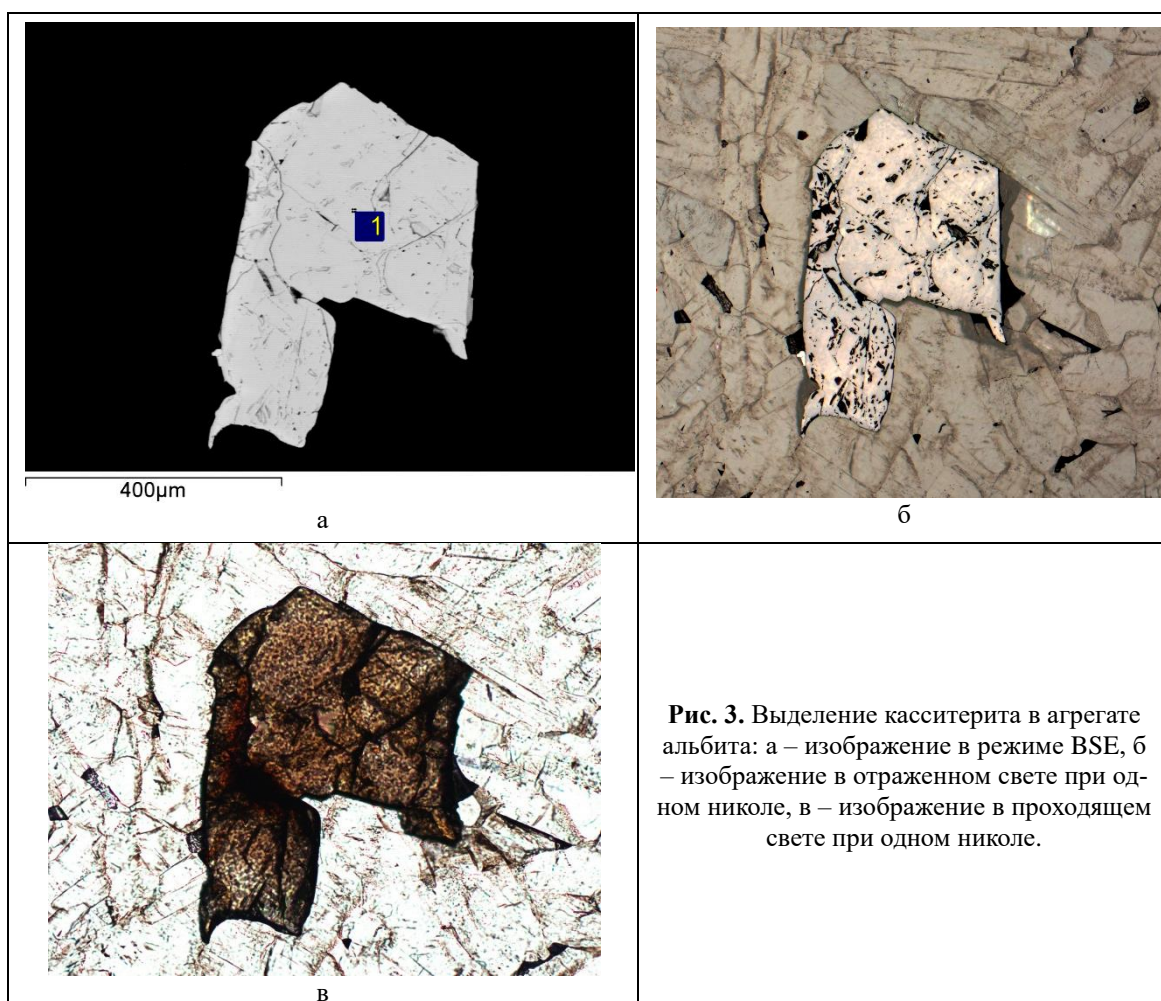


Рис. 3. Выделение касситерита в агрегате альбита: а – изображение в режиме BSE, б – изображение в отраженном свете при одном николе, в – изображение в проходящем свете при одном николе.

Среднее содержание Ta_2O_5 в касситерите равно 2.81%, при колебании концентраций от 0.00 до 5.96%. При этом содержание элемента неодинаково не только в различных зернах минерала, но и в зонах роста или пирамидах нарастания отдельных кристаллов.

Таблица 1

Химический состав касситерита (мас. %)

Окислы	MnO	FeO	Nb ₂ O ₅	SnO ₂	Ta ₂ O ₅	WO ₃	Сумма
1	0.25	0.57	0.98	93.72	3.65	0.46	99.62
2	0.00	0.00	0.00	96.56	1.44	0.32	98.32
3	0.00	0.00	0.00	95.15	2.39	0.92	98.46
4	0.00	0.60	1.80	92.84	2.51	1.35	99.10
5	0.00	0.00	1.97	90.40	3.76	2.63	98.76
6	0.00	1.09	1.45	91.94	3.93	2.71	101.12
7	0.00	0.00	1.96	94.71	2.73	0.00	99.40
8	1.74	1.69	2.85	91.53	2.95	0.00	100.76
9	0.85	1.10	1.35	91.57	5.22	0.00	100.10
10	0.00	1.53	1.61	90.40	3.60	2.01	99.16
11	0.00	0.00	0.00	96.89	2.51	0.00	99.39
12	0.00	0.00	4.14	92.42	4.66	0.00	101.22
13	0.00	0.59	0.00	94.90	3.10	0.00	98.59
14	0.00	1.51	0.00	96.39	0.00	1.15	99.05
15	0.00	1.20	1.32	96.59	0.00	0.00	99.12
16	0.47	0.74	1.69	93.44	2.54	1.00	99.87
17	0.96	0.00	0.00	94.52	5.41	0.00	100.89
18	1.65	0.00	0.00	92.09	5.96	0.00	99.70
19	0.00	0.00	0.00	95.62	1.26	1.18	98.06
20	0.00	0.13	0.36	96.65	1.68	0.31	99.13
21	0.00	0.00	0.53	97.70	1.74	0.56	100.53
22	0.00	0.69	1.40	93.68	3.33	0.60	99.70
23	0.00	0.18	0.35	97.78	0.74	0.38	99.44
24	0.00	0.48	0.92	95.36	3.29	0.00	100.04
25	0.00	0.36	0.27	96.36	1.77	0.51	99.28
Среднее	0.24	0.50	0.84	94.40	2.81	0.64	99.55

Несмотря на то, что в некоторых зернах касситерита содержание Nb₂O₅ достигает более 4 мас. %, все же он уступает танталу. Его концентрация колеблется от 0.00 до 4.14%, при среднем значении 0.96%. Еще более высокие средние содержания Ta₂O₅ (4.30%) и Nb₂O₅ (2.25%) было обнаружено в касситерите из пегматитов Китая [3].

В составе касситерита содержание железа явно превалирует над марганцем. Концентрация FeO в касситерите колеблется от 0.00 до 1.69% (среднее 0.50%). Считается, что большая часть железа находится в минерале в виде микровключений собственных минералов (Максимюк, Воронина, 1989).

Марганец присутствует не во всех проанализированных зернах минерала. Из 25 анализов MnO обнаружен всего в 7 пробах в количестве от 0.25 до 1.74%. Среднее содержание марганца на все количество анализов касситерита равно 0.24 мас.% MnO.

Из других характерных элементов-примесей в касситерите часто фиксируются повышенные содержания вольфрама. Он содержится в минерале WO₃ – 0.00-2.71%, при средней концентрации 0.64%. Возможно, его присутствие в минерале в какой-то мере свя-

зано с микровключениями вольфрамита, наличие которого в редкометалльных пегматитах вполне вероятно.

Тантало-ниобаты в просмотренных препаратах встречаются гораздо реже касситерита и представлены по составу серией изоморфного ряда колумбит-танталит. Минерал часто образует вроски в кристаллах касситерита или нарастает на индивиды касситерита. Реже наблюдаются самостоятельные выделения, имеющие пластинчато-удлиненные формы (рис. 4).

В табл. 2 приводится химический состав тантало-ниобатов. Как видно из нее и рис. 5, состав ни одного из проанализированных образцов не соответствует условиям выделения ни чистого колумбита, ни чистого танталита. Не соответствуют они также условиям, по которым можно было бы выделить чистый колумбит-(Fe) или танталит-(Fe) и колумбит-(Mn) или танталит-(Mn). Максимальное количество Nb_2O_5 в них равно 65.75%, а минимальное – 15.86% (среднее 37.08%), а Ta_2O_5 соответственно 67.28 и 15.82% (среднее 44.52%).

Таблица 2

Химический состав (мас%) минералов группы колумбита-танталита из пегматитов Намнгутского поля

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nb_2O_5	65.72	64.53	61.34	60.32	59.32	58.76	57.57	56.5	55.85	54.52
Ta_2O_5	15.82	16.09	20.72	19.8	22.49	23.00	24.65	23.04	24.2	24.18
SnO_2	0.28	0.35	0.25	-	0.31	0.20	0.27	-	0.17	0.26
TiO_2	0.12	0.37	0.13	0.34	0.20	0.21	0.31	-	0.40	0.31
MnO	11.03	10.85	10.73	9.73	10.11	10.96	9.96	9.18	8.12	8.33
FeO	8.69	8.66	8.31	10.12	8.89	8.44	8.83	9.79	10.62	10.38
Сумма	101.66	100.85	101.48	100.31	101.32	101.57	101.59	98.51	99.36	97.98
Формульные коэффициенты при расчете O = 6										
Nb+5	1.75	1.73	1.67	1.66	1.63	1.61	1.59	1.61	1.58	1.57
Ta+5	0.25	0.26	0.34	0.33	0.37	0.38	0.41	0.39	0.41	0.42
Sn+4	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	0.01
Ti+4	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	-	0.02	0.01
$\sum B$	2.03	2.02	2.02	2.01	2.01	2.00	2.02	2.00	2.01	2.01
Mn+2	0.55	0.55	0.55	0.50	0.52	0.56	0.51	0.49	0.43	0.45
Fe+2	0.43	0.43	0.42	0.51	0.45	0.43	0.45	0.51	0.55	0.55
$\sum A$	0.98	0.98	0.97	1.01	0.97	0.99	0.96	1.00	0.98	1.00
\sum катионов	3.01	3.00	2.98	3.02	2.98	2.99	2.98	3.00	2.99	3.01

Продолжение таблицы 2

Компонент	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nb ₂ O ₅	54.32	50.03	49.56	43.03	42.05	37.96	35.15	34.16	32.29	32.04
Ta ₂ O ₅	25.65	29.78	25.65	36.86	38.22	42	44.92	48.55	50.33	49.42
SnO ₂	0.12	-	5.53	0.37	0.15	0.39	0.28	0.46	0.24	0.07
TiO ₂	0.36	0.64	-	0.26	0.12	1.43	1.30	0.38	0.58	0.45
MnO	8.54	10.37	9.08	8.73	7.65	8.31	7.95	8.22	5.90	5.90
FeO	10.57	8.06	8.56	9.44	9.89	9.21	8.77	9.12	11.54	11.33
Сумма	99.56	98.88	98.38	98.69	98.08	99.3	98.37	100.89	100.88	99.21
Формульные коэффициенты при расчете O = 6										
Nb+5	1.54	1.45	1.45	1.30	1.29	1.16	1.10	1.06	1.01	1.02
Ta+5	0.44	0.52	0.45	0.67	0.70	0.77	0.85	0.91	0.95	0.95
Sn+4	-	-	0.14	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	-
Ti+4	0.02	0.03	-	0.01	0.01	0.07	0.07	0.02	0.03	0.02
∑ B	2.00	2.00	2.04	1.99	2.00	2.01	2.03	2.00	2.00	1.99
Mn+2	0.45	0.56	0.50	0.49	0.44	0.48	0.47	0.48	0.35	0.35
Fe+2	0.56	0.43	0.46	0.53	0.56	0.52	0.51	0.53	0.67	0.67
∑ A	1.01	0.99	0.96	1.02	1.00	1.00	0.98	1.01	1.02	1.02
∑ катионов	3.01	2.99	3.00	3.01	3.00	3.01	3.01	3.01	3.02	3.01

Продолжение таблицы 2

Компонент	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Nb ₂ O ₅	29.58	28.29	27.49	26.29	26.27	24.77	21.37	20.13	19.85	19.50
Ta ₂ O ₅	52.45	53.74	53.87	55.5	54.04	57.67	62.85	63.22	62.99	63.77
SnO ₂	0.12	0.42	-	1.38	-	-	1	-	0.18	0.59
TiO ₂	0.73	0.62	0.95	0.16	1.39	0.46	0.52	0.13	0.63	0.38
MnO	7.66	7.56	7.18	8.75	7.2	6.3	9.08	8.31	7.87	8.39
FeO	8.86	9.65	9.22	8.82	9.12	9.7	7.08	7.47	8.37	6.96
Сумма	99.4	100.28	98.71	100.9	98.02	98.9	101.9	99.26	99.89	99.59
Формульные коэффициенты при расчете O = 6										
Nb+5	0.95	0.91	0.90	0.85	0.87	0.83	0.71	0.69	0.67	0.67
Ta+5	1.02	1.04	1.06	1.08	1.07	1.16	1.25	1.30	1.28	1.31
Sn+4	-	0.01	-	0.04	-	-	0.03	-	0.01	0.02
Ti+4	0.04	0.03	0.05	0.01	0.08	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02
∑ B	2.01	1.99	2.01	1.98	2.02	2.02	2.02	2.00	2.00	2.02
Mn+2	0.46	0.46	0.44	0.53	0.44	0.39	0.56	0.53	0.50	0.54
Fe+2	0.53	0.57	0.56	0.53	0.56	0.60	0.43	0.47	0.52	0.44
∑ A	0.99	1.03	1.00	1.06	1.00	0.99	0.99	1.00	1.02	0.98
∑ катионов	3.00	3.02	3.01	3.04	3.02	3.01	3.01	3.00	3.02	3.00

Компонент	31	32	33	34	35	36	37
Nb ₂ O ₅	18.68	18.52	18.43	17.88	17.69	16.38	15.86
Ta ₂ O ₅	63.87	65.86	63.61	64.97	65.65	67.29	66.18
SnO ₂	0.35	0.48	-	0.13	-	0.54	2.28
TiO ₂	0.39	0.56	0.51	0.6	0.75	0.26	-
MnO	8.9	7.59	7.37	8.95	9.55	7.72	6.05
FeO	6.35	8.13	8.86	6.75	6.03	7.59	8.91
Сумма	98.54	101.14	98.78	99.28	99.67	99.78	99.28
Формульные коэффициенты при расчете O = 6							
Nb+5	0.65	0.63	0.64	0.62	0.61	0.57	0.56
Ta+5	1.33	1.34	1.32	1.35	1.36	1.41	1.40
Sn+4	0.01	0.01	-	-	-	0.02	0.07
Ti+4	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	-
∑ B	2.01	2.01	1.99	2.00	2.01	2.02	2.03
Mn+2	0.58	0.48	0.48	0.58	0.62	0.50	0.40
Fe+2	0.41	0.51	0.57	0.43	0.38	0.49	0.58
∑ A	0.99	0.99	1.05	1.01	1.00	0.99	0.98
∑ катионов	3.00	3.00	3.04	3.01	3.01	3.01	3.01

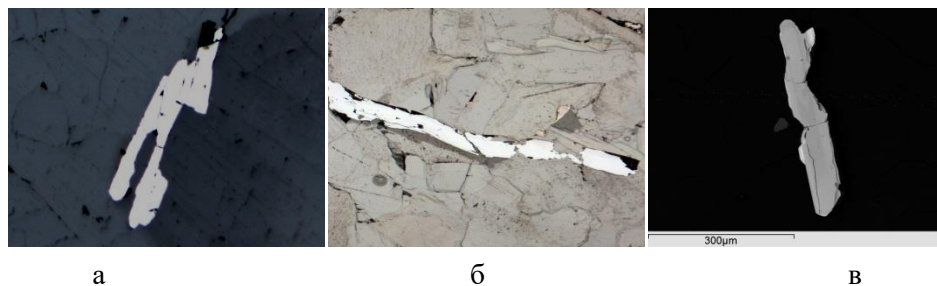


Рис. 4. Пластинчатые выделения колумбита-танталита в агрегате альбита.
а, в – изображение в режиме BSE, б – в отраженном свете при одном николе.

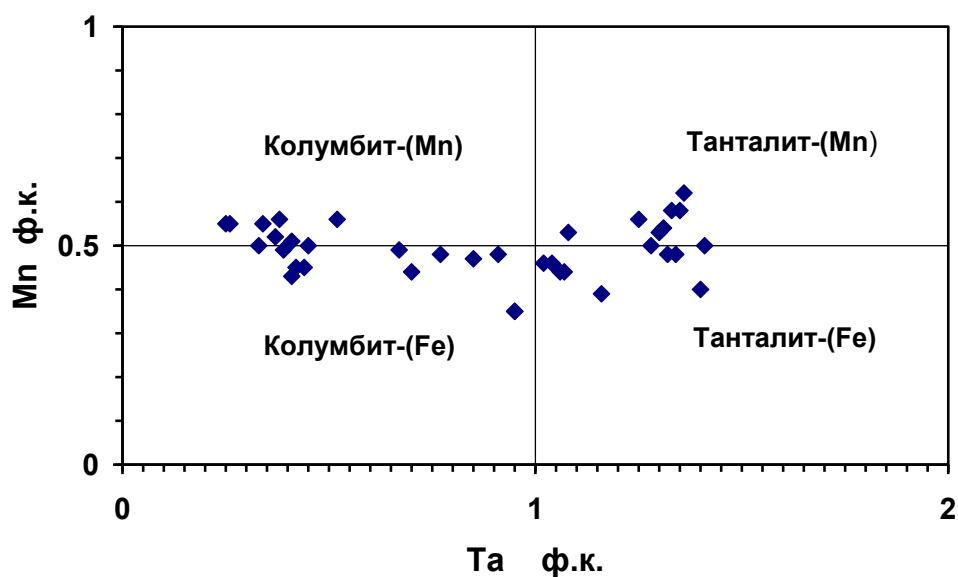


Рис. 5. Соотношение марганца и тантала (в формульных коэффициентах при расчете формулы минерала на 6 атомов кислорода) минералов серии колумбита-танталита Намангутского пегматитового поля на классификационной диаграмме.

Во всех изученных зернах тантало-ниобатов отмечается сложная ростовая зональность и секториальность. Зоны отличаются вариациями соотношений Ta/Nb и Mn/Fe и, обычно, поздние зоны содержат больше марганца, чем железа.

Таким образом, изменчиво содержание тантала и ниобия не только в отдельных зернах минерала, но и в различных зонах роста одного зерна. Например, в зональном кристалле колумбита-танталита (рис. 6) в более темной зоне (точки 1 и 5) содержание Nb_2O_5 изменяется от 50.03 до 60.32%, а Ta_2O_5 – 19.80-29.78%, а в светлой (точки 2-4,6) – Nb_2O_5 17.69-27.49%, Ta_2O_5 - 53.87-65.65%.

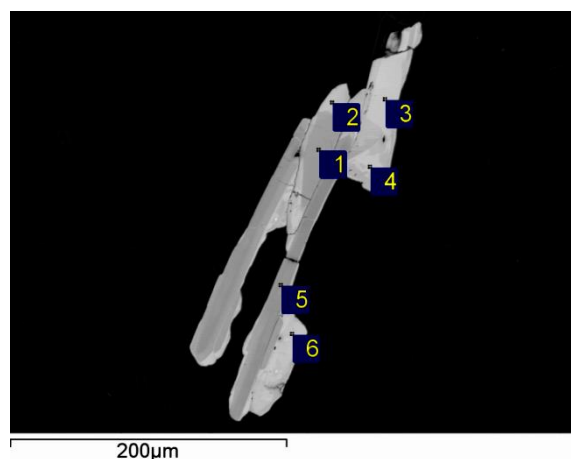


Рис. 6. Сросток зонального кристалла колумбита-танталита в режиме BSE

На рис. 7 изображен фрагмент предыдущего рисунка и карты распределения элементов в характеристическом рентгеновском излучении. На нем хорошо видны зоны ро-

ста, отличающиеся по составу (в темных зонах ниобий преобладает над танталом, в светлых – наоборот). Видно, что зональность, наблюдаемая в BSE, в основном обусловлена различным Ta/Nb соотношением в разных зонах роста.

Приведем еще один пример зонального распределения элементов в тантало-ниобатах. На рис. 8 в различных зонах минерала неодинаково содержание не только ниобия и тантала, но и марганца и железа. В более темной зоне зерна (точки анализов 1-3) концентрация Nb_2O_5 равна 32.04-54.32, Ta_2O_5 25.65-50.33, FeO 10.57-11.54, MnO 5.90-8.54%, а в светлой зоне (точки анализов 4,5) соответственно 18.68-18.91, 63.81-63.87, 6.35-7.40, 8.50-8.90%.

Марганец и железо в колумбите-танталите содержатся примерно в равных количествах (см. рис. 5). Их средняя концентрация равна соответственно 8.49 и 8.84%. Предел содержания MnO в минерале 5.9-11.03, а FeO - 6.03-11.54.

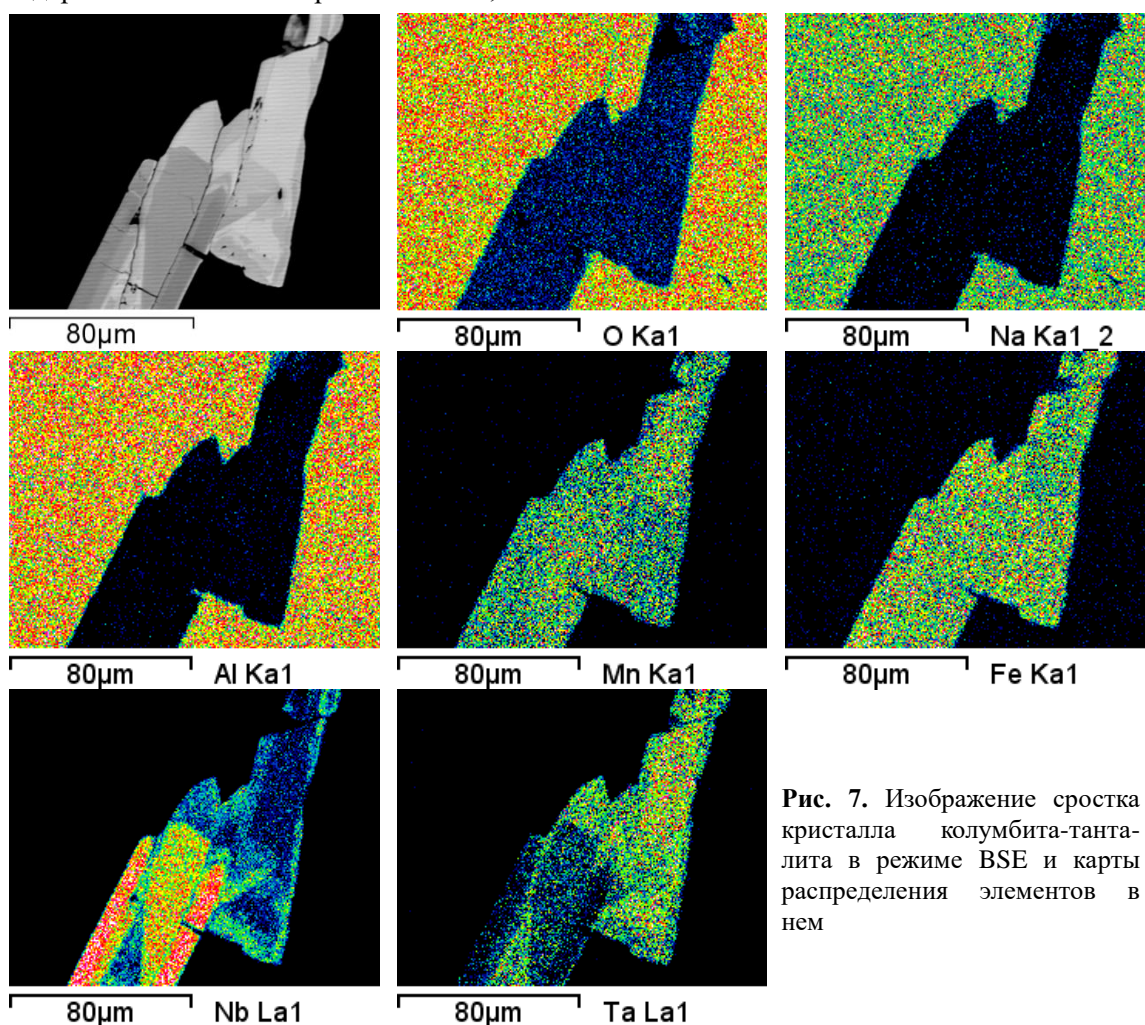


Рис. 7. Изображение сростка кристалла колумбита-танталита в режиме BSE и карты распределения элементов в нем

Олово является характерной примесью колумбита-танталита Намангутского пегматитового поля. Содержится олово в количестве 0.0-0.1% (среднее содержание SnO_2 - 0.46%), за исключением нескольких точек анализа, где его концентрация достигает 5%.

Возможно, что какое-то количество олова в минерале связано с микровключениями касситерита, который тесно ассоциирует с колумбитом-танталитом в пегматитовом поле, но намечается некоторая корреляция содержания олова с суммой элементов в позиции В (рис. 9), что позволяет предположить, что олово изоморфно замещает ниобий, тантал и титан в минерале.

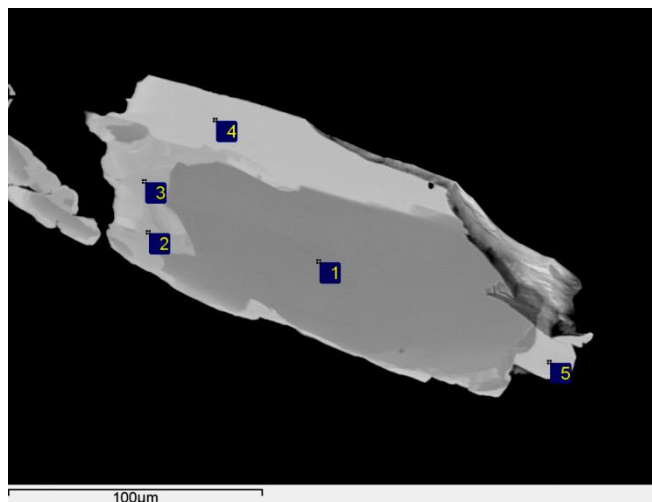


Рис. 8. Зональное зерно колумбита-танталита. Изображение в режиме BSE.

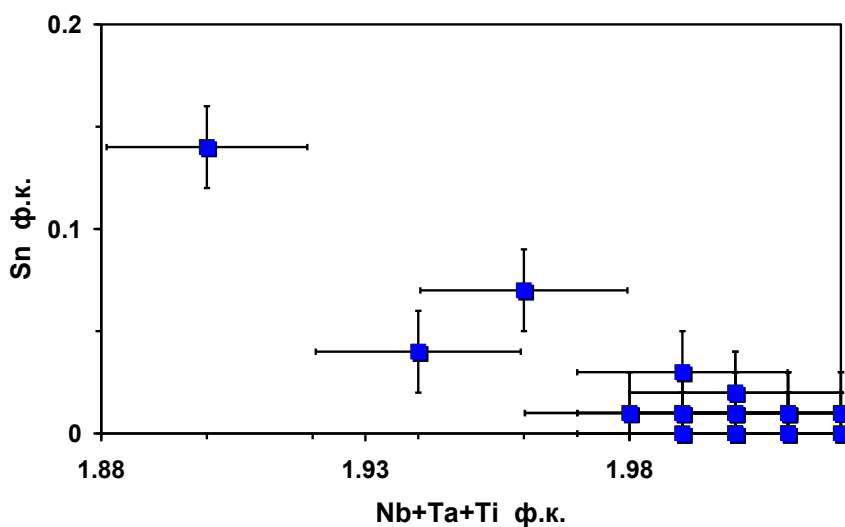


Рис. 9. Соотношение олова и суммы ниобия, тантала и титана (в формульных коэффициентах при расчете формулы минерала на 6 атомов кислорода) минералов серии колумбита-танталита Намангутского пегматитового поля

Титан также обнаружен в большей части проанализированных зерен, содержание которого находится в пределах TiO_2 - 0.13-1.43 (среднее 0.46%).

Таблица 3

Химический состав (мас. %) турмалина

Компонент	1	2	3	4	Среднее
SiO ₂	36.35	36.05	35.73	36.28	36.10
TiO ₂	1.01	0.98	0.96	0.86	0.95
Al ₂ O ₃	33.45	32.76	33.15	33.00	33.09
FeO	8.73	8.44	9.02	8.62	8.70
MgO	4.95	5.05	4.97	4.96	4.98
CaO	0.30	0.36	0.29	0.20	0.29
MnO	0.02	0.15	0.00	0.1	0.07
Na ₂ O	2.19	2.52	2.10	2.29	2.28
K ₂ O	0.09	0.08	0.00	0.11	0.07
H ₂ O*	3.64	3.67	3.65	3.55	3.63
B ₂ O ₃ *	10.73	10.64	10.59	10.65	10.66
Li ₂ O*	0.34	0.42	0.23	0.34	0.33
F	0.14	0.00	0.00	0.27	0.10
Сумма	101.93	101.11	100.69	101.22	101.24
-O=F2	0.059	0.000	0.000	0.114	0.04
Сумма*	101.87	101.11	100.69	101.11	101.20

Примечание: компоненты с «*» - расчетные значения. 1, 2, 4 - дравит, 3 – шерл.

Из других особенностей турмалина следует отметить присутствие в нем примеси лития, содержание которого варьирует в пределах Li₂O - 0.23-0.42 (среднее 0.33 %). В повышенных количествах в нем присутствует также титан TiO₂ - 0.86-1.01 % (среднее 0.95 мас.%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимюк И.Е., Воронина Л.Б. Касситерит. – Типоморфизм минералов. – М.:Недра, 1989, с. 204-218.
2. Левченко Е.Н., Максимюк И.Е., Куликова И.М. Особенности определения минерального состава комплексных редкометалльных руд. Материалы юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет ВМО», т. 2. – СПб., 2017, с. 96-98.
3. Куо Т.С. Scientia Stnica, 1962, II, № 66, 821.

М.А.МИРАКОВ, А.Р.ФАЙЗИЕВ, Л.А.ПАУТОВ*, М.А.ШОДИБЕКОВ

**ОИДИ МИНЕРАЛОГИЯИ ПЕГМАТИТҲО АЗ МАЙДОНИ
ПЕГМАТИТИИ НАМАНГУТ (ПОМИРИ ЧАНУБУ-ҒАРБӢ)**

Институти геология, сохтумони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,

**Музеи минералогии Академияи илмҳои Россия ба номи А.Е.Ферсман*

Дар мақола тавсифи минералҳои касситерит, колумбит-танталит ва турмалин аз пегматитҳои майдони пегматитии Намангут, бо овардани таркиби кимёвӣ ва дигар хосиятҳои онҳо, тасвир ёфтаанд.

Калимаҳои калидӣ: майдони пегматитии Намангут, касситерит, колумбит-танталит, турмалин, таркиби кимиёвӣ, элементҳои иловагӣ.

M.A.MIRAKOV, A.R.FAYZIEV, L.A.PAUTOV*, M.A.SHODIBEKOV

**TO THE MINERALOGY OF PEGMATITES OF THE NAMANGUT
PEGMATITE FIELD (SOUTH-WESTERN PAMIR)**

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

**Mineralogical Museum AE Fersman of the Russian Academy of Sciences*

In the article description of cassiterite, columbite-tantalite and tourmaline from the pegmatites of the Namangut pegmatite field (South-Western Pamir) is presented.

Key words: Namangut pegmatite field, cassiterite, columbite-tantalite, tourmaline, chemical composition, impurity elements.

УДК 553. 412.1 (575.3)

Ф.А.ФАЙЗИЕВ, А.Р.ФАЙЗИЕВ, С.Б.ЯТИМОВ

**О СЕРЕБРОНОСНОСТИ СКАРНОВО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО КАРАМАЗАРА
(СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 22.12.2017 г.

В статье приводится характеристика серебросодержащего скарново-полиметаллического рудно-формационного типа оруденения в Алтынтопканском (Зарнисорском) рудном узле, а также в Кансайском и Такелийском рудных полях. Минералообразование на месторождениях этого рудноформационного типа происходило в дорудный (скарновый) и рудный (гидротермальный) этапы. Описано здесь большое количество минералов, главными из которых являются галенит, сфалерит, пирит, халькопирит и арсенипирит. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, флюоритом, доломитом, анкеритом, ангидритом и баритом. Хотя в этом типе встречаются собственные минералы серебра, однако основное количество этого металла находится в виде субмикронных включений или изоморфных примесей в рудных минералах, в особенности в галените и блеклых рудах.

Ключевые слова: формационный тип, рудное поле, скарн, серебро, этап, стадия, минералообразование, полиметаллические руды, рудные тела, структура, текстура.

Ещё А.Е.Ферсманом [1] было отмечено, что «характерной для Кармазара чертой является его полиметалличность...». На самом деле, так и есть. В регионе имеются как гидротермальные, так и скарновые полиметаллические месторождения. Все они в той или иной степени содержат серебро.

Серебряные месторождения Таджикистана нами подразделены на собственно серебряные и серебросодержащие скарново-полиметаллические месторождения [2]. Среди

Адрес для корреспонденции: Файзиев Фотех Абдувакилович, Файзиев Абдулхак Раджабович, Ятимов Содикджон Бакоходжаевич. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: foteh81@mail.ru; faiziev38@mail.ru; Yatimov.s.b@mail.ru

первых были выделены серебро-полиметаллические, серебро-сурьмяные, серебро-оловянные и серебро-золотые рудно-формационные типы. Статьи о первых трех типах опубликованы [3-5]. Наиболее представительными типами серебросодержащего скарново-полиметаллического рудно-формационного типа являются месторождения Алтынтопканского (Зарнисорского) рудного узла, а также Кансайского и Такелийского рудных полей.

Алтынтопканский рудный узел расположен к северу от осевой части Кураминского антиклинория. В пределах рудного узла к настоящему времени выявлено одно весьма крупное (Алтынтопкан), два средних (Северный Алтынтопкан, Чалата), восемь мелких (Пайбулак, Ташбулак, Мышиккол, Перевальное, Учкатлы, Ташгезе, Сардоб, Кичиксай) полиметаллических месторождений, а также целый ряд рудопроявлений меди, флюорита, золота, висмута, радиоактивных и других металлических и неметаллических полезных ископаемых.

На севере рудного поля обнажаются песчано-сланцевые отложения ордовика-силура. Они образуют узкую гряду и подстилают в центральной части поля верхнепалеозойские осадочно-вулканогенные породы. На западе на палеозойских образованиях залегают осадочные отложения мезозойско-кайнозойского возраста.

Основными элементами структуры рудного узла являются среднекарбоновые вулканотектонические депрессии: Алтынтопканская грабен-синклиналь и Сардобская мульда. Они осложнены дополнительной складчатостью и серией глубинных разломов, в результате перемещений по которым палеозойский комплекс был разделён на несколько субширотных клиновидных структурных полос.

Процесс минералообразования в месторождениях Алтынтопканского рудного узла Н.Н.Королевой и В.А.Королевым расчленяется на два этапа: 1) дорудный (скарновый) и 2) рудный (гидротермальный), началу которых предшествовало тектоническое дробление вмещающих пород. В скарновом этапе выделяются две стадии - безводных и водных силикатов. Гидротермальный этап разделяется на 10 стадий: 1) карбонат-кварц-хлоритовая, 2) кварц-магнетитовая, 3) кварц-сульфидная, 4) первая полиметаллическая, 5) вторая полиметаллическая, 6) третья полиметаллическая, 7) кварц-флюоритовая, 8) сульфатная, 9) кварц-гематитовая, 10) безрудная.

На месторождениях Алтынтопканского рудного узла описано более 90 минералов. Основными рудными минералами являются галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, арсенипирит. Меньшее развитие имеют магнетит, гематит, блёклые руды и др. В рудном поле обнаружены также шеелит, молибденит, золото самородное, антимонит, реальгар, аурипигмент и много других минералов. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, доломитом, флюоритом, анкеритом, ангидритом и баритом.

Минералы серебра состоят из аргентита, акантита, пираргирита, полибазита, гесита, штернбергита, фрейбергита, дискразита, матильдита, густавита, наумманита, хейровскита, миаргирита, ширмерита и самородного серебра. Однако большая часть серебра

находится в рассеянной форме и представляет собой невидимые субмикронные включения или изоморфную форму нахождения в рудных минералах. Основным концентратором серебра является галенит, в котором содержание этого элемента достигает 1057 г/т, хотя серебро содержится и в других сульфидах [6]. Серебряная минерализация в рудах Алтынтопканского рудного узла главным образом сосредоточена в магнетит-полисульфидной, пирит-халькопиритовой, пирит-галенит-сфалеритовой и галенит-сфалеритовой минеральных типах. Если в первом типе содержание серебра равно 65.3 г/т (среднее из 17 анализов), то во 2-4 типах соответственно 35.2 (среднее из 11), 52.1 (среднее из 10) и 31.1 г/т (среднее из 11) [7]. Среднее содержание серебра по всем типам равно 45.92 г/т. Поданным разведки в месторождениях рудного узла средняя концентрация серебра не одинаковая (в г/т): Альтынтопкан – 33.6, Сардоб – 30.2, Чалата – 34, Пайбулак – 69, Мышиккол – 21.5, Ташгезе – 20.7, Северный Алтынтопкан – 34.9, Перевальное – 137.8, Ташбулак – 33.7.

На месторождениях встречаются два типа текстур руд: замещения и заполнения пустот. Наиболее типичными текстурами замещения являются массивная, пятнистая, вкрапленная, брекчиевидная, полосчатая. К текстурам заполнения пустот отнесены прожилковая, штокверковая, брекчиевая и метаколлоидная текстуры.

Анализ размещения продуктивных ассоциаций на территории Алтынтопканского рудного узла показывает, что в их распределении намечается определенная зональность. Она заключается в том, что Чалатинский разлом делит рудное поле на западную и восточную части. В западной части преобладают месторождения со сфалерит-галенит-висмутово-серебросодержащей продуктивной ассоциацией. К востоку от Чалатинского разлома месторождения представлены сфалерит-галенитовой и галенит-серебряной продуктивными ассоциациями. Своеобразие каждого участка подчеркивается также распределением элементов-примесей в главных сульфидах. Галениты западной части района обладают высокими содержаниями серебра, висмута, селена и теллура, а галениты восточного участка характеризуются более высокими концентрациями сурьмы и серебра, а сфалериты – кадмия.

В размещении минеральных ассоциаций, кроме региональной горизонтальной зональности, выявляется также и вертикальная зональность. Например, в верхних частях разрезов известняков карбона (Северный Алтынтопкан) преобладают волластонитовые, волластонит-бустамитовые и волластонит-бустамит-гранатовые скарны. Ниже, под волластонит-бустамитовыми скарнами, локализуются пироксен-гранатовые и гранатовые скарны (относительное значение последних с глубиной увеличивается). Одновременно повышается и мощность эпидозитов. Наблюдается и зональность в размещении рудных минеральных ассоциаций. В надскарновых интервалах практически отсутствует сфалерит-галенитовая минерализация. Она появляется только в участках скарнирования. Из рудных минералов в пределах надскарнового интервала почти постоянно отмечается редкая вкрапленность пирита, а в отдельных разрезах минералы сурьмы и флюорита (Северный

Алтынтопкан). Количество сфалерита и галенита возрастает с глубиной. Ниже, в подскарновом интервале, эти минералы встречаются реже и в незначительном количестве. Магнетит-гематитовая и халькопирит-сульфовисмутитовая минеральные ассоциации появляются ниже максимальных скоплений сфалерит-галенитовых руд. В этих же участках отмечаются шеелит и самородное золото. В подскарновом интервале с удалением от скарнов интенсивность рудной минерализации падает.

Размещение минеральных ассоциаций и состав вмещающих пород обуславливают вертикальную зональность в распределении элементов-примесей. В скарных телах максимальное содержание имеют Pb, Zn, Co, Cu, Ag, Au, Bi, Sb, W, тогда как в надскарновых зонах преобладают Ba, As, Bi, Sb; к подскарновой зоне тяготеют Fe, Cu, W, F. Серебро – сквозной элемент. Вместе со свинцом оно рассеивается в породах надскарновой зоны. В скарном интервале серебро изоморфно входит в галенит или отмечается в виде собственных минералов (полибазит, аргентит, самородное серебро, дискразит, шапбахит). Серебро постоянно присутствует также в составе блеклых руд. В подскарновой зоне серебро рассеивается в пирите, галените и в нерудных минералах.

Кансайское рудное поле входит в состав Кураминской структурно-фациальной зоны. Оно представляет собой геоантиклинальное поднятие, образовавшееся в девонское время на фоне общего продолжительного погружения Юго-Западного Тянь-Шаня. Конец геосинклинального этапа характеризуется широким проявлением магматизма и гидротермальной деятельности.

В рудном поле выявлено более 60 месторождений и рудопроявлений, главными из которых являются Акташ, Бешкан, Камарсай, Кантау, Карахана, Королево, Кызыл-Кан, Новый Камарсай, Окурдаван, Смирновское, Северный Кантау, Шевчуковское, Центральный Кансай и Южная Дарбаза. Для этих месторождений характерна скарновая свинцово-цинковая минерализация алтынтопканского типа. Размещение оруденения в пределах поля определяется литологией пород (карбонатная толща) и разрывной тектоникой (разломы Кансайский, Дарбазинский, Кантау-Камарсайский, Копкан-Джакиканский).

В пределах рудного поля в основном развиты известняки верхнего девона-нижнего карбона и верхнекаменноугольные эффузивы, приближающиеся по составу к кварцевым дацитам. Известняки образуют гряду, ограниченную дизъюнктивными нарушениями с севера и юго-запада от верхнекаменноугольных дацитовых порфиритов акчинской свиты, а с юга – от меловых и палеогеновых отложений. На западе D₃-C₁ отделены от дацитовых порфиритов Бирюзовым разломом, а на востоке прорваны массивом гранодиоритов C₂возраста. Кроме того, широкое развитие получили штоки и дайки малых интрузий пермского и частью возможно триасового возраста. Свинцово-цинковое оруденение с серебром, залегающее в виде отдельных рудных тел или групп рудных тел, наблюдается в различных участках известняковой гряды Окуртау на всем её протяжении.

Рудные тела имеют линзообразную, жилообразную, трубообразную формы и развиты преимущественно в скарнах [8], а также встречаются столбы и гнезда.

Минералообразование происходило в четыре стадии [9]: 1) скарново-силикатная с магнетитом и сульфидами; 2) скарново-водно-силикатно-сульфидная; 3) кварц-карбонат-сульфидная; 4) кварц-барит-флюорит-кальцитовая. Ряд рудных (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит) и жильных (кварц и кальцит) минералов образовался во всех стадиях минералообразования. Наибольшее развитие рудные минералы получили среди минеральных ассоциаций II и III стадий. Установлено, что образование большинства сульфидов во всех стадиях минерализации происходило несколько позднее образований силикатов и окислов и они завершают процесс минералообразования каждой стадии.

В Кансайском рудном поле проявлены разнообразные гипогенные и гипергенные минералы (более 160) [10]. Гипогенные минералы представлены силикатами (диопсид, геденбергит, эпидот, гроссуляр, гроссуляр-андрадит, актинолит, тремолит, флогопит, волластонит, везувиан, манган-салит, хлориты, серпентин, мусковит, шефферит, скаполит, андрадит, клинохлор, пеннин), окислами (кварц, гематит, магнетит, касситерит), сульфидами и сульфосолями (пирит, сфалерит, галенит, пирротин, халькопирит, аргентит, акантит, висмутин, арсенопирит, молибденит, марказит, теннантит, тетраэдрит, буланжерит, гессит, геокронит, менегенит, клапротит, сульфосоли Bi, сульфоантимониды, прустит, пираргирит), самородными элементами (Bi, Ag). Кроме того, встречаются представители группы карбонатов – кальцит, доломит, галоидов – флюорит, сульфатов – барит, вольфраматов – шеелит. Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит, блеклые руды, сульфоантимониды. Из жильных минералов наиболее развиты во всех месторождениях и проявлениях рудного поля гроссуляр-андрадит, шефферит, магнезиально-железистый пеннин-клинохлор. Кроме того, в некоторых месторождениях встречаются кварц (Таскескен, Окурдаван), тальк, серпентин (Королево), серицит (Окурдаван), диопсид, андрадит (Янгикан), барит (Вульфенитовая жила), флюорит (Таскескен). Из пострудных жильных минералов развит кальцит.

В пределах рудного поля отчетливо проявляется зональность оруденения, вызванная прерывистым поступлением растворов разного состава на фоне вспышек трещинообразования. Горизонтальная зональность оруденения выражается в том, что в восточной части рудного поля на ранних стадиях минералообразования проявились интенсивные деформации в зоне контакта известняков с гранитоидами и здесь кристаллизовались минеральные ассоциации первой стадии минерализации. В западном направлении разрывы проявлялись все позднее и соответственно были выполнены более поздними минеральными ассоциациями. Это привело к тому, что в самом западном фланге рудного поля получило распространение свинцово-цинковое оруденение [10].

Для Кансайского рудного поля характерны различные текстуры и структуры руд. Наиболее распространены вкрапленные или полосчато-вкрапленные, плейчатые и прожилковые текстуры, а также встречаются массивные, брекчиевые. Реже встречаются и радиально-лучистые текстуры руд. Структуры их крупно-, средне-, мелко- и неравномернотзернистые.

В пределах рудного тела Чётка месторождения Центральный Кансай наблюдается смена с глубиной минеральных типов руд [8]. От поверхности до глубины 908 м развиты сфалерит-галенит-аргентитовые руды, которые сменяются галенит-сфалеритовыми с пиритом, сульфосолями и самородными элементами. На уровне от 907 до 570 м развиты галенит-сфалерит-пиритовый тип с халькопиритом. В местах сопряжения рудного тела с Южно-Дарбазинским разломом также наблюдается пиритовый тип с незначительным содержанием свинца и цинка. На этом протяжении содержание цинка по отношению к свинцу возрастает - от 0.8 до 1.7. Ниже до глубины 431 м распространен пирит-галенит-сфалеритовый тип оруденения с халькопиритом.

В распределении серебра также наблюдаются зональность. Сверху вниз уменьшается содержание серебра. Если в приповерхностных частях оно представлено самостоятельными минеральными формами (аргентитом, акантитом, пираргиритом, пруститом, самородным серебром), то на уровне средней части рудного тела серебро входит в виде изоморфной примеси, возможно, и тонкозернистой минеральной формы в главных рудообразующих сульфидах.

Серебро на месторождениях Кансайского рудного поля образует как собственные минералы – аргентит, акантит, прустит, пираргирит, полибазит, гессит, штройомерит, самородное серебро, так и встречается в виде изоморфных и механических примесей в галените, тетраэдрите, теннантите и др. минералах. Серебряная минерализация проявлена во всех стадиях минерализации. В первой стадии она проявлена в виде самородного серебра, а во второй - аргентита. Однако основное количество серебра распространено в более поздних стадиях минералообразования - третьей и четвёртой. Здесь серебро развито в виде красных серебряных сульфосолей – пираргирита и прустита.

Все месторождения и рудопроявления Кансайского рудного поля сереброносны. Наиболее высокое содержание металла наблюдается на месторождении Южный Кансай (395.2 г/т), а низкое – Акташ (23.3 г/т). На месторождении Центральный Кансай концентрация серебра в среднем составляет 52 г/т.

Если рассмотреть содержание серебра в сульфидах, основных концентраторах этого металла, то оно распределяется следующим образом (г/т): галенит (от 280 до 5000), тетраэдрит (до 2600), сфалерит (30 – 800), халькопирит (105 – 610), пирит (16 – 110)[10].

Такелийское рудное поле занимает южную часть площади Юго-Западного Карамазара. В пределах рудного поля известно десять месторождений: Западный Гайнаккан, Средний Гайнаккан, Восточный Гайнаккан, Сассыксай, Учочак, Среднее Такели, Западное Такели, Восточная Кафтархона, Южная Кафтархона и Западная Кафтархона [9]. Естественными границами рудного поля на северо-востоке являются гранитоиды Алмабулакского интрузива, а на северо-западе – Железный разлом. На юго-востоке и юго-западе рудное поле граничит с мезо-кайнозойскими отложениями Мирзарабатской депрессии. Площадь рудного поля сложена карбонатными породами среднего девона-нижнего карбо-

на, вулканогенно-осадочными отложениями верхнего палеозоя и интрузивными породами.

Главной складчатой структурой рудного поля является Такелийская мульда, полого погружающаяся к юго-востоку. В северо-восточном крыле на поверхности обнажаются карбонатные породы среднего палеозоя, в направлении ядра мульды они последовательно сменяются более молодыми отложениями. Одновременно наблюдается выполаживание углов падения пород (от 50-65° в известняках до 25-30° в конгломератах). Центральная часть мульды осложнена продольными складками более низких порядков.

Среди разрывных нарушений выделяются сколы тутлинской, сараймарданской, алтынтопканской, такелийской, кизылтурской, туранглинской и других систем.

Такелийское рудное поле является единственным объектом в Карамазаре, где мышьяковое оруденение развивается в промышленных масштабах. Однако руды этих месторождений в основном полиметаллические. Серебро же встречается как в мышьяковых, так и собственно полиметаллических рудах. Важной особенностью такелийских руд является резко повышенная их сереброносность и, отчасти, золотоносность.

Содержание серебра в рудах высокое и составляет от 6.2 (Средний Гайнаккан) до 2500 г/т (Западный Гайнаккан). При этом в месторождениях Такелийского рудного поля с юго-западной части к северо-восточной в рудах содержание серебра увеличивается. Если на месторождении Учочак среднее содержание серебра 166 г/т, то на месторождении Среднее Такели оно составляет от 59 до 883 г/т, в Средний Гайнаккан от 6.27 до 926.5 г/т, а Западный Гайнаккан - от 336 до 2500 г/т. Кроме того, серебро установлено на месторождении Сассыксай в количестве от 21.6 до 135.9 г/т, Южная Каптархана до 34 г/т, Западное Такели 212 г/т.

В рудах Такелийского рудного поля содержится и золото, количество которого колеблется от 0.4 до 2.8 г/т.

Оруденение размещается в известняках и доломитах, гранитоидах, аркозовых песчаниках, конгломератах и других породах. Рудные тела имеют форму жил, линз, столбобразных, трубчатых и неправильных залежей. Мощность и протяженность рудных тел колеблется в широких пределах. Например, мощность рудных тел на месторождении Гайнаккан варьирует от 0.12 до 1.6 м при протяженности от 26 до 40 м. Мощность и протяженность рудных тел месторождения Средний Гайнаккан равны 0.5-2.6 и 7-56, а Восточного Гайнаккана – 1.6-2.5 и 20-40 м соответственно.

Минеральный состав месторождений Такелийского рудного поля изучался Ф.И.Вольфсоном [12], З.А.Королевой [13], М.И.Моисеевой [14]. Максимальной полнотой и детальностью отличаются исследования М.И.Моисеевой [14]. Основными рудными минералами являются арсенопирит, сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит. Второстепенными – молибденит, касситерит, тетраэдрит, а редкими -буланжерит, джемсонити др. Из серебряных минералов здесь установлено самородное серебро, аргентит, прустит и кераргирит. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, баритом, анкеритом.

В зоне окисления развиты ярозит, скородит, бедантит, церуссит, миметезит, смитсонит, каламин, гематит, гетит, гидрогетит, малахит, англезит, пироморфит, плюмбоярозит, хризоколла, азурит, куприт, брошантит.

Анализ минералов позволяет прийти к выводу, что содержание серебра в рудных телах в основном определяется минеральным составом последних. Минимальное количество его (51.2-143.9 г/т) наблюдается в рудных телах, обогащенных халькопиритом и блеклыми рудами (Западный Гайнаккан). В галенит-сфалеритовых рудах серебро устанавливается в количестве 146.7 г/т (месторождение Учочак) и до 316,9 г/т (рудопроявление Навигари).

По М.И.Моисеевой [14] и нашим данным, содержание серебра в сульфосолях и сульфидах Такелийского рудного поля, которые являются основными концентраторами этого металла, распределяются следующим образом (г/т): тетраэдрит (от 25008 до 31912, среднее из трех анализов 28440), галенит (от 624 до 3800, среднее из 15 анализов 1571.5), сфалерит (28 – 1352, среднее из шести анализов 692.33), пирит (20 – 272, среднее из 5 анализов 165.08), арсенопирит (18–534, среднее из 12 анализов 318.5), халькопирит (4244.5).

Таким образом, основное количество серебряной минерализации на месторождениях серебросодержащего скарново-полиметаллического рудноформационного типа связано с более поздними ассоциациями минералов. Хотя в этом типе встречаются десятки минералов серебра, однако основное количество этого металла находится в виде субмикронных включений или изоморфных примесей в рудных минералах, в особенности в галените. Образование продуктивной серебряной минерализации происходило при средне- и низкотемпературном гидротермальном образовании. Отметим, что при комплексном использовании других элементов, в частности серебра, относительно бедные скарново-полиметаллические месторождения могут стать рентабельными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферсман А.Е. Особенности рудного Карамазара. – Тр. Тадж. базы, т. 4. -М.: ОНТИ, 1935, 106 с.
2. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана. – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. н., 2015, №3 (160), с.92-99.
3. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Серебро-полиметаллический рудно-формационный тип оруденения в Таджикистане. – Вест. ТНУ, 2015, №1/5 (188), с.271-278.
4. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Серебро-сурьмяный рудно-формационный тип оруденения в Таджикистане. – ДАН РТ, 2015, т. 58, №4, с. 413-417.
5. Файзиев Ф.А., Файзиев А.Р., Каюмарси М. О серебряном оруденении Центрального Таджикистана. – Изв. УГГУ, 2017, вып. 4 (48), с. 18-22.
6. Еникеев М.Р. К геохимии благородных металлов в Алтынтюпканском рудном районе. – Научные труды ТГУ, вып. 337. – Ташкент, 1968, с. 139-141.
7. Туресебеков А.Х., Апарин В.Б., Шамаев О.Т. Минералы серебра в рудах глубоких горизонтов скарново-полиметаллического месторождения Алтынтюпкан (ТаджССР). – Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 43, 1990, с.13-17.

8. Еникеев А.М. Минералого-геохимические особенности скарново-полиметаллических руд месторождения Центральный Кансай. – Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 33, 1980, с. 45-50.
9. Геология СССР, т. 24, ч. 2. Под. ред. А.В.Сидоренко. – М.: Недра, 1966, с. 164-175.
10. Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. Под ред. П.А.Шехтмана, М.И.Власова. – М.: Недра, 1972, 440 с.
11. Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. Отв. редактор Ф.И.Вольфсон. – М.: Наука, 1965, 204 с.
12. Вольфсон Ф.И. Полиметаллическое месторождение Такели в Карамазаре. – Сб. Рудные месторождения Карамазара. – М.-Л., ОНТИ, 1935, 68 с.
13. Королева З.А. Парагенетические соотношения гипогенных минералов в месторождениях Карамазара. – Ташкент: ФАН, 1941, 164 с.
14. Моисеева М.И. Минералогия Кураминского хребта. – Ташкент: ФАН, 1969. 204 с.

Ф.А.ФАЙЗИЕВ, А.Р.ФАЙЗИЕВ, С.Б.ЯТИМОВ

ОИД БА НУҚРАДОРИИ КОНҲОИ СКАРН-ПОЛИМЕТАЛЛИИ ҚАРА- МАЗОРИ ҒАРБӢ (ТОҶИКИСТОНИ ШИМОЛӢ)

Институти геология, сохтмони ба заминчунби тобовар ва сейсмологияи

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола маълумот оид ба навъи форматсияи маъдани нукрадори скарн-полиметаллӣ дар гиреҳи маъдани Зарнисор ва майдонҳои маъдани Консой ва Такелӣ оварда шудааст. Минералпайдошавӣ дар конҳои ин навъ дар марҳилаҳои то-маъданӣ (скарнӣ) ва маъданӣ (гидротермалӣ) ба вучуд омадааст. Дар ин конҳо минералҳои зиёд ошкор ва тавсиф шудаанд, ки галенит, сфалерит, пирит, халкопирит ва арсенопирит минералҳои асосӣ ба ҳисоб мераванд. Кварс, калсит, флюорит, доломит, анкерит, ангидрит ва барит минералҳои рагиरो ташкил медиҳанд. Гарчанде дар ин навъи форматсионӣ минералҳои соф нукра дида мешаванд, вале миқдори асосии ин металл дар намуди дохилшудаҳои субмикронӣ ё омехтаҳои изоморфӣ дар минералҳои маъданӣ, аз ҷумла дар галенит ва маъданҳои рангашон маҳвшуда ҷойгир шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: навъи форматсионӣ, майдони маъданӣ, скарн, нукра, давра, марҳала, минералпайдошавӣ, маъданои полиметаллӣ, ҳисмҳои маъданӣ, структура, текстура.

F.A.FAYZIEV, A.R.FAYZIEV, S.B.YATIMOV

**ABOUT SILVER-BEARING OF SKARN-POLYMETALLIC DEPOSITS
OF WESTERN KARAMAZAR (NORTHERN TAJIKISTAN)**

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

The article contains a description of the silver-containing skarn-polymetallic ore-formation type of mineralization in the Altyntopokan (Zarnisor) ore site, as well as in the Kansai and Takeli ore fields. Mineralization in deposits of this ore-formation type occurred in pre-ore (skarn) and ore (hydrothermal) stages. A large number of minerals are described here, the main ones being galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite and arsenopyrite. The vein minerals are represented by quartz, calcite, fluorite, dolomite, ankerite, anhydrite and barite. Although this type contains its own silver minerals, the bulk of this metal is in the form of submicron inclusions or isomorphic impurities in ore minerals, especially in galena and faded ores.

Key words: formation type, ore field, skarn, silver, stage, stage, mineral formation, polymetallic ores, ore bodies, structure, texture.

УДК 553.9

М.Х.ИШАНОВ, Д.М.ИШАНОВ, Н.С.САФАРАЛИЕВ, Ш.А.ОДИНАЕВ

**ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮГО-ЗАПАДНОМ ТАДЖИКИСТАНЕ**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 14.11.2016 г.

Усовершенствование методики поисков скоплений нефти и газа, разработка оптимальной схемы ведения поисково-разведочных работ применительно к геологическим условиям Юго-Западного Таджикистана являются важнейшими задачами нефтегазопроисследовательских работ.

Ключевые слова: прямые методы, глубинные разломы, крупные месторождения углеводородов, вертикальная миграция, надвиги.

Эффективность геологоразведочного процесса на поиски месторождений углеводородов определяется не только качеством подготовки площадей (структур) под бурение, количеством пробуренных скважин на каждую залежь, но и выявлением закономерностей формирования и размещения месторождений нефти и газа. Это в свою очередь зависит от выбора рациональной методики поисково-разведочных работ. Решение этих задач особенно важно не только для Юго-Западного Таджикистана, но и для всей Таджикской депрессии и прилегающих нефтегазоносных регионов, где отмечается низкая эффективность нефтегазопроисследовательских работ. Это обуславливает необходимость создания новых высокоэффективных научных разработок в области методики поисков, разведки и внедрения их в производство.

**Некоторые особенности геологического строения Юго-Западного
Таджикистана, влияющие на выявление залежей нефти и газа**

Перспективные земли для поисков месторождений нефти и газа в Юго-Западном Таджикистане занимают от 28 до 30 тыс.кв.км. В тектоническом отношении это крупная впадина (или отрицательная структура).

Адрес для корреспонденции: Сафаралиев Носир Саиджалолович, Одинаев Шарифджон Ахтамджонович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: chokadambulak@mail.ru; sharif.geolog@mail.ru

В строении рассматриваемого региона принимают участие геосинклинальные, платформенные и постплатформенные орогенные отложения. Геосинклинальные комплексы пород составляют фундамент. По материалам геофизических исследований, они имеют блоковое строение [1] и сложены палеозойскими кристаллическими породами. Некоторые исследователи выделяют также и промежуточный комплекс, состоящий из отложений пермо-триаса [2]. Над этими комплексами залегают платформенный (юра, мел и палеоген) и постплатформенный, орогенный (неоген-четвертичный) комплексы. Платформенный комплекс с угловыми несогласиями залегают на фундаменте либо на пермо-триасовых отложениях. Нижняя и средняя юра представлены терригенными и угленосными формациями, верхняя юра сложена карбонатно-сульфатными морскими и лагунными осадками. Меловые отложения представлены так: нижний мел – терригенными породами морского и континентального происхождения, верхний мел – терригенно-карбонатными породами морского происхождения. Палеоген также представлен карбонатно-терригенными морскими породами с прослоями лагунно-химогенных осадков. Постплатформенный орогенный (неоген-четвертичный) комплекс сложен молассовыми отложениями и представлен песчано-глинисто-конгломератовыми отложениями.

В разрезе платформенных отложений выделяются около двадцати пяти пористо-проницаемых горизонтов, приуроченных к юрским, меловым и палеогеновым отложениям. Промышленная нефтегазоносность связана с юрскими, меловыми и палеогеновыми отложениями.

Современный структурный план Таджикской депрессии, куда входит и Юго-Западный Таджикистан, был сформирован в неоген-четвертичный этап развития региона. В Юго-Западном Таджикистане выделяются две крупные антиклинальные зоны – Кафирниганская и Обигармская и три синклинальные зоны – Кулябская, Вахшская и Предгиссарская (Душанбинский прогиб). В антиклинальных зонах наблюдается наличие мощного (до 15 км) [2] нарушенного осадочного чехла, интенсивно смятого в складки и надвиговую структуру. В синклинальных зонах отмечается несоответствие структурных планов надсолевых мел-палеоген-неогеновых и подсолевых юрских структур. Большинство антиклинальных структур осложнено тектоническими нарушениями. Здесь развит соляной диапир, связанный с тангенциальными движениями с востока со стороны Памиро-Алайской тектонической зоны и имеющий различную морфологию складок. Амплитуда горизонтального движения достигает значений до 17 км [3].

Выявленные к настоящему времени в Юго-Западном Таджикистане месторождения нефти были сформированы как залежи в платформенный период развития региона, поэтому они сохранились в синклинальных зонах в виде отдельных залежей, которые были частично разрушены последующими тектоническими процессами. В антиклинальных зонах большинство ранее сформированных залежей были либо полностью разрушены, либо сохранились в виде небольших скоплений (например, Северная Курганча, Южный Кум) в Кафирниганской зоне.

Разломы в осадочных породах Юго-Западного Таджикистана

На территории Юго-Западного Таджикистана выделяются три вида разломов. Разломы глубинные с простиранием с юга на север, пронизывающие четвертичные, неогеновые, палеогеновые, меловые образования и теряющиеся в гаурдакских солях верхнеюрских отложений; глубинные разломы такого же простирания, пронизывающие четвертичные, неогеновые, палеогеновые, меловые отложения и гаурдакские соли верхней юры.

Третий вид разрывных нарушений имеет простирание с востока на запад. Они пронизывают четвертичные, неогеновые, палеогеновые и частично меловые образования. Эти разломы выявлены при дешифрировании космических снимков, короткие и часто повторяющиеся. Первые два вида глубинных разломов своим образованием связаны с платформенным этапом развития Таджикской депрессии и продолжают существовать и в настоящее время. Разрывные нарушения восточно-западного направления своим происхождением связаны с постплатформенным этапом развития Таджикской депрессии и образованы в результате тангенциального давления (термин С.А.Захарова) со стороны Памиро-Алая на Таджикскую депрессию. По этим разрывным нарушениям, вероятно, происходит надвигообразование в антиклинальных зонах Юго-Западного Таджикистана и сокращение площади Таджикской депрессии не менее чем на 90 км с востока на запад (П.К.Азимов, Е.В.Лебзин, Ю.М.Овчинников, по фондовых материалах ГУГ, стр. 128-135, 1986). В глубинных разломах юго-северного простирания, которые пронизывают гаурдакские соли верхней юры и достигают верхнеюрские карбонатные толщи, по нашему мнению, происходит вертикальная миграция углеводородов из нижнего юрского структурного этажа в верхний мелово-палеогеновый этаж.

Методика геологоразведочных и нефтегазопроисловых работ в Юго-Западном Таджикистане

Геологоразведочные работы для исследования структур и поиски месторождений нефти и газа на территории Юго-Западного Таджикистана проводились по единым методикам и положениям [1, 3, 5, 10-12]. Согласно этим положениям, методика геологоразведочных работ делится на три части: региональная, поисковая и разведочная с выделением стадий.

В задачу региональных геолого-геофизических работ входит изучение геологического строения, оценка перспектив нефтегазонасности и выделение первоочередных районов с целью постановки поисковых работ на углеводороды. Целью поисковых этапов является обнаружение месторождений нефти и газа, или залежей на стадии региональных работ, и оценка их по категории C_2 с выбором перспективных объектов для разведки.

В свою очередь поисковый этап делится на две стадии:

- 1) выявление и подготовка объектов к поисковому бурению;
- 2) поиск месторождения.

В задачу разведочного этапа входит подготовка ранее выявленных на стадии поискового этапа месторождений и залежей нефти и газа к разработке.

По этой методике в Юго-Западном Таджикистане на 85 пробуренных площадях были открыты более 13 месторождений. Коэффициент успешности составлял 0.2. В среднем на 8 из 10 опосредованных ловушек в мел-палеогеновых отложениях залежей углеводородов в продуктивных горизонтах не обнаружено [3].

С целью выявления причин, препятствующих обнаружению и открытию крупных нефтегазовых месторождений в Юго-Западном Таджикистане, нами [2, 8] были проведены исследования по тематике «Причины, препятствующие открытию крупных нефтегазовых месторождений в Юго-Западном Таджикистане», где были рассмотрены вопросы закономерностей формирования и размещения месторождений нефти и газа в Таджикской депрессии, Амударьинской и Мургабской впадинах. Исследования показали, что истории геологического развития Душанбинского прогиба Юго-Западного Таджикистана и Амударьинской впадины в платформенном этапе развития во многом аналогичны. В этих регионах соли гаурдакской свиты либо отсутствуют (Душанбинский прогиб), либо присутствуют в небольших мощностях (Амударьинская впадина), что способствует вертикальной миграции углеводородов из нижнего (юрского) структурного этажа в верхний надсолевой этаж. В то же время в Мургабской впадине, также как и в Кулябской, Обигармской, Кафирниганской, Вахшской и Сурхандарьинской зонах Таджикской депрессии, между нижним и верхним структурными этажами залегает мощная толща солей гаурдакской свиты.

Так, мощность гаурдакских солей, вскрытых на площади Южный Каратау (Обигармская зона), составила более 3 км. На площади Ходжа-Сартез, по нашему мнению, из верхнеюрских отложений в результате тангенциального давления со стороны Памиро-Алая на внешнюю поверхность земной коры было выжато около 1 млрд. т соли [1]. В то же время мощность солей в Байрамалийской зоне Мургабской впадины составляет около 1600-1800 м, и они, согласно исследованиям В.Я.Соколова и Э.Л.Рошкова [13], препятствуют вертикальной миграции углеводородов из юрских отложений в меловые. Эти авторы также указывают, что в структурах, которые не имеют связи через глубинные разломы между меловыми и юрскими отложениями, их ловушки в меловых отложениях – пустые, а те структуры, которые такую связь имеют, заполнены углеводородными газами, что указывает на вертикальную миграцию углеводородов из юрских отложений в меловые через глубинные разломы.

На вертикальную миграцию углеводородов из юрских отложений в меловые в Мургабской и Амударьинской нефтегазоносных областях также указывают геохимические исследования [14, 15].

Применение прямых методов поисков месторождений нефти и газа в Юго-Западном Таджикистане

В последние годы в практику нефтегазопоисковых работ начали внедряться прямые методы поисков залежей нефти и газа – это геохимические и геофизические методы поисков залежей углеводородов [4].

Геохимические методы основаны на прямом обнаружении углеводородов, мигрирующих из залежей, по данным их физико-химических свойств, а также изучения изменений горных пород, подземных вод, почв, возникающих под влиянием этих углеводородов. Вследствие миграции углеводородов, растворенных в воде и находящихся в свободном состоянии, по системам трещин и разрывным нарушениям, из-за латеральной фильтрации через пористые породы (эффузии) и их диффузии через толщу покрывающих залежей пород, над нефтяными и газовыми залежами образуются локальные геохимические поля, достигающие поверхности Земли и создающие аномалии (рис.1).

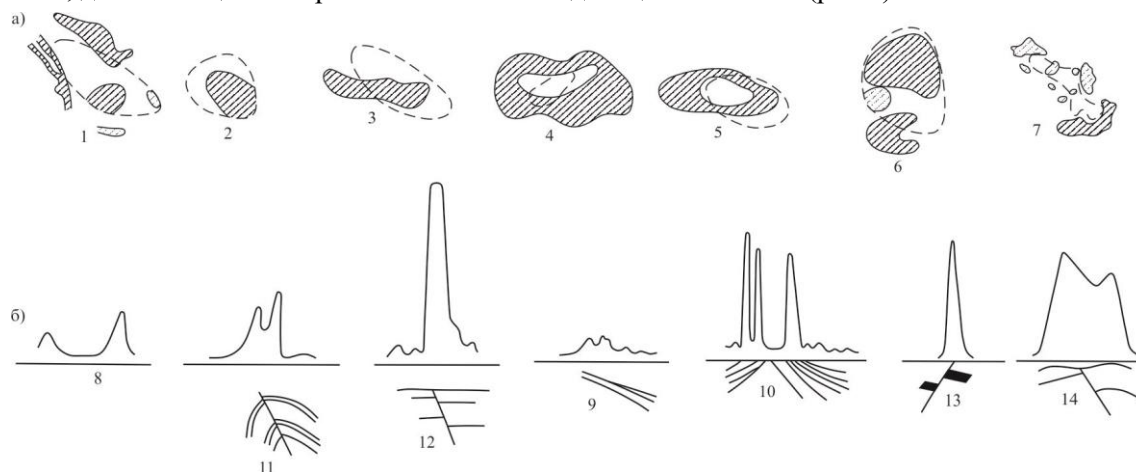


Рис.1. Примеры газовых аномалий в поверхностных слоях на газо-нефтеносных площадях (В.А.Соколов, 1976):

а – площадные газовые аномалии: 1 – Шебелинская; 2 – Кумдагская; 3 – Ключевская; 4 – Кожемякинская; 5 – Жуковская; 6 – Яблоневская; 7 – Ишимбайская;
 б – профильные газовые аномалии: 8 – Калининская; 9 – Зыбзинская; 10 – Верхне-Чекупская; 11 – Андиганская; 12 – Маштаги; 13 – Сахалин; 14 – Печорский край

Основные, надежные геохимические признаки – углеводородные газы, фракции нефти и битумов нефтяного происхождения в почвах, породах и подземных водах. В настоящее время применяют различные методы геохимических исследований: газовая съемка, битумно-люминесцентный, микробактериальный, окислительно-восстановительный потенциал, радиохимический, газовый каротаж.

В геофизических методах прямых поисков залежей углеводородов, с целью выявления и оконтуривания залежей нефти и газа, до начала поисково-разведочного бурения используют сейсмические, гравиметрические, магнитометрические и электроразведочные методы. Применение сейсморазведки для поисков нефти и газовых углеводородов основывается на следующих признаках:

- 1) наличие отражения от горизонтальных зеркально отражаемых контактов ВНК (водонефтяной контакт), ГВК (газоводяной контакт), ГНК (газонефтяной контакт) на фоне наклонных геологических границ;
- 2) увеличение коэффициента поглощения сейсмических волн над газовыми и нефтяными залежами.

Исследования, проведенные Л.А.Сергеевым и И.Я.Балахом [4] показали, что поверхность водонефтяного или газовойодяного контакта является отражающей границей. Величина коэффициента отражения от контактов может достигать 10-20%, что дает возможность их фиксировать сейсмической аппаратурой для прямых поисков залежей углеводородов и их оконтуривания (рис.2).

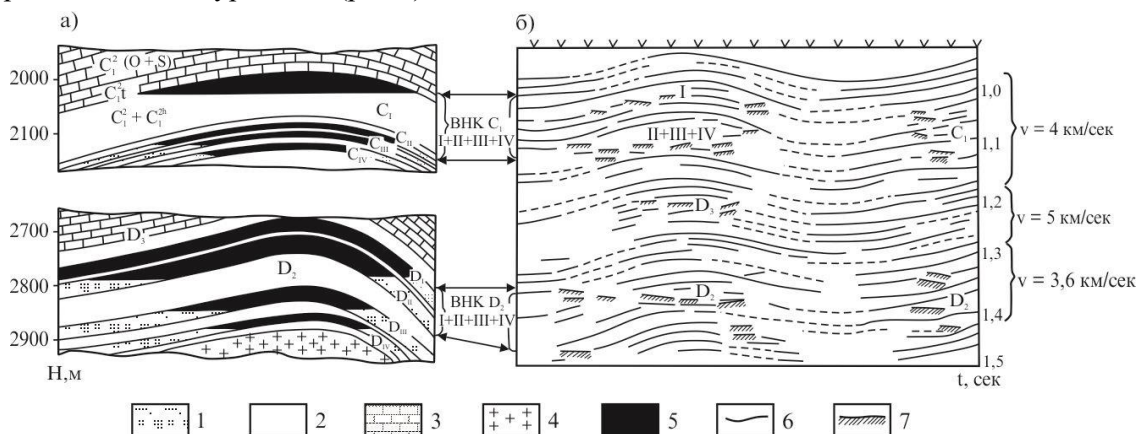


Рис.2. Обнаружение сейсмическим методом водонефтяного контакта на нефтяном месторождении Муханово (М.Ф.Мирчинк, И.Я.Баллах, 1976):

а – геологический разрез; б – сейсмический разрез. Породы: 1 – терригенные; 2 – карбонатно-глинистые; 3 – известняки; 4 – кристаллические; 5 – нефтенасыщенные; 6 – отражения от границ раздела в осадочной толще; 7 – отражения от водонефтяных контактов (ВНК)

Для прямых поисков залежей нефти и газа также применяется высокоточная гравиразведка. В основе этой методики лежит различие плотностей между нефтью и газонасыщенными породами по сравнению с породой, насыщенной водой. Такое различие зависит от физических особенностей коллекторов, физического состояния нефти и плотности пластовой воды.

Фактические данные создают локальный минимум силы тяжести, который фиксируется при высокоточной гравиметрической съемке.

Сущность предлагаемых прямых методов поисков месторождения углеводородных газов в Юго-Западном Таджикистане заключается в том, что в погребенных структурах, связанных с глубинными разломами, которые проникают из верхнего палеоген-мелового структурного этажа в нижний юрский структурный этаж, проводят поисково-разведочное бурение на поиски месторождения газа, как в меловых, так и в юрских отложениях. Как показало поисково-разведочное бурение на юго-западе Таджикистана, на 8 из 10 пробуренных скважинах ловушки структур на этих площадях по палеогеновым отложениям оказались пустыми, они не имели связи по глубинным разломам с юрскими структурами.

Доказательством этой закономерности могут служить выявленные в Вахшской зоне месторождения Кызыл-Тумшук, Акбашадыр и Кичик-Бель. Исследования показали,

что мел-палеогеновые отложения месторождения Кызыл-Тумшук связаны с глубинными разломами, которые проникают из верхнего структурного этажа в нижний.



Рис.3. Схематическая структурная карта перспективных площадей на нефть и газ Юго-Западного Таджикистана.

По-видимому, в зонах, где проходит глубинный разлом, мощность соли гаурдакской свиты небольшая и возможно не превышает 2-2.5 км. Углеводородный газ на месторождении Кызыл-Тумшук состоит из метана (до 98%). Кроме того, здесь в верхнемеловых отложениях наблюдается зона аномально высокого пластового давления (АВПД), по-видимому, связанная с вертикальной миграцией углеводородов из юрских и нижнемеловых отложений в верхнемеловые и палеогеновые отложения. В то же время осадочные толщи структур Кичик-Бель и Акбашадыр, не имеющие связь с нижним структурным этажом, имеют нефть в палеогеновых отложениях – тяжелую, высокосмолистую, сернистую, окисленную.

Эти нефти не обогащались углеводородами из юрских нефтегазоносных комплексов. Эта же закономерность наблюдается и в Кулябской зоне – Ходжа-Сартез, Сульдузы, Узунахор и Бештентяк, где газоносность установлена в палеогеновых и верхнемеловых отложениях. Погребенные структуры по глубинным разломам имеют связь с нижним юрским этажом и по этим разломам происходит миграция углеводородов. В то же время на структурах Ходжа-Мумин, Танапчи и др. связь между верхним структурным этажом и нижним юрским этажом отсутствует, хотя и здесь имеются глубинные разломы, теряющиеся в солях гаурдакской свиты (рис.3).

Поэтому закономерность размещения залежей газа по юрским и меловым нефтегазоносным комплексам, установленная в Байрамалийской зоне Мургабской впадины, прослеживается и в синклиналильных зонах Юго-Западного Таджикистана, что представляет собой прямой метод поисков мест скопления залежей в меловых и верхнеюрских отложениях Таджикской депрессии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волос Г.С., Каломазов Р.У., Коробко В.С. Состояние и пути повышения эффективности поисково-разведочных работ на территории Таджикистана. – Душанбе: П. Тр. ВНИГНИ, вып. 241: Геологическое строение и критерии прогноза нефтегазоносности Юга СССР, 1982, с. 30-14.
2. Ишанов М.Х., Ишанов Д.М. Причины, препятствующие обнаружению открытия крупных нефтегазовых месторождений Юго-Западного Таджикистана. – Мат.-лы республ. конф. «Геология и геоэкологические проблемы исследования горючих ископаемых Таджикистана». – Душанбе, 2011, с. 27-32.
3. Каломазов Р.У., Коробко В.С., Юртаев Ю.С. Основные направления и методика геологоразведочных работ на нефть и газ в Юго-Западном Таджикистане (обзорная информация). – Душанбе, 1986, с. 2-22.
4. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Мелик-Пашаев В.С., Юдин Г.М. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. – М.: Высшая школа, 1976, с. 250-275.
5. Васильчиков М.В., Лебзин Е.В. Методика и дальнейшее направление поисково-разведочных работ на нефть и газ в Юго-Западном Таджикистане. – П. Тр. ВНИГНИ, вып. 142: Проблемы нефтегазоносности Таджикистана, 1973, с. 15-23.
6. Волос Г.С. Каменная соль месторождений Юго-Западного Таджикистана (обзорная информация). – Душанбе, 1993, с. 9-17.
7. Ишанов М.Х. Научное прогнозирование нефтегазоносности осадочного чехла Таджикской впадины. – Сб. Проблемы нефтяной и инженерной геологии Таджикистана (Тр. кафедры геологии нефти и газа). Вып. 1. – Душанбе, 1971, с. 30-35.

8. Ишанов М.Х. Некоторые вопросы нефтегазоносности и регионально-нефтегазоносные комплексы юрских и меловых отложений Мургабской, Амударьинской и Таджикской впадин и их характеристика. – Сб. Проблемы нефтяной и инженерной геологии Таджикистана (Тр. кафедры геологии нефти и газа. Вып. 1. – Душанбе, 1971, с. 66-74.
9. Ишанов М.Х. Геохимия органического вещества и прогноз нефтегазоносности юрских отложений Юго-Западного Таджикистана. – Сб. научных трудов «Геология и разработка нефтяных месторождений Средней Азии». – М.: ВНИИЭНГ, 1974, с. 57-61.
10. Кнорринг Л.Д. Основы теории оптимизации разведки нефтяных месторождений». – Л., 1980, 304 с.
11. Положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. – М., 1983, 15 с.
12. Положение о порядке приема и учета нефтегазоперспективных структур и объектов аномалий типа залежей (АТЗ) и подготовка их характеристик для ввода в ЭВМ. – М., 1979, 30 с.
13. Сырьевая база развития газовой промышленности Средней Азии (Геологические предпосылки). Под ред. В.Г. Васильева. – Л.: Недра, 1970, с. 167-186.
14. Старобинец И.С. Геохимия нефтей и газов. – М.: Недра, 1966, с. 49-329.
15. Нарыжная В.Е. Геохимия природных газов Средней Азии. – Л.: Недра, 1965, с. 159-165.

М.Ҳ.ИШАНОВ, Д.М.ИШАНОВ, Н.С.САФАРАЛИЕВ, Ш.А.ОДИНАЕВ

УСУЛҲОИ МУСТАҚИМИ ҶУСТУҶҶҶИ КОНҲОИ БУЗУРГИ НАФТУ ГАЗ ДАР ҶАНУБУ ҒАРБИИ ТОҶИКИСТОН

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Яке аз вазифаҳои муҳимтарини корҳои ҷустуҷӯи нафт ин мукамалкунии усули ҷустуҷӯи ғуншудаҳои нафту газ, коркарди тарҳи оптималии гузаронидани корҳои ҷустуҷӯи-иктишофӣ ба шароити геологии Ҷанубу Ғарбии Тоҷикистон мутобиқ мебошад.

Калимаҳои калидӣ: усулҳои мустақим, каҷҳои амик, конҳои бузурги нафту газ, миграцияи амӯдӣ, рӯғечҳо.

M.H.ISHANOV, D.M.ISHANOV, N.S.SAFARALIEV, SH.A.ODINAEV

DIRECT METHODS FOR LARGE HYDRO-CARBON DEPOSITS' SEARCHING IN THE SOUTH-WESTERN TAJIKISTAN

Tajik National University

Improving techniques of searching for oil and gas deposits, working out optimal scheme of the searching-prospecting works in terms of their application to the geological environments of the South-Western Tajikistan perform extremely important challenges in the oil-gas searching works.

Key words: direct methods, deep faults, large hydro-carbon deposits, vertical migration, trusts.

УДК 502/504 (575.3)

Ш.Н.УЗАКОВА, И.Р.КАРАЕВ

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ
ЮГО-ЗАПАДНОГО ПАМИРА**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 22.12.2017 г.

Приведены результаты исследований современных геологических процессов и активной деятельности ледников на территории Горно-Бадахшанской автономной области.

Ключевые слова: рельеф, сель, оползень, геориск, геоопасность.

Республика Таджикистан расположена в горном регионе. Около 93% территории Республики Таджикистана занимают горы, которые входят в состав высочайших горных массивов Средней Азии - Тянь-Шаня и Памира. Диапазон высот колеблется от 300 до 7495 м над ур. м. В географическом отношении Таджикистан принято разделять на 5 природно-географических областей: Северный Таджикистан, Юго-Западный Таджикистан, Центральный Таджикистан, Западный Памир, Восточный Памир. Каждая из этих областей отличается климатическими условиями, рельефом, геологическим строением, антропогенной нагрузкой и др. 80% населения проживает в долинах юго-западных и северных районов республики, которые подвергаются опасными геологическими рисками[1-3].

Высокогорный регион республики - Горно-Бадахшанская автономная область, занимает около 50% (63000 км²) всей территории страны, где происходит активное таяние ледников, связанное с изменением климата.

Западный Памир характеризуется высокими горными хребтами, разделенными глубокими каньонами. К основным горным хребтам относятся: Дарвазский, Ванчский, Язгулемский, Рушанский, Шахдаринский и проходящий в меридиональном направлении

Адрес для корреспонденции: Узакова Шоира Низамжановна. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. E-mail: u-shoira@mail.ru

хребет Академии наук. Максимальные высоты хребтов находятся в диапазоне между 3000 и 7000 м над ур.м. [2].

Хребты имеют крутые склоны и покрыты многочисленными неглубокими саями. Сильно расчлененный рельеф, сложные литологические и тектонические особенности, а также интенсивное выветривание пород способствуют возникновению множества геологических гравитационных процессов (угроз) в этом районе.

На Памире имеется большое количество угроз природного характера. Их можно подразделить на две категории: локально зарождающиеся угрозы (камнепады, небольшие оползни, паводки, лавины и т.д.), имеющие локальное воздействие, и угрозы, удаленные очаги зарождения (стремительная эрозия озерных плотин, оползни, перекрывающие русла рек, крупные обвалы и т.д.).

Удаленные геологические угрозы это природные угрозы, которые зарождаются в высокогорных районах, вдали от населенных пунктов.

Изучение удаленных геологических угроз в Таджикистане началось, когда были исследованы долины Юго-Западного Памира, после катастрофического прорыва гляциального озера в Даште (Шахдара) в августе 2002 г. Проведенные многочисленные исследования, проводившиеся в то время, показали, что никакой непосредственной угрозы повторения событий в этой части района нет.

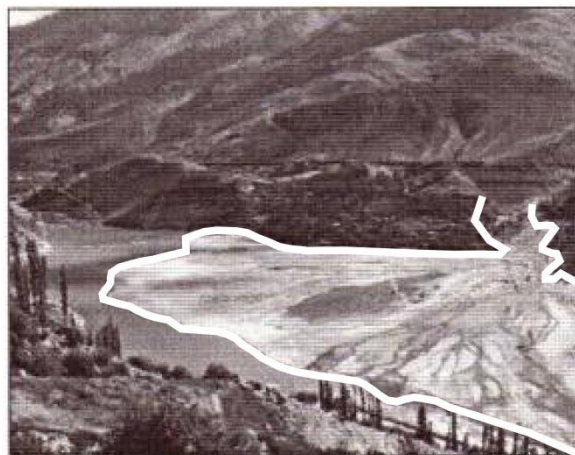


Рис.1. Область воздействия гляциального озера.

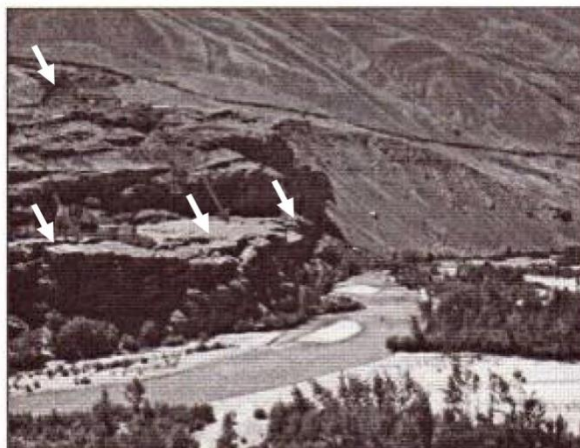


Рис.2. Обвалившаяся порода и широко раскрывшиеся трещины в восточной части долины реки Шахдара.

Всего в обследованном районе выявлено 277 озер, из которых 76 не представляют никакой угрозы для населения. Оставшиеся озера, а также дополнительно выявленные участки, имеющие потенциально удаленные угрозы, должны быть подвергнуты более тщательному обследованию. Около 180 озер имеют устойчивые плотины или же потенциал их увеличения отсутствует. Они не требуют проведения каких-либо мероприятий. Однако имеются критические участки, где возникновение крупных событий не исключается при определенном стечении обстоятельств (в конце сезона таяния, когда озера заполнены водой, оползни, вызванные землетрясением, могут сойти в озеро и спровоцировать прорыв естественной плотины) [3].

Но в юго-западной части района было выявлено три озера: Риваккуль, Зардивкуль и Дурумкуль, которые могут стать источником катастрофических паводков при особом стечении таких обстоятельств, как сильное землетрясение, которое может привести к прорыву плотины озер или когда озера заполнены водой, что может вызвать гравитационное смещение масс, в результате чего может произойти перелив водной массы через естественные плотины и, в конечном счете, возможно образование крупных паводков. В некоторых других районах также были выявлены потенциальные зоны, в которых могут произойти крупные катастрофические события, включая паводки, крупномасштабные проявления оползневых и каменных лавин [3].

Ледники Памира являются восполняемым природным хранилищем пресной воды, выгоды от которого получает все население региона. С другой стороны, эти ледники особенно уязвимы в отношении климатических изменений. Отступление ледников и соответствующая потеря водных запасов в долгосрочной перспективе, что является одним из многочисленных побочных воздействий глобального потепления, будет иметь до сих пор не подсчитанные последствия для населения, проживающего ниже по течению. Однако наибольшим проявлением изменения климата является образование гляциальных озер, формирующихся перед ледниками или ледяными плотинами, которые перекрывают

естественный переток. Резкое повышение уровня воды может привести к внезапному прорыву плотины. Очевидно, что образующийся в результате этого выброс огромного количества воды и обломочного материала, паводок в результате прорыва гляциального озера будет иметь катастрофическое воздействие на районы, расположенные ниже по течению.

На Памире за последние полвека отмечено формирование многочисленных ледниковых озер. За последние несколько десятилетий в регионе было зарегистрировано множество паводков, вызванных прорывом таких озер. Несмотря на неоднократно проводимые исследования в отдельных случаях, особенно в советское время, в настоящее время не существует подробного перечня ледниковых озер и прорывоопасных участков для Памира. Чрезвычайно важно провести обследование гляциальных озер для получения информации и данных о вызванных их прорывом паводках, с тем чтобы снизить потенциальную угрозу для населения, проживающего в районах ниже по течению.

Ускорившийся в последнее время процесс глобального потепления вызывает образование озер и повышение границы вечной мерзлоты. Этот последний процесс активизирует огромные количества рыхлообломочного материала, который перемещается в виде селевых потоков, или другие, более медленные смещения (оползание) масс. Оползни могут создавать завалы в долинах и таким образом перекрывать русла рек. Кроме того, если оползни сходят непосредственно к озеру, то это может вызвать образование опасного паводка с катастрофическим проявлением и воздействие на население, проживающего ниже по течению.

Как правило, население осведомлено о наличии локальных угроз. Ответственные лица в кишлаках или джамоатах могут ими управлять, используя местные ресурсы. Однако удаленные угрозы редко выявляются до тех пор, пока они не произойдут. Воздействие имеет региональный масштаб, и последствия обычно бывают катастрофическими. Управление такими угрозами должно осуществляться администрацией данного района, национальным правительством или даже с помощью международных организаций [4].

Хотя физическую причину многих природных событий нельзя устранить, геологические и гидрогеологические исследования, передовые инженерно-технические методы, осведомленность, готовность и эффективное обеспечение соблюдения правил землепользования могут помочь в снижении этих рисков.

Проведения исследований удаленных геологических угроз, зарождающихся в областях водораздела населенных долин Западного Памира, а также потенциальных быстротечных стихийных бедствий в данных регионах необходимы, чтобы уберечь население, проживающее ниже по течению, от опасного паводка и огромного количества рыхлообломочного материала с катастрофическим воздействием.

Чтобы реализовать данные исследования, необходимо провести изучение местности на основании анализа дистанционной съемки, с проведением вертолетных облетов и

многочисленных проверок на местности и использования других новейших методов исследований, чтобы получить достоверные данные.

Как видно из вышеописанных данных, для предотвращения катастрофических явлений в районе необходимо осуществлять и проводить сезонный и годовой мониторинг на удаленных участках Юго-Западного Памира и в целом на территории региона [5].

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

Существует несколько участков, где вероятность крупного обрушения склона или катастрофического паводка высока. Однако за развитием ситуации следует внимательно наблюдать:

-проводить замеры уровня воды в целом во всех озерах. Регистрировать минимальный и максимальный уровень воды (от 2 до 4 раз в год). Изменение уровня на стационарном водомерном посту и изменение абсолютного уровня озера;

- проводить наблюдение состояния неустойчивых склонов по берегам. Измерять ширину трещин весной и осенью (обращать внимание на увеличение скорости расширения трещин). Если скорость возрастает, то следует увеличить частоту замеров;

-осуществлять мониторинг изменения состояния озер в данном районе и регулярно (раз в год) проводить оценку ситуации;

-наблюдать за стоком всех рек ниже упомянутых озер. В случае выявления необычного уровня воды (слишком низкий, слишком высокий) или высокой концентрации наносов, выяснить причины;

-вести наблюдение за состоянием склонов в зоне разлома. При увеличении количества камнепадов проводить замеры ширины трещин. После крупных землетрясений усилить наблюдения.

Проводить оценку всех критических участков, указанных выше, каждые 3-5 лет или после крупных климатических аномалий и сильных землетрясений (используя в основном метод полевых исследований и использование обновленных космических снимков).

Предоставить исследователям, ведущим мониторинг катастрофических явлений, доступ к картографическим материалам (топографические карты, аэрофотоснимки, космоснимки высокого разрешения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антропов П.Я. Геология СССР. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1959, 726 с.
2. Атлас Таджикской ССР. Географическая часть. М.-Душанбе. 1968.
3. Брю Т., Хурни Х., Вирт-Штуки А. Таджикский Памир. Вызовы устойчивого развития в изолированном горном регионе. –CDE-IGUB, GeographicaBernensia, Спец.издание, 2003.
4. Коста Дж.Е., Шустер Р.Л. Формирование и прорыв естественных плотин. Бюллетень Геологического Общества США, 1988, 7.

5. Вальдер Дж.С., Коста Дж.Е.: Паводки в результате прорыва озер, запруженных ледниками: влияние типа стока воды из озера на масштаб паводка.- Процессы на поверхности земли и рельеф земной поверхности.1996, 21с.

Ш.Н.УЗАКОВА, И.Р.ҚАРАЕВ

**ХАТАРҲОИ ГЕОЛОГӢ ВА НАТИҶАИ ОНҲО ДАР ҚИСМАТИ
ҶАНУБУ-ҒАРБИИ ПОМИР**

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

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқотҳои равандҳои муосири геологӣ ва амалиёти фаъоли пирияхҳо дар ҳудуди Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон оварда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: релеф, сел, ярч, хатар, хатарҳои геологӣ.

Sh.N.UZAKOVA, I.R.QARAEV

**GEOLOGICAL THREATS AND THEIR CONSEQUENCE IN TERRITORY
SOUTH-WEST PAMIR**

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

The article presents the results of studies of modern geological processes and the vigorous activity of glaciers in the Gorno-Badakhshan Autonomous Region.

Key words: relief, mudflow, landslide, risk, geodanger.

УДК 556.53

Х.АБРОРОВ, А.С.РАДЖАБОВА

ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРНОГО ЗЕРАВШАНА

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

АН Республики Таджикистан

Поступила в редакцию 11.10.2017 г.

Рассматриваются общие вопросы качества воды бассейна реки Зеравшан, отдельные причины ухудшения и загрязнения, а также даны некоторые конкретные предложения по улучшению качества воды.

Ключевые слова: водные ресурсы, загрязнение воды, качество воды, речные и подземные воды, водоочистные сооружения, мусор, селевые явления, паводки.

К важнейшим проблемам охраны водных ресурсов относятся сохранение их качества и количества, а также борьба с неблагоприятными гидрологическими явлениями.

Качество речных и подземных вод в горах в целом выше, чем в густонаселенных и экономически развитых районах. Но такое состояние не освобождает от необходимости серьезного внимания к вопросам охраны водных ресурсов горных районов. Неблагоприятные природные явления в горах, как правило, в большей степени влияют на качество водных ресурсов. Это относится и к таким опасным явлениям, как селевые паводки. Под охраной количества водных ресурсов понимается управление их колебаниями в течение года – по сезонам, и многолетних – с помощью водохранилищ. Этот вид охраны природы пока в Горном Зеравшане не проводится.

В бассейне р.Зеравшан не встречаются почвы с высокой степенью засоленности, поэтому они не оказывают какого-либо отрицательного действия на качество наземных вод. Вода р. Зеравшан и ее крупных притоков имеет гидрокарбонатные свойства, в ней преобладают ионы кальция, она пригодна для питья и хозяйственных нужд. В ряде местностей подземные и наземные воды содержат мало йода, недостаток которого приводит к заболеваниям щитовидной железы, опуханию десен и гниению зубов.

Адрес для корреспонденции: Раджабова Аслия Саидовна. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 14А, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН РТ. E-mail: rajabova-70@mail.ru

Уровень минерализации вод р. Зеравшан увеличивается с востока на запад, пик приходится в период зимнего маловодья.

Содержание кислорода в водах рек является удовлетворительным и изменяется от 45 до 100%.

Если количество органических веществ в водах рек в период маловодья составляет от 0 до 13.2 мг/л, то в период полноводья (г. Пенджикент) доходит до 13.8 мг/л, то есть немного повышается.

Река Зеравшан в год промывает в среднем 4310 тыс. т взвешенных наносов. Вместе с почвой безвозвратно смывается большое количество гумуса, азота и фосфора, в результате чего снижается урожайность культур, повышается степень эрозии почвы.

На сегодня основными источниками загрязнения р. Зеравшан и ее притоков являются выбросы отходов горной промышленности, молочных и вино-водочных заводов, рыбного комбината, бань, лечебных учреждений, туалетов города и городков (для коммунально-бытовых нужд город Пенджикент в сутки расходует до 30.4 тыс. м³ воды), взрывчатых и хлорных веществ, минеральных и органических удобрений и др. Эти обстоятельства способствуют возникновению различных инфекционных заболеваний.

В Пенджикентском районе состояние водоочистных сооружений находится в неудовлетворительном состоянии. Город Пенджикент имеет два водоочистных сооружения суммарной мощностью 2.7 тыс. м³ воды в сутки. Их работа основана на биологических и механических методах, которые не в силах выполнить поставленные задачи. В городке Согдиен и селе Гусар водоочистные сооружения также в неудовлетворительном состоянии, канализация требует ремонта и обновления. В других населенных пунктах вообще нет канализации - такое состояние угрожает загрязнению подземных вод и реки Зеравшан.

По статистическим данным, ежегодно в среднем выбрасывается 103 тыс. т мусора, который своевременно не собирают и не утилизируют, вследствие чего происходит сильное загрязнение окружающей среды.

Река Зеравшан на территории Таджикистана в среднем течении подвержена воздействию сточных вод от расположенных здесь предприятий, особенно это проявляется на ее притоке - реке Ягноб. По данным гидропоста Такфон, качество воды реки Ягноб изменилось по тяжелым металлам следующим образом: если в 1988 г. среднее содержание меди было равно 0, цинка – единичные случаи (5.4 мкг/л), свинца – два случая ниже сброса Анзобского ГОКа (2.2 и 5.3 мкг/л), сурьмы – 2.3 мкг/л, то в 1991 г. среднегодовые концентрации меди составляли 1.3 мкг/л, цинка – 1 мкг/л, ртути – 0; в последние годы содержание ртути достигло 50 ПДК (50 мкг/л). Средние концентрации соединений азота по длине рек от истоков к устью изменились несущественно, продолжая оставаться ниже ПДК (максимальные превышают 1-3 ПДК) [4].

Минерализация воды изменялась несущественно - 200-350 мг/л, сульфаты составляли в среднем 60 мг/л, достигнув в Пенджикенте 152 мг/л, кислородный режим оставал-

ся удовлетворительным – 10-9 мг/л, по другим загрязняющим компонентам к замыкающему створу (г.Пенджикент) существенных изменений не отмечается. Фенолы и нефтепродукты не обнаружены, пестициды эпизодически наблюдаются на всех участках рек (0.017-0.03 мг/л), по цинку и меди отмечаются единичные случаи (1-2 ПДК). Диапазон изменений интегрального гидрохимического показателя характеризует качество воды по длине рек от II до IV-VI классов. Последние характерны для участка реки после сбросов Анзобского ГОКа [2].

Важным вопросом для Анзобского ГОКа является складирование и хранение отходов обогатительного производства. Первая очередь хвостохранилища вместимостью 2.9 млн. м³ построена по проекту институтов „Казмеханобр” и „Средазнипроцветмет” и введена в эксплуатацию в 1986 г. Через 10 лет фактическое его заполнение составило немногим более трети. Хвостохранилище расположено в 6 км от фабрики в глубоком скалистом ущелье с осыпями на бортах и крутопадающим тальвегом с отводом в р. Габеруд через тоннель во избежание загрязнения бассейна р. Зеравшан.

Хвосты обогащения подают на хвостохранилище по двум ниткам стальных труб диаметром 425 мм. Обратная подача очищенной технической воды на фабрику идет по трубам 250 мм.

Надо отметить, что после 1994 г. при возникновении селей и оползней были разрушены трубы, по которым проходили сбросовые воды от Анзобского ГОКа к хвостохранилищу. Поэтому были вынуждены сбрасывать эти воды через ручей Джижикрут в р. Ягноб. Но в конце 2010 г. были отремонтированы разрушенные трубы, а теперь эти воды сбрасывают в специально созданные хвостохранилища. Поэтому надеемся, что в дальнейшем качество воды р. Ягноб и в целом р. Зеравшан будет улучшаться [3].

С точки зрения сегодняшнего дня, качество воды в реках относится ко II-ому классу чистой воды и I-ому классу наиболее чистой воды [4], что связано с эффективной работой КОС г. Пенджикента и вводом в эксплуатацию хвостохранилища на Анзобском ГОК (ранее в этих местах качество воды соответствовало II классу).

Отметим, что в бассейне р. Зеравшан имеется 8 пунктов наблюдения за качеством воды (три пункта на р. Зеравшан, остальные на её притоках). Причем все пункты расположены в низовьях бассейна. Это, по-видимому, объясняется тем, что основная антропогенная нагрузка (Анзобский ГОК и г. Пенджикент) приходится на эту территорию.

В геологической емкости территории бассейна р.Зеравшан доминируют крутые горные вершины, селеопасные и лавиноопасные участки занимают широкие территории и чрезвычайные ситуации в среднем составляют более 150 случаев в год или около 7% от общего количества по всей территории республики. При этом большинство населения бассейна, а именно население районов Айни и Пенджикента, ежегодно несет большие геоэколого-экономические, а иногда и человеческие потери.

Размер экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций 2002-2005 гг. только в двух районах Айни и Пенджикент Зеравшанской долины является весомым и составляет

более семи миллионов долларов США, включая ущербы для 17 отраслей хозяйства этих районов [3].

Охрана и восстановление лесов, ограничение выпаса, мероприятия по борьбе с селями, оползнями, катастрофическими паводками от прорыва висячих ледников в горные озера и прорыва озер, контроль химического и биологического загрязнения, а также количественного истощения – это основные направления деятельности по сохранению наземных и водных экосистем зоны формирования стока. Для регулирования рекреационных нагрузок на хрупкие горные экосистемы, предотвращения загрязнения водных источников отдыхающими и сокращения биологического разнообразия необходима разработка и внедрение законодательных и институциональных мер по управлению туризмом.

Основным недостатком существующих схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, схем комплексной охраны природы, схем развития и размещения коммунального хозяйства и схем размещения объектов водохозяйственного и мелиоративного строительства является то, что в них не достаточно учтено устойчивое, справедливое и разумное обеспечение водой экосистем.

В рыночных условиях, где основную роль играют экономические механизмы, эффективность использования воды и показатели водосбережения в подавляющем большинстве будут зависеть от экономической оценки стоимости экосистемных услуг, платы за водные ресурсы и водопользование, а экономические механизмы водосбережения и эффективного использования воды будут превалирующими над остальными. Предстоит установить хозяйственный (экономический) и экологический статус водных экосистем, включая экосистемы искусственных водоемов и водотоков.

Следует отметить, что в последние годы на Джилауском золоторудном месторождении в СП «Зеравшан» практикуется применение отвального выщелачивания обедненных руд. Важная роль при переработке руд этим методом отводится экологическим требованиям, которые должны соответствовать международным стандартам.

В зимний период намечено внедрить метод капельного орошения, менее подверженный влиянию зимних условий, так как оросители находятся на глубине 500 мм, что предотвращает высокий уровень испарения. При этом необходимо уделить особое внимание состоянию подстилки, так как наличие в ней трещин и отверстий приведет к загрязнению грунтовых вод.

Необходимо отметить, что вода имеет не только экономическую, но также социальную, религиозную, культурную и экологическую ценность. Такое четкое различие между ценностью воды, то есть ее всеобщей пользой, и ценой воды, то есть платой, взимаемой с потребителей, способствует объективному подходу к выбору стратегии обеспечения доступа к воде независимо от социальной категории населения.

Истощение и загрязнение водных источников обуславливают ухудшение санитарных и экологических условий, а нарастающий дефицит воды снижает уровень продовольственного обеспечения и занятости населения, что в целом затрудняет решение проблемы

борьбы с бедностью в регионе. Для решения всех этих проблем необходимо развивать многостороннее сотрудничество между заинтересованными странами в совместном управлении и использовании водных ресурсов межгосударственных водных бассейнов.

Водные ресурсы Горного Зеравшана имеют свою особенность. Настало время их комплексного использования. Здесь свою лепту могут внести акционерные общества и зарубежные коллеги.

Таким образом, из приведенных исследований вытекает, что водные ресурсы Горного Зеравшана беспредельны, но, к сожалению, до сегодняшнего дня они не используются в достаточной степени. Суверенный Таджикистан в этом плане ликвидировал многие экономические и политические препятствия. Строительство туннелей «Истиклол» и «Шахристан» благоприятствует дальнейшему эффективному использованию природных ресурсов, в том числе водных ресурсов. Строительство каскада гидроэлектростанций на р. Зеравшан мощностью от 50 до 300 мВт позволит развивать горнорудную и пищевую промышленность, обрабатывать неиспользованные земли путём их орошения с помощью электрических насосов, развивать рекреацию и туризм.

Строительство водохранилищ в регионе способствует развитию гидроэнергетики, рыбоводства, рекреации, появятся новые рабочие места и, в конечном счете, улучшится жизнь людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы развития и размещения производительных сил Таджикистана. / Отв. ред. Мирзоев Р.К. – Душанбе, 1988, 285 с.
2. Салимов Т. Управление качеством вод. / Под ред. Кобулиева З.В. – Душанбе, 2001, 191 с.
3. Аброров Х., Шерматов Н. Формирование водных ресурсов Горного Зеравшана и их экономический потенциал. – Душанбе, 2013, 132 с.
4. Тохиров И.Г., Купайи Г.Д. Водные ресурсы Республики Таджикистан. ч. 1. – Душанбе, 1998, 200 с.

Ҳ.АБРОРОВ, А.С.РАҶАБОВА

МАСЪАЛАҲОИ ҲИФЗИ ЗАХИРАҲОИ ОБИИ

КЎҲИСТОНИ ЗАРАФШОН

Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи

Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола масъалаҳои умумии сифати оби ҳавзаи дарёи Зарафшон, баъзе сабабҳои паст шудани сифату тозагӣ ва чораю тадбирҳои беҳтар намудани он, ба таври мушаххас, мавриди назар қарор гирифтааст.

Калимаҳои калидӣ: захираҳои об, ифлосшавии об, сифати об, обҳои сатҳӣ ва зерзаминӣ, иншоотҳои обтозакунанда, партовҳо, ходисаҳои сел, обҳезӣ.

H.ABROROV, A.S.RAJABOVA

THE PROBLEMS OF PROTECTION OF WATER RESOURCES OF MOUNTAIN ZERAVSHAN

*Institute of water problems, hydropower and ecology,
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

In the paper general issues of water quality in the Zeravshan river basin and some causes of deterioration and pollution are considered, as well as some specific proposals to improve quality of water are given.

Key words: water resources, the polluted waters, quality of water, river and underground waters, water cleaning construction, garbage, torrential phenomena, leashes.

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

К 80-ЛЕТИЮ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
АБДУЛХАКА РАДЖАБОВИЧА ФАЙЗИЕВА



Абдулхак Раджабович Файзиев – известный геолог, специалист в области минералогии, кристаллографии, геохимии и полезных ископаемых, член-корреспондент Академии наук Республики Таджикистан, действительный член Европейской Академии естественных наук, заведующий лабораторией полезных ископаемых Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии, профессор кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых, доктор геолого-минералогических наук родился 15 марта 1938 г. в кишлаке Ёри Пенджикентского района Ленинабадской области Республики Таджикистан.

В 1954 г. он поступил на естественный факультет Таджикского государственного университета. Первые шаги в геологии он сделал под руководством видного ученого-геолога О.К.Чедия, с которым после первой учебной практики в Каратагском ущелье работал на Дарвазе. Там он впервые познакомился с поиском, разведкой и добычей россыпного золота. А.Р.Файзиев многому научился у вдумчивого педагога и неутомимого исследователя геологии Тянь-Шаня М.М.Кухтикова, с которым он работал в 1957 г. в пределах Зеравшанского и Туркестанского хребтов.

А.Р.Файзиев хорошую учебу в университете совмещал с активными занятиями спортом - фехтованием. В 1956 г. он был участником первой Спартакиады народов СССР, которая проходила в г. Москве, в Лужниках. В общей сложности он находился в составе сборной команды Таджикистана по фехтованию около 20 лет.

После окончания университета в 1959 г., он получил квалификацию инженера-геолога и был направлен на работу в Управление геологии Таджикистана, в Южно-Таджикскую геологоразведочную экспедицию, где в качестве коллектора, а затем младшего геолога проводил полевые исследования на южном склоне Гиссарского хребта.

В октябре 1960 г. по приглашению заведующей кафедрой минералогии и петрографии естественного факультета академика С.М.Юсуповой перешел на преподавательскую работу в Таджикский госуниверситет. Одновременно он принимал участие в работах различных геологических партий Управления геологии, занимаясь геологической съемкой масштаба 1:25000 и поисками и разведкой месторождений различных полезных ископаемых. Им в процессе работы открыты три месторождения флюорита (Тунихарв, Азрек, Саркори Шариф) и несколько рудных точек.

В университете А.Р.Файзиев был зачислен на должность ассистента кафедры минералогии и петрографии. В сентябре 1966 г. он переведен на должность старшего преподавателя кафедры минералогии и петрографии. В том же году, без прохождения аспирантуры он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему “Минералогия и особенности генезиса флюоритовых месторождений Юго-Западного Каратегина (Южный Тянь-Шань)” в Институте геологических наук Академии наук Казахстана в г. Алма-Ате. В 1968 г. А.Р.Файзиев был утвержден в ученом звании доцента по кафедре минералогии и петрографии. Он продолжает заниматься изучением месторождений флюорита, одного из важных полезных ископаемых Таджикистана. Теперь район его исследований расширяется и охватывает не только Каратегинский, но и Гиссарский и Зеравшанский хребты. В семидесятых годах выходит цикл статей А.Р.Файзиева, посвященных составу и свойствам флюорита, его кристалломорфологии, термобарическим параметрам кристаллизации, термолюминесценции, фотолюминесценции и др. особенностям флюорита – важным факторам для установления эрозионного среза объектов и оценки перспективности оруденения. Результаты этих исследований легли в основу его докторской диссертации, которая была им представлена в 1980 г. По рекомендации академика В.И.Смирнова диссертация была принята к защите Всесоюзным научно-исследовательским институтом минерального сырья (г. Москва). Защита диссертации прошла в мае 1981 г., а в декабре она была утверждена ВАК СССР. Через год, в декабре 1982 г. А.Р.Файзиев был утвержден ВАК на должность профессора.

В марте 1985 г. А.Р.Файзиев был назначен и.о. декана геологического факультета Таджикского госуниверситета, а в марте 1986 г. был избран деканом этого факультета. На этой должности он проработал до сентября 1996 г.

В 1996 г. А.Р.Файзиева избрали членом-корреспондентом Академии наук Республики Таджикистан. В 1997 году его назначили директором Института геологии АР Таджикистан и он проработал на этой должности до 2011 г. Абдулхак Раджабович принял Институт в тот момент, когда большинство ученых-геологов уехало за пределы республики и остро не хватало специалистов. Принимая во внимание это, он стал готовить специалистов высокой квалификации. Следует отметить, что во время его работы в качестве директора он подготовил 10 кандидатов геолого-минералогических наук. В настоящее время под его руководством подготовлено 17 кандидатов геолого-минералогических наук. С 2011 г. А.Р.Файзиев является заведующим лабораторией полезных ископаемых Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ.

А.Р.Файзиев не довольствуется достигнутыми результатами. Теперь его исследования охватывают также флюоритовые месторождения Забайкалья, Приморья, Казахстана, Узбекистана и других флюоритовых регионов СНГ. На основании изучения образцов флюорита из указанных регионов выявлены температура, давление, состав, агрегатное состояние и концентрация минералообразующих растворов, определены оптимальные интервалы температур и давлений промышленных типов месторождений, которые рекомендованы для использования в поисково-оценочных целях. Кроме того, в его статьях рассматриваются и теоретические вопросы геологии, в частности связь оруденения с магматизмом, создание геолого-генетических моделей флюоритового оруденения, идея идентичности скарново-полиметаллической и гидротермально-полиметаллической минерализаций в месторождениях Кармазара, флюоритоносность Средней Азии и т.д.

Наряду с флюоритом, он включил в круг своих исследований целый ряд других минералов – аксинит, ортит, галенит, сфалерит, антимонит, барит, шпинель и др. Много опубликованных работ А.Р.Файзиева посвящено минералогии, термобарогеохимии и условиям образования месторождений железа, золота, серебра, свинца, цинка, мраморного оникса, аметиста, барита и др. Им описана первая находка сульфида марганца в Центральной Азии – алабандина. Впервые в Таджикистане им описан бритоцит, редкоземельно-кальциевый фосфат-силикат, старкеит, железистый доломит, аллофан, самородный селен, аурихальцит, гиббсит, а также в нижних горизонтах месторождения Джижикрут – вюртцит, а в месторождении Большой Канимансур – ангидрит. В последние годы А.Р.Файзиев стал изучать месторождения самоцветов Памира. Наряду с известными самоцветами, такими как шпинель, лазурит, рубин, сапфир, топаз и цветной турмалин были исследованы нетрадиционные виды камнесамоцветов – скаполит, клиногумит, кордиерит.

А.Р.Файзиев внес большой вклад в оценку глубоких горизонтов и флангов одного из крупнейших полиметаллических (Ag, Pb, U, Cu, Bi, Zn) месторождений земного шара – Большой Канимансур. Его вклад в детальную разведку этого месторождения был отмечен Министерством геологии СССР.

А.Р.Файзиев является инициатором изучения нового для Таджикистана вида минерализации, связанного с карбонатами, характеризующегося многообразием типов

ценных полезных ископаемых, таких как ниобий, тантал, редкоземельные и радиоактивные элементы, флюорит, целестин, цирконий, цветные металлы и т.д. Им впервые открыты и детально исследованы карбонатиты в щелочных массивах Дункельдик (Восточный Памир) и Дарай Пиёз (Центральный Таджикистан). В первом из них обнаружено гигантское редкоземельно-флюоритовое месторождение, а во втором – более трех десятков новых минералов.

Наряду с научной деятельностью, А.Р.Файзиев ведет большую педагогическую работу. С 1960 года он читает курс “Минералогия”, с 1965 г. - “Кристаллография”, а с 1974 г. - спецкурсы “Геологические структуры рудных полей и месторождений” и “Геологические критерии поисков месторождений полезных ископаемых» на геологическом факультете Таджикского национального университета.

А.Р.Файзиев – активный участник многих международных и республиканских совещаний и симпозиумов, на которых он выступал не только с докладами по различным актуальным вопросам геологии, но и являлся членом оргкомитетов.

Абдулхак Раджабович принимает активное участие в общественной жизни, являясь членом Европейской ассоциации кристаллографов, председателем Таджикского отделения Азиатско-Тихоокеанского союза термобарогеохимиков, Союза термобарогеохимиков СНГ и Среднеазиатской подкомиссии Комиссии по поисковой минералогии и минералогическому картированию стран СНГ, Комитета по государственным премиям Республики Таджикистан имени Абуали ибн Сино в области науки и техники, методической Комиссии Всероссийского минералогического общества и Среднеазиатского петрографического совета.

А.Р.Файзиев – автор более 500 научных работ, в том числе 8 монографий и 7 учебных пособий по минералогии и кристаллографии. Им подготовлены учебники по минералогии на таджикском языке. Ряд его работ опубликован в Болгарии, Португалии, США, Италии, Канаде, Германии, Китае, России, Испании и других странах.

Принимая во внимание заслуги А.Р.Файзиева в области минералогии, в 2007 г. ученые России и Канады назвали новый минерал, найденный в ущелье Дарай-Пиёз (Рапштский район) в его честь – файзиевитом. В честь него назван также новый вид ископаемого организма - конодонта *Polignatus Faizievi*.

В 2015 г. А.Р.Файзиев решением XII съезда Российского минералогического общества был избран «Почетным членом Российского минералогического общества».

А.Р.Файзиев совместно с коллегами из Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана РАН неоднократно проводил полевые исследования в Дарайпиёзском массиве щелочных пород. В результате им опубликованы статьи и открыт новый минерал – гармит.

Его заслуги отмечены государственными наградами «Заслуженный работник Таджикистана», «Отличник народного образования», награжден медалью Европейской

Академии естественных наук им. Готфрида Вильгельма фон Лейбница и Орденом чести, медалью «Олими пухтакор» АН РТ.

Свое 80-летие Абдулхак Раджабович Файзиев встречает в расцвете творческих сил и энергии. Желаем ему крепкого здоровья и благополучия.

Ф.К.Рахими, Х.Х.Муминов, М.М.Фозилзода,
И.С.Оймухаммадзода, Ш.А.Худобахш, Ф.А.Малахов,
М.Л.Гадоев, Ф.А.Файзиев, Н.С.Сафаралиев, С.Эльназаров

Редакция и корректура – Н.Г.Сапожников

Сдано в набор 11.04.2018 г. Подписано в печать 25.04.2018 г.
Печать офсетная. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times. Усл. печ. л.8. Заказ № ____.
Тираж 300 экз.

*Адрес редколлегии: 734025, Душанбе, пр.Рудаки, 33, каб. 47.
Тел.:2-21-62-64. E-mail: danrt@mail.ru
Издательство «Дониш»: 734029, Душанбе, ул.Айни, 121, корп.2.*
