

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- З.Х.Рахмонов, Ф.З.Рахмонов.** Поведение коротких тригонометрических сумм Г.Вейля в больших дугах.....625
- Д.К.Тухлиев.** О наилучшем приближении в среднем в пространстве Бергмана B_2634
- Г.А.Юсупов, М.А.Мавлоназаров.** О среднеквадратических совместных приближениях 2π -периодических функций в L_2642
- М.М.Каримов.** Приложение принципа смены индекса к исследованию бифуркации Андронова-Хопфа.....650

ИНФОРМАТИКА

- Ф.С.Комилиён, М.Ф.Рахимов.** Микросервисная архитектура: от монолита к гибким распределенным системам.....659

АСТРОНОМИЯ

- Г.И.Кохирова, М.Жанг, У.Х.Хамроев, С.Ли, А.И.Джонмухаммади, М.Н.Латипов.** Семейство астероидов с кометоподобными орбитами, связанное с метеороидным роем Дельта-Канкриды.....668

ФИЗИКА

- Ш.Ш.Азимов, В.Н.Петухов, Т.А.Хасанов, А.Н.Лакаев.** Влияние поверхности раствора на распространение сигналов акустической эмиссии в ходе гетерогенной химической реакции с выделением газа.....679

ЭКОЛОГИЯ

- Ш.Р.Муродов, Ф.Мухидинова, С.С.Рахматшоев, Б.Б.Баротов, И.Мирсаидзода.** Проведение радиоэкологического мониторинга на историческом объекте Аджинатеппа в районе Кушониён Таджикистана.....685

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Т.Б.Холматов, К.А.Рахимов, М.М.Тагоев, С.К.Кодирзода, У.М.Мирсаидов.** Получение сырьевых материалов для производства фарфора из алюмосиликатных руд.....690
- М.Н.Абдусалымова, М.А.Бадалова, Ф.А.Махмудов.** Построение диаграмм состояний квазибинарных разрезов систем Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi и исследование свойств соединений.....695

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- С.М.Досаев, К.И.Нематуллоев, М.М.Тагоев, И.М.Рахимов, У.М.Мирсаидов.** Кинетика солянокислотного разложения магнетитовой руды месторождения Харангон Таджикистана.....701
- В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев, И.Н.Ганиев, Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов.** Твердые растворы на основе антимонидов Tb_4Sb_3 , Nd_4Sb_3 и их электрофизические свойства.....705

ГЕОХИМИЯ

- Ю.Я.Валиев, Х.Б.Кабгов.** Геохимические особенности распределения редких элементов в углях Зиддинского месторождения.....712

БИОТЕХНОЛОГИЯ

- М.Б.Икрами, Х.А.Саидов, М.Б.Шарипова, К.К.Мирзорахимов.** Изучение острой токсичности экстрактов из корней лоха узколистного.....719

ГЕНЕТИКА

- Б.М.Негматов.** Создание клейстогамных линий и их использование в селекции хлопчатника726

- Указатель статей, опубликованных в 2023 г.**.....731

- Авторский указатель**739

CONTENTS

MATHEMATICS

- Z.Kh.Rakhmonov, F.Z.Rakhmonov.** Behavior of short exponential sums of G.Weyl in major arcs625
- D.K.Tukhliev.** On the best approximation on average in Bergman space B_2634
- G.A.Yusupov, M.A.Mavlonazarov.** On mean-square joint approximations of 2π -periodic functions in L_2642
- M.M.Karimov.** Application of the index change principle to the study of the Andronov-Hopff bifurcation.....650

INFORMATICS

- F.S.Komiliyon, M.F.Rakhimov.** Microservice architecture: from monolith to flexible distributed systems659

ASTRONOMY

- G.I.Kokhirova, M.Zhang, U.H.Khamroev, X.Li, A.I.Zhonmuhammadi, M.N.Latipov.** A family of asteroids with comet-like orbits associated with the Delta-Cancrids meteoroid stream668

PHYSICS

- S.S.Azimov, V.N.Petukhov, T.A.Hasanov, A.N.Lakaev.** Influence of the solution surface on the propagation of acoustic emission signals during a heterogeneous chemical reaction with gas evolution.....679

ECOLOGY

- Sh.R.Murodov, F.Muhidinova, S.S.Rakhmatshoev, B.B.Barotov, I.Mirsaidzoda.** Conducting radioecological monitoring at the historical site of Ajinateppa in the Kushoniyon district of Tajikistan685

INORGANIC CHEMISTRY

- T.B.Kholmatov, K.A.Rakhimov, M.M.Tagoev, S.Q.Qodirzoda, U.M.Mirsaidov.** Obtaining raw materials for the production of porcelain from aluminum silicate ores.....690
- M.N.Abdusalyamova, M.A.Badalova, F.A.Makhmudov.** Construction of ternary diagrams Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi systems and the study of the properties of the obtained compounds695

PHYSICAL CHEMISTRY

- S.M.Dosaev, K.I.Nematulloev, M.M.Tagoev, I.M.Rahimov, U.M.Mirsaidov.** Kinetics of the phosphoric acid decomposition process of sintered borosilicate ore concentrate701
- V.D.Abukhaev, M.A.Balaev, I.N.Ganiev, Kh.Kh.Nazarzoda, B.D.Saydaliev, S.O.Ubaydov.** Solid solutions based on antimonides Tb_4Sb_3 , Nd_4sb_3 and their electrophysical properties.....705

GEOCHEMISTRY

Yu.Ya.Valiev, H.B.Kabgov. Geochemical features of the distribution of a number of rare elements in the coals of the Ziddi deposit.....712

BIOTECHNOLOGY

M.B.Ikrami, H.A.Saidov, M.B.Sharipova, K.K.Mirzorahimov. Studying the acute toxicity of extracts from the roots of locha night-leafed.....719

GENETICS

B.M.Negmatov. Creation of cleistogamous lines and their use in cotton breeding.....726

The index of clauses published in 2023.....731

The author's index.....739

УДК 511.344

Специальность: 1.1.5 – Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика

Академик НАН Таджикистана З.Х.Рахмонов, Ф.З.Рахмонов

ПОВЕДЕНИЕ КОРОТКИХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СУММ Г.ВЕЙЛЯ В БОЛЬШИХ ДУГАХ

*Национальная академия наук Таджикистана,**Институт математики им. А.Джураева**Для коротких тригонометрических сумм Г.Вейля вида*

$$T_n(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(\alpha m^n),$$

в малых окрестностях центра больших дуг получена асимптотическая формула с остаточным членом, а в больших дугах, кроме малых окрестностей их центров, найдена новая нетривиальная оценка.

Ключевые слова: короткая тригонометрическая сумма Г.Вейля, малая окрестность центров больших дуг, большие дуги кроме малых окрестностей их центров.

Согласно теореме Дирихле о приближении действительных чисел рациональными числами, каждое α из промежутка $[-\varepsilon, 1 - \varepsilon]$, $\varepsilon \tau = 1$ представимо в виде

$$\alpha = \frac{a}{q} + \lambda, \quad (a, q) = 1, \quad 1 \leq q \leq \tau, \quad |\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}.$$

Для некоторого P , $P < 0, 1\tau$ через $\mathfrak{M}(P)$ обозначим числа α , для которых $q \leq P$, через $\mathfrak{m}(P)$ обозначим оставшиеся α . $\mathfrak{M}(P)$ и $\mathfrak{m}(P)$ соответственно называются большими и малыми дугами.

Р.Вон [1], изучая в больших дугах тригонометрические суммы Г.Вейля вида

$$T_n(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(\alpha m^n),$$

воспользовавшись оценкой Хуа Ло-Гена [2] для полных тригонометрических сумм вида

$$S_b(a, q) = \sum_{k=1}^q e\left(\frac{ak^n + bk}{q}\right) \ll q^{\frac{1}{2} + \delta}(b, q), \quad S(a, q) = S_0(a, q), \quad (1)$$

b – произвольное целое число, δ – произвольное положительное число, не превосходящее 0.00001, методом Ван дер Корпута доказал:

Адрес для корреспонденции: Рахмонов Зарулло Хусенович, Рахмонов Фируз Заруллоевич. 734063, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул. Айни, 299/4, Институт математики АН РТ. E-mail: zarullo_r@mail.ru, rakhmonov.firuz@gmail.com.

$$T(\alpha, x) = \frac{S(a, q)}{q} \int_0^x e(\lambda t^n) dt + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon} (1+x^n |\lambda|)^{\frac{1}{2}}\right).$$

При условии, что α очень хорошо приближается рациональным числом со знаменателем q , то есть

при выполнении условия $|\lambda| \leq \frac{1}{2nqx^{n-1}}$, он также доказал:

$$T(\alpha, x) = \frac{x S(a, q)}{q} \int_0^1 e(\lambda t^n) dt + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right). \tag{2}$$

Теорема 1. Пусть $\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y$, тогда при $\{n|\lambda|x^{n-1}\} \leq \frac{1}{2q}$ имеет место формула

$$T(\alpha, x, y) = \frac{S(a, q)}{q} T(\lambda; x, y) + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right),$$

а при $\{n|\lambda|x^{n-1}\} > \frac{1}{2q}$ имеет место оценка

$$|T(\alpha, x, y)| \ll q^{1-\frac{1}{n}} \ln q + \min\left(yq^{-\frac{1}{n}}, \lambda^{-\frac{1}{2}} x^{1-\frac{n}{2}} q^{-\frac{1}{n}}\right).$$

Следствие 1.1. Пусть $\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y$, $|\lambda| \leq \frac{1}{2nqx^{n-1}}$, тогда имеет место соотношение

$$T(\alpha, x, y) = \frac{S(a, q)y}{q} \int_{-0.5}^{0.5} e\left(\lambda\left(x - \frac{y}{2} + yt\right)^n\right) dt + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right).$$

Следствие 1.2. Пусть $\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y$, $\frac{1}{2nqx^{n-1}} < |\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}$, тогда имеет место оценка

$$T(\alpha, x, y) \ll q^{1-\frac{1}{n}} \ln q + \min\left(yq^{-\frac{1}{n}}, x^2 q^{\frac{1}{2}-\frac{1}{n}}\right).$$

Следствие 1 является обобщением (2) для коротких тригонометрических сумм Г. Вейля вида $T(\alpha; x, y)$. Частный случай теоремы 1 при $n = 3$ ранее был доказан в [3] и является уточнением теоремы 1 работы [4]. Доказательство теоремы 1 проводится методом оценки специальных тригонометрических сумм Ван дер Корпута с применением формулы суммирования Пуассона [5] и оценки (1).

Доказательство теоремы 1. Пользуясь ортогональным свойством полной линейной рациональной тригонометрической суммы, находим

$$T(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e\left(\frac{ak^n}{q} + \lambda m^n\right) \sum_{\substack{k=0 \\ k \equiv m \pmod{q}}}^{q-1} 1 = \frac{1}{q} \sum_{b=0}^{q-1} T_b(\lambda; x, y) S_b(a, q), \quad (3)$$

где

$$T_b(\lambda; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e\left(\lambda m^n - \frac{bm}{q}\right), \quad T(\lambda; x, y) = T_0(\lambda; x, y).$$

Далее, не ограничивая общности будем считать, что $\lambda \geq 0$. Случай $\lambda \leq 0$, сводится к случаю $\lambda \geq 0$, если формуле (3) придадим форму

$$\overline{T(\alpha; x, y)} = \frac{1}{q} \sum_{b=0}^{q-1} T_{q-b}(-\lambda; x, y) S_{q-b}(q-a, q) = \frac{1}{q} \sum_{b=0}^{q-1} T_b(-\lambda; x, y) S_b(q-a, q).$$

Имея в виду, что $n\lambda x^{n-1} - \{n\lambda x^{n-1}\}$ – целое число, представим $T_b(\lambda; x, y)$ в виде

$$T_b(\lambda; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(f_b(m)),$$

$$f_b(m) = \lambda m^n - (n\lambda x^{n-1} - \{n\lambda x^{n-1}\})m - \frac{bm}{q}.$$

Находим производную первого и второго порядка функции $f_b(m)$:

$$f_{b'}(m) = n\lambda(m^{n-1} - x^{n-1}) + \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q}, \quad f_{b''}(m) = n(n-1)\lambda m^{n-2} \geq 0.$$

Следовательно функция $f_{b'}(m)$, $m \in (x-y, x]$ является неубывающей, поэтому при любом b , $b = 0, 1, \dots, q-1$ имеет место неравенство

$$f_{b'}(x-y) < f_{b'}(m) \leq f_{b'}(x). \quad (4)$$

Оценивая $f_{b'}(x)$ сверху, имеем:

$$f_{b'}(x) = \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} < 1 - \frac{b}{q}. \quad (5)$$

Для оценки снизу $f_{b'}(x-y)$, воспользовавшись неравенством

$$W = \sum_{k=2}^{n-1} (-1)^k C_{n-1}^k x^{n-1-k} y^k \geq 0, \quad n \geq 3, \quad 3x \geq (n-3)y, \quad (6)$$

а также условиями $|\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}$ и $\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y$, имеем

$$\begin{aligned}
 f'_b(x-y) &= -n(n-1)\lambda x^{n-2}y + n\lambda W + \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} \geq \\
 &\geq -n(n-1)\lambda x^{n-2}y - \frac{b}{q} \geq -\frac{n(n-1)x^{n-2}y}{q\tau} - \frac{b}{q} \geq -1 + \frac{1}{2q}.
 \end{aligned}$$

Отсюда, из (5) и (4), получим

$$-1 + \frac{1}{2q} < f'_b(m) < 1 - \frac{1}{q}.$$

С учётом этого неравенства, применяя к сумме $T_b(\lambda; x, y)$ формулу суммирования Пуассона [5], при $\alpha = -1, \beta = 1, \eta = 0.5$, получим

$$T_b(\lambda; x, y) = \sum_{h=-1}^1 I_b(h) + O(1), \tag{7}$$

$$I_b(h) = \int_{x-y}^x e(f_b(u, h)) du, \quad f_b(u, h) = f_b(u) - hu.$$

Функция

$$f'_b(u, h) = n\lambda(u^{n-1} - x^{n-1}) + \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} - h$$

на отрезке $u \in [x-y, x]$ является неубывающей функцией, поэтому имеет место неравенство

$$f'_b(x-y, h) \leq f'_b(u, h) \leq f'_b(x, h).$$

Воспользовавшись формулой (6), а также условиями $|\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}$ и $\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y$,

представим это неравенство в виде

$$\{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} - h - \eta < f'_b(u, h) \leq \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} - h, \tag{8}$$

$$\eta = n(n-1)\lambda x^{n-2}y - n\lambda W \leq n(n-1)\lambda x^{n-2}y \leq \frac{n(n-1)x^{n-2}y}{q\tau} \leq \frac{1}{2q}.$$

Далее, подставляя (7) при $b \neq 0$ в (3), найдём

$$T(\alpha; x, y) = \frac{S_0(a, q)}{q} T_0(\lambda; x, y) + \sum_{h=-1}^1 \mathcal{T}(h) + \mathcal{R}, \tag{9}$$

$$\mathcal{T}(h) = \frac{1}{q} \sum_{b=1}^{q-1} I_b(h) S_b(a, q), \quad \mathcal{R} \ll \frac{1}{q} \sum_{b=1}^{q-1} |S_b(a, q)|.$$

Пользуясь оценкой (1) при $\delta = 0.5\varepsilon$ оценим остаточный член \mathcal{R} :

$$\mathcal{R} \leq \frac{1}{q} \sum_{b=1}^{q-1} |S_b(a, q)| \ll q^{-\frac{1}{2}+\delta} \sum_{b=1}^{q-1} (b, q) = q^{-\frac{1}{2}+\delta} \sum_{d|q} d \varphi\left(\frac{q}{d}\right) \ll q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}. \tag{10}$$

Оценим сверху суммы $T(1)$ и $T(-1)$. Полагая $h = 1$ в (8), получим

$$f'_b(u, 1) \leq \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} - 1 \leq -\frac{b}{q} < 0,$$

и, оценивая интеграл $|I_b(1)|$ по величине первой производной, имеем

$$|I_b(1)| = \left| \int_{x-y}^x e(f_b(u, 1)) du \right| \ll \frac{q}{b}.$$

Воспользовавшись этой оценкой, а затем оценкой (1) при $\delta = 0.5\varepsilon$, имеем

$$T(1) = \frac{1}{q} \sum_{b=1}^{q-1} I_b(1) S_b(a, q) \ll \sum_{b=1}^{q-1} \frac{|S_b(a, q)|}{b} \ll q^{\frac{1}{2}+\delta} \sum_{b=1}^{q-1} \frac{(b, q)}{b} \ll q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}. \quad (11)$$

Полагая $h = -1$ в (8), имеем

$$f'_b(u, -1) > \{n\lambda x^{n-1}\} + \frac{q-b}{q} - \eta \geq \frac{q-b}{q}.$$

Интеграл $I(-1, b)$ также оценим по величине первой производной. Имеем

$$|I_b(-1)| = \left| \int_{x-y}^x e(f_b(u, -1)) du \right| \ll \frac{q}{q-b}.$$

Отсюда, поступая аналогично случаю оценки $T(1)$, получим

$$T(-1) = \sum_{b=1}^{q-1} \frac{I_b(-1) S_b(a, q)}{q} \ll \sum_{b=1}^{q-1} \frac{|S_b(a, q)|}{q-b} \ll q^{\frac{1}{2}+\delta} \sum_{b=1}^{q-1} \frac{(b, q)}{b} \ll q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}. \quad (12)$$

Подставляя оценки $T(1)$, $T(-1)$ и \mathcal{R} соответственно из (11), (12) и (10) в правую часть (9), получим

$$T(\alpha; x, y) = \frac{S_0(a, q)}{q} T_0(\lambda; x, y) + T(0) + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right). \quad (13)$$

Теперь воспользовавшись этим соотношением отдельно докажем первую и вторую утверждения

теоремы, то есть соответственно в случаях $\{n\lambda x^{n-1}\} \leq \frac{1}{2q}$ и $\{n\lambda x^{n-1}\} > \frac{1}{2q}$.

1. Случай $\{n\lambda x^{n-1}\} \leq \frac{1}{2q}$. Оценим $T(0)$. Для этого, полагая $h = 0$ в (8), имеем

$$f'_b(u, 0) \leq \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} \leq \frac{1-2b}{2q} \leq -\frac{b}{2q} < 0.$$

Пользуясь этим неравенством, оценивая интеграл $I_b(0)$ по величине первой производной, найдём

$$|I_b(0)| = \left| \int_{x-y}^x e(f_b(u, 0)) du \right| \ll \frac{q}{b}.$$

Поступая аналогично случаю оценки $T(1)$, получим

$$T(0) = \sum_{b=1}^{q-1} \frac{I_b(0)S_b(a, q)}{q} \ll \sum_{b=1}^{q-1} \frac{|S_b(a, q)|}{b} \ll q^{\frac{1}{2}+\delta} \sum_{b=1}^{q-1} \frac{(b, q)}{b} \ll q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}.$$

Подставляя эту оценку в правую часть (13), а также имея в виду что

$$S_0(a, q) = S(a, q) \quad T(\lambda; x, y) = T_0(\lambda; x, y),$$

получим первое утверждение теоремы.

2. Случай $\{n\lambda x^{n-1}\} > \frac{1}{2q}$. Применяя к сумме $T_0(\lambda; x, y)$ в соотношении (13) формулу (7), а

затем переходя к оценкам и воспользовавшись оценкой $S_b(a, q) \ll q^{1-\frac{1}{n}}$ ([6], стр. 61), находим

$$\begin{aligned} T(\alpha; x, y) &= \frac{S_0(a, q)}{q} (I_0(-1) + I_0(1)) + \sum_{b=0}^{q-1} \frac{I_b(0)S_b(a, q)}{q} + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right) \ll \\ &\ll q^{-\frac{1}{n}} (I_0(-1) + I_0(1) + \mathcal{R}(0)) + q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}, \end{aligned} \tag{14}$$

$$\mathcal{R}(0) = \sum_{b=0}^{q-1} I_b(0). \tag{15}$$

В соотношении (8), полагая $b = 0$ и $h = -1$, имеем

$$f'_0(u, -1) > \{n\lambda x^{n-1}\} + 1 - \eta \geq 1 - \frac{1}{2q} \geq \frac{1}{2}.$$

Воспользовавшись последним неравенством, оценивая интеграл $I_0(-1)$ по величине первой производной, найдём

$$|I_0(-1)| = \left| \int_{x-y}^x e(f_0(u, -1)) du \right| \ll 1. \tag{16}$$

Интеграл $I_0(1)$ оценим по величине производной второго порядка. Для этого, пользуясь неравенством

$$f''_0(u, 1) \geq n(n-1)\lambda(x-y)^{n-2} \gg \lambda x^{n-2}, \text{ найдём}$$

$$|I_0(1)| = \left| \int_{x-y}^x e(f_0(u, 1)) du \right| \ll \min\left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{1-\frac{n}{2}}\right). \tag{17}$$

Оценим теперь сумму $\mathcal{R}(0)$. Определим натуральное число r соотношением

$$\frac{r}{2q} \leq \{n\lambda x^{n-1}\} < \frac{r+1}{2q}, \quad 1 \leq r \leq 2q-1.$$

Отсюда, из неравенства (8) при $h = 0$ и условия $\eta \leq \frac{1}{2q}$, найдём

$$f'_b(u, 0) > \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} - \eta \geq \frac{r-2b-1}{2q}, \tag{18}$$

$$f'_b(u, 0) \leq \{n\lambda x^{n-1}\} - \frac{b}{q} < \frac{r-2b+1}{2q}. \tag{19}$$

Пусть $r = 2\rho - \text{чётное}$ ($1 \leq \rho \leq q-1$). Отрезок суммирования $0 \leq b \leq q-1$ в сумме $\mathcal{R}(0)$ разобьём на следующие три множества:

$$0 \leq b \leq \rho-1, \quad b = \rho, \quad \rho+1 \leq b \leq q-1,$$

соответственно в первом из которых правая часть неравенства (18) больше нуля, а в третьем правая часть неравенства (19) меньше нуля, то есть

$$f'_b(u, 0) > \frac{2\rho-2b-1}{2q} \geq \frac{\rho-b}{2q}, \quad 0 \leq b \leq \rho-1,$$

$$f'_b(u, 0) < \frac{2\rho-2b+1}{2q} \leq \frac{\rho-b}{2q}, \quad \rho+1 \leq b \leq q-1.$$

Воспользовавшись этими неравенствами, оценивая интеграл $I_b(0)$ по величине первой производной, найдём

$$I_b(0) = \int_{x-y}^x e(f_b(u, 0)) du \ll \frac{q}{|\rho-b|}, \quad b \neq \rho.$$

В случае $b = \rho$, пользуясь соотношением

$$f''_\rho(u,) = n(n-1)\lambda(x-y)^{n-2} \gg \lambda x^{n-2},$$

оценивая интеграл $I_\rho(0)$ по величине производной второго порядка, найдём

$$|I_\rho(0)| \ll \min\left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1-n}{2}}\right).$$

Подставляя найденные оценки для $I_b(0)$ в (15), получим

$$\mathcal{R}(0) = \sum_{\substack{b=0 \\ b \neq \rho}}^{q-1} I_b(0) + I_\rho(0) \ll \sum_{\substack{b=0 \\ b \neq \rho}}^{q-1} \frac{q}{|\rho-b|} + \min\left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1-n}{2}}\right) \ll$$

$$\ll q \ln q + \min\left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1-n}{2}}\right).$$

Пусть теперь $r = 2\rho + 1 - \text{нечётное}$ ($0 \leq \rho \leq q-1$). Отрезок суммирования $0 \leq b \leq q-1$ в сумме R_0 разобьём на следующие три множества:

$$0 \leq b \leq \rho-1, \quad b = \rho, \rho+1, \quad \rho+2 \leq b \leq q-1,$$

соответственно в первом из которых правая часть неравенства (18) больше нуля, а в третьем – правая часть неравенства (19) меньше нуля, то есть

$$f'_b(u, 0) > \frac{2\rho - 2b - 1}{2q} \geq \frac{\rho - b}{2q}, 0 \leq b \leq \rho - 1,$$

$$f'_b(u, 0) < \frac{2\rho + 1 - 2b + 1}{2q} \leq \frac{\rho - b}{2q}, \rho + 2 \leq b \leq q - 1.$$

Следовательно,

$$I_b(0) = \int_{x-y}^x e(f_b(u, 0)) du \ll \frac{q}{|\rho - b|}, \quad b \neq \rho - 1, \quad b \neq \rho.$$

В случае $b = \rho - 1$ или $b = \rho$, поступая аналогично предыдущей оценке $I_\rho(0)$, найдём

$$|I_b(0)| \ll \min \left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{1-\frac{n}{2}} \right).$$

Подставляя найденные оценки для $I_b(0)$ в (15), получим

$$\begin{aligned} \mathcal{R}(0) &= \sum_{\substack{b=0 \\ b \neq \rho-1, \rho}}^{q-1} I_b(0) + I_{\rho-1}(0) + I_\rho(0) \ll \sum_{\substack{b=0 \\ b \neq \rho-1, \rho}}^{q-1} \frac{q}{|\rho - b|} + \min \left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{1-\frac{n}{2}} \right) \ll \\ &\ll q \ln q + \min \left(y, \lambda^{\frac{1}{2}} x^{1-\frac{n}{2}} \right). \end{aligned}$$

Подставляя оценки для $I_0(-1)$ и $I_0(1)$ соответственно из формул (16) и (17) и оценку для $\mathcal{R}(0)$, в (18), получим второе утверждение теоремы.

Поступило 12.09.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vaughan R.C. Some remarks on Weyl sums. – Topics in Classical Number Theory, Colloquia. Math. Soc. Janos Bolyai, 1981, v. 34, pp. 1585-1602.
2. Хуа Ло-Ген. Метод тригонометрических сумм и его применение в теории чисел. – М.: Мир, 1964.
3. Рахмонов З.Х. Кубическая задача Эстермана с почти равными слагаемыми. – Математические заметки, 2014, т. 95, вып. 3, с. 445-456.
4. Рахмонов З.Х., Назрублов Н.Н., Рахимов А.О. Короткие суммы Г.Вейля и их приложения. – Чебышевский сборник, 2015, т. 16, в. 1(53), с. 232-247.
5. Карацуба А.А., Королёв М.А. Теорема о замене тригонометрической суммы более короткой. – Известия РАН, сер. математ., 2007, т. 71, №2, с. 123-150.
6. Архипов Г.И., Карацуба А.А., Чубариков В.Н. Теория кратных тригонометрических сумм. – М., Наука, 1987 г.

З.Х.Раҳмонов, Ф.З.Раҳмонов

РАФТОРИ СУММАҶОИ КЎТОҶИ ТРИГОНОМЕТРИИ Г.ВЕЙЛ ДАР КАМОНҶОИ КАЛОН

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институти математикаи ба номи А. Ҷӯраеви*

Барои суммаҳои кӯтоҳи тригонометрии Г.Вейл бо намуди

$$T_n(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(\alpha m^n),$$

дар атрофи хурди марказҳои камонҳои калон формулаи асимптотӣ бо бақия гирифта шуда, дар камонҳои калон ба ғайр аз атрофи хурди марказашон баҳои ғайритривиалии нав ёфт шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *суммаи кӯтоҳи тригонометрии Г.Вейл, атрофи хурди марказҳои камонҳои калон, камонҳои калон ба ғайр аз атрофи хурди марказашон.*

Z.Kh.Rakhmonov, F.Z.Rakhmonov

BEHAVIOR OF SHORT EXPONENTIAL SUMS OF G.WEYL IN MAJOR ARCS

A.Dzhuraev Institute of Mathematics, National Academy of Sciences of Tajikistan

For short exponential sums of G.Weyl of the form

$$T_n(\alpha; x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(\alpha m^n),$$

an asymptotic formula with a remainder term has been obtained in the small neighborhoods of the centers of major arcs. Additionally, a new non-trivial estimate has been found for major arcs, excluding small neighborhoods of their centers.

Key words: *short exponential sum of G.Weyl, small neighborhoods of centers of major arcs, major arcs excluding small neighborhoods of their centers.*

Сведения об авторах

1. **Раҳмонов Зарулло Хусенович** – доктор физ.-мат. наук, Институт математики им.А.Джураева НАН Таджикистана, главный научный сотрудник. E-mail: zarullo-r@rambler.ru;
2. **Раҳмонов Фируз Зарулло Хусенович** – кандидат физ.-мат. наук, Институт математики им.А.Джураева НАН Таджикистана, заведующий отделом. E-mail: rakhmonov.firuz@gmail.com.

УДК 517.5

Специальность: 1.1.1 – Вещественный, комплексный и функциональный анализ

Д.К.Тухлиев

О НАИЛУЧШЕМ ПРИБЛИЖЕНИИ В СРЕДНЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ БЕРГМАНА B_2

Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова

(Представлено академиком НАН Таджикистана М.Ш.Шабозовым 05.08.2023 г.)

В работе найдены точные неравенства между наилучшими полиномиальными среднеквадратическими приближениями аналитических в единичном круге функций и усреднёнными значениями модулей непрерывности производных в пространстве Бергмана. Вычислены значения различных n -поперечников некоторых классов функций.

Ключевые слова: *наилучшее среднеквадратическое приближение, пространство Бергмана, модуль непрерывности, n -поперечники.*

1. Введение. Экстремальные задачи наилучшего полиномиального приближения аналитических в круге функций в различных нормированных пространствах изучались, например, в работах [1-14] и многих других. В данной работе решен ряд экстремальных задач в пространстве Бергмана B_2 : найдены верхние грани наилучшего среднеквадратического приближения некоторых классов функций и вычислены точные значения различных n -поперечников указанных классов функций.

Пусть \mathbb{N}, \mathbb{Z}_+ – соответственно множество натуральных и целых неотрицательных чисел. Пусть далее \mathbb{C} – комплексная плоскость, $U := \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ – единичный круг в \mathbb{C} , $A(U)$ – множество функций, аналитических в круге U .

Определение [8]. *Говорят, что аналитическая в единичном круге U функция*

$$f(z) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k(f) z^k, \quad z = \rho e^{it}, \quad 0 \leq \rho < 1, \quad 0 \leq t \leq 2\pi \quad (1)$$

принадлежит пространству Бергмана B_2 , если

$$\|f\|_2 := \|f\|_{B_2} = \left(\frac{1}{\pi} \iint_{(U)} |f(z)|^2 d\sigma \right)^{1/2} < \infty.$$

Производную r -го порядка функции $f \in A(U)$ определим, как обычно,

Адрес для корреспонденции: Тухлиев Дилиод Камаридинович. 735700, Республика Таджикистан, г.Худжанд, ул.Мавлонбекова, 1, Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова. E-mail: dtukhliev@mail.ru

$$f^{(r)}(z) := \frac{d^r f(z)}{dz^r} = \sum_{k=r}^{\infty} k(k-1)\cdots(k-r+1)c_k(f)z^{k-r}, r \in \mathbb{N}. \quad (2)$$

Ради краткости, введём обозначение

$$\alpha_{k,r} := k(k-1)\cdots(k-r+1) = k!/(k-r)!, k, r \in \mathbb{N}, k > r. \quad (3)$$

Всюду далее символом $B_2^{(r)}$ ($r \in \mathbb{Z}_+, B_2^{(0)} = B_2$) обозначим множество функций $f \in A(U)$, принадлежащих пространству B_2 , производная r -го порядка $f^{(r)}(z)$ которых также принадлежит B_2 , то есть

$$B_2^{(r)} := \{f \in B_2 : \|f^{(r)}\|_2 < \infty\}.$$

Пусть \mathcal{P}_n – подпространство комплексных алгебраических многочленов степени n вида

$$p_n(z) = \sum_{k=0}^n a_k z^k, a_k \in \mathbb{C}.$$

Величину

$$E_n(f)_2 := E(f, \mathcal{P}_n)_{B_2} = \inf\{\|f - p_n\|_2 : p_n \in \mathcal{P}_n\}$$

называют наилучшим полиномиальным среднеквадратическим приближением функции $f \in B_2$ подпространствам \mathcal{P}_n .

Хорошо известно [15, с.203], что для произвольной функции $f \in B_2$ имеет место соотношение

$$E_{n-1}(f)_2 = \|f - T_{n-1}(f)\|_2 = \left\{ \sum_{k=n}^{\infty} \frac{|c_k(f)|^2}{k+1} \right\}^{1/2},$$

где $T_{n-1}(f)$ – частная сумма порядка $n-1$ ряда (1).

Запишем норму (1) в более удобном виде

$$\|f\|_2 := \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 |f(\rho e^{it})|^2 \rho d\rho dt \right)^{1/2},$$

и символом

$$\Delta_h^1 f(\rho e^{it}) = f(\rho e^{i(t+h)}) - f(\rho e^{it})$$

обозначим конечную разность первого порядка функции $f \in B_2$ по аргументу t с шагом h .

Равенством

$$\omega(f, \tau)_{B_2} := \sup\{\|\Delta_h^1(f)\|_{B_2} : |h| \leq \tau\} =$$

$$= \sup_{|h| \leq \tau} \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(\rho e^{i(t+h)}) - f(\rho e^{it})|^2 d\rho dt$$

определим модуль непрерывности первого порядка функции $f \in B_2$. Пользуясь соотношениями (2) и (3), для любого $r \in \mathbb{Z}_+$ имеем

$$\Delta_h^1 f^{(r)}(\rho e^{it}) = \sum_{k=r+1}^{\infty} \alpha_{k,r} c_k(f) \rho^{k-r} e^{i(k-r)t} (1 - e^{i(k-r)h}).$$

Отсюда, применяя тождество Парсеваля, получаем

$$\|\Delta_h^1 f^{(r)}\|^2 = 2 \sum_{k=r+1}^{\infty} \alpha_{k,r}^2 \frac{|c_k(f)|^2}{k-r+1} (1 - \cos(k-r)h)$$

и, следовательно,

$$\omega^2(f^{(r)}, \tau)_{B_2} = 2 \sup_{|h| \leq \tau} \sum_{k=r+1}^{\infty} \alpha_{k,r}^2 \frac{|c_k(f)|^2}{k-r+1} (1 - \cos(k-r)h).$$

2. Основные результаты. В этом пункте излагаем основные результаты, полученные в данной статье. Имеет место следующая

Теорема 1. Для любой функции $f \in B_2$ и любого наперед заданного $n \in \mathbb{N}$ при любом $h \in (0, \pi/n]$ справедливо неравенство

$$E_{n-1}^2(f)_{B_2} \leq \frac{\int_0^h \omega^2(f, t)_{B_2} \cdot \sin \frac{\pi}{h} t dt}{2 \left[\frac{2h}{\pi} - \int_0^h \cos nt \cdot \sin \frac{\pi}{h} t dt \right]}. \tag{4}$$

Для функции $f_0(z) = z^n \in B_2$ неравенство (4) обращается в равенство для всех $h \in (0, \pi/n]$.

Замечание 1. Так как при $h = \pi/n \int_0^{\pi/n} \cos nt \sin ntdt = 0$, то из (4) получаем

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{n}{2} \cdot \int_0^{\pi/n} \omega^2(f, t)_{B_2} \sin ntdt \right)^{1/2}. \tag{5}$$

Неравенство (5) является аналогом известного неравенства Н.И.Черныха [16], доказанного для класса периодических функций $L_2 := L_2[0, 2\pi]$ на случай аналитических в единичном круге функций, принадлежащих пространству Бергмана B_2 .

Теорема 2. Для любой функции $f \in B_2^{(r)}$, $r \in \mathbb{Z}_+$ и любой $n \in \mathbb{N}, n > r$ справедливо неравенство

$$E_{n-1}^2(f)_{B_2} \leq \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \frac{\int_0^h \omega^2(f, t)_{B_2} \sin \frac{\pi}{h} t dt}{\int_0^h (1 - \cos(n-r)t) \sin \frac{\pi}{h} t dt}.$$

Следствие 1. В условиях теоремы при $h = \pi / (n - r), n > r$ имеет место неравенство

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \left\{ \frac{n-r}{2} \cdot \int_0^{\pi/(n-r)} \omega^2(f^{(r)}, t)_{B_2} \sin(n-r)t dt \right\}^{1/2}.$$

Следствие 2. Для произвольной функции $f_0 \in B_2^{(r)}$ при любых $n \in \mathbb{N}, r \in \mathbb{Z}_+, n > r$ имеет место неравенство типа Джексона

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \omega\left(f^{(r)}, \frac{\pi}{n-r}\right)_{B_2}. \tag{6}$$

Если модуль непрерывности $\omega(f^{(r)}, t)_{B_2}$ на отрезке $[0, \pi / (n - r)]$ является выпуклой вверх функцией, то есть для любых $t \in [0, \pi / (n - r)]$ удовлетворяет условию

$$\omega^2(f^{(r)}, t)_{B_2} + \omega^2\left(f^{(r)}, \frac{\pi}{n-r} - t\right)_{B_2} \leq 2\omega^2\left(f^{(r)}, \frac{\pi}{n-r}\right)_{B_2}, \tag{7}$$

то неравенство (6) можно уточнить.

Следствие 3. На множестве функций $f \in B_2^{(r)}$, у которых функция $\omega(f^{(r)}, t)_{B_2}$ удовлетворяет условию (7), справедливо неравенство

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \omega\left(f^{(r)}, \frac{\pi}{2(n-r)}\right)_{B_2}. \tag{8}$$

Существует функция $f_0 \in B_2^{(r)}$, которая обращает (8) в равенство.

Следствие 4. В условиях следствия 3 имеет место равенство

$$\sup_{f \in B_2^{(r)}} \frac{\sqrt{(n+1)/(n-r+1)} \cdot \alpha_{n,r} \cdot E_{n-1}(f)_{B_2}}{\omega(f^{(r)}, \pi / 2(n-r))_{B_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Замечание 2. Из утверждения следствия 2 в случае $r = 0$ для произвольной функции $f \in B_2$ вытекает неравенство

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \omega\left(f, \frac{\pi}{n}\right)_{B_2},$$

которое является аналогом известного неравенства Н.И.Черныха [16]. Аналогичным образом из утверждения следствия 3 в случае, когда модуль непрерывности при $r = 0$ произвольной функции $f \in B_2$ является выпуклой вверх функцией, получаем

$$E_{n-1}(f)_{B_2} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \omega\left(f, \frac{\pi}{2n}\right)_{B_2}. \tag{9}$$

Неравенство (9) является аналогом неравенства типа Н.П.Корнейчука [17, с.241, неравенство (9.33)] и легко проверить, что для функции $f_0(z) = z^n \in B_2$ является точным и таким образом точная константа в неравенстве Джексона равна

$$K := \sup_{f \in B_2} \frac{E_{n-1}(f)_{B_2}}{\omega(f, \pi / (2n))_{B_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

3. Точные значения n -поперечников некоторых классов функций. Для формулировки последующих результатов напомним необходимые понятия и определения из теории n -поперечников (см., например, [18,19]).

Пусть $S := \{f : \|f\| \leq 1\}$ – единичный шар в B_2 ; \mathfrak{M} – выпуклое центрально-симметричное подмножество из пространство B_2 ; $\Lambda_n \subset B_2$ – произвольное n -мерное подпространство; $\Lambda^n \subset B_2$ – подпространство коразмерности n ; $A : B_2 \rightarrow \Lambda_n$ – непрерывный линейный оператор; $A^\perp : B_2 \rightarrow \Lambda^n$ – непрерывный оператор линейного проектирования.

Величины

$$b_n(\mathfrak{M}, B_2) = \sup \left\{ \sup \{ \varepsilon > 0 : \varepsilon S \cap \Lambda_{n+1} \subset \mathfrak{M} \} : \Lambda_{n+1} \subset B_2 \right\},$$

$$d_n(\mathfrak{M}, B_2) = \inf \left\{ \sup \left\{ \inf \left\{ \|f - \varphi\|_{B_2} : \varphi \in \Lambda_n \right\} : f \in \mathfrak{M} \right\} : \Lambda_n \subset B_2 \right\},$$

$$\delta_n(\mathfrak{M}, B_2) = \inf \left\{ \inf \left\{ \sup \left\{ \|f - Af\|_{B_2} : f \in \mathfrak{M} \right\} : A B_2 \subset \Lambda_n \right\} : \Lambda_n \subset B_2 \right\},$$

$$d^n(\mathfrak{M}, B_2) = \inf \left\{ \sup \left\{ \|f\|_{B_2} : f \in \mathfrak{M} \cap \Lambda^n \right\} : \Lambda^n \subset B_2 \right\},$$

$$\Pi_n(\mathfrak{M}, B_2) = \inf \left\{ \inf \left\{ \sup \left\{ \|f - A^\perp f\|_{B_2} : f \in \mathfrak{M} \right\} : A^\perp B_2 \subset \Lambda_n \right\} : \Lambda_n \subset B_2 \right\},$$

называют соответственно *бернштейновским*, *колмогоровским*, *линейным*, *гельфандовским*, *проекторным n -поперечниками* подмножества $\mathfrak{M} \subset B_2$.

Перечисленные n -поперечники монотонны по n и в гильбертовом пространстве B_2 связаны соотношениями [18],[19]:

$$b_n(\mathfrak{M}, B_2) \leq d^n(\mathfrak{M}, B_2) \leq d_n(\mathfrak{M}, B_2) = \delta_n(\mathfrak{M}, B_2) = \Pi_n(\mathfrak{M}, B_2).$$

Рассмотрим теперь следующий класс функций. Пусть $\Phi(u)$ – произвольная положительная возрастающая при $u \geq 0$ функция, $\Phi(0) = 0$. Для $r \in \mathbb{Z}_+$ определим класс $W_2^{(r)}(\Phi)$ с помощью мажоранты Φ для $u \in (0, 2\pi]$ функций $f \in B_2^{(r)}$, удовлетворяющих условию

$$\frac{\pi}{2u} \int_0^u \omega^2(f^{(r)}, t)_{B_2} \sin \frac{\pi}{u} t dt \leq \Phi^2(u).$$

Вычислим точные значения перечисленных выше n -поперечников класса $W_2^{(r)}(\Phi)$. Вводим обозначение

$$(1 - \cos t)_* := \begin{cases} 1 - \cos t, & \text{если } t \leq \pi, \\ 2, & \text{если } t > \pi. \end{cases}$$

В этих обозначениях справедлива следующая

Теорема 3. Если для любого $\mu > 0$ и для всех $u \in (0, 2\pi]$ функция $\Phi(u)$ удовлетворяет условию

$$\frac{1}{2\mu} \Phi^2\left(\frac{u}{\mu}\right) \int_0^{\mu\pi} (1 - \cos v)_* \sin \frac{v}{\mu} dt \leq \Phi^2(u),$$

то для любых $n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $n > r$ имеют место равенства

$$\begin{aligned} \lambda_n(W_2^{(r)}(\Phi), B_2) &= E_{n-1}(W_2^{(r)}(\Phi))_{B_2} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \Phi\left(\frac{\pi}{n-r}\right), \end{aligned}$$

где $\lambda_n(\cdot)$ любой из вышеперечисленных n -поперечников, а

$$E_{n-1}(\mathfrak{N})_{B_2} := \sup\{E_{n-1}(f) : f \in \mathfrak{N}\}.$$

Из доказанной теоремы вытекает следующее

Следствие 5. В условиях теоремы 3 при любых $n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $n > r$ справедливо равенство

$$\begin{aligned} \lambda_n(W_2^{(r)}(\Phi_*), B_2) &= E_{n-1}(W_2^{(r)}(\Phi_*))_{B_2} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \Phi_*\left(\frac{\pi}{n-r}\right) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{n-r+1}{n+1}} \cdot \frac{1}{\alpha_{n,r}} \cdot \left(\frac{\pi}{n-r}\right)^{\frac{\pi^2}{16}}. \end{aligned}$$

Поступило 07.08.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бабенко К.И. О наилучших приближениях одного класса аналитических функций. – Изв. АН СССР, 1958, т.22, №5, с. 631-640.
2. Тайков Л.В. О наилучшем приближении в среднем некоторых классов аналитических функций. – Матем. заметки, 1967, т.1, №2, с. 155-162.
3. Тайков Л.В. Поперечники некоторых классов аналитических функций. – Матем. заметки, 1977, т.22, №2, с. 285-295.
4. Двейрин М.З., Чебаненко И.В. О полиномиальной аппроксимации в банаховых пространствах аналитических функций. – Киев: ИМ АН УССР, 1983.
5. Айнуллоев Н., Тайков Л.В. Наилучшие приближения в смысле А.Н.Колмогорова классов аналитических в единичном круге функций. – Матем. заметки, 1986, т.40, №3, с. 341-351.
6. Horowitz Charles. Zeros of functions in Bergman Space. – Bull. Amer. Math. Soc., 1974, vol.80, №4, pp. 713-714.
7. Вакарчук С.Б. О поперечниках некоторых классов аналитических в единичном круге функций I, II. – Укр. матем. журнал, 1990, т.42, №7-8, с. 873-881, 1019-1026.
8. Вакарчук С.Б. Наилучшие линейные методы приближения и поперечники классов аналитических в круге функций. – Матем. заметки, 1995, т.57, №1, с. 30-39.
9. Вакарчук С.Б. О наилучших линейных методах приближения и поперечниках некоторых классов аналитических функций. – Матем. заметки, 1999, т.65, №2, с. 186-193.
10. Вакарчук С.Б., Вакарчук М.Б. Неравенства типа Колмогорова для аналитических функций одной и двух комплексных переменных и их приложение к теории аппроксимации. – Укр. матем. журнал, 2011, т.63, №12, с. 1579-1601.
11. Шабозов М.Ш., Шабозов О.Ш. Поперечники некоторых классов аналитических функций в пространстве Харди H_2 . – Матем. заметки, 2000, т.68, №5, с. 796-800.
12. Шабозов М.Ш., Юсупов Г.А. Наилучшие методы приближения и значения поперечников некоторых классов функций в пространстве $H_{q,\rho}$, $1 \leq q \leq \infty$, $0 < \rho \leq 1$. – Сиб. матем. журнал, 2016, т.57, №2, с. 469-478.
13. Шабозов М.Ш., Лангаршоев М.Р. О наилучших линейных методах приближения некоторых классов аналитических в единичном круге функций. – Сиб. матем. журнал, 2019, т.60, №6, с. 1414-1423.
14. Шабозов М.Ш., Саидусайнов М.С. Среднеквадратическое приближение функций комплексного переменного суммами Фурье по ортогональным системам. – Труды ИММ УрО РАН, 2019, т.25, №2, с. 258-272.
15. Смирнов В.И., Лебедев Н.А. Конструктивная теория функций комплексного переменного. – М.-Л.: Наука, 1964, с.201-202.
16. Черных Н.И. О наилучшем приближении периодических функций тригонометрическими полиномами в L_2 . – Матем. заметки, 1967, т.2, №5, с. 513-522.
17. Корнейчук Н.П. Экстремальные задачи теории приближения. – М.: Наука, 1976, 320 с.
18. Тихомиров В.М. Некоторые вопросы теории приближений. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976, 305 с.
19. Pinkus A. n -Widths in Approximation Theory. – Berlin: Springer-Verlag, 1985, 312 p.

Д.К.Тухлиев

ОИД БА БЕҲТАРИН НАЗДИККУНӢ ДАР ФАЗОИ БЕРГМАН B_2 *Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи Б.Ғафуров*

Дар мақола нобаробариҳои аниқ байни беҳтарин наздиққунии миёнаквадратии полиномиалии функсияҳо дар доираи воҳидӣ ва қимати ҳосилаҳои модули бефосилагии, ки ба фазои Бергман таалукдоранд, ёфта шудаанд. Қимати n -қутрҳо барои баъзе синфи функсияҳои аналитикӣ ҳисоб карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *беҳтарин наздиққунии миёнаквадратӣ, фазои Бергман, модули бефосилагӣ, n -қутрҳо.*

D.K.Tukhliev

ON THE BEST APPROXIMATION ON AVERAGE IN BERGMAN SPACE B_2 *B. Gafurov Khujand State University*

In the work, exact inequalities are found between the best polynomial mean square approximations of functions analytic in the unit disk and averaged values of the modulus of continuity of derivatives in Bergman space. The values of various n diameters of some classes of functions are calculated.

Key words: *best mean square approximation, Bergman space, modules of continuity, n -cross-sections.*

Сведения об авторах:

1. **Тухлиев Дилшод Камаридинович** – кандидат физ.-мат. наук, Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова, доцент кафедры "Информатики и вычислительной математики".
E-mail: dtukhliev@mail.ru.

УДК 517.5

Специальность: 1.1.1 – Вещественный, комплексный и функциональный анализ

Г.А.Юсупов, М.А.Мавлоназаров*

О СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ СОВМЕСТНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ 2 π -ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В L_2

*(Представлено академиком НАН Таджикистана М.Ш.Шабозовым 20.09.2023 г.)**Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни,***Хорогский государственный университет им. М.Назаршоева*

В работе получены точные константы в неравенствах Джексона-Стечкина и для функций $f \in L_2^{(r)}$, у которых последовательные производные $f^{(s)}$ ($s = 0, 1, \dots, r$) принадлежат пространству L_2 . Также получено точное значение одновременных приближений функции и её последовательных производных для классов функций, задаваемых модулями непрерывности высших порядков $\omega_m(f^{(r)}, t)_2$.

Ключевые слова: периодическая функция, наилучшее совместное приближение, неравенства Джексона–Стечкина, модуль непрерывности.

Пусть \mathbb{N} – множество натуральных чисел; $\mathbb{Z}_+ = \mathbb{N} \cup \{0\}$; \mathbb{R}_+ – множество всех положительных чисел вещественной оси; L_2 – пространство измеримых и суммируемых с квадратом по Лебегу вещественных 2π -периодических функций f , имеющих конечную норму

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

Совокупность всевозможных тригонометрических полиномов порядка не больше $n-1$ обозначим символом \mathcal{T}_{2n-1} . Хорошо известно, что для произвольной функции $f \in L_2$, имеющей разложение в ряд Фурье, величина $E_{n-1}(f)_2$ её наилучшего полиномиального приближения элементами $T_{n-1} \in \mathcal{T}_{2n-1}$ равна

$$E_{n-1}(f)_2 = \inf_{T_{n-1}(x) \in \mathcal{T}_{2n-1}} \|f - T_{n-1}\| = \|f - S_{n-1}(f)\| = \left\{ \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2(f) \right\}^{1/2},$$

Адрес для корреспонденции: Юсупов Гулзорхон Амиршоевич. 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121, Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни. E-mail: yusufzoda.gulzorkhon@gmail.com

где $S_{n-1}(f, x)$ – частная сумма порядка $n-1$ ряда Фурье функции f , $\rho_k^2(f) = a_k^2(f) + b_k^2(f)$, $k \in \mathbb{N}$, $a_k(f), b_k(f)$ – косинус- и синус-коэффициенты Фурье функции f . Символом $L_2^{(r)}$ ($r \in \mathbb{Z}_+, L_2^{(0)} \equiv L_2$) обозначим множество функций $f \in L_2$, у которых производные $(r-1)$ -го порядка $f^{(r-1)}$ абсолютно непрерывны, а производные r -го порядка $f^{(r)} \in L_2$.

Обозначим через $\Delta_h^m(f)$ норму разности m -го порядка функции f из пространства L_2 с шагом h

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

и равенством

$$\omega_m(f, t) \stackrel{def}{=} \sup \{ \Delta_h^m(f) : |h| \leq t \} \tag{1}$$

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

Напомним, что под неравенствами типа Джексона–Стечкина в любом нормированном пространстве X понимают соотношения вида

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

в которых погрешность приближения индивидуальной функции f оценивается через заданную характеристику гладкости ω_m самой приближаемой функции f или некоторой её производной $f^{(r)} \in X$. Возникает задача отыскания точных констант в неравенстве Джексона–Стечкина между величинами наилучших приближений и усреднённым значением модуля непрерывности (1).

Условимся в дальнейшем функцию φ называть весовой функцией на отрезке $[0, h]$, если φ является неотрицательной измеримой суммируемой на $[0, h]$ не эквивалентной нулю функцией.

Введём следующую экстремальную характеристику (далее соотношение $0/0$ полагаем равным нулю):

$$\chi_{m,n,r,p,s}(\varphi, h) = \sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq const}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}}, \tag{2}$$

где $m, n \in \mathbb{N}$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $p \in \mathbb{R}_+$, $r \geq s$, $0 < h \leq 3\pi/(4n)$, $\varphi(t) \geq 0$ – весовая функция. Величина (2) при $s = 0$ была исследована в работе М.Ш.Шабозова и Г.А.Юсупова [1], в случае дробных $r \in \mathbb{Z}_+$ в работе М.Ш.Шабозова и А.А.Шабозовой [2], а при $s = 0$, $p = 2$ ещё раньше А.А.Лигуном [3] и при различных значениях параметров m, p и конкретных весовых функциях $\varphi(t)$ другими математиками (подробная литература с комментариями см., например, в [1-12]).

Поскольку для $f \in L_2^{(r)}$ наравне с функцией f и её r -й производной $f^{(r)}$ её последовательные производные $f^{(s)} \in L_2$ ($s = 1, 2, \dots, r-1, r \geq 2$), то представляет несомненный интерес изучение поведения величины наилучших приближений $E_{n-1}(f^{(s)})$ ($s = 0, 1, \dots, r$) на указанном классе $L_2^{(r)}$ или на некотором подклассе функций $\mathfrak{M}^{(r)} \subset L_2^{(r)}$. Приводим решение этой задачи, когда структурные характеристики функции $f \in L_2^{(r)}$ характеризуются усреднёнными с весом $\varphi(t)$ значениями модулей непрерывности $\omega_m(f^{(r)}, t)_2$. Имеет место следующая

Теорема 1. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq 3\pi / (4n)$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $\varphi(t)$ – весовая функция на отрезке $[0, h]$, удовлетворяющая условию

$$(sp - 1)\varphi(t) - t\varphi'(t) \geq 0. \tag{3}$$

Тогда имеет место равенство

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \tag{4}$$

Доказательство. При выполнении дифференциального неравенства (3), в [1] доказано равенство

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{2^m n^r E_{n-1}(f)_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \tag{5}$$

Откуда для произвольной функции $f \in L_2^{(r)}$ следует неравенство

$$E_{n-1}(f)_2 \leq \frac{1}{2^m n^r} \cdot \frac{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}}{\left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{1/p}}. \tag{6}$$

Полагая в (6) сначала $r = 0$ и в полученном неравенстве заменяя функцию f на производную $f^{(r)}$, запишем

$$E_{n-1}(f^{(r)})_2 \leq \frac{1}{2^m} \cdot \frac{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}}{\left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{1/p}}. \tag{7}$$

Применяя неравенство [13]

$$E_{n-1}(f^{(s)})_2 \leq \frac{1}{n^{r-s}} \cdot E_{n-1}(f^{(r)})_2, \quad r, s \in \mathbb{Z}_+, \quad r \geq s,$$

с учётом (7), получаем

$$E_{n-1}(f^{(s)})_2 \leq \frac{1}{2^m n^{r-s}} \cdot \frac{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}}{\left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{1/p}}. \quad (8)$$

Так как неравенство (8) верно для любой функции $f \in L_2^{(r)}$, то из него вытекает неравенство

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} \leq \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \quad (9)$$

С целью получения оценки снизу величины, стоящей в левой части (2), рассмотрим в L_2 функцию $f_0(x) = \cos nx$. Поскольку для этой функции

$$\begin{aligned} f_0^{(s)}(x) &= n^s \cos \left(nx + \frac{s\pi}{2} \right), \quad E_{n-1}(f_0^{(s)}) = n^s, \\ \int_0^h \omega_m^p(f_0^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt &= 2^m n^r \int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt. \end{aligned} \quad (10)$$

Пользуясь равенствами (10), запишем оценку снизу величины (2):

$$\begin{aligned} \chi_{m,n,r,p,s}(\varphi, h) &= \sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq \text{const}}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} \geq \\ &\geq \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f_0^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f_0^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \end{aligned} \quad (11)$$

Сопоставляя оценки сверху (9) и снизу (11), получаем требуемое равенство (4), чем и завершаем доказательство теоремы 1.

Из теоремы 1 вытекает ряд следствий.

Следствие 1. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $0 < p \leq 2$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $\varphi(t) \equiv 1$, $0 < t \leq h$, $0 < h \leq \pi/n$.

Тогда

$$\sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq \text{const}}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} dt \right)^{-1/p}. \tag{12}$$

Отметим, что равенство (12) при $s = 0$ ранее другим путём доказано в работе М.Ш.Шабозова [8].

Следствие 2. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $p = 2/m$, $s = 0, 1, \dots, r$; $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $\varphi(t) \equiv 1$, $0 < t \leq h$, $0 < h \leq \pi/n$. Тогда справедливо равенство

$$\sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq \text{const}}} \frac{2^{m/2} n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^{2/m}(f^{(r)}, t)_2 dt \right)^{m/2}} = \left\{ \frac{n}{nh - \sin nh} \right\}^{m/2}. \tag{13}$$

Равенство (13) при $s = 0$, $r \in \mathbb{N}$ и $m = 1$ было доказано Л.В.Тайковым [9], а при $s = 0$ и любых $m, n \in \mathbb{N}$ доказано С.Б.Вакарчуком [10].

Из теоремы 1 при $\varphi(t) = \sin^\gamma(\beta t/h)$, $0 \leq \beta \leq \pi$, $0 < h \leq \pi/n$ вытекает

Следствие 3. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $0 < p \leq 2$, $s = 0, 1, \dots, r$, $\varphi(t) = \sin^\gamma(\beta t/h)$, $\gamma \geq 0$, $0 < \beta \leq \pi$, $0 < h \leq \pi/n$. Тогда имеет место равенство

$$\sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq \text{const}}} \frac{2^m n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \sin^\gamma \frac{\beta}{h} t dt \right)^{1/p}} = \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \sin^\gamma \frac{\beta}{h} t dt \right)^{-1/p}. \tag{14}$$

Отметим, что из равенства (14) при $s = 0$, $r \in \mathbb{N}$, $p = 2$, $0 < \gamma \leq 2r - 1$, $\beta = \pi/2$, $h = \pi/n$ получаем результат Н.Айнуллоева [4], при $s = 0$, $\beta = nh$ получаем результат работы М.Ш.Шабозова и О.Ш.Шабозова [12], а в случае $s = 0$, $r \in \mathbb{N}$ и выполнении остальных условий следствия 3 получаем основной результат работы М.Г.Есмаганбетова [11].

Исходя из результатов теоремы 1 рассмотрим следующую задачу совместного приближения подкласса $\mathfrak{M}^{(r)} \subset L_2^{(r)}$.

Требуется найти точное значение величины

$$\mathcal{E}_{n-1}^{(s)}(\mathfrak{M}^{(r)})_{L_2} := \sup \{ E_{n-1}(f^{(s)}) : f \in \mathfrak{M}^{(r)} \},$$

где $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$.

Рассмотрим следующий класс функций. Через $W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi)$ обозначим класс функций $f \in L_2^{(r)}$, для которых при всех $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq \pi/n$ выполняется условие

$$\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}, t)_2 \varphi(t) dt \leq 1.$$

Теорема 2. При всех $m, n \in \mathbb{N}$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq \pi/n$ справедливо равенство

$$\mathcal{E}_{n-1}^{(s)}(W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi))_{L_2} = \frac{1}{2^m n^{r-s}} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \quad (15)$$

Доказательство. Из неравенства (8) для произвольной функции $f \in W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi)$ вытекает оценка

$$E_{n-1}(f^{(s)})_2 \leq \frac{1}{2^m n^{r-s}} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p},$$

откуда сразу получаем

$$\mathcal{E}_{n-1}^{(s)}(W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi))_{L_2} \leq \frac{1}{2^m n^{r-s}} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p} \quad (16)$$

и оценка сверху искомой величины получена. С целью получения оценки снизу рассмотрим функцию

$$g(x) = \frac{\cos nx}{2^m n^r} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p},$$

очевидно принадлежащей классу $W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi)$.

Для этой функции при всех значений $s = 0, 1, \dots, r$

$$g^{(s)}(x) = \frac{1}{2^m n^{r-s}} \cos \left(nx + \frac{s\pi}{2} \right) \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p},$$

$$E_{n-1}(g^{(s)}) = \frac{1}{2^m n^{r-s}} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \quad (17)$$

Учитывая равенство (17), запишем оценку снизу

$$\mathcal{E}_{n-1}^{(s)}(W_{p,h}^{(r)}(\omega_m, \varphi))_2 \geq E_{n-1}(g^{(s)}) = \frac{1}{2^m n^{r-s}} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} \varphi(t) dt \right)^{-1/p}. \quad (18)$$

Сопоставляя оценки сверху (16) с оценкой снизу (18), получаем равенство (15). Теорема 2 доказана.

Поступило 20.09.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шабозов М.Ш., Юсупов Г.А. Наилучшие полиномиальные приближения в L_2 некоторых классов 2π -периодических функций и точные значения их поперечников. – Матем. заметки, 2011, т.90, №5, с.764-775.
2. Шабозов М.Ш., Шабозова А.А. Некоторые точные неравенства типа Джексона–Стечкина для периодических дифференцируемых в смысле Вейля функций в L_2 – Труды УрО РАН, 2019, т.25, №4, с.255-264.
3. Лигун А.А. Точные неравенства типа Джексона для периодических функций в пространстве L_2 . – Матем. заметки, 1988, т.43, №6, с.757-769.
4. Айнуллоев Н. Наилучшее приближение некоторых классов дифференцируемых функций в L_2 . – Применение функционального анализа в теории приближений. Сборник научных трудов. – Калининский госуниверситет, 1986, с.3-10.
5. Shabozov M.Sh., Yusupov G.A. Widths of Certain Classes of Periodic Functions in L_2 . – J. of Approx. Theory, 2012, v.164, iss. 1, pp.869-878.
6. Юсупов Г.А. Точные значения поперечников некоторых классов функций из L_2 и минимизация констант в неравенствах типа Джексона–Стечкина. – Модел. и анализ информ. систем, 2013, т.20, №5, с.106-116.
7. Шабозов М.Ш., Вакарчук С.Б., Забутная В.И. Точные неравенства типа Джексона–Стечкина для периодических функций в L_2 и значения поперечников классов функций. – ДАН России, 2013, т.451, №6, с.625-628.
8. Шабозов М.Ш. Поперечники некоторых классов периодических дифференцируемых функций в пространстве $L_2[0,2\pi]$. – Матем. заметки, 2010, т.87, №4, с.616-623.
9. Тайков Л.В. Структурные и конструктивные характеристики функций из L_2 . – Матем. заметки, 1979, т.25, №2, с.217-223.
10. Вакарчук С.Б. Неравенства типа Джексона и поперечники классов функций в L_2 . – Матем. заметки, 2006, т.80, №1, с.11-19.
11. Есмаганбетов М.Г. Поперечники классов из $L_2[0,2\pi]$ и минимизация точных констант в неравенствах типа Джексона. – Матем. заметки, 1999, т.65, №6, с.816-820.
12. Шабозов М.Ш., Шабозов О.Ш. О поперечниках классов периодических функций в пространстве $L_2[0,2\pi]$. – ДАН РТ, 2006, т.49, №2, с.111-115.
13. Раимзода Ф. Об одновременном приближении функции и её производных тригонометрическими полиномами в L_2 . – Изв. АН РТ, Отд. физ.-мат., хим., геол. и тех. н., 2020, №1(178), с.29-36.

Г.А.Юсупов, М.А.Мавлоназаров*

**ОИД БА НАЗДИКШАВИИ МИЁНАКВАДАТИИ ЯКҚОЯИ ФУНКСИЯҲОИ
 2π -ДАВРӢ ДАР L_2**

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ,

**Донишгоҳи давлатии Хоруғ ба номи М.Назаршоев*

Дар мақола доимиҳои аниқ дар нобаробариҳои Чексон–Стечкин барои функцияҳои $f \in L_2^{(r)}$, ки хосилаҳои пайдарпайи онҳо $f^{(s)}$ ($s = 0, 1, \dots, r$) ҳам ба фазои L_2 тааллуқ доранд, ёфта шудаанд.

Инчунин қимати аниқи наздиққунии якҷояи беҳтарини функсия ва ҳосилаҳои пайдарпайи он барои синфи функсияҳое, ки бавоситаи модули бефосилагии тартиби олий $\omega_m(f^{(r)}, t)_2$ дода мешаванд, ҳисоб карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *функсияи даврӣ, наздиққунии якҷояи беҳтарин, нобаробариҳои Џексон-Стечкин, модули бефосилагии.*

G.A.Yusupov, M.A.Mavlonazarov *

ON MEAN-SQUARE JOINT APPROXIMATIONS OF 2π -PERIODIC FUNCTIONS IN L_2

S.Aini Tajik State Pedagogical University,

**M.Nazarshoev Khorog State University*

In the work, exact constants are obtained in the Jackson-Stechkin inequalities, and for the functions $f \in L_2^{(r)}$, which have sequential derivatives $f^{(s)}$ ($s = 0, 1, \dots, r$) belong to the space L_2 . We also obtained the exact value of the simultaneous approximation of a function and its sequential derivatives for classes of functions defined by moduli of continuity of higher orders $\omega_m(f^{(r)}, t)_2$.

Key words: *periodic function, best joint approximation, Jackson-Stechkin inequalities, modulus of continuity.*

Сведение об авторах:

1. **Юсупов Гулзорхон Амиршоевич** – доктор физико-математических наук, профессор, Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни, заведующий кафедрой математического анализа. E-mail: yusufzoda.gulzorkhon@gmail.com/
2. **Мавлоназаров Марамбек Абдулназарович** – Хорогский государственный университет им. М.Назаршоева, старший преподаватель кафедры математического анализа. E-mail: marambek78@mail.ru.

УДК 517.91

Специальность: 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

М.М.Каримов

**ПРИЛОЖЕНИЕ ПРИНЦИПА СМЕНЫ ИНДЕКСА К ИССЛЕДОВАНИЮ
БИФУРКАЦИИ АНДРОНОВА-ХОПФА***Таджикский национальный университет**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана Э.М.Мухамадиевым 23.09.2023 г.)*

В статье исследуется бифуркационное поведение динамической системы – возникновение в окрестности стационарного решения нестационарных периодических решений малой амплитуды, так называемая бифуркация Андронова-Хопфа. С помощью топологических методов (принцип смены индекса), при условии непрерывной зависимости от параметра линейной части системы, в терминах поведения коэффициентов найдены условия возникновения бифуркации Андронова-Хопфа для динамической системы в трехмерном пространстве.

Ключевые слова: автономная система дифференциальных уравнений, периодическое решение, бифуркация Андронова-Хопфа, спектр матрицы, топологические методы, вращение векторного поля, гомотопия векторных полей, индекс особой точки векторного поля.

В теории бифуркации исследуется качественное поведение решения динамических систем при изменении параметров. Основная идея в теории бифуркации Андронова-Хопфа заключается в том, что если система дифференциальных уравнений зависит от параметра, то при изменении этого параметра решения системы могут изменять свое поведение. При определенных значениях параметра могут происходить бифуркации, то есть качественные изменения поведения решений.

В частности, теорема Андронова-Хопфа устанавливает, что при определенных условиях (например, при наличии особой точки) при изменении параметра системы могут появляться циклические решения, которые ранее отсутствовали. Это явление называется бифуркацией Андронова-Хопфа.

В работе [1] для автономной системы дифференциальных уравнений вида

$$\dot{x} = F(x, \mu) \quad (1)$$

приведена классическая теорема Хопфа. Здесь $x \in R^n$, $\mu \in \Lambda \subset R$, а $F(x, \mu)$ – непрерывно-дифференцируемая вектор-функция по совокупности переменных x, μ . Предполагается, что система дифференциальных уравнений (1) допускает аналитическое семейство $x = x(\mu)$ состояний равновесия, то есть $F(x(\mu), \mu) = 0$. Производя замену, без ограничения общности можно предполагать, что

Адрес для корреспонденции: Каримов Мехрубон Маткаримович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: azharsoft@mail.ru.

$x(\mu) \equiv 0$, то есть $F(0, \mu) \equiv 0$. Предположим, что при некотором $\mu = \mu_0$, (например, при $\mu_0 = 0$), матрица Якоби $F_x(0, \mu_0)$ имеет два чисто мнимых простых собственных значения $\pm i\beta$ и не существует других собственных значений матрицы $F_x(0, \mu_0)$, кратных $i\beta$. Пусть $\alpha(\mu) + i\beta(\mu)$ является продолжением по параметру μ собственного значения $i\beta$. Предполагается, что $\alpha'(0) \neq 0$.

Теорема 1 (теорема Хопфа). *При сформулированных условиях существуют непрерывные функции $\mu = \mu(\varepsilon)$ и $T = T(\varepsilon)$, зависящие от параметра $\varepsilon, \mu(0) = 0, T(0) = 2\pi\beta^{-1}$ и такие, что у уравнения (1) существуют ненулевые периодические решения $x(t, \varepsilon)$ периода $T(\varepsilon)$, которые удовлетворяют условию*

$$a(\varepsilon) = \max_t |x(t, \varepsilon)| \rightarrow 0, \quad \varepsilon \rightarrow 0.$$

Ниже исследуется бифуркация Хопфа [7], когда $n = 3$ при менее ограничительных условиях на функцию $F(x, \mu)$. Предположим, что $F(x, \mu)$ непрерывна по совокупности переменных, $F(0, \mu) \equiv 0$ и имеет место представление

$$F(x, \mu) = A(\mu)x + \omega(x, \mu), \tag{2}$$

где $A(\mu) = (a_{ij}), i, j = 1, 2, 3$ – квадратная матрица, а $\omega(x, \mu)$ удовлетворяет условию

$$\frac{|\omega(x, \mu)|}{|x|} \rightarrow 0, |x| \rightarrow 0, \tag{3}$$

равномерно относительно μ . Отметим, что из непрерывности по совокупности переменных функции $F(x, \mu)$, представления (2) и условия (3) следует, что матрица $A(\mu)$ непрерывно зависит от μ , а $\omega(x, \mu)$ непрерывно зависит по совокупности переменных. В отличие от условий Хопфа, где предполагается, что функция $F(x, \mu)$ – дифференцируема по совокупности переменных x, μ , нам достаточно условие непрерывности правой части системы по совокупности переменных.

Предположим, что спектр $\sigma(A(\mu))$ матрицы $A(\mu)$ имеет представление $\sigma(A(\mu)) = \{\alpha(\mu) \pm i\beta(\mu), \gamma(\mu)\}$, где $\beta(\mu) \neq 0, \gamma(\mu) \neq 0, \mu \in \Lambda$. В силу непрерывной зависимости матрицы $A(\mu)$ от параметра μ , при значениях μ , близких к μ_0 , существует $\varepsilon > 0$ такое, что при $|\mu - \mu_0| < \varepsilon$ имеют место неравенства $|\beta(\mu) - \beta(\mu_0)| < \frac{1}{2}\beta(\mu_0), |\gamma(\mu) - \gamma(\mu_0)| < \frac{1}{2}|\gamma(\mu_0)|, |\alpha(\mu)| < \frac{1}{2}|\gamma(\mu)|$.

При этих условиях дифференцируемость собственного значения $\alpha(\mu) + i\beta(\mu)$ матрицы $A(\mu)$ по параметру μ не гарантирована. Поэтому условие $\alpha'(\mu_0) \neq 0$, предполагаемое в формулировке теоремы Хопфа, заменяется на условие существования последовательности чисел $\delta_k^+ > 0$, $\delta_k^- > 0$, стремящихся к нулю при $k \rightarrow \infty$ таких, что $\alpha(\mu_0 - \delta_k^-)\alpha(\mu_0 + \delta_k^+) < 0, k = 1, 2, \dots$. Ниже это условие получаем непосредственно через элементы матрицы $A(\mu)$.

Система уравнений (1), в силу условий (2), (3) при всех $\mu \in \Lambda$ имеет изолированное нулевое стационарное (периодическое, любого периода) решение. Нас интересует множество предельных точек Λ^* последовательностей $\mu_k \in \Lambda, k = 1, 2, \dots$ для которых система (1) при $\mu = \mu_k$ имеет ненулевые периодические решения $x_k(t)$, удовлетворяющие условию:

$$\max_t |x_k(t)| \rightarrow 0, k \rightarrow \infty.$$

Определение. Число $\mu_0 \in \Lambda$ называют [2] бифуркационным значением Андронова-Хопфа для динамической системы (1), если существуют число $T_0 > 0$ и последовательности $\mu_k \in \Lambda, T_k > 0, k = 1, 2, \dots$ такие, что при каждом $\mu = \mu_k, k = 1, 2, \dots$ система уравнений (1) имеет ненулевое T_k -периодическое решение $x_k(t)$ и при $k \rightarrow \infty$ имеют место

$$\mu_k \rightarrow \mu_0, \max_t |x(t, \mu_k)| \rightarrow 0, T_k \rightarrow T_0.$$

Отметим, что если $\mu_0 \in \Lambda$ является бифуркационным значением [4] Андронова - Хопфа, то спектр $\sigma(A(\mu_0))$ матрицы $A(\mu_0)$ содержит пару чисто мнимых и одно вещественное собственное значение: $\sigma(A(\mu_0)) = \{\pm i\beta_0, \gamma_0\}$. Эти условия эквивалентны тому, что коэффициенты характеристического уравнения матрицы $A(\mu)$

$$\lambda^3 + a_1(\mu)\lambda^2 + a_2(\mu)\lambda + a_3(\mu) = 0, \tag{4}$$

при $\mu = \mu_0$ удовлетворяют условиям $a_1(\mu_0) = -\gamma_0, a_2(\mu_0) = \beta_0^2, a_3(\mu_0) = -\beta_0^2\gamma_0$. Здесь $a_1(\mu) = -(a_{11}(\mu) + a_{23}(\mu) + a_{33}(\mu)), a_2(\mu) = a_{11}(\mu)a_{22}(\mu) - a_{12}(\mu)a_{21}(\mu) + a_{11}(\mu)a_{33}(\mu) - a_{13}(\mu)a_{31}(\mu) + a_{22}(\mu)a_{33}(\mu) - a_{23}(\mu)a_{32}(\mu), a_3(\mu) = -\det A(\mu)$.

Следовательно, если $\gamma_0 \neq 0$, то выполняются следующие условия

$$a_3(\mu) = a_1(\mu)a_2(\mu), a_2(\mu) > 0, a_1(\mu) \neq 0, \text{ при } \mu = \mu_0.$$

Обозначим

$$\Delta(\mu) = a_3(\mu) - a_1(\mu)a_2(\mu). \tag{5}$$

Теорема 2. Пусть $\Delta(\mu_0)=0$, $a_1(\mu_0)\neq 0$, $a_2(\mu_0)>0$ и существуют такие числа $\delta_k^+ > 0, \delta_k^- > 0$, стремящиеся к нулю, при $k \rightarrow \infty$, что $\Delta(\mu_0 - \delta_k^-)\Delta(\mu_0 + \delta_k^+) < 0, k = 1, 2, \dots$. Тогда точка $\mu = \mu_0$ является точкой бифуркации Андронова-Хопфа для системы (1).

Согласно теореме Жордана [8] существует невырожденная матрица $U(\mu)$, непрерывно зависящая от μ , такая, что

$$U^{-1}(\mu)A(\mu)U(\mu) = \begin{pmatrix} \alpha(\mu) & \beta(\mu) & 0 \\ -\beta(\mu) & \alpha(\mu) & 0 \\ 0 & 0 & \gamma(\mu) \end{pmatrix}.$$

С помощью линейной замены $x = U(\mu)y$ систему (1) приведем к следующему виду:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = \alpha(\mu)y_1 + \beta(\mu)y_2 + f_1(y, \mu), \\ \dot{y}_2 = -\beta(\mu)y_1 + \alpha(\mu)y_2 + f_2(y, \mu), \\ \dot{y}_3 = \gamma(\mu)y_3 + f_3(y, \mu). \end{cases} \quad (6)$$

В системе (6) произведем замену искомым функций

$$y_1(t) = r(t)\cos\varphi(t), y_2(t) = r(t)\sin\varphi(t), y_3(t) = r(t)v(t), 0 \leq \varphi \leq 2\pi,$$

получим

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = \alpha(\mu)r + f_1\cos\varphi + f_2\sin\varphi, \\ \frac{d\varphi}{dt} = -\beta(\mu) - \frac{1}{r}[f_1\sin\varphi - f_2\cos\varphi], \\ \frac{dv}{dt} = [\gamma(\mu) - \alpha(\mu)]v - \frac{v}{r}[f_1\cos\varphi + f_2\sin\varphi] + \frac{1}{r}f_3, \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $f_j = f_j(r\cos\varphi, r\sin\varphi, rv, \mu)$, $j = 1, 2, 3$.

Если для решения $(y_1(t), y_2(t), y_3(t))$ системы (6) при данном значении μ , правая часть второго уравнения системы (7) не равна нулю при всех t , исключим независимую переменную t из системы (7) и получим

$$\begin{cases} \frac{dr}{d\varphi} = R_1(r, v, \varphi, \mu), \\ \frac{dv}{d\varphi} = R_2(r, v, \varphi, \mu), \end{cases} \quad (8)$$

где

$$R_1(r, v, \varphi, \mu) = \frac{\alpha(\mu)r + f_1 \cos \varphi + f_2 \sin \varphi}{-\beta(\mu) - \frac{1}{r}[f_1 \sin \varphi - f_2 \cos \varphi]},$$

$$R_2(r, v, \varphi, \mu) = \frac{[\gamma(\mu) - \alpha(\mu)]v - \frac{v}{r}[f_1 \cos \varphi + f_2 \sin \varphi] + \frac{1}{r}f_3}{-\beta(\mu) - \frac{1}{r}[f_1 \sin \varphi - f_2 \cos \varphi]}.$$

Отметим, что в силу условия (3), для любого $v_0 > 0$ существует $r_0 > 0$ такое, что функции $R_1(r, v, \varphi, \mu)$, $R_2(r, v, \varphi, \mu)$ определены и непрерывны в области $0 \leq r \leq r_0$, $|v| \leq v_0$, $|\mu - \mu_0| < \varepsilon$, $\varphi \in R$.

Нечётное продолжение и построение области в пространстве $C[0, 2\pi]$.

Известно, что по определению величина r принимала неотрицательные значения.

В дальнейшем, нам удобно расширить область определения $R_1(r, v, \varphi, \mu), R_2(r, v, \varphi, \mu)$. А именно при $-r_0 \leq r \leq 0$, полагая $R_1(r, v, \varphi, \mu) = -R_1(-r, v, \varphi, \mu)$, $R_2(r, v, \varphi, \mu) = 2R_2(0, v, \varphi, \mu) - R_2(-r, v, \varphi, \mu)$, получим непрерывное продолжение функции $R_1(r, v, \varphi, \mu)$, $R_2(r, v, \varphi, \mu)$ в области $|r| \leq r_0$, $|v| \leq v_0$, $|\mu - \mu_0| < \varepsilon$, $\varphi \in R$.

Задача о существовании 2π -периодических решений системы (8) эквивалентна существованию решения интегральных уравнений вида [2,3]

$$\begin{cases} r(\varphi) = r(2\pi) + \int_0^\varphi R_1(r, v, s, \mu) ds, \\ v(\varphi) = v(2\pi) + \int_0^\varphi R_2(r, v, s, \mu) ds, \end{cases} \tag{9}$$

в пространстве $C[0, 2\pi]$ -непрерывных на отрезке $[0, 2\pi]$.

Введём в рассмотрение семейство вполне непрерывных векторных полей

$$(\Phi(r, v, \mu)(\varphi)) = \begin{cases} r(\varphi) - r(2\pi) - \int_0^\varphi R_1(r, v, s, \mu) ds \\ v(\varphi) - v(2\pi) - \int_0^\varphi R_2(r, v, s, \mu) ds \end{cases} \tag{10}$$

на границе области

$$S(\delta_0, v_0) = \{(r(\varphi), v(\varphi)) : r(\varphi) \leq \delta_0, v(\varphi) \leq v_0, 0 \leq \varphi \leq 2\pi\} \subset C[0, 2\pi],$$

здесь $C[0, 2\pi]$ пространство вектор-функций, непрерывных на отрезке $[0, 2\pi]$, $\|\cdot\|$ – норма в пространстве непрерывных функций [5,6].

Вычисление вращения вполне непрерывного векторного поля

На границе $\dot{S}(\delta_0, \nu_0)$ ограниченной области $S(\delta_0, \nu_0) \subset C[0, 2\pi]$ рассмотрим векторное поле (10).

Лемма 1. *Предположим, что $\alpha(\mu) \neq 0, \beta(\mu) \neq 0, \gamma(\mu) \neq 0, \gamma(\mu) \neq \alpha(\mu)$. Тогда существует $\delta_0 > 0$ такое, что для любого $0 \leq \lambda \leq 1$ и $(r(\varphi), \nu(\varphi)) \in \dot{S}(\delta_0, \nu_0)$, выполняется $(\Phi_\lambda(r, \nu, \mu))(\varphi) \neq 0$, где*

$$(\Phi_\lambda(r, \nu, \mu))(\varphi) = \begin{cases} r(\varphi) - r(2\pi) - \int_0^\varphi R_{1\lambda}(r(s), \nu(s), s, \mu) ds \\ \nu(\varphi) - \nu(2\pi) - \int_0^\varphi R_{2\lambda}(r(s), \nu(s), s, \mu) ds \end{cases}. \quad (11)$$

Здесь

$$R_{1\lambda}(r, \nu, \varphi, \mu) = \frac{\alpha(\mu)r + \lambda(f_1 \cos \varphi + f_2 \sin \varphi)}{-\beta(\mu) - \frac{\lambda}{r}[f_1 \sin \varphi - f_2 \cos \varphi]},$$

$$R_{2\lambda}(r, \nu, \varphi, \mu) = \frac{[\gamma(\mu) - \alpha(\mu)]\nu - \frac{\lambda}{r}[f_1 \cos \varphi + f_2 \sin \varphi] + \frac{\lambda}{r}f_3}{-\beta(\mu) - \frac{\lambda}{r}[f_1 \sin \varphi - f_2 \cos \varphi]}.$$

Из леммы 1 вытекает, что нуль является изолированной особой точкой вполне непрерывного векторного поля (10) и векторные поля $\Phi_1(r, \nu, \mu)(\varphi)$ и $\Phi_0(r, \nu, \mu)(\varphi)$ гомотопны. Тогда их вращения одинаковы. Вычислим вращение поля

$$(\Phi_0(r, \nu, \mu))(\varphi) = \begin{cases} r(\varphi) - r(2\pi) - \int_0^\varphi a(\mu)r(s) ds \\ \nu(\varphi) - \nu(2\pi) - \int_0^\varphi b(\mu)\nu(s) ds \end{cases},$$

где

$$a(\mu) = \frac{\alpha(\mu)}{-\beta(\mu)} \neq 0, \quad b(\mu) = \frac{\gamma(\mu) - \alpha(\mu)}{-\beta(\mu)} \neq 0.$$

Векторное поле $(\Phi_0(r, \nu, \mu))(\varphi)$ перепишем в более общем виде

$$(\Phi_0 x)(\varphi) = x(\varphi) - x(2\pi) - \int_0^\varphi B(\mu)x(s) ds,$$

где $B(\mu) = (b_{ij}(\mu))$, $i, j = 1, 2$ – квадратная матрица, $x(\varphi) = (r(\varphi), \nu(\varphi))^T$, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$.

Линейное векторное поле $(\Phi_0 x)(\varphi)$ на границе $\dot{S}(\delta_0, v_0)$ не равно нулю. Отсюда следует, что определено его вращение $\gamma(\Phi_0, \dot{S})$ и оно совпадает с индексом $ind_\theta(\Phi_0)$ нулевой особой точки [2]. А именно, справедлива следующая лемма.

Лемма 2. Пусть $im \notin \sigma(B), m \in Z$, тогда $(\Phi_0 x)(\varphi) \neq 0$ для любой ненулевой функции $x(\varphi) \in C[0, 2\pi]$ и $\gamma(\Phi_0, \dot{S}) = ind_\theta(\Phi_0) = sign(det B)$.

Приведем схему доказательства теоремы 2. Из обозначения (5) имеем

$$\Delta(\mu) = 2\alpha(\mu) \left[\beta^2(\mu) + (\alpha(\mu) + \gamma(\mu))^2 \right].$$

Отсюда, полагая $\mu = \mu_k^- \equiv \mu_0 - \delta_k^-$ и $\mu = \mu_k^+ \equiv \mu_0 + \delta_k^+$, в силу условий $\Delta(\mu_k) \Delta(\mu'_k) < 0$, имеем $\alpha(\mu_k) \alpha(\mu'_k) < 0, k = 1, 2, 3, \dots$

В условиях леммы 1 при $\mu = \mu_k^-$ и $\mu = \mu_k^+$ выберем общее $\delta_k > 0$ такое, что в силу леммы 2

$$\begin{aligned} \gamma(\Phi(r, v, \mu_k^-), \dot{S}(\delta_k, v_0)) &= sign \left[\alpha(\mu_k^-) (\gamma(\mu_k^-) - \alpha(\mu_k^-)) \right], \\ \gamma(\Phi(r, v, \mu_k^+), \dot{S}(\delta_k, v_0)) &= sign \left[\alpha(\mu_k^+) (\gamma(\mu_k^+) - \alpha(\mu_k^+)) \right]. \end{aligned}$$

Из этих равенств следует, что при достаточно больших k векторные поля $\Phi(r, v, \mu_k)$ и $\Phi(r, v, \mu'_k)$ не гомотопны на $\dot{S}(\delta_k, v_0)$. Поэтому существуют $\mu_k \in (\mu_k^-, \mu_k^+)$ и $(r_k(\varphi, \mu_k), v_k(\varphi, \mu_k)) \in \dot{S}(\delta_k, v_0)$ такие, что $\Phi(r_k, v_k, \mu_k)(\varphi) = 0$. Таким образом, нами получено существование 2π -периодического решения $(r_k(\varphi, \mu_k), v_k(\varphi, \mu_k)) \in \dot{S}(\delta_k, v_0)$ дифференциального уравнения (8).

Таким образом, смена знака $\Delta(\mu)$ в окрестности значения $\mu_0 \in \Lambda$ обеспечивает бифуркацию периодических решений динамической системы (1). Ниже на рисунке приведена геометрическая иллюстрация доказательства теоремы 2.

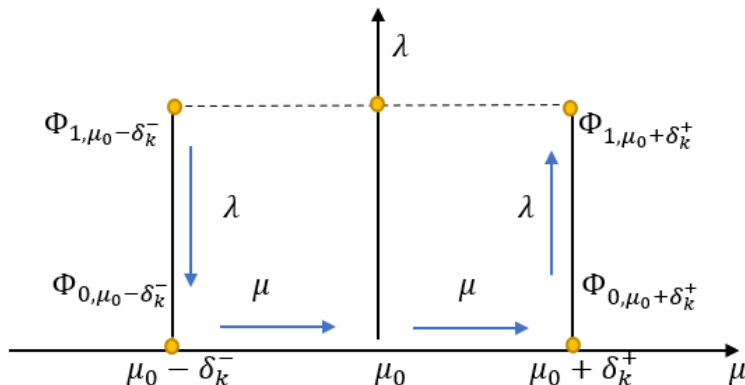


Рис. Гомотопия вполне непрерывных векторных полей.

Поступило 23.09.223 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Марсден Дж., Мак-Кракен М. Бифуркация рождения цикла и ее приложения. – М.: Мир, 1980, 368 с.
2. Красносельский М.А., Забрейко П.П. Геометрические методы нелинейного анализа. – М.: Наука, 1975, 510 с.
3. Красносельский М.А. Топологические методы и теории нелинейных интегральных уравнений. – М.: Гостехиздат, 1956, 392 с.
4. Козякин В.С., Красносельский М.А. Метод функционализации параметра в задаче о точках бифуркации. – ДАН СССР, 1980, т. 254, № 5, с.1061-1064.
5. Мухамадиев Э.М. К вычислению вращения конечномерных векторных полей. – ДАН СССР, 1970, т.190, № 3, с.535-537.
6. Мухамадиев Э.М., Красносельский М.А., Покровский А.Б. Бифуркационные значения параметров в вариационных задачах. – ДАН СССР, 1980, т.245, № 2, с.282-286.
7. Красносельский А.М, Кузнецов Н.А., Юмагулов М.Г. Функционализации параметра и асимптотика циклов в бифуркации Хопфа. – Автоматика и телемеханика, 1996, т. 57, №11, с.22-28.
8. Юмагулов М. Г. Введение в теорию динамических систем. – Лань., 2015, 272 с.

М.М.Каримов

ИСТИФОДАИ ҚОНУНИ ТАҒИРЁБИИ ИНДЕКС ДАР ОМУЗИШИ БИФУРКАТСИЯИ АНДРОНОВ-ХОПФ

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар мақола рафтори бифуркатсионии системаи динамикӣ – дар агрофи ҳалҳои статсионарӣ пайдо шудани ҳалҳои даврии ғайрестатсионарии амплитудаи хурд дошта, ба истилоҳ бифуркатсияи Андронов-Хопф баррасӣ мешавад. Бо истифода аз усулҳои топологӣ (принципи тағирёбии индекс), ҳангоми бефосила будани қисми хаттии система, ба истилоҳи рафтори коэффитсиентҳо, дар фазои сеченека шарти ба вучуд омадани бифуркатсияи Андронов-Хопф барои системаи динамикӣ ёфта шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *системаи автономии муодилаҳои дифференциалӣ, ҳалли даврӣ, бифуркатсияи Андронов-Хопф, спектри матрицасавӣ, усулҳои топологӣ, гардиши майдони векторӣ, гомотопияи майдонҳои векторӣ, индекси нуқтаи махсуси майдони векторӣ.*

M.M.Karimov

APPLICATION OF THE INDEX CHANGE PRINCIPLE TO THE STUDY OF THE ANDRONOV-HOPFF BIFURCATION

Tajik National University

The article examines the bifurcation behavior of a dynamic system – the emergence in the vicinity of a stationary solution of nonstationary periodic solutions of small amplitude, the so-called Andronov-Hopff bifurcation. Using topological methods (the principle of changing the index), under the condition of continuous

dependence on the parameter of the linear part of the system, in terms of the behavior of the coefficients, the conditions for the occurrence of the Andronov-Hopf bifurcation for a dynamic system in three-dimensional space are found.

Key words: *autonomous system of differential equations, periodic solution, Andronov-Hopf bifurcation, matrix spectrum, topological methods, rotations of a vector field, homotopy of vector fields, singular index of a vector field.*

Сведения об авторах:

1. **Каримов Мехрубон Маткаримович** – Таджикский национальный университет, докторант (PhD) кафедры информатики. E-mail: azharsoft@mail.ru.

УДК 002.6

Специальность: 2.3.8 – Информатика и информационные процессы

Ф.С.Комилиён, М.Ф.Рахимов***МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА: ОТ МОНОЛИТА К ГИБКИМ
РАСПРЕДЕЛЕННЫМ СИСТЕМАМ***Таджикский национальный университет,
*Национальная академия наук Таджикистана,
Институт математики им. А.Джураева**(Представлено академиком НАН Таджикистана З.Х.Рахмоновым 10.10.2023 г.)*

Статья посвящена эффективному переходу от монолитных систем к микросервисной архитектуре, представлены стратегии, методы и инструменты, реализующие такого перехода.

Ключевые слова: *монолитная система, микросервисная архитектура, контейнеризация, оркестрация, инфраструктура, программное обеспечение.*

Введение. Современная эра информационных технологий вносит значительные изменения в область программного обеспечения (ПО), выдвигая всё более высокие требования к гибкости, масштабируемости и скорости разработки систем. Монолитные архитектуры, которые традиционно представляли собой компактные, единые приложения, сталкиваются с ограничениями в адаптации к современным вызовам. В ряде регионов, включая Республику Таджикистан, внедрение микросервисной архитектуры становится стратегически важным и неотложным шагом для обновления информационных систем [1-5].

Монолитные системы (МС), с их концентрацией всего функционала в едином блоке кода, предоставляют удобство на начальных этапах разработки. Однако с ростом и сложностью таких систем возникают значительные ограничения. Ограниченная масштабируемость монолитов затрудняет поддержание высокой производительности при увеличении объема данных или нагрузки. Процесс изменений и добавления нового функционала становится затруднительным из-за взаимосвязей компонентов внутри монолитной структуры. Эти факторы замедляют инновации и гибкость развития системы, что не соответствует современным требованиям рынка.

В условиях современных вызовов микросервисная архитектура (МА) представляет собой перспективное решение. Она основана на концепции разделения приложения на независимые, автономные компоненты – микросервисы, каждый из которых выполняет ограниченный набор функций. Такой подход позволяет разработчикам работать над каждым компонентом отдельно, обеспечивая более гибкую масштабируемость и возможность быстрого развертывания изменений. Микросервисы могут быть разработаны с использованием различных технологий и языков

Адрес для корреспонденции: Комилиён Файзали Саъдулло. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет. E-mail: komfaiz@mail.ru.

программирования, что обеспечивает возможность интеграции новых технологий без изменения всей системы.

Внедрение МА в МС в Республике Таджикистан представляет собой не только техническое обновление, но и стратегический шаг, способствующий улучшению масштабируемости, гибкости разработки и успешной адаптации к современным требованиям рынка в данном регионе. Этот переход становится ключевым фактором для обеспечения конкурентоспособности и эффективного функционирования информационных систем в современной динамичной среде бизнеса и технологий [1-8].

Степень изученности проблемы. История внедрения МА в МС включает в себя эволюцию практик разработки программного обеспечения, начиная с эпохи, когда большинство приложений создавались как единый монолитный блок, объединяющий в себе все компоненты. Это была привычная модель разработки, где весь функционал, включая базы данных, бизнес-логику и пользовательский интерфейс, интегрировался в одно приложение. Однако с ростом сложности и масштаба приложений такой подход стал вызывать ряд проблем.

Появление концепции микросервисов сместило акцент с монолитного подхода на более гибкую и масштабируемую модель. Этот подход предлагает разбить приложение на небольшие, автономные сервисы, каждый из которых ответственен за определенную функцию. Каждый сервис может быть разработан, протестирован, масштабирован и развернут независимо от других, что упрощает обновление и поддержку системы. Микросервисы также обеспечивают гибкость в выборе технологий для каждого сервиса, что позволяет использовать наилучшие инструменты для конкретной задачи.

Эксперты в области разработки программного обеспечения, такие как Мартин Фаулер (Martin Fowler) [6], Сэм Ньюмен (Seam Newman) [7], Эдсон Янага (Edson Yanaga) [8] и другие, сыграли ключевую роль в популяризации и продвижении идеи микросервисной архитектуры. Они активно делились знаниями, публиковали материалы и проводили обучающие мероприятия, чтобы помочь разработчикам и компаниям понять преимущества этого подхода и решить проблемы, связанные с монолитными системами.

Переход от монолитной архитектуры к микросервисам представляет собой сложный и длительный процесс. Он включает переписывание кода, пересмотр бизнес-процессов, изменение инфраструктуры и реорганизацию команд. Разработчики, архитекторы ПО, DevOps-инженеры (DevOps – Development Operations) и другие участники команд вместе работают над этим процессом, чтобы эффективно адаптировать систему к новой архитектуре.

Процесс внедрения МА в МС направлен на создание более гибких, масштабируемых и отказоустойчивых приложений, способных быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и удовлетворять потребности пользователей. Он представляет собой не только техническое изменение, но и культурное преобразование в разработке ПО и управлении проектами [1-5].

Решение исследовательских вопросов. Процесс внедрения МА в МС включает различные задачи (рис. 1), которые решаются на разных уровнях организации и разработки ПО [6, 7, 9].

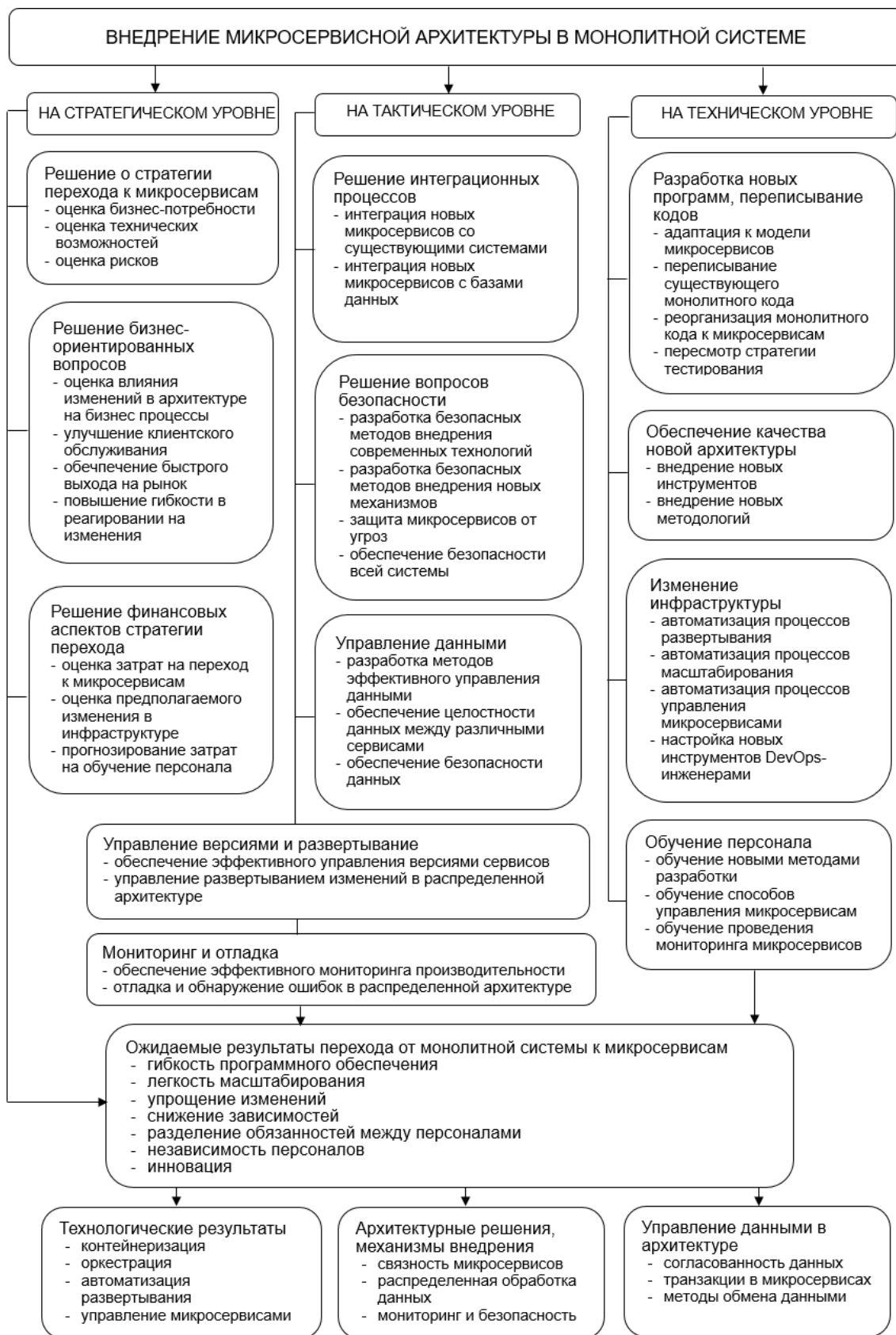


Рис. 1. Решаемые задачи внедрения МА в МС

1. На стратегическом уровне:

- *решение о стратегии перехода к микросервисам.* Руководители и архитекторы определяют, когда и как начать процесс перехода, оценивая бизнес-потребности, технические возможности и риски;
- *бизнес-ориентированные вопросы.* Возникают вопросы о том, как изменение архитектуры повлияет на бизнес-процессы, как улучшить клиентское обслуживание, обеспечить более быстрый выход на рынок и повысить гибкость в реагировании на изменения;
- *финансовые аспекты.* Оценка затрат на переход к микросервисам, прогнозирование затрат на обучение персонала, изменения в инфраструктуре и прочее.

2. На техническом уровне:

- *разработка и переписывание кода.* Разработчики занимаются переписыванием и реорганизацией существующего монолитного кода для адаптации к модели микросервисов;
- *тестирование и обеспечение качества.* Необходимо пересмотреть стратегии тестирования, внедрить новые инструменты и методологии, чтобы обеспечить качество новой архитектуры;
- *изменение инфраструктуры.* DevOps-инженеры занимаются настройкой новых инструментов для автоматизации процессов развертывания, масштабирования и управления микросервисами;
- *обучение персонала.* Необходимо обучить команды новым методам разработки, управления и мониторинга микросервисов.

3. Открытые вопросы:

- *сложность интеграции.* Интеграция новых микросервисов с существующими системами и базами данных может быть сложной задачей;
- *управление данными.* Вопросы о том, как эффективно управлять данными, поддерживать целостность данных между различными сервисами и обеспечивать безопасность данных;
- *мониторинг и отладка.* Необходимость обеспечить эффективный мониторинг производительности, отладку и обнаружение ошибок в распределенной архитектуре;
- *безопасность.* Защита микросервисов от угроз и обеспечение безопасности всей системы при использовании различных технологий и механизмов;
- *управление версиями и развертывание.* Эффективное управление версиями сервисов, а также управление развертыванием изменений в распределенной архитектуре.

Следовательно, процесс внедрения микросервисной архитектуры в монолитные системы требует комплексного подхода, чтобы решить технические, организационные и бизнес-ориентированные проблемы, а также обеспечить эффективную работу всей системы в новой архитектуре.

Определение стратегии перехода к микросервисной архитектуре. В процессе перехода от монолитной архитектуры к микросервисной необходимо разработать методичный план действий, который обеспечит последовательное и успешное разделение функционала системы. Переход к микросервисам требует тщательного анализа текущей монолитной системы для выявления ее особенностей и проблем, а также определения наилучших стратегий для разделения функционала на отдельные микросервисы [9].

Стратегия перехода включает в себя несколько этапов. Сначала необходимо провести детальный анализ монолита, выявив его основные функциональные блоки и их зависимости. Затем определяются границы и состав микросервисов, которые будут выделены из монолита.

Один из возможных подходов заключается в выделении микросервисов по функциональной составляющей системы. Это предполагает разделение на отдельные сервисы в зависимости от конкретных бизнес-процессов или функций, что упрощает их управление и разработку.

Другой подход основывается на разделении по данным: компоненты системы, которые работают с различными наборами данных, могут быть выделены в отдельные микросервисы, что способствует более четкой и автономной работе каждого сервиса.

Выбор стратегии разделения зависит от специфики системы, ее структуры, бизнес-логики и требований к интеграции. Этот процесс требует тщательной оценки рисков, управления изменениями и обеспечения совместимости выделенных микросервисов.

Целью данного перехода является создание гибкой, легко масштабируемой и более поддерживаемой системы. Основные шаги включают в себя постепенное выделение функционала из монолита, разработку четких API (Application Programming Interface – Программный интерфейс приложения) для взаимодействия между микросервисами и тщательное тестирование их работоспособности и совместимости при интеграции обратно в систему. Это итеративный процесс, требующий постоянного анализа и корректировок для успешного перехода к микросервисной архитектуре.

Технические и технологические аспекты перехода. Переход от монолитной архитектуры к микросервисной требует внедрения различных технологий и инструментов, обеспечивающих гибкость, масштабируемость и управляемость новой архитектуры. Рассмотрим основные технические и технологические аспекты этого процесса, включая контейнеризацию, оркестрацию, автоматизацию развертывания, мониторинга и управления микросервисами [10]:

- *контейнеризация.* Контейнеризация представляет собой процесс упаковки приложений и их зависимостей в легковесные, изолированные контейнеры. Использование контейнеров, таких как Docker (контейнеризатор приложений), становится ключевым элементом при переходе к микросервисной архитектуре.

Контейнеры позволяют упаковывать приложения и их зависимости в единый исполняемый объект, обеспечивая консистентность работы приложения на разных средах и устройствах. Это упрощает развертывание, управление и масштабирование микросервисов;

- *оркестрация.* Оркестрация представляет собой управление и координацию развертывания и работы контейнеризированных приложений и сервисов. Платформы оркестрации, такие как Kubernetes, Docker Swarm или Amazon ECS, обеспечивают автоматизацию процессов развертывания, балансировку нагрузки, масштабирование и обеспечивают высокую доступность приложений.

Системы управления контейнерами предоставляют мощные инструменты для автоматизации развертывания, масштабирования и управления контейнеризированными приложениями, включая микросервисы. Kubernetes позволяет управлять кластером контейнеров, обеспечивая автоматическое восстановление, масштабирование и балансировку нагрузки между микросервисами [11];

- *автоматизация развертывания.* Использование инструментов Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD), таких как Jenkins, GitLab CI/CD, или CircleCI, позволяет автоматизировать процесс сборки, тестирования и развертывания микросервисов. Это обеспечивает быстрое внедрение изменений и обновлений в производственную среду без прерывания работы системы [7];

- *мониторинг*. Эффективный мониторинг является неотъемлемой частью работы с микросервисами. Инструменты мониторинга, такие как Prometheus, Grafana, ELK Stack и другие, позволяют отслеживать состояние и производительность сервисов, собирать, анализировать и визуализировать данные, необходимые для выявления и решения проблем;

- *управление микросервисами*. Для удобного управления микросервисами используют инструменты типа Service Mesh, например, Istio или Linkerd. Они предоставляют механизмы для контроля, мониторинга, обеспечения безопасности и управления трафиком между микросервисами, что повышает устойчивость и отказоустойчивость системы.

Использование инструментов управления контейнерами и сервисами, таких как Kubernetes Dashboard, позволяет управлять жизненным циклом микросервисов – их развертыванием, масштабированием, мониторингом и обновлением [11, 12].

Кроме того, для обеспечения эффективной работы микросервисов необходимо уделить внимание инструментам мониторинга и логирования, таким как Prometheus, Grafana, ELK Stack (Elasticsearch, Logstash, Kibana) и другим, которые помогут отслеживать производительность, выявлять проблемы и улучшать работу микросервисов.

Технологии и инструменты, упомянутые выше, представляют собой лишь часть инструментария, который может быть использован для успешного перехода к микросервисной архитектуре. Конкретный набор инструментов выбирается в зависимости от специфики системы, требований к безопасности, масштабируемости и других факторов, а также на основе анализа возможностей и потребностей организации.

Реализация в Таджикистане. Внедрение микросервисной архитектуры в монолитные системы представляет собой значимый шаг для развития информационных технологий в Таджикистане [1-5].

Для достижения этой цели страна может прибегнуть к нескольким стратегиям. Прежде всего, обучение и поддержка IT-сообщества станет ключевым элементом. Организация образовательных курсов, тренингов и мероприятий по микросервисной архитектуре поможет подготовить кадры с нужными навыками для внедрения новых технологий [1, 5].

Следующим шагом является поддержка IT-стартапов и предпринимательства. Предоставление финансовой поддержки и инфраструктуры для компаний, желающих внедрить инновационные решения на основе микросервисов, способствует развитию технологического предпринимательства в стране [2-4].

Создание инновационной среды, включая центры разработки ПО и инновационные лаборатории, будет стимулировать молодых специалистов к работе над проектами, основанными на МА. Сотрудничество с международными компаниями и экспертами также имеет значение. Это позволит обмениваться опытом и знаниями, устанавливать партнерские отношения и привлекать внешние ресурсы для поддержки развития IT-сферы в Таджикистане [1-5].

Государственная поддержка в виде инвестиций в IT-инфраструктуру, создание технологических парков и налоговых стимулов может содействовать ускоренному развитию индустрии информационных технологий в стране. Применение МА в государственных и коммерческих проектах будет способствовать повышению эффективности систем, обеспечивая гибкость и инновационный потенциал для развития бизнеса и технологий в Таджикистане. Этот шаг

может сделать таджикские компании конкурентоспособными на мировой арене и способствовать улучшению качества услуг внутри страны и за её пределами [2-4].

Архитектурные решения и механизмы внедрения микросервисов. При проектировании новой архитектуры с использованием микросервисов важно учитывать несколько ключевых аспектов, таких как связность, распределенная обработка данных, мониторинг и безопасность, для обеспечения эффективной работы системы [6-8, 10-11]:

- *связность микросервисов.* Один из ключевых принципов – это обеспечение связности между микросервисами. Для этого важно правильно организовать коммуникацию между сервисами, например, с использованием RESTful API или протоколов обмена сообщениями, таких как gRPC или Kafka. Также важно предусмотреть механизмы обработки ошибок и обеспечить устойчивость системы к сбоям взаимодействия [6-7];

- *распределенная обработка данных.* При разделении монолитной системы на микросервисы возникают вопросы обработки данных. Здесь важно учитывать, как данные будут передаваться между сервисами. Использование асинхронных сообщений или событийной архитектуры может помочь в эффективной передаче данных между компонентами системы. Также можно применять различные паттерны проектирования, такие как CQRS (Command Query Responsibility Segregation) и Event Sourcing для эффективной работы с данными в распределенной среде [13];

- *мониторинг.* Для эффективного контроля работы микросервисов необходимо иметь хорошо настроенные системы мониторинга. Использование инструментов для сбора и анализа метрик, таких как Prometheus или Grafana, позволяет отслеживать производительность и состояние каждого сервиса, а также выявлять и решать проблемы своевременно [10-11];

- *безопасность.* С увеличением количества сервисов усиливается потребность в обеспечении безопасности системы. Здесь важно применять механизмы аутентификации, авторизации и контроля доступа для каждого сервиса. Также следует использовать шифрование данных и управление ключами для обеспечения конфиденциальности информации при ее передаче между сервисами [7].

Управление данными в микросервисной архитектуре. Управление данными представляет собой комплексный и важный аспект, требующий особого внимания в распределенной среде. Рассмотрим ключевые аспекты управления данными в контексте микросервисов, такие как согласованность данных, транзакции и методы обмена данными между сервисами:

- *согласованность данных.* В микросервисной архитектуре, где каждый сервис может иметь свою собственную базу данных, важно стремиться к согласованности данных. Однако соблюдение атомарности и согласованности данных через все сервисы может быть сложной задачей из-за их распределенной природы. Подходы, такие как использование консистентности в терминах ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) транзакций, могут быть сложны для реализации из-за распределенности и отсутствия единой точки управления данными;

- *транзакции в микросервисах.* Традиционные ACID-транзакции могут быть проблематичны в микросервисной архитектуре из-за независимости и распределенности сервисов. Вместо этого, используются техники, такие как Saga Pattern, которые предоставляют координирование транзакций между несколькими сервисами. Паттерн Saga разделяет длинные транзакции на несколько более коротких и компенсирующих шагов, обеспечивая частичную согласованность при возникновении ошибок;

- *методы обмена данными.* Для обмена данными между сервисами используются различные методы, такие как RESTful API, gRPC, асинхронные сообщения через брокеров сообщений (например, Kafka, RabbitMQ) или потоковые обмены данных. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, и выбор зависит от конкретной ситуации и требований проекта.

Выводы. Проведенный анализ и результаты исследования показали, что:

В условиях стремительно меняющегося мира информационных технологий требования к гибкости, масштабируемости и скорости обновления программного обеспечения неуклонно возрастают.

Внедрение МА в МС в Таджикистане предполагает комплексный подход, включающий технические и стратегические изменения. Такой шаг позволит добиться повышенной эффективности, улучшения адаптивности и гибкости в разработке, а также успешно отвечать на требования рынка.

Поступило 10.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Комилиён Ф.С. Амсиласозии компютери системаи хизматрасонии шабакавии дар вақти дискретӣ бо тартиби инверсионӣ ва афзалияти тасодуфӣ амалкунандаи ПД ҚОА – Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ, 2020, №2, с. 68-79. – EDN: AJPQAI.
2. Комилиён Ф.С. Информатика. Китоби дарсӣ барои донишҷӯёни муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ. Ҷилди 1. – Душанбе: Донишварон, 2019, 408 с. – EDN: HFLELO.
3. Комилиён Ф.С. Информатика. Китоби дарсӣ барои донишҷӯёни муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ. Ҷилди 2. – Душанбе: Донишварон, 2019, 464 с. – EDN: RNYCDB.
4. Комилиён Ф.С. Информатикаи татбиқӣ. – Душанбе: О, 2009, 368 с. – EDN: OVYRDS.
5. Комилиён Ф.С. Методикаи татбиқи босамари технологияҳои иттилоотии коммуникатсионӣ дар омодагӣ ба иқтисодчиёни оянда. Монографияи илмӣ. – Душанбе: Бахманруд, 2022, 164 с. – EDN: FTPTFH.
6. Fowler M. Guide to Microservices [Electronic resource] – URL: <https://martinfowler.com/microservices/> (Date of the application: 15.07.2022).
7. Newman S. Building Microservices [Electronic resource] – URL: <https://www.oreilly.com/library/view/building-microservices-2nd/9781492034018/> (Date of the application: 21.08.2022).
8. Yanaga E. Migrating to Microservice Databases Electronic [Electronic resource] – URL: <https://www.oreilly.com/library/view/migrating-to-microservice/9781492048824/> (Date of the application: 01.01.2022).
9. Sigma Software. Migrating Monolith to Microservices: Step-by-Step Guide [Electronic resource] – URL: <https://sigma.software/about/media/migrating-monolith-microservices-step-step-guide> (Date of the application: 01.04.2021).
10. Azure Architecture Center [Electronic resource] – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/architecture/microservices/design/orchestration> (Date of the application: 01.04.2021).
11. Sander V. Building and Managing Microservices with Kubernetes and Istio [Electronic resource] – URL: <https://www.oreilly.com/library/view/building-and-managing/9780137649686/> (Date of the application: 01.12.2021).

12. Christian P. Introducing Istio Service Mesh for Microservices [Electronic resource] – URL: <https://www.oreilly.com/library/view/introducing-istio-service/9781491988770/> (Date of the application: 01.07.22).
13. Барышева, Д. 26 основных паттернов микросервисной разработки [Электронный ресурс] – URL: <https://cloud.vk.com/blog/26-osnovnyh-patternov-mikroservisnoj-razrabotki> (Дата обращения: 13.05.21).

Ф.С.Комилиён, М.Ф.Рахимов*

АРХИТЕКТУРАИ МИКРОСЕРВИСӢ: АЗ СИСТЕМАҲОИ МОНОЛИТӢ ТО СИСТЕМАҲОИ ФАСЕҲ ТАҚСИМШУДА

*Донишгоҳи миллии Тоҷикистон,
*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институди математика ба номи А. Ҷӯраев*

Мақола ба гузариши босамар аз системаҳои моноклитӣ ба архитектураи микросервисӣ бахшида шуда, дар он стратегияҳо, усулҳо ва афзорҳои ин гуна гузаришро таъминкунанда пешниҳод гардидаанд. **Калимаҳои калидӣ:** *системаҳои моноклитӣ, архитектураи микросервисӣ, контейнеризатсия, оркестратсия, инфрасохтор, нармафзор.*

F.S.Komiliyon, M.F.Rakhimov*

MICROSERVICE ARCHITECTURE: FROM MONOLITH TO FLEXIBLE DISTRIBUTED SYSTEMS

*Tajik National University,
*A.Dzhuraev Institute of Mathematics,
National Academy of Sciences of Tajikistan*

The article is devoted to the effective transition from monolithic systems to microservice architecture, strategies, methods and tools that implement such a transition are presented.

Key words: *monolithic system, microservice architecture, containerization, orchestration, infrastructure, software.*

Сведения об авторах:

1. **Комилиён Файзали Саъдулло** – доктор физико-математических наук, Таджикский национальный университет, профессор кафедры информатики. E-mail: komfaiz@mail.ru;
2. **Рахимов Манучехр Фарходович** – докторант философии (PhD), Институт математики НАН Таджикистана, докторант по специальности. E-mail: manucher5160@gmail.com.

УДК 523. 532

Специальность: 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Член-корреспондент НАН Таджикистана Г.И.Кохирова,
М.Жанг^{*,**,***}, У.Х.Хамроев, С.Ли^{*,****}, А.И.Джонмухаммади, М.Н.Латипов

**СЕМЕЙСТВО АСТЕРОИДОВ С КОМЕТОПОДОБНЫМИ ОРБИТАМИ,
СВЯЗАННОЕ С МЕТЕОРОИДНЫМ РОЕМ ДЕЛЬТА-КАНКРИДЫ**

Национальная академия наук Таджикистана, Институт астрофизики,

** Синзянская астрономическая обсерватория АН КНР,*

*** Главная радиоастрономическая лаборатория АН КНР,*

**** Синзянская главная радиоастрофизическая лаборатория,*

***** Университет АН КНР*

Метеороидный рой δ -Канкрид порождает 4 метеорных потока, наблюдаемых на Земле ежегодно в период январь-февраль и август-сентябрь. Родительская комета роя не установлена. Мы провели поиск АСЗ, связанных с этим роем. По результатам вычисления эволюции орбит ряда АСЗ и определения теоретических параметров их родственных потоков выполнен поиск наблюдаемых активных потоков, схожих с теоретически предсказанными во всех опубликованных базах данных. Оказалось, что предсказанные метеорные потоки, родственные с 13 АСЗ, были отождествлены с активными потоками, порождаемыми метеороидным роем δ -Канкриды. Выявленная связь указывает на общее кометное происхождение астероидов, которые движутся в рое δ -Канкрид и с высокой вероятностью являются угасшими фрагментами крупной родительской кометы астероидно-метеороидного комплекса Канкрид.

Ключевые слова: *комета, астероид, угасшая комета, метеороидный рой, метеорный поток, орбита, радиант.*

В в е д е н и е

Популяция малых тел Солнечной системы состоит из комет и астероидов, а также продуктов их дезинтеграции – метеороидов. Огромное количество метеороидов, образовавшихся от одного родительского тела и движущихся в межпланетном пространстве по схожим орбитам, близким к орбите родительского тела, образуют метеороидный рой. Принято считать, что метеороидные рои образуются вследствие нормальной систематической пыле- и газопроизводящей активности ядер комет, наблюдаемой в период прохождения перигелия, или в результате катастрофического распада комет вследствие столкновений или других процессов. Только систематическая активность кометы может обеспечить образование устойчивого долгоживущего метеороидного роя [1]. Разрушение астероидов вследствие их столкновения не может привести к созданию роя, по крайней мере, долгоживущего, так как

Адрес для корреспонденции: Кохирова Гулчехра Исроиловна. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бухоро, 22, Институт астрофизики АН РТ. E-mail: Kokhirova2004@mail.ru.

одноразового выброса пыли и обломков не достаточно для образования развитого роя. Обстоятельства образования метеороидных роев в результате нормальной кометной активности, а также их эволюция и структура рассмотрены в ряде работ [см., например, 2-6].

Метеорные потоки образуются, когда метеороидный рой пересекает орбиту Земли. Как показано в работе [4], один рой может породить от четырех до восьми метеорных потоков, наблюдаемых с Земли. Случай четырехкратного пересечения является наиболее распространенным. Например, метеороидный рой Таурид порождает четыре метеорных потока: Северные и Южные Тауриды при доперигелийном пересечении с орбитой Земли, ежегодно наблюдаемые с Земли в сентябре-ноябре, и Дневные β -Тауриды и ζ -Персеиды при послеперигелийном пересечении, наблюдаемые в июне-июле. Родительским телом роя Таурид является комета 2P/Энке, но оказалось, что в это семейство входят также более 40 астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Показана родственная связь этих объектов с роем и кометой 2P, и семейство названо астероидно-метеороидным комплексом Таурид. Кроме того, установлено, что астероиды, входящие в комплекс Таурид, очень вероятно, в действительности являются угасшими ядрами комет или угасшими фрагментами более крупной родительской кометы [см., например, 5,7,8]. Факт существования в популяции АСЗ определенного количества ядер угасших комет, до 6% от общего числа известных АСЗ, является бесспорным [9,10]. Это кометы, ядра которых в процессе эволюции покрылись толстой тугоплавкой коркой, вследствие чего у комет прекратилась нормальная кометная активность [2,9]. По наземным наблюдениям такие объекты внешне не отличаются от астероидов. Различить угасшие кометы и астероиды можно по динамическим свойствам, а именно, по элементам их орбит. Если объект имеет типичную кометоподобную орбиту, то уже можно предположить, что он имеет кометное происхождение. Это предположение значительно усилится, если будет установлена родственная связь такого объекта с активными метеорными потоками.

Исходя из этой концепции, кроме комплекса Таурид, выявлены другие астероидно-метеороидные комплексы. В частности, комплексы Писцид [11], ι -Акварид [12], δ -Скорпиид [13], σ -Каприкорнид [14], Виргинид [15], наряду с метеороидными роями, включают по несколько околоземных объектов (ОЗО) кометного происхождения, возможно – родительских тел этих роев. Однако не для всех роев установлены родительские тела. Поиск родительских тел метеороидных роев является важнейшим этапом в установлении генетических связей между малыми телами Солнечной системы, в связи с чем эта задача является весьма актуальной. В данной работе представлены результаты поиска родственных объектов в метеороидном рое δ -Канкриды.

Метеорные потоки роя δ -Канкрид

Согласно базе данных метеорных потоков MDC MAC [16], подтвержденными потоками комплекса δ -Канкрид являются ночные Северные и Южные δ -Канкриды, 00096 NCC и 00097 SCC, соответственно, с периодом максимальной активности в конце января, дневной южный поток Дневные χ -Леониды 00204 DXL с периодом активности в конце августа. Дневной северный поток не установлен. В качестве предполагаемых родительских тел в базе данных MDC [16] указаны АСЗ 1991 AQ и 2001 UB5.

Мы провели поиск объектов, связанных с этим комплексом, среди АСЗ открытых до 2018 г., и выявили 13 астероидов, родственных с роем δ -Канкриды, а также установили метеорный поток,

возможно являющийся северной ветвью дневного потока роя, результаты исследования представлены в этой работе.

Метод исследования

Метод исследования основан на концепции образования и эволюции метеороидных роев [4] и на факте существования в популяции АСЗ определенного количества ядер угасших комет [9,10]. Если астероид в реальности является угасшей кометой, то такой объект мог образовать метеороидный рой в период прошлой кометной активности. С учетом того, что орбиты большинства АСЗ в течение одного цикла изменения аргумента перигелия ω четыре раза пересекают орбиту Земли, в настоящее время этот рой теоретически может породить четыре метеорных потока, наблюдаемых на Земле – ночные потоки с Северной и Южной ветвями и дневные также с Северной и Южной ветвями.

Радянты, скорости и даты максимальной активности этих теоретических потоков вычисляются с использованием их орбит. Затем в опубликованных каталогах и базах данных выполняется поиск наблюдаемых активных потоков, схожих с предсказанными потоками. Если теоретические потоки отождествятся с наблюдаемыми, то можно сделать заключение о кометной природе изучаемого астероида. Орбиты теоретических метеорных потоков определяются из результатов вычисления эволюции орбиты предполагаемого родительского тела – АСЗ. Эволюция вычисляется различными методами численного интегрирования уравнения движения на интервале времени, равном одному циклу изменения аргумента перигелия орбиты. Для АСЗ это время, как правило, охватывает период до 11 тысяч лет.

На первом этапе для исследования выбираются астероиды, двигающиеся по кометоподобным орбитам и пересекающие орбиту Земли. Для определения типа орбит используется постоянная Тиссерана T_j , когда ее значения удовлетворяют условию $T_j < 3.12$, то орбита классифицируется как кометоподобная, если $T_j > 3.12$, то орбита относится к астероидному типу [17]. Условие пересечения с орбитой Земли проверяется в базе данных NEODyS-2 [18].

Астероиды, сближающиеся с Землей, кандидаты в угасшие кометы

В базе данных [19] среди АСЗ открытых до 2018 г. нами выявлен ряд астероидов, пересекающих орбиту Земли и двигающихся по кометоподобным орбитам. Вследствие последнего, эти объекты, возможно, представляют собой ядра угасших комет. Отметим, что астероид 1991 AQ имеет значение $T_j = 3.16$, соответствующее граничной величине критерия между кометами и астероидами, тем не менее, орбита объекта классифицируется нами как кометоподобная. Основные параметры АСЗ приведены в табл.1, где даны номер астероида, элементы орбиты в равноденствии 2000.0: a – большая полуось, e – эксцентриситет, q – перигелийное расстояние, i – наклонение, Ω – долгота восходящего узла, ω – аргумент перигелия, π – долгота перигелия, H – абсолютная звездная величина, d – эквивалентный диаметр астероида, N_i – число пересечений орбиты астероида с орбитой Земли за один цикл изменения аргумента перигелия и, следовательно, оно соответствует теоретически предсказываемому количеству метеорных потоков, связанных с данным астероидом, T_j – параметр Тиссерана, [4]. Диаметры, помеченные в табл.1 звездочкой, имеются в базе данных [19]. Для случаев отсутствия оценки размера, диаметры вычислены нами по эмпирической формуле [20], связывающей абсолютный блеск с геометрическим альбедо астероида в видимом диапазоне. Предполагая, что угасшими ядрами комет могут быть

темные астероиды С, Р и D типов с низким альбедо в пределах от 0.02 до 0.12 [21], мы вычислили диаметры со средней величиной альбедо 0.07. 4 АСЗ характеризуются как потенциально опасные, они отмечены в табл.1 как (РНА).

Таблица 1

Основные параметры АСЗ, связанных с метеороидным роем δ -Канкриды

Астероид	a, а.е.	e	q, а.е.	i°	Ω°	ω°	π°	H	d, км	Ni	Tj
1991 AQ (РНА)	2.221	0.777	0.494	3.1	339.5	241.1	222.6	17.4	1.1*	4	3.16
2001 YB5 (РНА)	2.340	0.865	0.316	5.5	108.3	115.3	223.6	20.6	0.38	4	2.89
2003 AA83	2.452	0.773	0.555	6.8	87.7	127.4	215.1	21.8	0.21	4	2.98
2003 RW11	2.635	0.824	0.465	10.3	170.8	53.4	224.2	18.8	1.5*	4	2.77
2009 BV	2.412	0.848	0.368	18.8	72.4	154.9	227.3	18.4	1.07	4	2.84
2009 BE77	2.522	0.826	0.439	21.1	201.2	26.9	228.1	18.1	1.23	4	2.79
2010 XC11 (РНА)	2.516	0.850	0.377	9.1	94.3	121.2	215.5	18.7	0.94	4	2.79
2010 XX58	2.238	0.864	0.305	22.2	53.1	174.6	227.7	18.6	0.95	4	2.94
2011 AF3	2.312	0.817	0.422	7.8	99.5	112.2	211.7	25.1	0.05	4	3.01
2014 SM260 (РНА)	2.259	0.884	0.262	7.8	336.8	246.9	223.8	21.0	0.32	4	2.91
2014 YQ34	2.480	0.827	0.428	3.4	272.3	290.6	202.9	24.1	0.08	4	2.87
2016 AM66	2.558	0.830	0.435	19.7	235.6	355.0	230.5	20.0	0.51	4	2.77
2017 YO4	2.237	0.829	0.382	7.4	189.6	26.8	216.4	20.8	0.33	4	3.05

Эволюция орбит астероидов

Эволюция орбит АСЗ вычислена по методу Эверхарта RADAU19 [22,10] на интервале времени, охватывающем один цикл изменения аргумента перигелия. Эволюция вычислена с учетом гравитационных возмущений от больших планет. В результате выявлено, что в течение одного цикла изменения ω все астероиды пересекают орбиту Земли четыре раза, то есть величины гелиоцентрических расстояний восходящего R_a и нисходящего R_d узлов орбит АСЗ четыре раза принимают значения равные 1 а.е. – по два на каждый из узлов. Изменения R_a и R_d орбит двух астероидов 2001 YB5 и 2010 XC11 в зависимости от времени и аргумента перигелия приведены на рис.1 и 2, где прямая линия, проведенная параллельно оси абсцисс через величину 1 а.е. соответствует положению орбиты Земли, и стрелками указаны положения пересечений с орбитой Земли. Такие графики являются типичными для всех рассмотренных АСЗ, поэтому здесь мы приводим зависимости только для двух из них. Значения аргументов перигелия орбит АСЗ в положениях пересечений с орбитой Земли приведены в табл.2, где теоретические потоки даны в следующем порядке: Северная ветвь ночного потока, Южная ветвь ночного потока, Северная ветвь дневного потока, Южная ветвь дневного потока. Из табл.2 видно, что орбиты 13 АСЗ имеют схожие положения пересечений с орбитой Земли, что уже дает основание предположить существование между ними динамической связи.

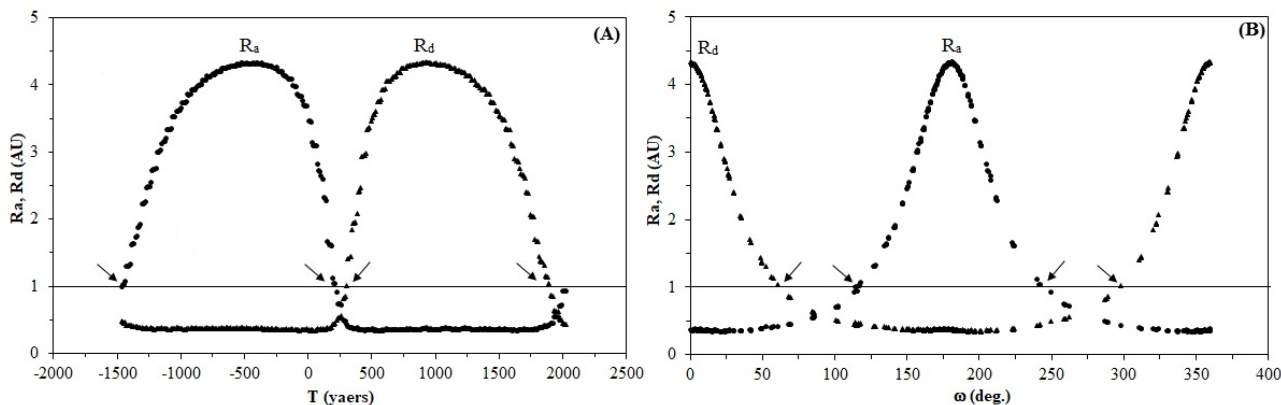


Рис. 1. Зависимость R_a и R_d орбиты астероида 2001 YB5 от времени (А) и аргумента перигелия (Б).

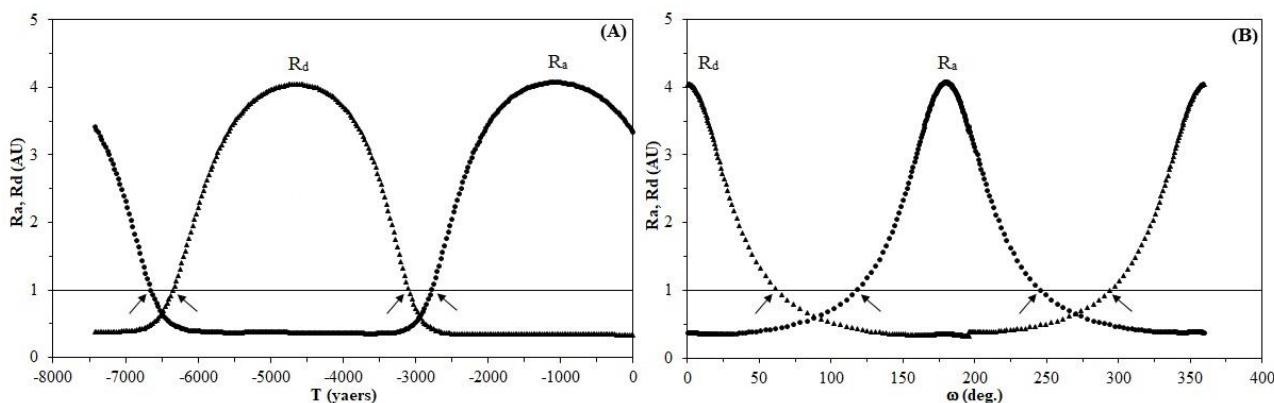


Рис. 2. Зависимость R_a и R_d орбиты астероида 2010 XC11 от времени (А) и аргумента перигелия (Б).

Таблица 2

Значения аргумента перигелия АСЗ, связанных с роем δ-Канкрид, в положениях пересечений с орбитой Земли

Потоки	Северный Ночной	Южный Ночной	Северный Дневной	Южный Дневной
1991 AQ (РНА)	278.15	97.50	83.66	262.09
2001 YB5 (РНА)	297.19	114.21	61.76	244.20
2003 AA83	262.57	90.08	88.14	275.56
2003 RW11	280.63	100.80	80.29	260.16
2009 BV	290.16	114.88	68.27	249.85
2009 BE77	295.60	115.24	67.55	247.57
2010 XC11 (РНА)	294.51	110.13	68.83	247.11
2010 XX58	302.27	123.71	56.38	238.00
2011 AF3	280.76	104.63	75.50	254.80
2014 SM260 (РНА)	303.85	123.83	56.20	235.29
2014 YQ34	283.41	105.35	74.65	255.33
2016 AM66	296.80	112.70	67.70	248.80
2017 YO4	289.07	110.75	69.08	251.01
Среднее значение	288.84 ±11.04	109.52 ±9.37	69.81 ±9.25	251.52 ±10.13

Элементы орбит, соответствующие найденным из вычисления эволюции пересечениям с орбитой Земли, служат исходными данными для вычисления координат теоретических геоцентрических радиантов (прямое восхождение α_g и склонение δ_g), геоцентрических скоростей V_g , долгот Солнца L_\odot и соответствующих им дат активности теоретических потоков.

Родственная связь астероидов с активными потоками роя δ -Канкрид

Автоматизированный поиск теоретически предсказанных радиантов и скоростей проводился нами в опубликованных каталогах наблюдаемых потоков. При этом поиске было допущено, что положения теоретического и наблюдаемого радиантов близки, если их разность удовлетворяет условиям $\Delta\alpha \leq 10^\circ$ и $\Delta\delta \leq \pm 10^\circ$, разность величин теоретической и наблюдаемой скорости $\Delta V_g \leq \pm 5$ км/с и различие дат активности $\Delta t \leq \pm 15$ дней. Схожесть теоретической и наблюдаемой орбит контролировалась с помощью D_{SH} критерия Саутворта-Хокинса [23], являющегося мерой близости двух орбит. Принято считать орбиты схожими, если выполнено условие $D_{SH} \leq 0.25$ [23].

В результате проведенного поиска, выявилось, что 13 АСЗ (табл.1) связаны с метеороидным роем, порождающим ночные потоки Северные и Южные δ -Канкриды, а также дневные χ -Леониды (южная ветвь). Выше отмечалось, что северная ветвь дневного потока не установлена. В результате исследования, мы можем предположить, что ею является метеорный поток τ -Канкриды, выявленный Лебединцом и др. [24] и приведенным в их каталоге под номером 430. Метеорный поток γ -Леониды из каталога Sekanina [25] также может быть северной ветвью дневного потока роя δ -Канкриды, однако его средняя орбита имеет большее значение D_{SH} критерия, чем τ -Канкриды, поэтому мы сделали выбор в пользу последнего потока. Кроме того, на основе современных орбит и соответствующих радиантов здесь выявлена родственная связь АСЗ, приведенных в табл.1, как между собой, так с теоретическими и наблюдаемыми потоками (см. табл.3-4). Предполагаемая связь роя с АСЗ 1991 AQ и 2001 YB5 [16] также получила подтверждение. Для примера в табл. 3-4 мы приводим результаты поиска для астероидов 1991 AQ и 2003 RW11. Для остальных АСЗ данные поиска являются идентичными. В табл. 3-4 элементы орбит, радианты, долготы Солнца и даты активности теоретически предсказанных потоков даны жирным шрифтом, северная ветвь ночного потока обозначена как НСП, южная ветвь ночного потока – НЮП, северная ветвь дневного потока – ДСП, южная ветвь дневного потока – ДЮП; N и D обозначают ночной и дневной потоки, соответственно. Каталоги, в которых обнаружались активные наблюдаемые потоки и болиды, идентичные с теоретическими потоками, указаны в табл. 3-4 как L1 [26], S2 [27], S3 [25], J [28], C [29], R [30], L [24], N [31], MORP [32], PN [33]. Схожесть теоретических и наблюдаемых орбит подтверждается величинами D_{SH} критерия. отождествление теоретических потоков с наблюдаемыми потоками и болидами подтверждается также близостью положений радиантов, скоростей и дат активности. Это позволяет сделать вывод, что родственная связь астероидов с этими потоками существует и с очень высокой вероятностью изученные АСЗ в реальности имеют кометную природу. Следовательно, эти объекты можно рассматривать в качестве родительских тел роя или они могут быть угасшими фрагментами более крупной кометы – прародительницы роя. Таким образом, рассмотренный метеороидный рой содержит крупноразмерные остатки своей родительской кометы.

Таблица 3

Метеорные потоки, связанные с АСЗ 1991 АQ (J2000.0)

Метеорный поток	a (a.e)	e	q (a.e)	i°	Ω°	ω°	L°o	Дата	α°	δ°	V _g	Ds-н	Тип	Каталог
НСП 1991AQ	2.214	0.774	0.501	2.5	304.5	278.1	304.5	24 янв	131.8	21	24.5	-	N	
00096 NCC	2.273	0.803	0.448	0.3	297.1	282.9	297.1	17 янв	126.6	19.5	26.2	0.08	N	L1
00096 NCC	1.901	0.777	0.425	1.2	292.9	287.9	292.9	13 янв	124.8	19.8	25.8	0.08	N	S2
00096 NCC	1.829	0.783	0.397	1.5	296.4	291.3	296.4	16 янв	130.0	19.9	26.4	0.13	N	S3
00096 NCC	2.230	0.814	0.410	2.7	290.0	286.6	290.0	10 янв	121.3	23.0	27.2	0.13	N	J
00096 NCC	2.300	0.800	0.460	0.9	297.1	282.6	297.1	17 янв	125.5	20.4	25.9	0.18	N	C
00096 NCC	2.190	0.815	0.405	2.7	292.9	287.5	292.9	13 янв	125.2	22.0	27.3	0.13	N	R
445 (δ-Can.)	1.256	0.566	0.545	1.7	295.9	283.4	295.9	16 янв	125.3	22.1	18	0.22	N	MORP
774	3.075	0.888	0.344	7.9	284.2	292.6	284.2	5 янв	119.6	27.0	31.2	0.16	N	MORP
996	2.182	0.770	0.502	0.7	298.3	277.3	298.3	18 янв	124.2	20.6	24.4	0.10	N	MORP
НЮП 1991AQ	2.218	0.771	0.508	5.3	125.1	97.5	305.1	25 янв	129.7	12.0	24.4	-	N	
00097 SCC	2.260	0.811	0.427	4.7	109.3	105.0	289.3	9 янв	118.5	16.1	26.9	0.15	N	J
00097 SCC	1.610	0.770	0.370	4.9	120.1	116.7	300.1	20 янв	133.9	12.6	26.3	0.24	N	N
00097 SCC	2.240	0.791	0.468	5.2	111.8	100.3	291.8	12 янв	118.8	15.1	25.7	0.15	N	R
995	1.989	0.793	0.412	4.2	113.3	108.3	293.3	13 янв	124.0	15.6	26.6	0.10	N	MORP
660110	1.960	0.790	0.412	3.9	109.6	107.5	289.6	10 янв	120.5	16.6	26.6	0.20	N	PN
660113a	1.330	0.670	0.439	8.4	112.7	111.7	292.7	13 янв	124.8	9.7	22.5	0.22	N	PN
PN 710131	3.120	0.830	0.530	9.1	130.7	91.6	310.7	31 янв	132	7.0	26.2	0.09	N	PN
2001YB5	2.349	0.862	0.324	5.5	109.4	114.2	289.4	10 янв	124.2	15.4	30.8	0.21	N	
ДСП 1991AQ	2.227	0.768	0.517	5.3	138.9	83.7	138.9	12 авг	140.0	22.0	24.2	-	D	
γ-Leonids	1.969	0.710	0.571	7.0	152.5	87.3	152.5	26 авг	156.5	19.7	22.1	0.24	D	S3
430 (τ-Cancrids)	1.490	0.660	0.507	11.4	140.1	74.9	140.1	13 авг	139.1	30.7	21.9	0.18	D	L
ДЮП 1991AQ	2.216	0.772	0.505	2.5	320.5	262.1	140.5	13 авг	138.2	13.1	24.5	-	D	
00204 DXL	1.598	0.793	0.330	2.5	334.9	238.4	154.9	28 авг	142.3	12.7	27.5	0.22	D	S3
2014SM260	2.250	0.884	0.261	7.8	336.8	246.9	156.8	30 авг	-	-	-	0.25	D	

Таблица 4

Метеорные потоки, связанные с АСЗ 2003 RW11 (J2000.0)

Метеорный поток	a (a.e)	e	q (a.e)	i°	Ω°	ω°	L°o	Дата	α°	δ°	V _g	Ds-н	Тип	Каталог
НСП 2003RW11	2.635	0.828	0.454	4.7	303.6	280.6	303.6	24 янв	133.4	22.5	27	-	N	
00096 NCC	2.273	0.803	0.448	0.3	297.1	282.9	297.1	17 янв	126.6	19.5	26.2	0.10	N	L1
00096 NCC	1.901	0.777	0.425	1.2	292.9	287.9	292.9	13 янв	124.8	19.8	25.8	0.10	N	S2
00096 NCC	1.829	0.783	0.397	1.5	296.4	291.3	296.4	16 янв	130	19.9	26.4	0.10	N	S3
00096 NCC	2.230	0.814	0.410	2.7	290.0	286.6	290.0	10 янв	121.3	23	27.2	0.12	N	J
00096 NCC	2.300	0.800	0.460	0.9	297.1	282.6	297.1	17 янв	125.5	20.4	25.9	0.10	N	C
00096 NCC	2.190	0.815	0.405	2.7	292.9	287.5	292.9	13 янв	125.2	22.0	27.3	0.08	N	R
774	3.075	0.888	0.344	7.9	284.2	292.6	284.2	5 янв	119.6	27	31.2	0.17	N	MORP
996	2.182	0.770	0.502	0.7	298.3	277.3	298.3	18 янв	124.2	20.6	24.4	0.16	N	MORP
НЮП 2003RW11	2.635	0.830	0.449	4.4	123.5	100.8	303.5	23 янв	130.9	13.5	27.2	-	N	
00097 SCC	2.260	0.811	0.427	4.7	109.3	105.0	289.3	9 янв	118.5	16.1	26.9	0.15	N	J
00097 SCC	1.610	0.770	0.370	4.9	120.1	116.7	300.1	20 янв	133.9	12.6	26.3	0.20	N	N
00097 SCC	2.240	0.791	0.468	5.2	111.8	100.3	291.8	12 янв	118.8	15.1	25.7	0.18	N	R
995	1.989	0.793	0.412	4.2	113.3	108.3	293.3	13 янв	124	15.6	26.6	0.07	N	MORP
660110	1.960	0.790	0.412	3.9	109.6	107.5	289.6	10 янв	120.5	16.6	26.6	0.12	N	PN
660113a	1.330	0.670	0.439	8.4	112.7	111.7	292.7	13 янв	124.8	9.7	22.5	0.18	N	PN
710131	3.120	0.830	0.530	9.1	130.7	91.6	310.7	31 янв	132	7	26.2	0.12	N	PN
2001YB5	2.349	0.862	0.324	5.5	109.4	114.2	289.4	10 янв	124.2	15.4	30.8	0.13	N	
ДСП 2003RW11	2.635	0.830	0.448	4.1	144.0	80.3	144.0	17 авг	141.4	19.4	27.3	-	D	
γ-Leonids	1.969	0.710	0.571	7.0	152.5	87.3	152.5	26 авг	156.5	19.7	22.1	0.28	D	S3
430 (τ-Cancrids)	1.490	0.660	0.507	11.4	140.1	74.9	140.1	13 авг	139.1	30.7	21.9	0.25	D	L
ДЮП 2003RW11	2.635	0.828	0.454	4.4	324.1	260.2	144.1	17 авг	139.2	11.3	27.1	-	D	
00204 DXL	1.598	0.793	0.330	2.5	334.9	238.4	154.9	28 авг	142.3	12.7	27.5	0.20	D	S3
1991AQ	2.214	0.780	0.487	3.2	341.5	241.0	161.5	4 сен	-	-	-	0.07	D	
2014SM260	2.250	0.884	0.261	7.8	336.8	246.9	156.8	30 авг	-	-	-	0.21	D	
2014YS43	2.960	0.823	0.524	12.9	326.8	244.9	146.8	19 авг	-	-	-	0.24	D	

Как было отмечено, в этом семействе 4 астероида классифицируются как потенциально опасные объекты (ПОА). Орбита ПОА 2001 YB5 в настоящее время соответствует южному ночному потоку 00097 SCC, орбиты ПОА 1991 AQ и 2014 SM260 соответствуют южному дневному потоку χ -Леониды. Следовательно, возможные вторжения астероидов в атмосферу Земли произойдут в период активности соответствующего потока, и будут иметь характеристики, близкие к параметрам родственного потока. Например, нами теоретически предсказано, что дата возможного столкновения с потенциально опасным объектом 2001 YB5 – 10 января, геоцентрическая скорость будет 31 км/с, экваториальные координаты точки, из которой он будет направлен к Земле $\alpha_g=124.2^\circ$ и $\delta_g=15.4^\circ$.

З а к л ю ч е н и е

Таким образом, нами выявлена родственная связь 13 AC3 с активными метеорными потоками, порождаемыми метеороидным роем δ -Канкриды. Данный рой и порождаемые им метеорные потоки, а также семейство 13 AC3, представляющих собой крупные угасшие фрагменты родительской кометы роя, относятся к комплексу Канкрид. Установленная связь является очень сильным аргументом в пользу общего кометного происхождения 13 AC3, двигающихся по кометоподобным орбитам. В этом случае можно предложить, что или самый крупный объект группы является угасшей JFC родительской кометой роя, а остальные объекты являются ее фрагментами также потухшими, или все объекты группы образовались в результате распада большей кометы-родительницы роя δ -Канкриды. Результаты подтверждают, что метеороидные рои состоят не только из мелких мм-размеров, но и крупных тел декаметровых размеров кометного происхождения, представляющих потенциальную опасность, и для Земли, и для космической технологии. Наши результаты позволяют получить прогноз характеристик вторжения таких объектов в атмосферу Земли, что необходимо для разработки превентивных мер.

Вклад сотрудников CAO АН КНР в настоящее исследование поддержан грантом "Belt and Road" Innovative Talent Exchange Program (DL2023046004).

Поступило 23.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бредихин А.Ф. Этюды о метеорах. Серия «Классики науки». – М.: Изд-во АН СССР, 1954, 607 с.
2. Whipple F.L. A comet model II. Physical relation for comets and meteors. – *Astrophys. J.*, 1951, v. 113, pp. 464-474.
3. Hughes D.W. The relationship between comets and meteoroid streams. – In: *Asteroids, Comets, Meteors II* (Eds. C.I.Lagerkvist, B.A.Lindblad, H.Lundstedt, H.Rickman). – Uppsala: Uppsala University Reprocentralen, 1986, pp. 503-519.
4. Babadzhanov P.B., Obrubov Yu.V. Evolution of short-period meteoroid streams. – *Cel. Mech. and Dyn. Astron.*, 1992, v. 54, pp. 111-127.
5. Babadzhanov P.B., Williams I.P., Kokhirova G.I. Near-Earth objects in the Taurid complex. – *MN RAS*, 2008a, v. 386, pp. 1436-1442.
6. Babadzhanov P.B., Kokhirova G.I., Obrubov Yu.V. Extinct comets and asteroid-meteoroid complexes. – *Sol. Sys. Res.*, 2015a, v. 49, pp. 165-172.

7. Asher D.J., Clube S.V.M., Steel D.I. Asteroids in the Taurid Complex. – MNRAS, 1993, v. 264, pp. 93-105.
8. Porubcan V., Kornos L., Williams I.P. The Taurid complex meteor showers and asteroids. – Contrib. of the AOSPI, 2006, v. 36, pp. 103-117.
9. Опик Е.И. The stray bodies in the Solar System. I. Survival of cometary nuclei. – Advances in Astronomy and Astrophysics, 1963, v. 2, pp. 219-262.
10. Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И. Метеорные потоки, астероидов, пересекающих орбиту Земли. – Душанбе, Дониш, 2009, 185 с.
11. Babadzhanov P.B., Williams I.P., Kokhirova G.I. Near-Earth asteroids among the Piscids meteoroid stream. – Astronomy and Astrophysics, 2008b, v. 479, pp. 249-255.
12. Babadzhanov P.B., Williams I.P., Kokhirova G.I. Near-Earth asteroids among the Iota Aquariids meteoroid stream. – Astronomy and Astrophysics, 2009, v. 507, pp. 1067-1072.
13. Babadzhanov P.B., Williams I.P., Kokhirova G.I. Near-Earth asteroids among the Scorpiids meteoroid complex. – Astronomy and Astrophysics, 2013, v. 556, p. A25 (5 p.).
14. Babadzhanov P.B., Kokhirova G. I., Khamroev U.Kh. The Sigma-Capricornids complex of near-Earth objects. – Advances in Space Research, 2015b, v. 55, pp. 1784-1791.
15. Кохирова Г.И., Бабаджанов П.Б., Хамроев У.Х., Джонмухаммади А.И., Кулаев И.В. Астероидно-метеороидный комплекс Виргинид. Астероиды, связанные с метеороидным роем алфа-Виргиниды. – ДАН РТ, 2020, т. 63, № 3-4, с. 187-198.
16. <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>, 2023.
17. Jewitt D. The active asteroids. – Astrophys. J., 2012, v.143, №3, pp.1-14.
18. NEODyS-2, <https://newton.spacedys.com>, 2021.
19. NEOP, <http://www.neo.jpl.nasa.gov>, 2019.
20. Harris A.W. On the Slow Rotation of Asteroids. – Icarus, 2002, v. 156 (1), pp. 184-190.
21. Jewitt D.C. Cometary photometry. – In: Comets in the Post-Halley Era (Eds. R.L.Newburn et al.). – Dordrecht: Kluwer, 1992, v.1, pp. 19-65.
22. Everhart E. Implicit Single-Sequence Methods for Integrating Orbits. – Celestial Mechanics, 1974, v. 10, pp. 35-55.
23. Southworth R.B., Hawkins G.S. Statistics of meteor streams. – Smith. Contrib. Astrophys., 1963, v. 7, pp. 261-285.
24. Лебединец В.Н., Корпусов В.В., Соснова А.К. Потоки радиометеоров. –Труды Ин-та эксперим. метеорологии, 1973, №1(34), с. 88-171.
25. Sekanina Z. Statistical Model of meteor Streams. IV – A study of radio streams from the synoptic year. – Icarus, 1976, v. 27, pp. 265-321.
26. Lindblad B.A. A Search Among 865 Precise Photographic Meteor Orbits. – Smith. Contrib. to Astrophys., 1971a, v. 12, p.1L (13 p.).
27. Sekanina Z. Statistical Model of meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors. – Icarus, 1973, v. 18, pp. 253-284.
28. Jenniskens P., Neron Q., Albers J., Gural P.S., Haberman B., Holman D., Morales R., Grigsby B.J., Samuels D., Johannink C. The established meteor showers as observed by CAMS. – Icarus, 2016, v. 266, pp. 331-354.

29. Cook A.F. A working list of meteor streams. – Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids (Eds. C.L.Hemenway. P.M.Millman. A.F.Cook). – NASA. SP-319, Washington DC, 1973, pp. 183-191.
30. Rudawska R., Matlovic P., Toth J., Kornos L. Independent identification of meteor showers in EDMOND database. – Planetary and Space Science, 2015, v. 118, pp. 38-47.
31. Nilsson C.S. A Southern Hemisphere Radio Survey of Meteor Streams. – Australian Journal of Physics, 1964, №17(2), pp. 205-256
32. Halliday I., Griffin A.A., Blackwell A.T. Detailed data for 259 fireballs from the Canadian camera network and inferences concerning the influx of large meteoroids. – Meteoritics and Planetary Science, 1996, v. 31, pp. 185-217.
33. McCrosky R. E., Shao S.-Y., Posen A. Prairie Network fireballs. I – General information and orbits. – Meteoritika, 1978, v. 37, pp. 44-68.

Г.И.Қохирова, М.Жанг^{*,,*}, У.Х.Ҳамроев, С.Ли^{*,***}, А.И.Ҷонмуҳаммади, М.Н.Латипов**
ОИЛАИ АСТЕРОИДҲОЕ, КИ МАДОРҲОЯШОН КОМЕТАМОНАНДАНД ВА
БО ТҶДАИ МЕТЕОРОИДИИ ДЕЛТА-КАНКРИДҲО АЛОҚАМАНД
МЕБОШАНД

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Институти астрофизика,

**Расадхонаи астрономии Синзяни АИ ҚМЧ,*

***Сарлабораторияи радиоастрономии АИ ҚМЧ,*

****Сарлабораторияи радиоастрофизикии Синзян,*

*****Донишгоҳи АИ ҚМЧ*

Тӯдаи метеороидии δ -Канкрид ҳар сол дар моҳҳои январ-феврал ва август-сентябр дар рӯи За-мин 4 сели метеорӣ ба вучуд меорад. Кометаи волидайнӣ тӯда муайян карда намудааст. Мо ҷустуҷӯи АНЗ-ҳои бо ин тӯда тааллуқ доштаре гузаронидем. Аз рӯи натиҷаҳои ҳисоб намудани таҳаввули ма-дори як қатор АНЗ ва муайян намудани параметрҳои назариявии селҳои ҳешовандии онҳо, ҷустуҷӯи селҳои мушоҳидашавандаи ғайри ба назариявиашон монанд дар ҳамаи маводҳои нашр гардида гуза-ронида шуд. Маълум карда шуд, ки селҳои метеории пешгуишуда бо 13 АНЗ ҳешовандӣ дошта, бо сели метеории ғайри, ки тӯдаи δ -Канкрид тавлид мекунад робита доранд. Робитаи муайяншуда пайдоиши умумии кометавии астероидҳоро нишон медиҳад, ки дар тӯдаи δ -Канкрид ҳаракат мекунад ва бо эҳти-молияти зиёд пораҳои кометаи бузурги волидайнӣ комплекси астероидию-метеороидии Канкрид ме-бошанд.

Калимаҳои калидӣ: *комета, астероид, кометаи хомӯшишуда, тӯдаи метеороидӣ, сели метеорӣ, ма-дор, радиант.*

G.I.Kokhirova, M.Zhang^{*,**,**}, U.H.Khamroev, X.Li^{*,****}, A.I.Zhonmuhammadi, M.N.Latipov
**A FAMILY OF ASTEROIDS WITH COMET-LIKE ORBITS ASSOCIATED WITH
THE DELTA-CANCRIDS METEOROID STREAM**

Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan

**Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences,*

***Key Laboratory for Radio Astronomy, Chinese Academy of Sciences,*

****Xinjiang Key Laboratory of Radio Astrophysics,*

*****University of Chinese Academy of Sciences*

The δ -Cancri meteoroid stream produces 4 meteor showers active on the Earth annually during January-February and August-September. A certain parent comet of the stream is not found. We performed a search for near-Earth asteroids (NEAs) associated with this stream. On the base of calculation of orbital evolution of a sample of NEAs and determination of theoretical features of related showers a search for observable active showers close to theoretically predicted ones was carried out in published databases. As a result, the predicted showers of 13 NEAs were identified with active showers producing by the δ -Cancri meteoroid stream. Revealed association points to a common cometary origin of NEAs that are moving within the stream and very likely are extinct fragments of a larger comet-progenitor of the Cancri asteroid-meteoroid complex.

Key words: comet, asteroid, extinct comet, meteoroid stream, meteor shower, orbit, radiant.

Сведения об авторах:

1. **Кохирова Гулчехра Исроилевна** – доктор физ.-мат. наук, Институт астрофизики НАН Таджикистана, заведующая отделом межпланетных тел. E-mail: Kokhirova2004@mail.ru;
2. **Ming Zhang** – PhD, Синзянская астрономическая обсерватория АН КНР, ведущий научный сотрудник. E-mail: zhang.ming@xao.ac.cn;
3. **Хамроев Умеджон Ходжамкулович** – кандидат физ.-мат. наук, Институт астрофизики НАН Таджикистана, старший научный сотрудник. E-mail: umed-1982@mail.ru;
4. **Xingui Li** – Университет АН Китая, соискатель, Синзянская астрономическая обсерватория АН КНР, магистрант. E-mail: lixingui@xao.ac.cn;
5. **Джонмухаммади Абдулои Исмоилзода** – Институт астрофизики НАН Таджикистана, научный сотрудник. E-mail: jismoilzoda@mail.ru;
6. **Латипов Манучехр Нурахмадович** – Институт астрофизики НАН Таджикистана, младший научный сотрудник. E-mail: manu90_09@mail.ru.

УДК 544.3+534.2

Специальность: 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Ш.Ш.Азимов, В.Н.Петухов, Т.А.Хасанов, А.Н.Лакаев

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАСТВОРА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ХОДЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ГАЗА*Национальная академия наук Таджикистана,**Физико-технический институт им. С.У.Умарова**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана Т.Х. Салиховым 16.10.2023 г.)*

Экспериментально исследовано влияние состояния поверхности жидкости на распространение сигналов акустической эмиссии (АЭ) в ходе химической реакции смеси гидрокарбоната натрия и лимонной кислоты с водой. Показано, что нанесение на поверхность воды слоя мыльной пены существенно снижает активность АЭ, поскольку изменяет условия образования и схлопывания пузырьков газа – источника АЭ.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, химическая реакция, гидрокарбонат натрия, лимонная кислота, вода, углекислый газ.

Исследованиям акустической эмиссии (АЭ) в ходе химических реакций в растворах посвящено достаточно много научных публикаций, например, [1–3]. В большинстве наблюдений источником АЭ является процесс лопания образующихся в ходе реакции пузырьков газа на поверхности раствора. В отличие, например, от процесса закипания воды, когда на ранней стадии идет активное схлопывание зародышевых пузырьков пара вблизи нагревателя, которое воспринимается как характерное шипение в слышимом диапазоне (характерный шум до закипания воды в чайнике). Наше исследование посвящено АЭ, генерируемой химической реакцией с образованием газа, которая происходит при комнатной температуре. Была исследована реакция растворения в дистиллированной воде таблетки, спрессованной из смеси кристаллов лимонной кислоты и гидрокарбоната натрия, подробности которой приведены в [4]. Реакция описывается следующими уравнениями:



В соответствии со стехиометрическими параметрами уравнения (2) смесь порошков лимонной кислоты (ХЧ) и бикарбоната натрия (ЧДА) была составлена в мольном соотношении 1:3. То есть таблетка состояла из 192 мг ($1 \cdot 10^{-3}$ Моль) лимонной кислоты и 252 мг ($3 \cdot 10^{-3}$ Моль) гидрокарбоната натрия, вступая в реакцию со 100 мл воды при температуре 22°C и атмосферном давлении. Из

Адрес для корреспонденции: Азимов Шавкат Шукурович. 734063, Республика Таджикистан, пр. Айни, 299/1, Физико-технический институт НАН Таджикистана. E-mail: sazimov@tajik.net

уравнения (1) видно, что гидролиз гидрокарбоната натрия является обратимой реакцией. Но реакция нейтрализации (2) между лимонной кислотой и основанием с образованием натриевой соли нарушает обратимость реакции, при этом начинает выделяться углекислый газ, пузырьки которого, поднимаясь и лопааясь на поверхности, и являются источниками АЭ. Выбор реагента в виде таблетки обусловлен условиями, при которых растворение вещества идет последовательно, почти с постоянной скоростью, и реакция длится сотни секунд. При этом удавалось проследить динамику генерируемой акустической эмиссии. В случае вброса реагентов в виде порошка реакция заканчивалась за считанные секунды.

Схема эксперимента

Серия из 10 опытов проводилась параллельно в двух одинаковых стеклянных цилиндрических плоскодонных химических стаканах высотой 70 мм и диаметром 60 мм, наполненных одинаковым (100 мл) количеством дистиллята. Стаканы через акустическую смазку устанавливались на одинаковые акустические пьезопреобразователи типа R150. Чувствительный элемент датчика АЭ, преобразующий объемные волны в электрический сигнал, представляет собой таблетку поляризованной пьезокерамики с частотой основного резонанса ~ 150 кГц. Сигналы АЭ с датчиков поступали в двухканальную систему регистрации и обработки АЭ РСІ-2, (РАС, США) с идентичными поканальными настройками (порог 30 дБ, фильтры частот 100–3000 кГц, общий коэффициент усиления 46 дБ). В оба стакана одновременно вбрасывались одинаковые таблетки исследуемого вещества. На рис. 1 показаны датчики АЭ с установленными на них стаканами. В ближнем (на снимке) стакане на поверхность нанесен двухсантиметровый слой мыльной пены (для бритья). Справа показан вид пузырьков пены на просвет в микроскопе.

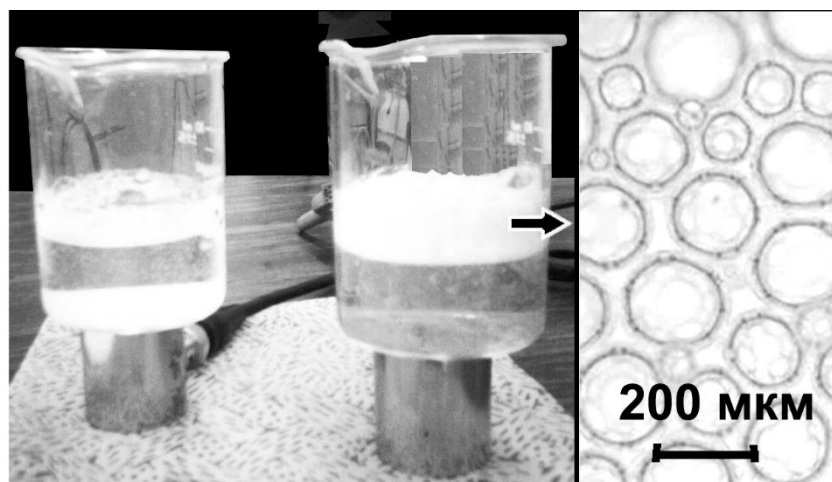


Рис. 1. Схема испытаний (слева) и мыльная пена под микроскопом (справа).

Обсуждение результатов

Пузырьки газа, лопааясь на поверхности жидкости, образуют упругую волну [5], которая распространяясь вниз в воде, доходит до дна. А также, двигаясь радиально до стенок сосуда далее, уже по стеклу достигает дна и датчика АЭ. Виды волн, воспринимаемых датчиком АЭ, влияние среды на скорость звука, а также импедансы различных сред для разных типов волн подробно описаны в [6]. Известно [7], что скорость распространения звука в стекле при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении выше, чем в воде, примерно, в три раза: $4800 \text{ м/с} : 1480 \text{ м/с} = 3.2$. Расчеты

показали, что волна звука от лопнувшего на поверхности пузырька газа к датчику АЭ придет по стеклу с опозданием, примерно, в 4 микросекунды от прямой волны сквозь воду. На рисунке 2 схематично показаны пути распространения АЭ в ходе реакции. Конечно, общую звуковую картину усложняет интерференция прямых и неоднократно отраженных от дна и стенок сосуда волн. Однако, регистрирующая система АЭ учитывает только первую волну АЭ и закрывает тракт регистрации для последующих паразитных сигналов.

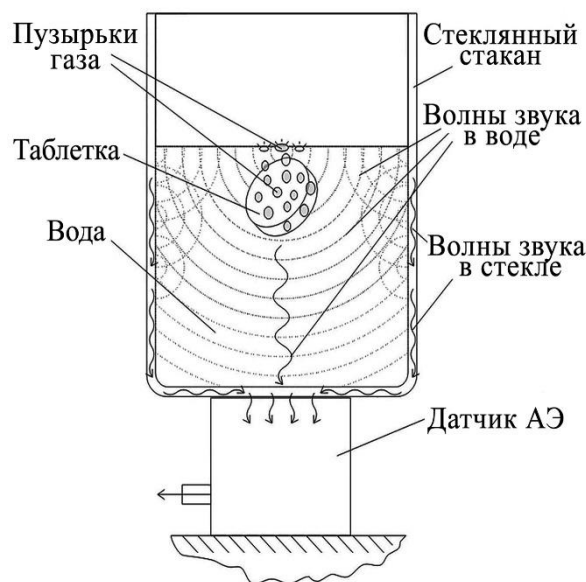


Рис. 2. Схема распространения звука от лопающихся пузырьков CO_2 .

На рис. 3, взятом из «Описания системы РСІ-2» [8], видно, как определяется амплитуда события АЭ и как игнорируются дополнительные интерференционные пики, так как сигнал о завершении события АЭ выдается системой только при обратном пересечении огибающей выставленного шумового порога.

Рассмотрим ситуацию, когда на поверхность раствора перед вбрасыванием таблетки наносится слой мыльной пены толщиной 1-2 см. Пузырьки газа, попадая в мыльную оболочку, обладающую почти в 2 раза меньшим, чем чистая вода, поверхностным натяжением [9], могут расти на поверхности, не лопаясь гораздо дольше. Это приводит к снижению активности АЭ. Вторым фактором, влияющим на активность АЭ, послужил сильный демпфирующий эффект рыхлой пограничной среды, что затрудняло распространение упругой волны по поверхности. На рис. 4 показаны типичные экспериментальные зависимости активности АЭ от времени, которые наглядно иллюстрируют влияние состояния поверхности на распространение акустических волн. Канал 1 записывает АЭ, порожденную реакцией растворения таблетки в чистой воде. Соответственно, Канал 2 регистрирует АЭ при растворении таблетки в стакане с нанесенным на поверхность воды слоем мыльной пены. Обработка в Excel данных АЭ дала возможность определить средние значения активности АЭ. На рисунке специально выбран временной промежуток, исключая переходные процессы в момент вброса таблетки в раствор (в начале) и момент окончательного растворения таблетки (в конце опыта). То есть, приведены графики АЭ, когда идет квазистационарный процесс растворения вещества. Выяснилось, что средняя

активность АЭ при растворении таблетки в чистой воде примерно в 8 раз выше, чем в присутствии пены на поверхности воды.

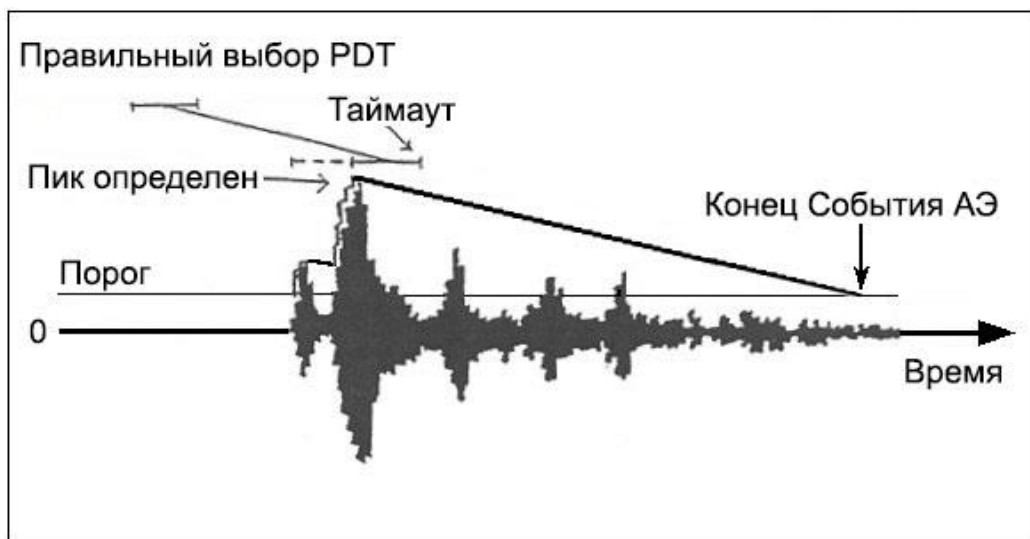


Рис. 3. Подбор длительности параметра PCI-2 “Peak Definition Time” (PDT) для исключения записи интерференционных пиков.

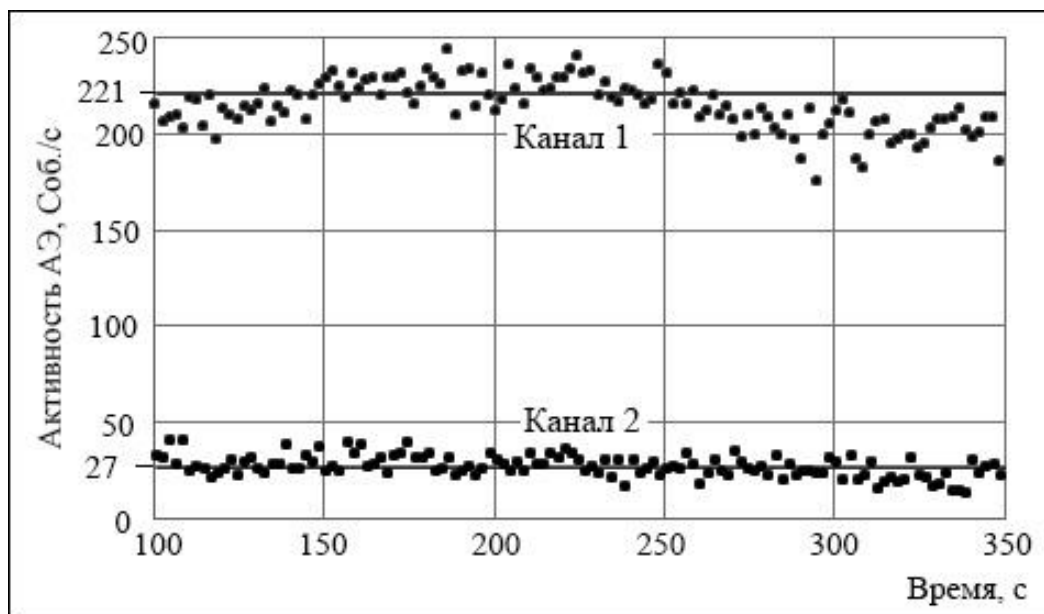


Рис. 4. Временные зависимости активности АЭ в каналах 1 и 2.

З а к л ю ч е н и е

Исследовалось влияние состояния поверхности жидкости на распространение сигналов акустической эмиссии (АЭ) в ходе химической реакции при растворении смеси гидрокарбоната натрия и лимонной кислоты в дистиллированной воде. Экспериментально показано, что нанесение на поверхность воды слоя мыльной пены снижает среднюю активность АЭ примерно в 8 раз, поскольку изменяет условия образования и схлопывания пузырьков газа – источника АЭ. Выявлены два фактора,

снижающих активность АЭ: 1 – снижение поверхностного натяжения в мыльной среде и 2 – увеличение поглощения звука на поверхности при наличии мыльной пены.

Поступило 18.12.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Betteridge D., Joslin M.T., Lilley T. Acoustic emission of chemical reactions. – Analytical Chemistry, 1981, Vol. 53, № 7, pp. 1064-1073.
2. Spencer S., Bruniges R., Sharp V. et all. Acoustic emission monitoring of froth flotation. – XXV International mineral processing congress (IMPC) 2010 proceedings, September 6-10, 2010, Australia, p. 3489-3500.
3. Титаренко Н.Н., Дворников П.А., Ковтун С.Н., Полионов В.П. Использование генерации акустических колебаний в химической реакции и свойств пузырьковой среды в жидкости для выявления сквозных дефектов оболочек блокочков с натрием. – Известия вузов. Ядерная энергетика, 2013, № 1, с. 35-42.
4. Азимов Ш.Ш. Активность акустической эмиссии как индикатор скорости химической реакции. – «С.У.Умаров и развитие физической науки в Таджикистане». – Душанбе: Дониш, 1998, с. 88-90.
5. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. – М.: Мир, 1981, 603 с.
6. Beattie A.G. Acoustic Emission Testing of Structures using Source Location. – Journal of Acoustic Emission, 2020, vol. 37, pp. 7-13.
7. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др. – Физические величины: Справочник, «Энергоатомиздат», 1991, с. 140.
8. PCI-2 based AE system User's manual. – Princeton, NJ, USA, 2007, p. 272.
9. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1970, том I, с. 479.

Ш.Ш.Азимов, В.Н.Петухов, Т.А.Ҳасанов, А.Н.Лақаев

ТАЪСИРИ САТҲИ МАҲЛУЛ ДАР ПАҲН КАРДАНИ СИГНАЛҲОИ ЭМИССИЯИ АКУСТИКӢ ХАНГОМИ РЕАКСИЯИ ГЕТЕРОГЕНИИ ХИМИЯВӢ БО ЧУДО ШУДАНИ ГАЗ

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

Институту физикаю техникаи ба номи С.У.Умаров

Таъсири ҳолати сатҳи моеъ ба паҳншавии сигналҳои эмиссияи акустикӣ (ЭА) хангоми реаксияи химиявии омехтаи бикарбонати натрий ва кислотаи лимуи бо об ба таври таҷрибавӣ омехта шуд. Исроти шудааст, ки ба сатҳи об андохтани як қабати кафки собун фаъолияти ЭА-ро хеле кам мекунад, зеро он шароити ташаккул ва фуру рафтани пуфакҳои газ – манбаи АЭ-ро тағйир медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: эмиссияи акустикӣ, реаксияи химиявӣ, бикарбонати натрий, кислотаи лимуи, об, гази карбон.

S.S.Azimov, V.N.Petukhov, T.A.Hasanov, A.N.Lakaev

INFLUENCE OF THE SOLUTION SURFACE ON THE PROPAGATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS DURING A HETEROGENEOUS CHEMICAL REACTION WITH GAS EVOLUTION

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

The influence of the state of the liquid surface on the propagation of acoustic emission (AE) signals during the chemical reaction of a mixture of sodium bicarbonate and citric acid with water was studied experimentally. It has been shown that applying a layer of soap foam to the surface of water significantly reduces AE activity, since it changes the conditions for the formation and bursting of gas bubbles – the source of AE.

Key words: *acoustic emission, chemical reaction, sodium bicarbonate, citric acid, water, carbon dioxide.*

Сведения об авторах:

1. **Азимов Шавкат Шукурович** – Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана, заведующий лабораторией физической акустики. E-mail: sazimov@tajik.net;
2. **Петухов Владислав Николаевич** – Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана, старший научный сотрудник лаборатории физической акустики. E-mail: feofan70@gmail.com;
3. **Хасанов Тимур Абдурахимович** – Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана, старший научный сотрудник лаборатории физической акустики. E-mail: thass@mail.ru;
4. **Лакаев Абдухолик Нарзуллоевич** – Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана, старший научный сотрудник лаборатории физической акустики. E-mail: narzullo75@inbox.ru.

УДК 504.064.2÷502.2.05:54-78÷351.853.1

Специальность: 1.5.15 – Экология

Ш.Р.Муродов, Ф.Мухидинова, С.С.Рахматшоев, Б.Б.Баротов, И.Мирсаидзода
ПРОВЕДЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА
ИСТОРИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ АДЖИНАТЕППА В РАЙОНЕ КУШОНИЁН
ТАДЖИКИСТАНА

Национальная академия наук Таджикистана,

Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности

(Представлено академиком НАН Таджикистана У.М.Мирсаидовым 12.10.2023 г.)

Проведены измерения радиационного фона на историческом объекте Аджинатеппа. Изучено содержание естественных радионуклидов в почвах территорий, прилегающих к объекту. Определены суммарные альфа- и бета-активности в пробах вод из реки и питьевых источников рядом с объектом. Радиационно-аномальные точки не обнаружены и объект с радиационной точки зрения безопасен для населения и туристов.

Ключевые слова: мониторинг, почва, удельная активность, естественная радиоактивность, радионуклиды, Хатлонская область, крепость Аджинатеппа.

Развитие туристической отрасли в Таджикистане сопровождается развитием инфраструктуры, восстановлением исторических объектов, созданием условий для отдыха и обеспечения безопасности населения. Исторические объекты вызывают интерес для изучения с точки зрения радиационной безопасности, поскольку для их строительства могли использоваться камни из пород с высоким содержанием природных радионуклидов.

Радиоэкологический мониторинг был проведён на историческом объекте - крепости Аджинатеппа, с целью измерения радиационного фона, выявления радиационных аномалий и определения влияния объекта на облучение населения от природных источников. Природные источники составляют около 20% годовой дозы облучения от всех источников, включая антропогенные (0.77 мЗв/год из суммарных 4.06 мЗв/год) [1]. Вклад естественных радионуклидов (ЕРН), наиболее распространённых в горных породах – ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K – в 2 раза значительнее, чем вклад от космических лучей. Снижение облучения населения достигается путём установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения [2].

М а т е р и а л ы и м е т о д ы

Историческое место Аджинатеппа в районе Кушониён (15 км дальше от г. Бохтар) Хатлонской области расположено на равнинной территории и представляет собой прямоугольное здание

Адрес для корреспонденции: Баротов Бахтиёр Бурхонович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана. E-mail: b.barotov@cbrn.tj.

размерами 100x50 м и высотой 6 м. В настоящее время люди проживают в 200 м от этого исторического места, а окружающая территория представляют собой пахотные земли. Как известно, там были найдены 14-метровая статуя Будды, лежащего на боку в состоянии нирваны, и небольшие статуи сидящего Будды. Ввиду древней истории объекта, большое внимание было уделено изучению его радиационного состояния.

Буддийский монастырь сложен из кирпичей, был окружён 5.5-6.0-метровой стеной [3]. Монастырь состоял из двух квадратных дворов, соединённых анфиладой, в которых находились святилища, кельи, хранилища, коридоры и др. В одном из дворов располагалась крестообразная ступа, покрытая росписью, по углам двора находились небольшие дополнительные ступы [3]. Аджинатеппа впервые осмотрен археологами в 1959 году. В 1999 году Отдел охраны и использования историко-культурного наследия Министерства культуры Таджикистана номинировал памятник в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО [4].

Измерения радиационного фона осуществлялись откалиброванным дозиметрическим прибором Termo рюкзачного типа с сцинтиляционным гамма-детектором.

Было отобрано шесть образцов почв внутри крепости и вокруг из пашенных земель для радионуклидного анализа. Отбор проб почвы проводили согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017 [5] от поверхности земли до глубины 25 см. Из общей массы методом квартования отбирали пробы почвы объёмом более 1 л образца. Почвы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали на мельнице и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Для гамма-спектрометрического измерения проб использовали стандартный сосуд «Мари-нелли» объёмом 1 л. Измерения проводились на гамма-спектрометре с детектором из особо чистого германия (CANBERA, программное обеспечение Genie-2000) с неопределённостью измерения от 5 до 12%.

Также, из реки вблизи объекта и из источников питьевого водоснабжения района были взяты и проанализированы пробы воды согласно методике [6].

Результаты обследований

Измерения мощности дозы гамма-излучения внутри и вокруг крепости Аджинатеппа (рис.1) показали, что их значения на этом участке равны от 0.07 до 0.13 мкЗв/ч, что меньше среднего радиационного фона по Таджикистану. Во время измерений точек с аномальными значениями мощности дозы гамма-излучения не обнаружено.



Рис. 1. Точки измерения радиационного фона на объекте Аджинатеппа.

Гамма-спектрометрический анализ проб показал, что они содержат природные радионуклиды в допустимых количествах (табл. 1 и 2). Место Аджинатеппа безопасно с радиационной точки зрения, и гости могут его посещать не беспокоясь.

Таблица 1

Среднее содержание радионуклидов в почве внутри крепости Аджинатеппа

Нуклид	Достоверность идентификации	Средневзвешенная активность, Бк/г	Погрешность, Бк/г
К-40	0.999	5.411784E-001	2.286949E-002
Вl-212	0.996	1.221822E-002	1.180652E-003
РВ-212	0.769	1.088159E-002	1.111212E-003
Вl-214	0.847	2.191188E-002	7.483757E-004
РВ-214	0.692	1.840752E-002	1.285536E-003
РА-226	0.998	4.864839E-002	5.090766E-003
АС-228	0.782	2.528404E-002	7.195415E-004
U-238	0.966	2.167062E-003	2.587189E-003

Таблица 2

Среднее содержание радионуклидов в почве пашенных земель в местности Аджинатеппа

Нуклид	Достоверность идентификации	Средневзвешенная активность, Бк/г	Погрешность, Бк/г
К-40	1.000	4.397781E-001	1.925732E-002
РВ-210	0.988	5.905176E-003	2.795277E-003
Вl-212	1.000	1.574277E-002	1.841412E-003
РВ-212	0.622	2.085719E-002	1.605345E-003
Вl-214	0.716	2.276844E-002	9.519118E-004
РВ-214	0.636	2.166412E-002	1.286054E-003
РА-226	1.000	4.570043E-002	5.774357E-003
АС-228	0.857	2.356292E-002	9.844182E-004
U-238	0.888	1.954578E-003	3.027389E-003

В пробах воды из реки вблизи объекта и из источников питьевого водоснабжения района суммарная активность альфа- и бета-радионуклидов составляет 0.04 Бк/л и 0.38 Бк/л соответственно.

З а к л ю ч е н и е

При проведении измерений радиационного фона на историческом объекте Аджинатеппа аномальных точек не выявлено. Содержание естественных радионуклидов в почвах территорий, прилегающих к объекту, соответствует природному фону для данной местности. Суммарная альфа- и бета-активности в пробах вод не превышают установленных норм. Исторический объект Аджинатеппа с радиационной точки зрения безопасен для населения и туристов.

Поступило 12.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. – Тюмень: ФГУ ИПП «Тюмень», 2003.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-06): Санитарные нормы и правила СанПин 2.6.1.001-06. Утверждены приказом Директора Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан от 25.12.2006 г. №12. Зарегистрировано в Министерстве юстиции Республики Таджикистан 16 января 2007 года, регистрационный №237.
3. Аджинатеппа. – А – Ангоб. – М.: Советская энциклопедия, 1969.
4. Harmatta J., Litvinsky V.A. – J. Harmatta, Unesco, 1996, p.394.
5. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб: Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2018, 9 с.
6. Суммарная альфа- и бета-активность водных проб. Методика измерений альфа-бета радиометром УМФ-2000.

Ш.Р.Муродов, Ф.Мухидинова, С.С.Рахматшоев, Б.Б.Баротов, И.Мирсаидзода

ГУЗАРОНИДАНИ МОНИТОРИНГИ РАДИОЭКОЛОГИ ДАР ҚОИ ТАЪРИХИИ АЌИНАТЕППА ДАР НОҲИЯИ КУШОНИЁНИ ТОҶИКИСТОН

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядрой

Дар мавзеи таърихии Ачинатеппа ченкунии фони радиатсионӣ гузаронида шуд. Микдори радионуклидҳои табиӣ дар хоки минтақаҳои назди объект омӯхта шуд. Фаъолнокии умумии алфа ва бета дар намунаҳои об аз дарё ва манбаъҳои нӯшокӣ дар наздикии макон муайян карда шуд. Нуқтаҳои аномалии радиатсионӣ ошкор карда нашудаанд ва объект аз нуқтаи назари радиатсионӣ барои аҳоли ва сайёҳон беҳатар аст

Калимаҳои калидӣ: мониторинг, хок, фаъолнокии хос, радиоактивияти табиӣ, радионуклидҳо, вилояти Хатлон, қалъаи Ачинатеппа.

Sh.R.Murodov, F.Muhidinova, S.S.Rakhmatshoev, B.B.Barotov, I.Mirsaidzoda
CONDUCTING RADIOECOLOGICAL MONITORING AT THE HISTORICAL
SITE OF AJINATEPPA IN THE KUSHONIYON DISTRICT OF TAJIKISTAN

*National Academy of Sciences of Tajikistan,
Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency,*

Measurements of radiation background were conducted at the historical site of Ajinateppa. The contents of natural radionuclides in the soils of areas around the site were studied. The total alpha and beta activities were determined in water samples from the river and drinking sources near the site. No radiation hot spots were detected and the object from a radiation point of view is safe for the population and tourists.

Key words: *monitoring, soil, specific activity, natural radioactivity, radionuclides, Khatlon region, Ajinateppa fortress.*

Сведения об авторах:

1. **Муродов Шохин Рустамович** – Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела. E-mail: sh.murodov@cbrn.tj;
2. **Ф.Мухидинова** – Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела. E-mail: f.muhidinova@cbrn.tj;
3. **Рахматшоев Самандар Саидакобирович** – Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана, PhD докторант. E-mail: rahmatshoev1999@mail.ru;
4. **Баротов Бахтиёр Бурхонович** – Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана. E-mail: b.barotov@cbrn.tj;
5. **Мирсаидзода Илхом** – доктор технических наук, Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана, директор. E-mail: i.mirsaidzoda@cbrn.tj.

УДК 546÷666.5÷553.61

Специальность: 1.4.1 – Неорганическая химия

Т.Б.Холматов, К.А.Рахимов, М.М.Тагоев, С.К.Кодирзода,
академик НАН Таджикистана У.М.Мирсаидов

ПОЛУЧЕНИЕ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФАРФОРА ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД

*Национальная академия наук Таджикистана,
Институт химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана*

В статье приводятся результаты получения фарфоровых изделий из местных сырьевых материалов Таджикистана. Дан анализ фарфоровой массы из алюмосиликатных руд по сравнению с составом фарфора, который используется на заводах по производству фарфора. Приведены керамико-технологические свойства использованных каолиновых глин Таджикистана.

Ключевые слова: *алюмосиликатные руды, каолиновые глины, фарфор, технология, фарфоровая масса.*

Известно, что для приготовления фарфоровой массы необходимо удаление ионов железа и наиболее доступным и экономически выгодным способом обезжелезивания фарфоровой массы является обработка минеральными (серной или соляной) кислотами при нагревании. Кислотная обработка алюмосиликатов с целью удаления железа является одним из распространённых методов. В процессе кислотной обработки расходы кислоты обычно колеблются от 100 до 500 кг/т, а температура обработки составляет около 100°C. В ряде случаев выщелачивание железа осуществляют при повышенном давлении [1-3].

При использовании полевошпатовых материалов из алюмосиликатных руд важнейшим требованием является соотношение в них оксида калия и оксида натрия, характеризующее калиевым модулем, который должен составлять не менее 2-3, а содержание оксидов железа должно находиться в пределах 0.2-0.3%.

Перспективным весьма ценным видом сырья для получения полевошпатовых материалов могут стать нефелиновые сиениты Турпи. Однако содержание в них оксидов железа составляет в среднем 4.5-6.5%, а калиевый модуль – 1.1, что не позволяет использовать их в производстве фарфора [4, 5].

В настоящей работе изучены состав фарфоровой массы и изделий на её основе с использованием каолиновых глин и других местным сырьевых материалов. Изучение физико-химических и керамико-технологических свойств опытных масс и фарфоровых изделий проводили в экспериментальной лабораторной установке.

Адрес для корреспонденции: Тагоев Муродбек Махмадалиевич. 734063, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул.Айни, 299/2, Институт химии НАН Таджикистана. E-mail: murodbek.tagoev@mail.ru.

Испытание материала на чистоту проведено путём огневой пробы. Он был опробован в составе опытной массы, близкой по химическому составу стандартному образцу. При изготовлении опытной массы были использованы местные сырьевые материалы, применяемые для фарфора. Пегматит, как плавень, был заменён испытываемым полевошпатовым материалом. Зная химсостав требуемого фарфора и химсостав используемых сырьевых материалов, был сделан соответствующий пересчёт шихтового состава массы.

Сырьевые материалы в расчётных количествах были загружены в шаровую мельницу и после их обработки получен шликер, не отличающийся по поведению и параметрам от производственного. Из полученного шликера (суспензии) литейными способами были изготовлены опытные партии фарфоровых изделий. После сушки опытные образцы обжигали в печи при температуре 800°C в течение 3 ч. Второй обжиг глазурованных изделий проводили в туннельной печи при температуре 1350°C в течение 25 ч по существующему температурному и газовому режимам. Полученные экспериментальные фарфоровые изделия были испытаны по отраслевой методике и установлено, что все их технологические характеристики находятся на уровне стандартной продукции.

Для изучения физико-химических и технологических свойств опытной фарфоровой массы также были изготовлены различные, требуемые по инструкции, образцы (стержни, цилиндры, плитки и др.). Результаты проведённых испытаний показали, что фарфоровые массы, приготовленные с использованием опытного материала, по своим свойствам близки к производственной массе.

После облагораживания пробы содержание суммы оксидов железа не превышало 0.4 мас%. Каждый полученный материал был испытан на огневую пробу, представляющую собой мелкозернистый сыпучий порошок белого цвета с незначительным различием по белизне.

Испытываемые образцы каолина были включены в состав опытной массы, близкой по химическому составу фарфору. При приготовлении опытной массы были использованы сырьевые компоненты, используемые на фарфоровом заводе. Состав фарфоровой заводской массы включает следующие компоненты (по сухому весу): каолин – 56.0%; кварцевый песок курганчинский – 22.05; пегматит – 16.0%; череп утильный – 6.0%. Сверх 100% добавляют жидкое стекло и кальцинированную соду до 1.5%.

Нами было составлено три рецепта с участием в качестве основы местного каолинового сырья: первый – проба №31 – 28.0% каолин и каолин Ангрена – 28.0%, второй – проба №31 – 37.5% каолин и каолин №49 – 18.5%, третий полностью составлен из компонентов месторождений Таджикистана – каолин №74 – 48.0%, полевошпатовый материал – 22%, песок – 20%, бентонит – 4%.

Исходные сырьевые материалы в расчётном количестве загружались в шаровую мельницу. После измельчения полученный шликер при влажности 37.25 имеет текучесть 14.1 сек.

Таблица 1

Керамико-технологические свойства использованных каолиновых глин

Вид глины	Наименование показателя						
	Усадка			Механическая прочность, МПа	Адсорбция, мг/л	Водопоглощение, %	Остаток на сите №0056, %
	воздушная (110°С)	огневая (1350°С)	общая				
Зидды, №74							
Грубо измельчённая	3.8	16.3	20.1	7.7	12.8	10.9	25.7
	5.5	19.5	25.0	21.4	9.2	5.7	6.4
Зидды, №49							
Грубо измельчённая	3.6	8.3	11.9	1.0	11.5	2.2	24.4
	4.3	10.2	14.5	12.7	10.4	0.5	5.6
Зидды №31							
Грубо измельчённая	4.4	15.8	20.2	5.5	16.0	4.5	28.6
Просьяновск							
№237	4.7	19.6	24.3	18.2	-	5.7	5.4
№238	3.6	18.6	22.2	19.3	-	4.1	5.8
Ангрен							
№255	4.9	9.5	14.4	30.2	18.5	8.8	5.5
№248 обогащ.	7.0	13.4	20.4	41.5	25.6	9.6	0.3

Таблица 2

Керамико-технологические свойства опытных масс

Наименование показателя	Массы по рецепту				
	№1	№2	№3	№3 с глиной	заводской
Усадка, %					
воздушная (110°С)	3.9	4.2	5.1	4.9	4.0
огневая (1350°С)	13.2	14.8	16.9	16.1	15.3
общая	17.1	19.0	22.0	21.0	19.3
Механическая прочность, МПа	29.9	25.0	29.1	26.8	25.9
Адсорбция, мг/л	17.0	16.	12.8	11.8	15.2
Влажность, %	37.2	36.5	40.0	39.0	37.6
Остаток на сите №0056, %	1.5	1.8	1.0	1.0	1.1
Коэффициент загустеваемости	2.2	2.8	2.1	2.4	2.3
Водопоглощение, %	0.37	0.40	0.33	0.20	0.36

Из полученного шликера (суспензии) литейным способом изготавливались опытные партии фарфоровых изделий. Воздушно-сухие образцы суточной выдержки обжигали в печи при температуре 800°С в течение 1.5 ч. Политой обжиг глазурированных изделий проводили в туннельной печи при температуре 1350°С в течение 25 ч по существующему температурному и временному режимам. Полученные экспериментальные фарфоровые изделия были также испытаны по отраслевой методике и установлено, что технические характеристики образцов находятся на уровне стандартных образцов. Для изучения физико-механических и технологических свойств исследуемых проб каолина (табл.1) и опытной фарфоровой массы на их основе (табл.2) были изготовлены требуемые по инструкции образцы – стержни, цилиндры, плитки.

Результаты проведённых испытаний показали, что фарфоровые массы, приготовленные с использованием местных сырьевых материалов, по свойствам близки к массе стандартного фарфора.

Поступило 12.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ишукаваки В. Месторождения фарфорового камня Мишо. – М.: Мир, 1986, 231 с.
2. Мороз И.И. Фарфор, фаянс, майолика. – Киев: Техника, 1975, 352 с.
3. Мороз И.И. Технология фарфорофаянсовых изделий. – М.: Стройиздат, 1984, 334 с.
4. Сб. научн. тр. ВНИИФ «Исследования в области производства фарфоровой и фаянсовой посуды». – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1985, 71 с.
5. Маджидов Т.С., Бобов Х.Э., Сафиев Х.С. Физико-химические свойства и технологические параметры фарфоровой массы, полученной из местных каолинов. – ДАН РТ, 2011, т.54, №12, с. 996-999.

Т.Б.Холматов, К.А.Рахимов, М.М.Тағоев, С.Қ.Қодирзода, У.М.Мирсаидов
ҲОСИЛ НАМУДАНИ АШЪЁИ ХОМ БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ ЧИНӢ АЗ
МАЪДАНҲОИ АЛЮМОСИЛИКАТДОР

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институти химияи ба номи В.И.Никитини АМИ Тоҷикистон*

Дар мақола натиҷаҳои аз ашъи хоми маҳаллии Тоҷикистон ҳосил намудани маснуоти чинӣ оварда шудааст. Таҳлили массаи чинии аз маъданҳои алюмосиликатӣ ҳосилшуда, бо таркиби чиние, ки дар корхонаҳои истеҳсолкунандаи чинӣ истифода бурда мешавад, оварда шудааст. Хусусиятҳои сафолӣ – технологии гилҳои истифодашудаи каолинии Тоҷикистон оварда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: маъданҳои алюмосиликатӣ, гилҳои каолинӣ, чинӣ, технология, массаи чинӣ.

T.B.Kholmatov, K.A.Rakhimov, M.M.Tagoev, S.Q.Qodirzoda, U.M.Mirsaidov
OBTAINING RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF PORCELAIN
FROM ALUMINUM SILICATE ORES

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

The article presents the results of obtaining porcelain products from local raw materials in Tajikistan. An analysis of porcelain from aluminosilicate ores is given in comparison with the composition of porcelain, which is used in porcelain factories. The ceramic-technological properties of the used kaolin clays from Tajikistan are presented.

Key words: aluminosilicate ores, kaolin clays, porcelain, technology.

Сведение об авторах

1. **Холматов Туйчи Бурихонович** – Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, докторант PhD лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов. E-mail: 988090937@mail.ru;
2. **Рахимов Курбон Азизович** – кандидат химических наук, Институт химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана, ведущий научный сотрудник;
3. **Тагоев Муродбек Махмадалиевич** – кандидат химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, ведущий научный сотрудник. E-mail: murodbek.tagoev@mail.ru;
4. **Кодирзода Субхон** – Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, докторант PhD лаборатории комплексной переработки минерального сырья и промышленных отходов;
5. **Мирсаидов Улмас Мирсаидович** – доктор химических наук, профессор, академик НАН Таджикистан, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, главный научный сотрудник. E-mail: ulmas2005@mail.ru

УДК 546.861.7

Специальность: 1.4.1 – Неорганическая химия

М.Н.Абдусалямова, М.А.Бадалова*, Ф.А.Махмудов

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЙ КВАЗИБИНАРНЫХ РАЗРЕЗОВ СИСТЕМ Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЙ*Национальная академия наук Таджикистана,**Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана,***Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана А.Б.Бадаловым 23.10.2023г.)*

В статье приводятся данные по синтезу, исследованию свойств систем Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi. Найдены тройные соединения, определены их структура и температуры плавления.

Ключевые слова: *редкоземельные металлы, иттербий, европий, фазовые диаграммы, термоэлектрики.*

Последние десятилетия повышенный интерес исследователей к изучению двойных и тройных соединений редкоземельных металлов (РЗМ), в частности – с сурьмой и марганцем обусловлен проявлением ими интересных термоэлектрических свойств, открывающих перспективу быть использованными в качестве высокотемпературных термоэлектриков [1-3]. Для таких соединений термическая стабильность является одним из важнейших функциональных свойств. Основным источником информации о физико-химических свойствах поликомпонентных систем являются фазовые диаграммы состояния. Изучение фазовых диаграмм позволяет, во-первых, определить характер взаимодействия компонентов, во-вторых, открыть новые неорганические соединения, в-третьих, фазовые диаграммы являются научной основой синтеза и роста кристаллов.

Фазовые диаграммы выражают в наиболее концентрированном виде характер взаимодействия между компонентами, как в жидком, так и твёрдом состояниях. Достоверные сведения по диаграммам состояния сложных систем позволяет определить наличие или отсутствие твердых растворов, образование соединений. Тройные системы, включающие РЗМ, Mn, Sb, Bi недостаточно изучены.

В работе приведены новые данные тройных систем Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi и основные закономерности сплавообразования в них.

Экспериментальная часть

Фазовые диаграммы были изучены с применением рентгенофазового, термического и микроструктурного методов анализа.

Адрес для корреспонденции: Абдусалямова Махсуда Негматуллаевна, Махмудов Фарход Абдухоликович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии НАН Таджикистана. E-mail: amaksuda@list.ru; farick85@mail.ru; Бадалова Мамлакат Абулхайровна. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10, Таджикский технический университет. E-mail: btamlakat@gmail.com.

1. Приготовление образцов

Металлы для синтеза порошков и кристаллов использовали:

Сурьма – высокой чистоты марки SCH-0000.

Иттербий и европий – чистоты 99.77%.

Mn – 99.99% Aldrich.

Для синтеза порошков использовали методы порошковой металлургии. Для этого рассчитанное количество элементарных РЗМ (опилки), порошки марганца и сурьмы помещали в стеклоуглеродный тигель, который помещали в кварцевую ампулу, откачивали и запаивали. Ампулу помещали в вертикальную печь и нагревали со скоростью 10 град/ч до температуры 350-400°C, попеременно встряхивая в течение 4 ч, затем температуру поднимали до 800° со скоростью 5град/час и при этой температуре выдерживали 6 ч. Монокристаллы индивидуальных соединений были выращены флакс-методом [4].

2. Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводили на дифрактометре ДРОН-3М (CuK α -излучение, Ni-фильтр, область углов 2 θ от 5 до 90°, шаг 0.02° 2 θ , накопление 15 с).

3. Термический анализ

Аппаратура термического анализа была способна работать в интервале температур 25-2400°C, статического давления гелия в камере 0.1-7 атм и скоростей нагревания 1000-3000°C/мин [5]. Открытый держатель образца (Mo тигель), насаженный на W/W-Re (20%) термопару и помещенный во внутрь W-нагревателя, располагали в камере, охлаждаемой водой. ИК-фотод, смонтированный на оптическом микроскопе, записывал испускаемую термическую радиацию нагреваемого образца через оптически прозрачное кварцевое смотровое окно в виде кривых в координатах dU/dt-T, где эффекты испарения, плавления и кипения проявляются в виде пиков. Визуальное наблюдение за образцом, как и определение состава и количества конденсата пара, было возможно как в случае промежуточных, так и финальных продуктов, что и было использовано в обеспечении надежной интерпретации процессов, происходящих с образцом. Эта техника в квазиравновесных условиях уже много раз была использована для изучения термической стабильности тугоплавких соединений разной природы сублимирующих до плавления, чтобы изучать температурные области и промежуточные стадии термического разложения и поведение образцов в условиях короткой выдержки до самой высокой температуры.

Температуры плавления были измерены в условиях наибольшего давления гелия, самой высокой скорости непрерывного нагрева, чтобы обеспечить квазиравновесное твердое-газ равновесие в открытом тигле за счет эффекта поршневого давления. В этих условиях создается препятствие вытеканию пара в камеру из открытого держателя образца, обеспечивая тем сохранность исходного состава вплоть до плавления. Термические потери веса измеряли в условиях пошагового нагрева. В этой процедуре образец нагревался до заданной температуры, нагрев останавливали, открывали камеру, чтобы получить характеристики твердой и газовой фазы, затем камеру закрывали и продолжали эксперимент с нагревом этого же образца до другой температуры.

Чтобы достичь высокой надежности термических данных, особое внимание было уделено надежности измерения температуры. Все статистические погрешности (приборные и методологические) термического анализа были минимизированы за счет градуировки аппаратуры набором

стандартных образцов: Cu (1085°C), Au (1064°C), Pd (1554°C), Pt (1772°C) и сапфир (2050°C). Калибровка выражалась математическим линейным полиномом, следуя которому можно было определять температуру с погрешностью в 1.5%. Чтобы минимизировать случайную ошибку, внимание было сфокусировано на качестве образцов. Была проведена оценка вкладов разных несовершенств образцов (фазовая чистота, пространственная химическая не гомогенность, пористость микроструктуры) в разброс измеряемых величин, и определено необходимое статистически значимое число параллельных измерений.

Результаты и обсуждение

1. Построение T-x диаграммы разрезов YbSb₂ – Mn, EuSb₂ – Mn

Фазовые диаграммы в виде линий солидуса и ликвидуса этих разрезов построены по результатам параллельных и разносоставных измерений порядка 50 образцов каждой системы (рис. 1,2).

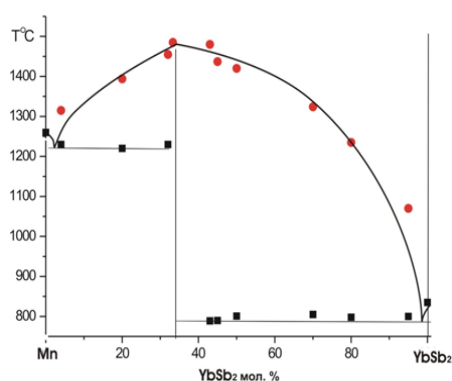


Рис. 1. T-x диаграмма разреза YbSb₂ – Mn.

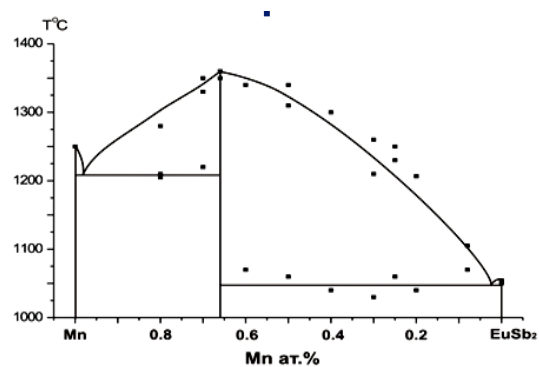


Рис. 2. T-x диаграмма разреза EuSb₂ – Mn.

В системах разрезов YbSb₂ – Mn и EuSb₂ – Mn образуется по одной тройной фазе YbSb₂Mn₂, EuSb₂Mn₂, которые плавятся конгруэнтно и не имеют заметной области гомогенности. Тройная фаза делит T-x диаграмму на две части, в каждой из которых присутствуют вырожденные эвтектики с составами, близкими к составам исходных компонентов.

Виды этих диаграмм хорошо отражают и фотографии микроструктуры закаленных расплавов, чьи составы расположены в фазовых полях, лежащих слева и справа от тройного соединения. Для примера на рис. 3 приведены микроструктуры для системы YbSb₂ – Mn.

Подтверждением топологии диаграммы с одним химическим соединением и двумя эвтектиками служат фотографии микроструктуры образцов (x40), взятых из разных фазовых полей диаграммы: поле фаз YbSb₂Mn₂ и YbSb₂, поле фаз YbSb₂Mn₂ и Mn. В первом случае структурными составляющими является столбчатая структура эвтектики и зерна тройного соединения, во втором крупно- и мелкозернистые кристаллы в виде первичных и вторичных образующих. При этом следует учесть неравновесный характер микроструктуры, которая соответствует закаленному, а не медленно охлажденному состоянию расплава. Однородное состояние замороженного расплава характерно лишь в случае исходных компонентов и составов к ним близко прилегающих.

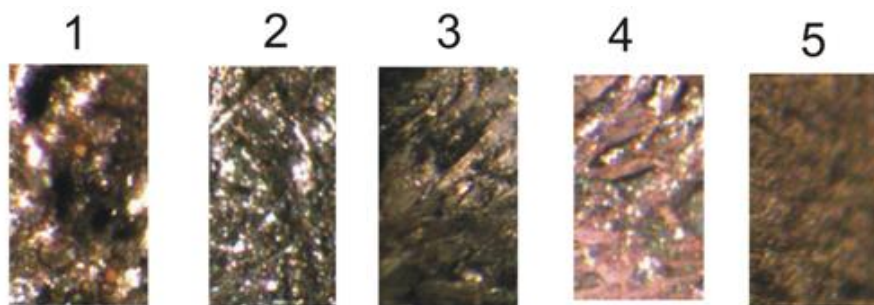


Рис. 3. Фотографии микроструктуры быстро охлажденных образцов разреза $YbSb_2 - Mn$ составов в мол%. $YbSb_2$: 20 (1); 70 (2); 50 (3); 45 (4); 33 (5).

2. Изучение T-x диаграмм разрезов $Yb_4Sb_3 - Mn$ и $Eu_4Sb_3 - Mn$

Построенная по данным использованных методов T-x диаграмма состояния системы $Yb_4Sb_3 - Mn$ показана на рис. 4. Особенность ее топологии с вырожденной эвтектикой со стороны марганца отчетливо отображает полное отсутствие взаимодействия компонентов, что обычно обусловлено сильным различием в их природе химической связи. Согласно литературным данным, антимонид Yb_4Sb_3 имеет четко выраженный полупроводниковый характер, тогда как другой компонент, марганец, типичный представитель металлов. Отметим, что такая форма диаграммы состояния с полной нерастворимостью компонентов встречается достаточно редко, и потому она интересна таким своим редким качеством.

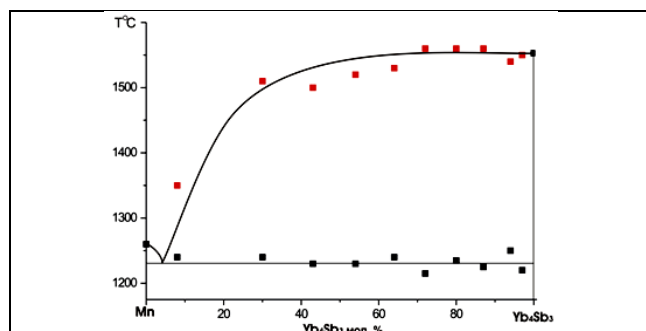


Рис. 4. T-x диаграмма разреза $Yb_4Sb_3 - Mn$.

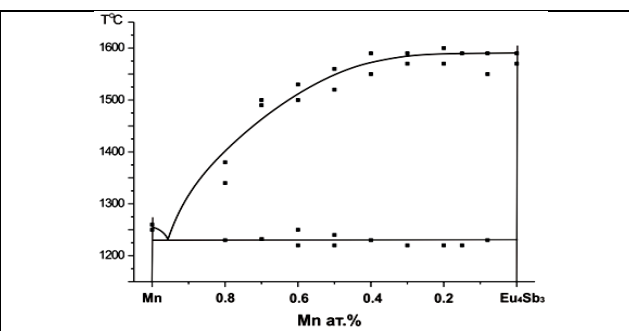


Рис. 5. T-x диаграмма разреза $Eu_4Sb_3 - Mn$.

Диаграмма разреза $Eu_4Sb_3 - Mn$ (рис. 5) отражает двухфазную природу всех изученных образцов с практически отсутствием твердых растворов на основе исходных компонентов и по своей топологии она аналогична диаграмме $Yb_4Sb_3 - Mn$.

Полное отсутствие взаимодействия между компонентами – абсолютно логичное объяснение такому типу диаграмм. Микроструктуры закаленных расплавов образцов также отражают существование двух фаз, и для разных составов образцов меняется только соотношение обеих составляющих, но не их морфология.

Для исследования системы $EuBi_2 - Mn$ было приготовлено семь образцов, включая $EuBi_2$, следующих составов: $0.80EuBi_2-0.20Mn$; $0.60EuBi_2-0.40Mn$; $0.50EuBi_2-0.50Mn$; $0.33EuBi_2-0.66Mn$ и $0.20EuBi_2-0.80Mn$. Образцы имели плавленно-спеченый вид, их растирали до порошка, усредняли по составу, и затем для каждого снимали дифрактограммы и записывали термические кривые. Общее число съемок термического анализа этой системы составило порядка 40.

Термическое исследование проведено по обеим методикам в температурном интервале до 1500°C, обеспечивающим полное плавление образцов. Для построения кривых ликвидуса и солидуса принимали температуры полного расплава без последующего перегрева, за которым следовало разложение расплава, и уже этот вид превращений не имел отношения к изучаемой системе. Совокупность полученных термических данных приведены на рис. 6.

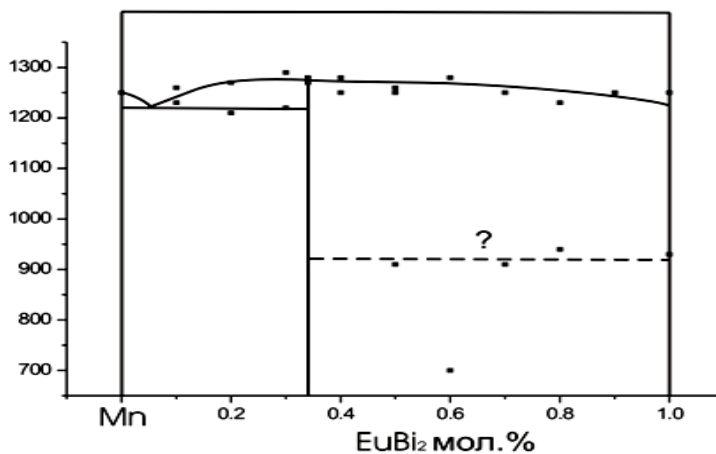


Рис. 6. T - x диаграмма разреза EuBi_2 – Mn.

Представленная диаграмма показывает ясную тенденцию к образованию тройной фазы состава EuMn_2Bi_2 .

В ы в о д ы

1. Изучены два разреза YbSb_2 – Mn и Yb_4Sb_3 – Mn тройной диаграммы Yb-Sb-Mn, которые являются квазибинарными. Их T - x диаграммы имеют разную топологию и отражают специфику природы химической связи исходных компонентов каждого из этих разрезов. Обнаружено тройное соединение YbSb_2Mn_2 с интересными магнитными свойствами, и условия его синтеза легко определяемы, исходя из представленной T - x диаграммы.

2. Изучены два разреза EuSb_2 – Mn и Eu_4Sb_3 – Mn тройной диаграммы, которые являются квазибинарными. Их T - x диаграммы имеют разную топологию и отражают специфику химической связи исходных компонентов, которая реализуется также разным характером взаимодействия. Отсутствие, какого-либо взаимодействия в первой системе сменяется на очевидное сродство и взаимодействие исходных компонентов во второй, с образованием в ней тройного соединения состава EuSb_2Mn_2 . Показано, что по топологии оба разреза в тройной системе с европием идентичны с таковым для тройной системы с иттербием, что совершенно ожидаемо, исходя из закономерности периодичности свойств в ряду редкоземельных элементов.

3. Изучен разрез EuBi_2 – Mn и подобно систем YbSb_2 – Mn, обнаружено соединение EuBi_2Mn_2 .

Поступило 30.03.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Abdusalyamova M.N., Rakhmatov O.I. – Elements, 1998, v.7(3), pp.5-11.
2. Abdusalyamova M.N., Rakhmatov O.I. – Z.Naturforsch, 2002, v.5, pp.98-100.

3. Abdusalyamova M.N., Vasileva I.G. – Journal of Solid State Chemistry, 2011, v. 184, pp. 2751-2755.
4. Chan J.Y., Olmstead M.M., Kauzlarich S.M., Webb D.J. – Chem. Mater., 1998. v.10, p. 3583.
5. Vasilyeva I., Nikolaev R. – J. Alloys Compd., 2008, v.452, p. 94.

М.Н.Абдусалымова, М.А.Бадалова*, Ф.А.Махмудов

**СОХТАНИ ДИАГРАММАҲОИ СЕГОНА ДАР СИСТЕМАҲОИ Yb-Mn-Sb,
Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi ВА ОМУЌИШИ ХОСИЯТҲОИ МАВОДҲОИ
ҲОСИЛШУДА**

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

Институти химияи ба номи В.И.Никитини АМИ Тоҷикистон,

**Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ*

Дар мақола натиҷаҳо оиди синтез, омӯзиши хосиятҳои буриши Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi оварда шудааст. Пайвастаҳои сегона ёфта сохт ва ҳарорати гудозиши он муаян карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *металлҳои нодирзаминӣ, итербий, европий, диаграммаи фазавӣ, термоэлектрики.*

M.N.Abdusalyamova, M.A.Badalova*, F.A.Makhmudov

**CONSTRUCTION OF TERNARY DIAGRAMS Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi
SYSTEMS AND THE STUDY OF THE PROPERTIES OF THE OBTAINED
COMPOUNDS**

National Academy of Science of Tajikistan,

V.I.Nikitin Institute of Chemistry,

**M.S.Osimi Tajik Technical University*

The article presents data on the synthesis and study of the properties of the Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, and Eu-Mn-Bi sections. Ternary compounds are found, their structure and melting points are determined

Key words: *rare-earth metals, ytterbium, europium, phase diagrams, thermoelectrics.*

Сведения об авторах:

1. **Абдусалымова Махсуда Нематуллоевна** – доктор химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, главный научный сотрудник. E-mail: amaksuda@list.ru;
2. **Бадалова Мамлакат Абулхайревна** – кандидат технических наук, Таджикский технический университет им. М.С.Осими, и.о. доцента кафедры автоматизированных систем управления. E-mail: bmamlakat@gmail.com;
3. **Махмудов Фарход Абдухоликович** – кандидат химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, ведущий научный сотрудник. E-mail: farick85@mail.ru.

УДК 544. 622

Специальность: 1.4.4 – Физическая химия

С.М.Досаев, К.И.Нематуллоев, М.М.Тагоев, И.М.Рахимов,

академик НАН Таджикистан У.М.Мирсаидов

**КИНЕТИКА СОЛЯНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МАГНЕТИТОВОЙ
РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХАРАНГОН ТАДЖИКИСТАНА***Национальная академия наук Таджикистана,**Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана*

В работе изучены кинетика разложения магнетитовой руды месторождения Харангон Таджикистана с соляной кислотой, определено численное значение энергии активации, которое составило 27.9715 кДж/моль, что свидетельствуют о её протекании в диффузионной области.

Ключевые слова: кинетика, соляная кислота, разложение, извлечение, энергия активации.

Соединение железа имеет широкое применение в многих областях: коагулянт для очистки вод, для получения пигментов, катализаторы для органического синтеза, реактивы для сельского хозяйства, радиотехника и т.д.

Ранее в работах [1-4] были изучены процессы разложения железосодержащих руд с различными минеральными кислотами. Особый интерес представляет сернокислотное и солянокислотное разложение магнетитовой руды. В работе [5] разложением магнетитовой руды серной кислотой найдены оптимальными параметры процесса и разработана принципиальная технологическая схема переработки магнетита серной кислотой.

Целью настоящей работы является, изучение кинетика процесса соляно-кислотного разложения магнетитовой руда и определение механизм протекающих реакций.

Кинетика процесса солянокислотного разложения исходного железосодержащего руда исследовали в интервале температур 313-363 К и при продолжительности процесса от 15 до 90 мин.

На основы полученных результатов построили кинетические кривые, которые показаны на рис. 1а. С увеличением температуры и продолжительности процесса выщелачивания степень извлечения оксида железо из состава исходного железосодержащего руда значительно возрастает.

Максимальное извлечения Fe_2O_3 наблюдается, при продолжительности процессе спекания 90 мин. Кинетические кривые хорошо описываются уравнением первого порядка:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = K \cdot (1 - \alpha)$$

где α – степень извлечения Fe_2O_3 ; τ – время, мин; K – константа скорости разложения, $мин^{-1}$.

После несложных математических преобразований получим выражение в виде:

Адрес для корреспонденции: Досаев Сухроб Махмадбилович 734063, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии НАНТ. E-mail: suhrob.dosaev@mail.ru.

$$\lg(1 - \alpha) = -\frac{K \cdot \tau}{2.303}$$

При построении графика зависимости $\lg 1/(1-\alpha)$ от времени (рис. 1б) экспериментальные точки при различных температурах удовлетворительно укладываются на прямую линию и имеют отрицательный наклон.

Величину кажущейся энергии активации (E) и пред экспоненциальный множитель (K_0) определяли графическим методом с использованием уравнения Аррениуса:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/RT},$$

или:

$$\lg = -\lg K_0 - \frac{E}{2.303RT},$$

где R – универсальная газовая постоянная, кДж/моль, град. T – абсолютная температура, К.

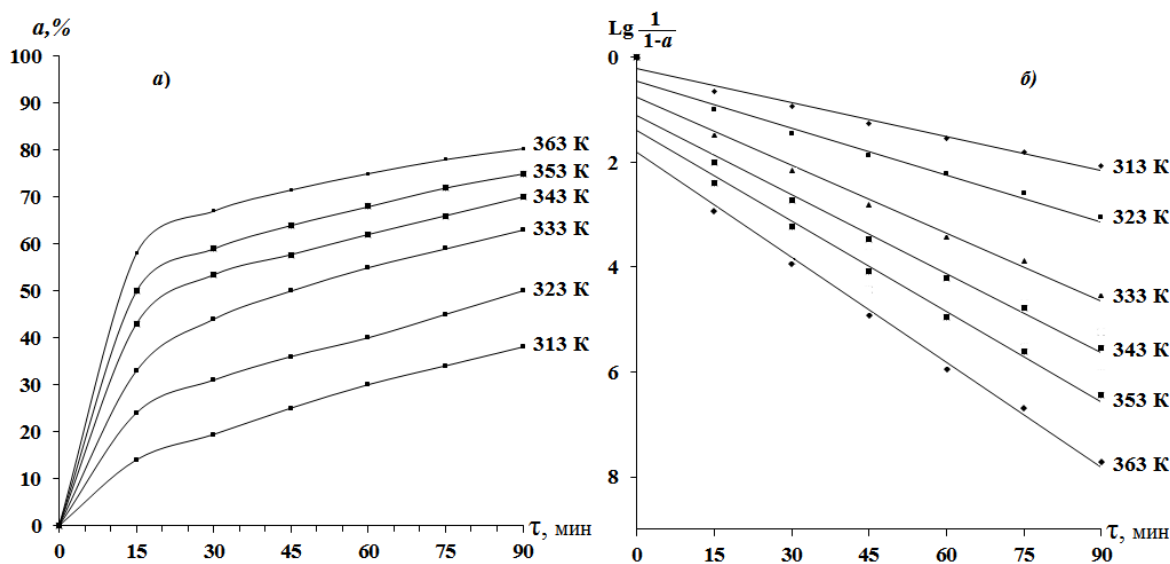


Рис. 1. Зависимость степени разложения оксида железа от времени (а) и $\lg \frac{1}{1-\alpha}$ от времени (б) при соляно-кислотного разложения исходного железосодержащего руда.

Для нахождения энергии активации и более точного определения области протекания процесса разложения, построили график зависимости логарифма средних значений констант скоростей реакции, от обратной абсолютной температуры (рис. 2), он дает прямую линию по тангенсу угла наклона рассчитывали значение энергии активации равная 27.9715 кДж/моль:

$$E = 2.3 \cdot R / \text{tga} / \xi$$

где R – универсальная газовая постоянная, α – угол наклона прямой линии, ξ – отношение масштаба по оси абсцисс к масштабу по оси ординат.

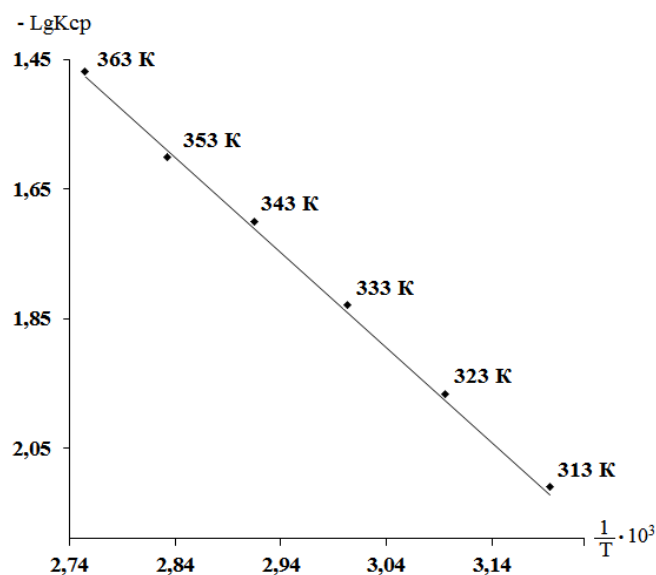


Рис. 2. Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры при соляно-кислотном разложении исходного железосодержащего руда.

Численное значение энергии активации и зависимость скорости реакции от размера частиц и продолжительности процесса при соляно-кислотном разложении исходного железосодержащего руды свидетельствуют о её протекании в диффузионной области.

Поступило 06.09.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаидов У.М., Сафиев Х.С. Комплексная переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья. – Душанбе: Дониш, 1998, 238 с.
2. Мирзоев Б., Маматов Э.Д. Расулов Д.Д. Хлорные способы получения соединений алюминия и железа из руд. – ДАН РТ, 2005, т.48, №9, с.30-36.
3. Мирсаидов У.М., Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э. Комплексная переработка аргилитов и каолиновых глин Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2006, 92с.
4. Бобоев Х.Э. Кислотное разложение каолиновых глин и сиаллитов. – Автореф. дис.... канд. хим. наук. – Душанбе, 1996, 19 с.
5. Нематуллоев К.Н., Ашуров Н., Курбонов А.С., Рахимов И., Мирсаидов У.М. Сернокислотная разложения магнетитовая руды месторождения Харангон Таджикистана. – Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2023, №3, с.80-84.

С.М.Досаев, К.И.Нематуллоев, М.М.Тагоев, И.М.Рахимов, У.М.Мирсаидов
**КИНЕТИКАИ РАВАНДИ ТАҶЗИЯИ МАЪДАНИ МАГНЕТИТИИ КОНИ
ХАРАНГОНИ ТОҶИКИСТОН БО КИСЛОТАИ ХЛОРИД**

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институти химияи ба номи В.И.Никитини АМИ Тоҷикистон,*

Дар мақола кинетикаи таҷзияи маъдани магнетитии кони Харангони Тоҷикистон бо кислотаи хлорид омукта шудааст, қиммати ададии энергияи фаълшавии муайян карда шуд, ки ба 27.9715 кҶ/моль баробар буда, шаҳодат аз он медиҳад, ки реаксия дар ҳудудҳои диффузионӣ мегузарад.

Калимаҳои калидӣ: маъдани охандор, шиқоронӣ, кислотаи хлорид, дараҷаи ҷудошавӣ, кинетика, энергияи фаългардонӣ.

S.M.Dosaev, K.I.Nematulloev, M.M.Tagoev, I.M.Rahimov, U.M.Mirsaidov
**KINETICS OF THE PHOSPHORIC ACID DECOMPOSITION PROCESS OF
SINTERED BOROSILICATE ORE CONCENTRATE**

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

The work studied the kinetics of decomposition of magnetite ore from the Kharangon deposit of Tajikistan with hydrochloric acid, determined the numerical value of the activation energy, which amounted to 27.9715 KJ/mol, which indicates its occurrence in the diffusion region.

Key words: borosilicate ore, leaching, phosphoric acid, decomposition, extraction, kinetics, activation energy.

Сведения об авторах:

1. **Досаев Сухроб Махмадбиллолович** – Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, соискатель. E-mail: suhrob.dosaev@mail.ru;
2. **Нематуллоев Камариддин Изатуллоевич** – Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, докторант PhD. E-mail: 909117111@mail.ru;
3. **Тагоев Муродбек Махмадалиевич** – кандидат химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, ведущий научный сотрудник. E-mail: murodbek.tagoev@mail.ru;
4. **Рахимов Илхомиддин Мирзоевич** – кандидат технических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана. E-mail: rahimzod_74@mail.ru;
5. **Мирсаидов Улмас Мирсаидович** – доктор химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, главный научный сотрудник. E-mail: ulmas2005@mail.ru.

УДК 546.662:87:669.0.17.1

Специальность: 1.4.4 – Физическая химия

В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев*, академик НАН Таджикистана И.Н.Ганиев,

Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов

**ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ АНТИМОНИДОВ Tb_4Sb_3 , Nd_4Sb_3 И ИХ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА***Национальная академия наук Таджикистана,**Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана,***Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими*

В статье приведены результаты исследования синтеза и электрофизических свойств твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$) системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$. Установлено, что твердые растворы изоструктурны с исходными компонентами - Tb_4Sb_3 , Nd_4Sb_3 и кристаллизуются в кубической сингонии типа анти - Th_3P_4 .

Выявлено, что твердым растворам свойственна металлическая проводимость, о чем свидетельствуют результаты исследования их электрофизических свойств (удельное электросопротивление и термо-электро- движущая сила) в диапазоне температур 298-773 К.

Ключевые слова: *синтез, диаграмма состояния, твердые растворы, удельное электросопротивление, термо-э.д.с.*

Диаграммы состояния систем $Tb - Sb$ и $Nd - Sb$ в полном диапазоне концентраций исследованы в [1, 2]. В данных системах установлено образование соединений Tb_5Sb_3 , Tb_4Sb_3 , $TbSb$, $TbSb_2$, Nd_2Sb , Nd_5Sb_3 , Nd_4Sb_3 , $NdSb$ и $NdSb_2$. Соединения Tb_5Sb_3 , Tb_4Sb_3 , $TbSb_2$, Nd_2Sb , Nd_5Sb_3 , Nd_4Sb_3 , и $NdSb_2$ при 1923, 2043, 1013, 1583, 1838, 1994 и 1328 К, соответственно, плавятся инконгруэнтно. При этом соединения $NdSb$ и $TbSb$ при 2203 и 2433 К, соответственно, плавятся конгруэнтно.

Целью данной работы явилось получение твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$), системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ и изучение их электрофизических свойств.

При синтезе антимонидов и твердых растворов в качестве исходных компонентов использовали дистилляты Nd , Tb (ТУ 48-1303-173-76) и сурьму марки $Su-18-4$ (Ту 48-14-18-75).

Синтез антимонидов $TbSb_2$, Tb_4Sb_3 , $NdSb$, Nd_4Sb_3 и твердых растворов, $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) проводили в вакууме 0.0133 Па. В качестве датчика температуры использовали вольфрам-вольфраменную термопару ($W - W +20\% Re$). Точность измерения температуры при 1273 К составляла ± 10 К. Образцы перед загрузкой в печь, помещали в герметизированные молибденовые тигли. При выборе тигельного материала руководствовались данными работ [3-5], где показано, что растворимость молибдена, тантала и вольфрама в жидких редкоземельных элементах (РЗЭ) весьма незначительна.

При синтезе твердых растворов системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ предпочтение было отдано методу синтеза с применением в качестве исходных компонентов предварительно синтезированных антимонидов Tb_4Sb_3 и Nd_4Sb_3 .

Антимониды Tb_4Sb_3 и Nd_4Sb_3 получали с применением в качестве сурьмы и РЗЭ содержащих компонентов-моноантимонидов $GdSb$ и $NdSb$.

Моноантимониды $GdSb$ и $NdSb$ получали прямым взаимодействием стружек гадолиния и неодима с порошком сурьмы в герметизированных молибденовых тиглях. Нагревание тигля с веществом проводили со скоростью 40 град/мин до оптимальной температуры (1373 К), с последующей выдержкой 2 ± 0.5 часа.

После завершения синтеза тигель с веществом, охлаждали до комнатной температуры со скоростью 80 град/мин.

Твердые растворы системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ получали следующим образом. Порошки предварительно синтезированных соединений – Tb_4Sb_3 и Nd_4Sb_3 , отвечающие определенному химическому составу сплава $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$), смешивали, спрессовывали в штабик, помещали в герметизированный молибденовый тигель и нагревали (со скоростью 80 К/мин). Оптимальная температура синтеза составляла 1573 ± 50 К. При этой температуре образцы выдерживали 2-3 ч. После чего тигель с веществом охлаждали до комнатной температуры со скоростью 80 К/мин. Следует отметить, что при синтезе сплавов системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$, скорость нагревания и охлаждения не играет существенной роли. Существенное значение при синтезе имеют конечная температура синтеза и время выдержки реакционной смеси при этой температуре.

Твердые растворы системы $Tb_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ синтезировали при одном и том же температурном и временном режиме, то есть при 1573 ± 50 К и времени выдержки 2-3 ч.

После завершения синтеза моноантимониды $TbSb$, $NdSb$, антимониды Tb_4Sb_3 , Nd_4Sb_3 и твердые растворы $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) подвергали рентгенофазовому и металлографическому анализу.

Рентгенофазовый анализ антимонидов и твердых растворов проводили на дифрактометре ДРОН-2 с использованием отфильтрованного CuK_α -излучения (Ni – фильтр). Погрешность в определении параметров элементарной ячейки сплавов составляла ± 0.0005 нм.

Металлографический анализ сплавов выполняли на приборе «Neophot-21». Шлифы полировали алмазной пастой, нанесенной на нейлоновую ткань. Микротвердость кристаллов измеряли на микротвердомере ПМТ-2.

Плотность сплавов определяли по стандартной методике.

Исследования удельного электросопротивления и термо-э.д.с. твердых растворов проводили четырехзондовым методом. Относительная погрешность измерения удельного электросопротивления составляла ± 2.5 , а термо-э.д.с. $\pm 2\%$.

Синтезированные антимониды и твердые растворы, согласно рентгенофазовому и микроструктурному анализу, представляли собой однофазные образцы. Моноантимониды $NdSb$ и $TbSb$ кристаллизуются в кубической сингонии типа $NaCl$, а антимониды Tb_4Sb_3 и Nd_4Sb_3 изоструктурны с твердыми растворами $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) и кристаллизуются в кубической сингонии типа анти- Th_3P_4 (табл. 1).

Таблица 1

Кристаллохимические характеристики антимонидов и твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$)

Антимониды и твердые растворы	Параметр элементарной ячейки, ± 0.0005 нм	Плотность, $кг/м^3$		Микротвердость, МПа
		расчет.	экспер.	
NdSb	0.6222	7340	7344	1000 \pm 150
TbSb	0.6176	7965	7970	1050 \pm 220
Nd ₄ Sb ₃	0.9398	7582	7586	5200 \pm 100
Tb ₄ Sb ₃	0.9165	8665	8660	4950 \pm 150
Tb _{3,6} Nd _{0,4} Sb ₃	0.9187	8572	8568	5360 \pm 170
Tb _{3,2} Nd _{0,8} Sb ₃	0.9212	8452	8438	5450 \pm 140
Tb _{2,8} Nd _{1,2} Sb ₃	0.9225	8366	8358	5630 \pm 165
Tb _{2,4} Nd _{1,6} Sb ₃	0.9250	8252	8246	5720 \pm 190
Tb ₂ Nd ₂ Sb ₃	0.9275	8134	8130	5610 \pm 185
Tb _{1,6} Nd _{2,4} Sb ₃	0.9304	8009	7998	5450 \pm 210
Tb _{1,2} Nd _{2,8} Sb ₃	0.9325	7898	7878	5500 \pm 230
Tb _{0,8} Nd _{3,2} Sb ₃	0.9356	7779	7768	5490 \pm 158
Tb _{0,4} Nd _{3,6} Sb ₃	0.9360	7723	7719	5330 \pm 185
Nd ₄ Sb ₃	0.9362	7669	7648	5200 \pm 145

С целью установления электропроводности твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) системы Tb_4Sb_3 – Nd_4Sb_3 изучены их электрофизические свойства (удельное электросопротивление и термо-э.д.с.) в диапазоне температур 298-773 К.

На рис. 1, 2 и в табл. 2 приведены результаты исследования электрофизических свойств твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$) системы Tb_4Sb_3 – Nd_4Sb_3 .

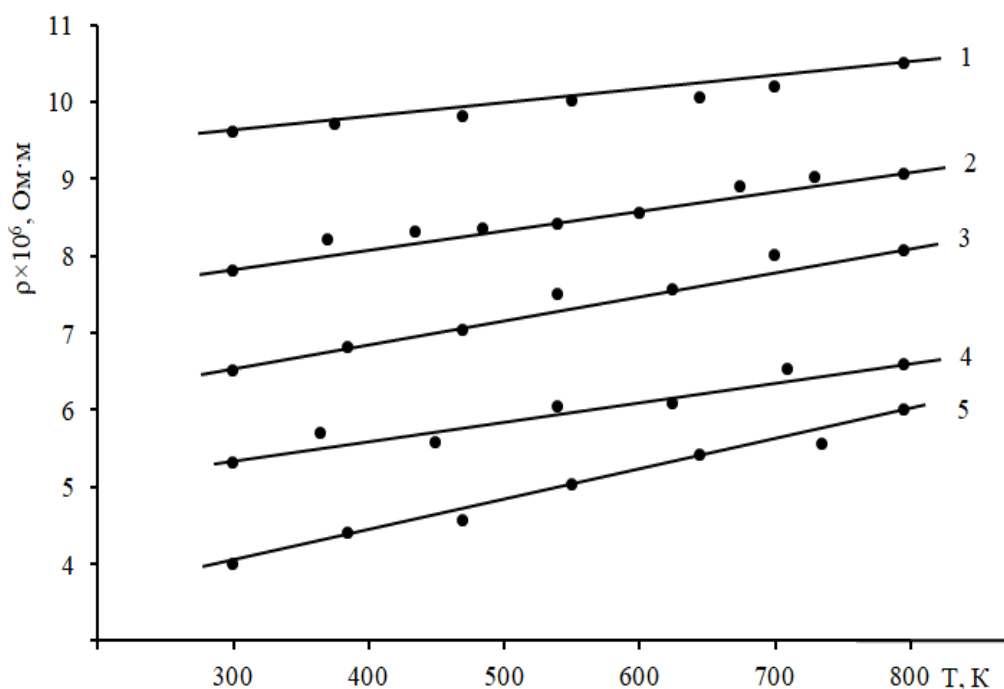


Рис. 1. Температурная зависимость удельного электросопротивления твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$) в диапазоне температур 298-773 К, содержащих: 1 – 10 мол.% Nd_4Sb_3 , 2 – 30 мол.% Nd_4Sb_3 , 3 – 50 мол.% Nd_4Sb_3 , 4 – 70 мол.% Nd_4Sb_3 , 5 – 90 мол.% Nd_4Sb_3 .

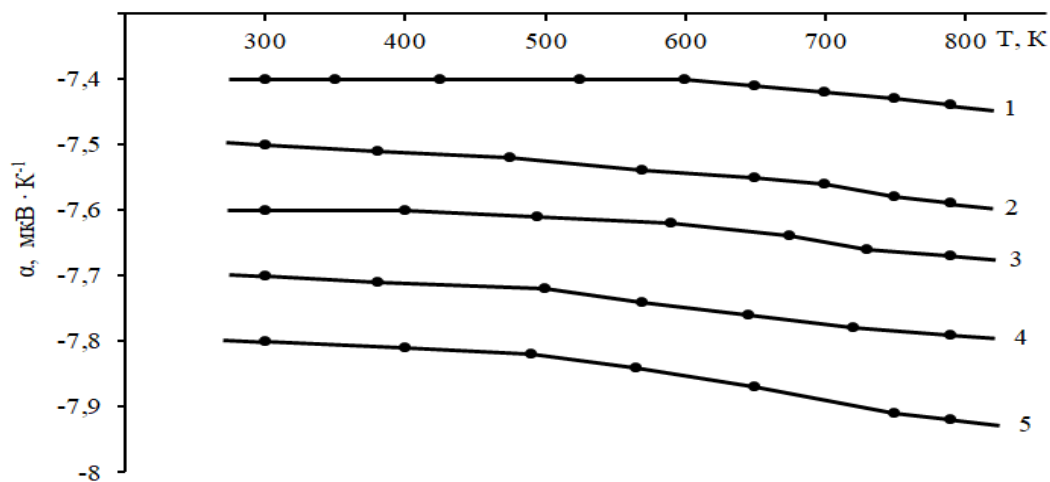


Рис 2. Температурная зависимость термо-э.д.с. твердых растворов $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$) в диапазоне температур 298-773 К, содержащих: 1 – 10 мол.% Nd_4Sb_3 , 2 – 30 мол.% Nd_4Sb_3 , 3 – 50 мол.% Nd_4Sb_3 , 4 – 70 мол.% Nd_4Sb_3 , 5 – 90 мол.% Nd_4Sb_3 .

Как видно из рисунков, температурная зависимость удельного электросопротивления и термо-э.д.с. твердых растворов в диапазоне 298-773 К изменяется линейно, что указывает на их металлическую проводимость.

В табл. 2. приведены значения удельного сопротивления, термо-э.д.с. РЗЭ, твердых растворов системы $Tb_4Sb_3-Nd_4Sb_3$ при комнатной температуре. Из таблицы следует, что электропроводность антимонидов и твердых растворов на порядок меньше электропроводности РЗЭ, табл. 2.

Таблица 2

Электрофизические свойства РЗЭ, антимонидов и твердых растворов системы $Tb_4Sb_3-Nd_4Sb_3$ при 298 К

Антимониды и твердые растворы	Удельное электросопротивление, $\rho \times 10^6, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	Электропроводность, $\sigma \times 10^{-5}, \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$	Термо-э.д.с. $-\alpha, \text{ мкВ/К}$
Nd [6]	0.64±0.01	15.6	2.0±0.04
Tb [6]	1.16±0.03	8.6	2.2±0.04
Nd_4Sb_3	3.20±0.08	3.12	8.6±0.04
Tb_4Sb_3	9.54±0.23	1.04	7.2±0.14
$Tb_{3.6}Nd_{0.4}Sb_3$	9.6±0.24	1.04	7.7±0.15
$Tb_{3.2}Nd_{0.8}Sb_3$	8.5±0.21	1.17	7.8±0.15
$Tb_{2.8}Nd_{1.2}Sb_3$	7.8±0.19	1.28	7.9±0.15
$Tb_{2.4}Nd_{1.6}Sb_3$	7.2±0.18	1.38	8.0±0.16
$Tb_2Nd_2Sb_3$	6.5±0.15	1.53	8.2±0.16
$Tb_{1.6}Nd_{2.4}Sb_3$	6.0±0.15	1.66	8.3±0.16
$Tb_{1.2}Nd_{2.8}Sb_3$	5.3±0.13	1.88	8.5±0.17
$Tb_{0.8}Nd_{3.2}Sb_3$	4.6±0.11	2.17	8.6±0.17
$Tb_{0.4}Nd_{3.6}Sb_3$	4.0±0.1	2.5	8.7±0.16

Относительно низкая электропроводность, свойственная антимонидам Nd_4Sb_3 , Tb_4Sb_3 и твердым растворам $Tb_{4-x}Nd_xSb_3$, ($x = 0.4 \div 3.6$), с нашей точки зрения, определяется магнитной составляющей общего электросопротивления и природой их химической связи. Известно, что в парамагнитной

области общее удельное электросопротивление РЗЭ складывается из остаточного, фононного и магнитного удельного сопротивления.

Остаточное удельное электросопротивление возникает от рассеяния электронов на нейтральных примесях и дефектах кристаллической решетки. Фононное электросопротивление связано с рассеянием электронов на акустических колебаниях решетки (фононах). Магнитное удельное электросопротивление возникает в результате взаимодействия электронов проводимости с локализованными магнитными моментами $4f$ – электронов ионов РЗЭ. Это взаимодействие зависит, во-первых, от относительной ориентации спина s - проводимости и, во-вторых, от результирующего спина $4f$ – слоя. Согласно существующей теории [7], из-за того, что при 0 К $4f$ – электроны упорядочены магнитное сопротивление равно нулю. При этом магнитный порядок, с повышением температуры, нарушается и появляется магнитное сопротивление, которое растет при приближении к точке магнитного упорядочения. В парамагнитной области упорядочение $4f$ -слоя разрушается и магнитное сопротивление приобретает свое максимальное значение и при этом становится постоянным.

Металлическую проводимость указанных антимонидов и твердых растворов, по всей видимости, обуславливает металлическая связь Tb-Nd, имеющаяся в их структуре.

Поскольку электропроводность исследованных антимонидов и твердых растворов меньше электропроводности РЗЭ можно заключить, что определенная часть электронов локализована, из-за наличия в них еще и ионной связи $L_n - Sb$ ($L_n = Nd, Tb$).

Поступило 17.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Abdusalyamova M.N., Burnashev O.R., Mironov K.E. The terbium antimony alloy system. – J. Less-Comm. Metals, 1981, v.77, №1, pp.81-88.
2. Абулхаев В.Д. Диаграмма состояния системы Nd-Sb. – Журн. Неорганической химии, 1999, т.44, №2, с. 308-312.
3. Шанк Ф. Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургия, 1973, 760 с.
4. Dennison D.N., Tschetter T, Gschneidner K.A. The solubility of tantalum in eight liquid rare-earth. – Less-Common Metals, 1966, v.11, pp. 423-435.
5. Dennison, D.N. The solubility of tantalum and tungsten in liquid rare-earth metals. – Less-Common Metals, 1966, v.10, pp. 108-111.
6. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф. Металловедение редкоземельных металлов. – М.: Наука, 1975, 270 с.
7. Тейлор К., Дарби М. Физика редкоземельных соединений. – М.: Мир, 1974, 374 с.

В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев*, И.Н.Ганиев, Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов
**МАҲЛУЛҲОИ САХТ ДАР АСОСИ АНТИМОНИДҲОИ Tb₄Sb₃, Nd₄Sb₃ ВА
ХОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ ОНҲО**

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институти химияи ба номи В.И.Никитини,*

**Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими*

Дар мақола натиҷаҳои омӯзиши синтез ва хосиятҳои электрикии маҳлулҳои саҳти Tb_{4-x}Nd_xSb₃, (x = 0,4÷3,6) системаи Tb₄Sb₃ – Nd₄Sb₃ оварда шудаанд.

Муқаррар карда шудааст, ки маҳлулҳои саҳт бо ҷузъҳои ибтидоӣ - Tb₄Sb₃ ва Nd₄Sb₃ изоструктурӣ буда, дар системаи кубии навъи анти - Th₃P₄ кристаллизатсия мешаванд.

Муайян карда шудааст, ки ба маҳлулҳои саҳт гузаронандагии металлӣ хос аст, ки инро натиҷаҳои омӯзиши хосиятҳои электрофизикии онҳо (муқовимати хоси электрикӣ ва қувваи гармо-электроҳаракатдиҳанда) дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К шаҳодат медиҳанд.

Калимаҳои калидӣ: синтез, диаграммаи ҳолат, маҳлулҳои саҳт, муқовимати хоси электрикӣ, қувваи гармо-электроҳаракатдиҳанда.

V.D.Abukhaev, M.A.Balaev*, I.N.Ganiev, Kh.Kh.Nazarzoda, B.D.Saydaliev, S.O.Ubaydov
**SOLID SOLUTIONS BASED ON ANTIMONIDES Tb₄Sb₃, Nd₄Sb₃
AND THEIR ELECTROPHYSICAL PROPERTIES**

National Academy of Sciences of Tajikistan,

V.I.Nikitin Institute of Chemistry,

**M.S.Osimi Tajik technical university*

The article presents the results of a study of the synthesis and electrical properties of solid solutions Tb_{4-x}Nd_xSb₃, (x = 0.4÷3.6) system Tb₄Sb₃ – Nd₄Sb₃.

It has been established that the solid solutions are isostructural with the initial components - Tb₄Sb₃, Nd₄Sb₃ and crystallize in a cubic system of the anti-Th₃P₄ type.

It was revealed that solid solutions are characterized by metallic conductivity, as evidenced by the results of studying their electrical properties (electrical resistivity and thermo-electromotive force) in the temperature range 298-773 K.

Key words: synthesis, phase diagram, solid solutions, electrical resistivity, thermo-electromotive force.

Сведения об авторах:

1. Абулхаев Владимир Джалолович – доктор химических наук, профессор, Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, главный научный сотрудник. E-mail: abulkhaev-48@mail.ru;
2. Балаев Мухамадшо Ахтамович – кандидат технических наук, Таджикский технический университет им. акад. М.Осими, доцент кафедры «Электроснабжение»; E-mail: muhamad65balaev@mail.ru;

3. Ганиев Изатулло Наврузович – доктор химических наук, профессор, академик НАНТ, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, зав. лабораторией «Коррозионностойкие материалы». E-mail: ganiev48@mail.ru;
4. Назарзода Хайрулло Холназар – доктор технических наук, доцент, Таджикский государственный университет коммерции, ректор. E-mail: nazarov-h2013@mail.ru
5. Сайдалиев Бахром Джураевич – Бохтарский государственный университет им. Н.Хусрава, преподаватель кафедры «Органическая химия и биология». Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, соискатель. E-mail: saidaliev_bahrom@mail.ru
6. Убайдов Солмоншо Одинаевич – кандидат технических наук, Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни, доцент кафедры «Технология черчения и дизайна». Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, соискатель. E-mail: salmonubaidov@mail.ru

УДК 550.42

Специальность: 1.6.4 – Геохимия

Ю.Я.Валиев, Х.Б.Кабгов**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ ЗИДДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ***Национальная академия наук Таджикистана,**Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана А.Р.Файзиевым 16.10.2023 г.)*

В статье рассматриваются результаты геохимического изучения более 30 редких элементов в углях Зиддинского месторождения. Для проведения анализа редких элементов использовались различные физико-химические методы определения и было установлено, что ряд редких элементов и РЗЭ накапливаются в углях. При этом концентрация Ag, Sb, Mo, Cd и др. в золе углей достигают промышленного содержания. Полученные результаты показывают, что угли Зиддинского месторождения являются комплексным энерго-редкометалльным сырьем.

Ключевые слова: *геохимия, редкие элементы, уголь, зола, коэффициент концентрации, эпигенез.*

В настоящее время в научной литературе опубликовано много работ, в которых показано, что в отдельных месторождениях углей ряда стран мира (Россия, Китай, Украина, США, Австралия, Узбекистан, Таджикистан и др.) установлено повышенное содержание многих редких элементов: Ge, Mo, W, Au, Ag, Zn, Cd, Pb, Sb, Te, РЗЭ и др. [1-6]. При этом концентрация некоторых элементов в угольных пластах достигает промышленного содержания. Эти данные позволяют рассматривать угли как потенциальный источник редкометалльного сырья. В связи с этим изучение закономерностей распределения и форм нахождения редких элементов в угленосных формациях, сформированных в разных структурных зонах Земли, является одной из актуальных задач осадочной геохимии.

В ранее проведенных геохимических исследованиях на некоторых месторождениях углей Таджикистана и Южного Узбекистана было выявлено повышенное содержание Au, Ag, Zn, Cu, Pb, Bi, Mo, W и РЗЭ [5-6]. В виду этого геохимическое строение углей Зиддинского месторождения, сформированного внутри горной впадины и питающими провинциями которого были древние метаморфические и магматические породы с редкометалльной специализацией, является одним из уникальных объектов.

Детальные литолого-фациальные исследования юрской терригенно-угленосной формации Зиддинского месторождения показали, что они имеют континентальный генезис, в котором выделяются аллювиальные, озёрные и озёрно-болотные фациальные типы отложений, и они представлены различными типами пород: гравелитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, углистыми аргиллитами

Адрес для корреспонденции: Кабгов Хамдам Бобомуродович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ. E-mail: hamdamikabk@mail.ru.

и пластами углей. Строение разрезов юрской угленосной формации и краткая характеристика фациальных типов отложений приводится на рис. 1 и в объяснительной записке к нему.



Рис. 1. Разрезы угольного месторождения Зиды, А-северная, Б-южная часть.

На Зиддинском месторождении выделяются два промышленных пласта углей – нижний и верхний, которые образовались в результате зарастания и заболачивания пойменных участков речных долин и развитых на пойме мелких озёрных водоемах [7]. Мощность пластов углей колеблется от 2-5 м в северной и до 7-12 м в южной части месторождения. Для детального изучения углей из западной и восточной части Зиддинского месторождения из угольных пластов были отобраны 10 бороздовых проб.

Проведённый химический анализ проб углей из нижнего и верхнего пластов показали следующие результаты: зольность углей колеблется от 14.5 до 36.9%, выход летучих компонентов – 45-51% (на орган. массу), $S_{общ}$ – 0.74-1.07%. Данные элементного анализа в пересчете на органическую массу составляет: С – 71-82%, Н – 4.3-4.8%, N – 0.6-0.7%, О – 13-22%. По этим показателям угли характеризуются как средне и высокозольные, низко- сернистые гумусовые каменные угли, относящиеся к марке Г.

Для определения содержания петрогенных и редких элементов применялись различных инструментальные методы: Si, Al, Fe, Ti, Mn, Sr, Ba, Pb, Zn, Cu, Sn, Mo, Ga, Y определялись в порошковых

пробах угля рентгено-флуоресцентным методом на приборе VRA-2 (Германия). Для определения количества Cr, Ni, Co, V, Bi, In и Tl в золе углей применялся эмиссионно-спектральный метод с использованием прибора ДФС-8 по разработанным методикам в Институте химии им. В.И.Никитина НАНТ [8], а также PЗЭ и Rb, Cs, Cd, Sb, Ag, Au, Th, U определялись в порошковых пробах угля нейтронно-активационным методом в Институте ядерной физики АН Республики Узбекистан. Результаты анализов и их средние содержания в 10 пробах угля в пересчете на золу приведены в таблице.

Таблица

Средние содержания элементов-примесей в золе углей Зиддинского месторождения и сравнение их коэффициентов концентрации (КК) с зольными КК мировых углей (г/т)

Элемент	Среднее содержание элементов в золе угля, n=10	Зольный КК углей Зиддинского месторождения	Зольный КК в мировых углях [3]	Кларк в осадочных породах, [9]
Rb	56	0,6	0,84	94
Cs	60	7.8	0.86	7.7
Sr	3553	13.2	2.7	270
Ba	4228	10.3	2.3	410
Sc	171	18	2.4	9.6
Y	113	3.9	1.8	29
La	1168	36.5	2.2	32
Ce	1867	36	2.5	52
Sm	86	15.6	2.4	5.5
Eu	31	33	2.7	0.94
Tb	46	66.7	3.0	0.69
Yb	25	12.5	3.1	2.0
Lu	7	16	2.7	0.44
Ge	100	71	11	1.4
Ti	4000	1.1	1.2	3740
Th	104	13.5	2.7	7.7
Sn	100	34.5	2.2	2.9
V	170	1.9	1.7	91
Mo	590	393	9.3	1.5
W	42	21	3.5	2.0
U	287	84	4.7	3.4
Br	41	0.9	0.73	44
Cu	1000	32.3	3.0	31
Ag	158	1317	5.1	0.12
Au	0.33	55	3.7	0.006
Zn	4296	100	3.3	43
Cd	292	365	1.5	0.8
Pb	3650	304	3.9	12
Bi	30	115	23	0.26
As	860	113	6.2	7.6
Sb	1141	951	5.3	1.2
Se	40	148	33	0.27
Cr	106	1.8	1.7	58
Mn	329	0.39	0.59	830
Co	208	14.9	2.3	14
Ni	471	12.7	2.1	37

По отношению среднего содержания элемента в золе угля к его кларку в осадочных породах были рассчитаны коэффициенты их зольных концентраций (КК) [9]. По величинам КК в золе углей были условно выделены IV группы ассоциаций элементов (см. рис. 2, табл.).

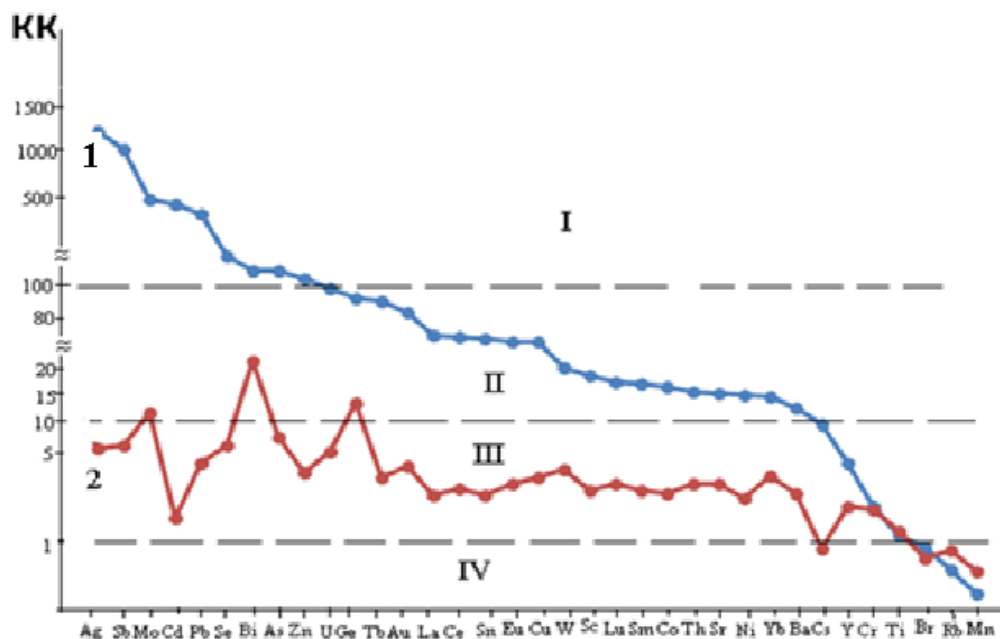


Рис. 2. Сопоставление коэффициентов концентрации КК редких и рассеянных элементов в золе углей Зиддинского месторождения (1) с зольными КК мировых углей (2). (I, II, III и IV – выделенные ассоциации элементов).

Элементы с аномальными КК от 100 до 1000 и более. Это ассоциация состоит в основном из халькофильных элементов. Они по величине КК образуют следующий ряд: $Ag > Sb > Mo > Cd > Pb > Se > Bi > As > Zn$.

II. Элементы с КК от 10 до 100 с высокими концентрациями. Они представлены в основном литофильными элементами и гидролизатами, по величинам КК образуют следующий ряд: $U > Ge > Tb > Au > La > Ce > Sn > Eu > Cu > W > Sc > Lu > Sm > Co > Th > Sr > Ni > Yb > Ba$.

III. Элементы с $КК > 1.0 \leq 10$ – накапливающийся в золе углей. Они представлены в основном сидерофильными элементами и образуют следующий ряд: $Cs > Y > V > Cr > Ti$.

IV. Элементы с $КК \leq 1.0$ не накапливающиеся в золе углей: $Br > Rb > Mn$.

Изучение и анализ большого количества фактического материала по распределению элементов-примесей в углях различных угольных бассейнов многих стран мира показали, что при кларковых содержаниях элементов в породах питающих провинций в бассейнах осадконакопления обогащение угольных пластов элементами-примесями незначительно. Обычно в таких случаях КК элементов-примесей в золе угля находится на уровне 1.5-3.0. При этом образуются ассоциации из небольшого числа химических элементов. Повышенное значение зольных КК (> 5.0) и появление многоэлементных ассоциаций свидетельствуют о влиянии на угленосные пласты ряда геохимических факторов. Это может быть связано с питающими провинциями с геохимической специализацией на редкие элементы. Возможно воздействие наложенных на угленосные отложения постседиментационных процессов, таких

как эпигенез, метаморфизм и проявление гидротермальной минерализации, а также субсинхронные с угленакоплением вулканические проявления и т.д. [3].

Обнаруженное в угольных пластах Зиддинского месторождения аномальное содержание некоторых редких элементов по рассчитанным КК на 1-2 порядка превышают среднее значение КК для мировых углей [3]. Это связано с влиянием геологических и геохимических факторов на стадии накопления угленосных отложений Зиддинской впадины и постседиментационных эпигенетических процессов.

Как показывают литолого-минералогические исследования и палеогеографические реконструкции формирования угленосных отложений Центрального Таджикистана, в том числе и внутригорной Зиддинской впадины в питающих провинциях в период накопления угленосной формации, размыту подвергались древние палеозойские осадочно-метаморфические и магматические породы (S,D,C,P) с повышенным геохимическим фоном редких элементов [5,6,10]. Эта территория относится к Южно-Тянь-Шаньской редкометальной провинции, где известны рудные месторождения скарнового и гидротермального генезиса [11,12]. Они связаны в основном с позднекарбовым и раннепермским магматизмом. На этих месторождениях установлены вольфрамово-оловянные, кварц-золоторудные, мышьяковистые, свинцово-цинковые, серебряные, сурьмяно-ртутные и другие оруденения.

При накоплении юрских терригенно-угленосных отложений Зиддинской впадины, обломочный и растворенный материал поступал за счет палеозойских пород Зеравшанского и Гиссарского хребтов с повышенным геохимическим фоном редких элементов, а также возможно из зон окисления рудных месторождений.

Повышенное содержание некоторых элементов-гидролизатов Al, Ti, Sc и PЗЭ в углях, скорее всего, объясняется за счёт поступления их из размывающихся доюрских кор выветривания, развитых на различных типах осадочно-метаморфических, эффузивных и гранитоидных пород. Известно, что элементы-гидролизаты, накапливаются в продуктах коры выветривания – аллитах, бокситах и каолиновых глинах. В позднетриасовое и в раннеюрское время на обширной территории Средней Азии, в том числе на Гиссарском и Зеравшанском хребтах, существовали площадные зональные коры выветривания, развитые на различных типах домезазойских пород [13]. Прямым доказательством на размыв и вынос продуктов коры выветривания и поступления их в Зиддинский бассейн угленакопления является факт присутствия под угленосными разрезами сохранившихся от размыва продуктов коры выветривания (см.рис.1). Они представлены красноцветными аллитами, бокситами и каолиновыми глинами. Кроме того, повсеместно на всей Зиддинской площади нижний и верхний угленосные пласты залегают на переотложенных продуктах коры выветривания – каолиновых глинах [7].

Не исключено, что в аномальном обогащении угольных пластов халькофильными элементами (Ag, Sb, Mo, Pb, Se, Bi, As Zn) определённую роль сыграли и постседиментационные гидротермальные процессы, которые были связаны с киммерийской и альпийской активизацией тектонических процессов. На это указывает присутствие в Таджикской депрессии и её горном обрамлении в покровных мезокайнозойских отложениях телетермальных месторождений и рудопроявлений цветных металлов: Cu, Ag, Sb, Au, Pb, Zn и др., а также не рудных полезных ископаемых [12].

На восточном фланге угольного месторождения Зидды над вторым угольным пластом в глинистой толще нами были обнаружены и прослежены горизонты гематит-сидеритовых руд с вкраплениями и прожилками в них сульфидных минералов, пирита, галенита, сфалерита, имеющих эпигенетический гидротермальный генезис.

Полученные результаты литолого-фациальных и геохимических исследований показывают, что угли Зиддинского месторождения относятся к металлоносным углям и являются комплексным энерго-минеральным и редкометалльным сырьём. При разработке угольного месторождения Зидды на это следует обратить особое внимание. При использовании углей Зиддинского месторождения в виде энергетического топлива необходимо учитывать и то, что в них содержание некоторых легколетучих токсичных элементов, таких как As, Sb, Se и др. имеют аномальные содержания. При сжигании углей они могут легко возгораться и, попадая в атмосферу, затем в почву и водные бассейны, могут оказать негативное экологическое воздействие на окружающую среду – на растения, животных и на здоровье населения.

Поступило 16.10.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов С.И., Рихванов Л.П., Ершов В.В. Редкометалльный потенциал углей Сибири. – Известия Томского политехнического университета, 2001, т. XXXI, №1, с. 130-147.
2. Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения. Угольная база России – М.: Геоинформмарк, 2004, 779 с.
3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург, 2001, 533 с.
4. Seredin V.V., Shifeng Dai. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. – International Journal of Coal Geology, 2012, pp. 67-93.
5. Валиев Ю.Я., Пачаджанов Д.Н., Корсун В.И., Войнберг В.И. Элементы-примеси в юрских углях Таджикской депрессии и её горного обрамления. – Доклады АН ТаджССР, 1988, т. XXXI, №3, с. 207-211.
6. Валиев Ю.Я. Угли Таджикистана как комплексное энергоредкометалльное сырьё. – Горный журнал, 2009, № 8, с. 37-39.
7. Валиев Ю.Я., Махмудов Ф.А., Кабгов Х.Б., и др. Литологические, химическое и минералогическое исследования огнеупорных глин Зиддинского угольного месторождения. – XVI Нумановские чтения “Достижения химической науки за 30 лет Государственной независимости Республики Таджикистан”, Душанбе, 2021, с. 154-159.
8. Пачаджанов Д.Н., Вахобова Р.У. Методы анализа природных и технических материалов. – Душанбе, 2002, 128 с.
9. Григорьев Н.А. Средние содержания химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. – Геохимия, 2003, №7, с. 785-792.
10. Пачаджанов Д.Н., Волкова Н.И., Суздалева Н.В. и др. Распределение элементов группы железа в зеленосланцевых породах Фан-Каратегинского пояса. – Доклады АН ТаджССР, 1991, т. XXXIV, №9, с. 581-584.
11. Баратов Р.Б., Литвиненко К.И., Афиногенова Л.Н. Эндогенная металлогения Центрального Таджикистана и Памира. – В кн. Закономерности размещения полезных ископаемых. – М., 1970, с. 162-171.

12. Баратов Р.Б., Щукин С.И. Некоторые итоги и перспективы металлогенических исследований в Таджикистане. – Известия АН РТ, 1992, №.2, с. 48-55.
13. Валиев Ю.Я. Геохимия бора в юрских отложениях Гиссарского хребта. – М.: Наука, 1977, 152 с.

Ю.Я.Валиев, Х.Б.Кабгов

ХУСУСИЯТҲОИ ГЕОХИМИЯВИИ ТАКСИМШАВИИ ЭЛЕМЕНТҲОИ НОДИР ДАР АНГИШТҲОИ КОНИ ЗИДДИ

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Институти химияи ба номи В.И.Никитини*

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти геохимиявии зиёда аз 30 элементҳои нодир дар ангиштҳои кони Зиддинский баррасӣ мешаванд. Барои таҳлилӣ элементҳои нодир усулҳои гуногуни физик-химияви муайянқуни ба кор бурда шудааст ва маълум гардид, ки дар ангишт як қатор элементҳои нодир ва элементҳои нодирзамини ҳам мешаванд. Дар баробари ин концентратсияи – Ag, Sb, Mo, Cd ва ғайра дар хокистари ангишт ба сатҳи саноатӣ мерасад. Натиҷаҳои ба даст овардашуда нишон медиҳанд, ки ангишти кони Зидди ашъёи хоми мураккаби энергетикӣ ва дорои металлҳои камёб мебошад.

Калимаҳои калидӣ: геохимия, элементҳои нодир, ангишт, хокистар, коэффисиенти концентрати, эпигенез.

Yu.Ya.Valiev, H.B.Kabgov

GEOCHEMICAL FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF A NUMBER OF RARE ELEMENTS IN THE COALS OF THE ZIDDI DEPOSIT

*National Academy of Sciences of Tajikistan,
V.I.Nikitin Institut of Chemistry*

The article discusses the results of a geochemical study of more than 35 rare elements in the coal layers of the Ziddi deposit. Various physicochemical methods were used to analyze rare elements, and it was found that a number of rare elements and rare earth elements accumulate in coals. At the same time, the concentration of some elements in coal ash reaches industrial levels. The obtained results show that the coals of the Ziddi deposit are complex energy-rare metal raw materials.

Key words: geochemistry, rare elements, coal, ash, concentration coefficient, epigenesis.

Сведения об авторах:

1. **Валиев Юсуф Якубджонович** – кандидат геолого-минералогических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, ведущий научный сотрудник. E-mail: yusufvaliev@mail.ru
2. **Кабгов Хамдам Бобомуродович** – кандидат химических наук, Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, заведующий лабораторией «Геохимия и аналитическая химия». E-mail: hamdamikabk@mail.ru.

УДК 664.6

Специальность: 4.3.5 – Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ

М.Б.Икрами, Х.А.Саидов, М.Б.Шарипова, К.К.Мирзорахимов**ИЗУЧЕНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ИЗ КОРНЕЙ ЛОХА
УЗКОЛИСТНОГО***Технологический университет Таджикистана**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана И.Ф.Рахимовым 16.10.2023 г.)*

Рассмотрены результаты изучения острой токсичности водных экстрактов из корней лоха узколистного, полученные с целью их использования в качестве пищевого красителя. Установлено, что данный экстракт по результатам эксперимента на белых мышах и белых крысах относится к 4 классу опасности (малотоксичные). На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что водные экстракты из корней лоха узколистного нетоксичны и безвредны и могут быть применены в технологии пищевых продуктов, что соответствует одному из основных требований, предъявляемых к натуральным пищевым красителям.

Ключевые слова: *лох узколистный, корни, экстракт, острая токсичность.*

Ранее нами были изучены способы выделения и физико-химические свойства водных и спиртовых экстрактов из корней лоха узколистного.

Целью настоящей работы было получение красящих веществ, которые можно использовать в качестве натуральных пищевых красителей.

Выбор лоха узколистного, как источника красящих веществ для окрашивания пищевых продуктов, был обусловлен ценными лечебными и профилактическими свойствами лоха, применением его плодов и препаратов из различных вегетативных частей в пищевой и фармацевтической промышленности. Плоды лоха применяются при лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта, так как обладают вяжущим, противовоспалительным, обволакивающим действием. Их используют как отхаркивающее (при бронхитах), диуретическое (при асците, отёках), антигельминтное и витаминное средство. Настой плодов проявляет гипотензивный, а также лёгкий анальгезирующий эффект [1]. В традиционной медицине широко используется как противоязвенное [2], миорелаксирующее [3], обезболивающее и противовоспалительное [4,5] средство для лечения больных.

Исследования растений рода лох (*Elaeagnus* L.) проводятся во многих странах мира с целью расширения сырьевой базы как в пищевой, сельскохозяйственной, так и фармацевтической промышленности. Однако, как показывает анализ известных литературных источников, эти исследования в большей степени направлены на изучение данного растения с целью применения именно в фармацевтической промышленности.

Адрес для корреспонденции: Шарипова Мавзуна Бахриддиновна. 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул.Н.Карабаева, 63/3, Технологический университет Таджикистана. E-mail: mavzuna-83@mail.ru.

Установлено, что препараты лоха узколистного обладают широким спектром фармакологических эффектов, антиоксидантным, противомикробным, кардиопротективным, противоопухолевым и гастропротективными действиями [1-6].

Химический состав растения недостаточно изучен. В коре стволов и ветвей определён алкалоид элеагнин, дубильные и красящие вещества, цветки содержат эфирное масло, в листьях определены витамин С и изопреноловые спирты, в мякоти плодов большое количество углеводов, дубильные вещества, до 10% белков, слизь, карболиновые алкалоиды, полисахариды, сложные эфиры, флавогликозиды, фенолы, фенольные флавоноиды, терпеноиды и сердечные гликозиды, в семенах определены флавоноиды, бета-карболиновые алкалоиды [7,8], плоды лоха содержат около 8% масла [9].

Анализ известных литературных источников показал, что в различных частях лоха узколистного содержатся красящие вещества, в том числе флавоноиды и флавоноидные гликозиды [1].

Проведенные нами исследования показали, что полученные водные и спиртовые экстракты из корней лоха узколистного можно использовать для окрашивания различных групп пищевых продуктов.

Пищевые красители как синтетические, так и природного происхождения, должны удовлетворять целому ряду требований, одним из которых является их нетоксичность. С токсикологических позиций все натуральные пищевые красители можно разделить на три группы [10]:

1) красители, которые получены в химически неизменной форме из известных продуктов питания и применяемые в дозах, не превышающих их норму содержания в пищевых продуктах. Эти красители априори считаются нетоксичными;

2) красители, которые получены в химически неизменной форме из известных продуктов питания и применяемые в дозах, превышающих их норму содержания в пищевых продуктах, поэтому для этой группы красителей может потребоваться подтверждение нетоксичности;

3) красители, которые получены в химически изменённой форме из известных продуктов или получены из непивцевых источников. Для таких красителей обязательно токсикологическое исследование на предмет степени нетоксичности и безвредности.

Один из источников исследованных нами красящих веществ, а именно корни лоха узколистного, представляет собой непивцевое сырьё, в связи с чем было необходимо определить общую и хроническую токсичность полученных экстрактов.

Исследования были проведены на сухих экстрактах из корней лоха узколистного и плодов су-маха, полученные экстрагированием водой и 40-70% спиртовыми растворами взятых в соотношении 1:10. Экстракцию проводили при нагревании на водяной бане при температуре 100°C в течение 2 ч. Полученные окрашенные экстракты отфильтровывались, и упаривались в ротор-испарителе до смолообразного состояния, после чего выдерживались в эксикаторе до образования кристаллического порошка темно-красного цвета.

Исследование острой токсичности у животных проводилось нами совместно с лабораторией фармакологии Института химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана.

Эксперименты по изучению острой токсичности проводились на двух видах животных: белых беспородных крысах обоего пола и белых беспородных мышках обоего пола. В эксперименте были

использованы 180 белых крыс массой каждая по 200-220 г и 180 белых мышей массой каждая по 24-26 г. Животные содержались в условиях вивария лаборатории фармакологии Института химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана, в соответствующих условиях согласно санитарным нормам, при свободном доступе к пище и воде, при естественном освещении и комнатной температуре. Все животные предварительно содержались на карантине в течение двух недель. Сухой экстракт лоха узколистного (далее СЭЛУ) вводился животным при помощи желудочного зонда однократно один раз в сутки (в виде разбавленного водного раствора). За всеми животными после внутрижелудочного введения исследуемых экстрактов проводились наблюдения в течение 14 дней. В первые сутки после введения сухих экстрактов лоха узколистного и плодов сумаха дубильного за животными проводили непрерывное наблюдение.

Результаты и обсуждения

Животные по 12 голов держались в отдельных клетках. Изучение острой токсичности СЭЛУ при внутрижелудочном введении на белых беспородных крысах и белых мышах проведено с использованием животных обоего пола. Исследуемые экстракты разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:1 из расчета негустого экстракта в дозах от 500 мг/кг в сутки до 7500 мг/кг в сутки внутрижелудочно однократно. Однократный объем введенной жидкости составил 0,5 мл для мышей и 1,5 мл для крыс, а вся доза вводилась в течение 6 часов в несколько приемов. Гибель мышей отмечалась после внутрижелудочного введения экстрактов в дозах 4500 мг/кг массы. Гибель белых крыс при введении в диапазоне указанной выше дозы отмечалась уже в дозе 5000 мг/кг массы тела.

Результаты опытов по изучению острой токсичности СЭЛУ на белых беспородных мышах и белых крысах по методу Кербера приведены в табл.1.

Установлено, что у мышей среднесмертельные дозы СЭЛУ при внутрижелудочном введении составляют $5958,33 \pm 177,73$ мг/кг массы тела, а для белых крыс $6208,34 \pm 168,33$ мг/кг массы тела (табл.1). Методом Кербера, также были определены величины LD16, LD50, LD84, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели острой токсичности СЭЛУ (по методу Кербера)

Показатели летальной дозы	Белые мыши		Белые крысы	
		MEd50		MEd50
LD16	4770.27		5230.606	
LD50	5958.333	5958.33 ± 177.73	6208.34	6208.34 ± 168.33
LD84	7067.568		7271.232	

Графическое изображение этой зависимости (дозы и летальность в %) приведены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Показатели гибели белых мышей после однократного введения СЭЛУ (доза и летальность в %).



Рис. 2. Показатели гибели белых крыс после однократного введения СЭЛУ (доза и летальность в %).

При обработке полученных результатов методом пробит-анализа в программе Excel были получены схожие результаты (табл. 2.).

Таблица 2

Показатели острой токсичности СЭЛУ по методу пробит-анализа на базе программы Excel 2010

Показатели летальной дозы	Белые мыши	Белые крысы
LD16	4914.47	5059.67
LC 50	5635.08	5754.70
LD84	6461.36	6545.20

Среднесмертельная доза при обработке в программе Excel (LD 50) для мышей составляет 5635,08 мг/кг массы тела, а для белых крыс – 5754,70 мг/кг массы тела. При определении LD16, LD50, LD84 пробит-анализом методом IBM SPSS Statistics Version 23 для белых мышей и крыс эти показатели

составляли 4986.03 (4495.18 – 5303.48), 5893.84 (5584.45- 6223.78) и 6966.93 (6545.39 – 7741.49) мг/кг массы тела (табл.3); для белых крыс составили 5349.49 (4863.83 – 5649.67), 6162.67 (5870.71 – 6478.04), 7099.45 (6711.83 – 7842.00), соответственно (табл.4).

Таблица 3

Показатели острой токсичности СЭЛУ по методу пробит-анализа на базе программы IBM SPSS version 23 (белые мыши)

LD		95% доверительные пределы дозы		
		Estimate	Lower Bound	Upper Bound
PROBIT	0.16	4986.03	4495,18	5303.48
	0.50	5893.84	5584,45	6223.78
	0.84	6966.93	6545,39	7741.49
a. Logarithm base = 10.				

Таблица 4

Показатели острой токсичности СЭЛУ по методу пробит-анализа (на базе программы IBM SPSS version 23 (белые крысы))

LD		95% доверительные пределы дозы		
		Estimate	Lower Bound	Upper Bound
PROBIT	LD16	5349.49	4863.83	5649.67
	LD 50	6162.67	5870.71	6478.04
	LD 84	7099.45	6711.83	7842.00
a. Logarithm base = 10.				

Показатели, которые были вычислены методом Кербера и методом пробит-анализа в программе Excel имеют большую разницу, чем между методом Кербера и методом пробит-анализа на программе IBM SPSS StatisticsVersion 23. Показатели токсичности в пределах LD16, LD50, LD84Э, вычисленные при помощи статистической программы IBM SPSS StatisticsVersion 23, приведены в табл. 3 (для мышей) и табл. 4 (для крыс).

Таким образом при изучении острой токсичности СЭЛУ на двух видах лабораторных животных обоего пола и одного способа введения (внутрижелудочно) были определены переносимые, токсичные и летальные дозы данного лекарственного вещества.

В результате проведенных экспериментальных исследований были определены токсикологические свойства СЭЛУ при внутрижелудочном введении. Установлено, что при однократном пероральном введении препарата белым лабораторным мышам ЛД50 составила более 5958.33 ± 177.33 (по методу Кербера), 5635.08 (по методу пробит-анализа на базе программы Excel) и 5893.84 (5584.45-6223.78) (по методу пробит-анализа на базе программы IBM SPSS StatisticsVersion 23) мг/кг массы; а белым крысам: 6208.33 ± 168.33 (по методу Кербера), 5754.70 (по методу пробит-анализа на базе программы Excel), 6162. 67 (5870.71-6478.04) (по методу пробит-анализа на базе программы IBM SPSS StatisticsVersion 23) мг/кг массы тела.

Согласно общепринятой гигиенической классификации (ГОСТ 12.1.007-76) препарат СЭЛУ по результатам эксперимента на белых мышах и белых крысах относится к 4 классу опасности (малотоксичные).

Таким образом, проведенные исследования выявили, что водные экстракты из корней лоха узколистного соответствуют одному из основных требований, предъявляемых к пищевым красителям, а именно, они нетоксичны, поэтому безвредны и могут быть применены в технологии пищевых продуктов.

Поступило 16.10.2023 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абизов Е.А. Биологическое и химико-технологическое обоснование лекарственной ценности видов рода ELAEAGNUS L. (лох), интродуцированных в России. - Авт. дисс....д.х.н., М., 2012, 50 с.
2. Gürbüz I., Üstün O., Yesilada E., Sezik E., Kutsal O. Anti-ulcerogenic activity of some plants used as folk remedy in Turkey. – J. Ethnopharmacol., 2003, №88, pp.93-97.
3. Hosseinzadeh H., Ramezani M., Namjo N. Muscle relaxant activity of Elaeagnus angustifolia L. fruit seeds in mice. – J. Ethnopharmacol. 2003, №84, pp.275-278.
4. Ramezani M., Hosseinzadeh H., Daneshmand N. Antinociceptive effect of Elaeagnus angustifolia fruit seeds in mice. – Fitotropa, 2001, №72, pp. 255-262.
5. Ahmadiani A., Hosseiny J., Semnianian S., Javan M., Saeedi F. et al. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of Elaeagnus angustifolia fruit extract. – J. Ethnopharmacol., 2000, №72, pp. 287-92.
6. Alishiri G., Ahmadiani A., Bayat N., Kamalinejad M., Salimzadeh A., Saremi S. et al. Efficacy of Elaeagnus Angustifolia Extractin Treatment of Osteoarthritis of Knee: A Randomized Double Blind Placebo-Controlled Trial. – Kowsar, 2007, 12, pp. 49-57.
7. Nikolaeva A.G. Alkaloids of Elaeagnus angustifolia – Khim.Prir.Soedin., 1970, vol.6, pp.493.
8. Nikolaeva A.G. Phenolic compounds of Elaeagnus angustifolia. – Chem.Nat.Prod., 1970, vol.6, 778 p.
9. Ahmadiani A. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of Elaeagnus angustifolia fruit extract – J.Ethnopharmacol., 2000, vol.72, pp.287-292.
10. Болотов В.М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. – СПб.: ГИОРД, 2008, с. 240

М.Б.Икрами, Х.А.Саидов, М.Б.Шарипова, К.К.Мирзорахимов

ТАҲҚИҚИ ЗАҲРНОКИИ ШАДИДИ ЭКСТРАКТҲО АЗ РЕШАИ САНЧИД

Донишгоҳи технологии Тоҷикистон

Натиҷаҳои таҳқиқи заҳрнокии шадиди экстрактҳои оби решаи санчид, ки барои истифода ҳамчун рангҳои ғизоӣ ҳосил карда шуда буданд, баррасӣ карда мешаванд. Муайян карда шуд, ки ин экстрактҳо дар асоси натиҷаҳои таҷриба дар мушҳои сафед ва каламушҳои сафед ба синфи 4 хатарнокӣ (заҳрноки кам) тааллуқ дорад. Дар асоси тадқиқоти гузаронидашуда ба хулосае омадан мумкин аст, ки экстрактҳои оби решаи санчид ба яке аз талаботи асосии рангҳои ғизоӣ ҷавобгӯӣ ҳастанд, яъне онҳо безарар буда, онҳоро дар технологияи маҳсулоти хӯрокаи истифода бурдан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: *решаи санчид, экстракт, заҳрнокии шадид.*

M.B.Ikrami, H.A.Saidov, M.B.Sharipova, K.K.Mirzorahimov

STUDYING THE ACUTE TOXICITY OF EXTRACTS FROM THE ROOTS OF LOCHA NIGHT-LEAFED

Technological University of Tajikistan

The results of studying the acute toxicity of aqueous extracts from the roots of the *Elaeagnus angustifolia* vine, obtained for use as a food coloring, are considered. It was established that this extract, based on the results of an experiment on white mice and white rats, belongs to hazard class 4 (low toxic). Based on the conducted research, it was concluded that aqueous extracts from the roots of the *E.angustifolia* have one of the basic requirements for food coloring, they are non-toxic and harmless and can be used in food technology.

Key words: roots, *Elaeagnus angustifolia*, extract, acute toxicity.

Сведения об авторах:

1. **Икрами Мухаббат Бобоевна** – кандидат химических наук, Технологический университет Таджикистана, и.о. профессора кафедры химии. E-mail: darina@mail.ru;
2. **Саидов Хусейн Аламурадович** – Технологический университет Таджикистана, докторант второго года кафедры технологии пищевых продуктов. E-mail: khuseyn9696@mail.ru;
3. **Шарипова Мавзуна Бахриддинова** – кандидат химических наук, Технологический университет Таджикистана, доцент кафедры химии. E-mail: mavzuna-83@mail.ru;
4. **Мирзорахимов Курбонали Каримович** – кандидат химических наук, Технологический университет Таджикистана, и.о. профессора кафедры химии. E-mail: mirzoraimov@mail.ru.

УДК 533.511:575.127.2:631.27

Специальность: 1.5.7 – Генетика

Б.М.Негматов**СОЗДАНИЕ КЛЕЙСТОГАМНЫХ ЛИНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В СЕЛЕКЦИИ ХЛОПЧАТНИКА***Национальная академия наук Таджикистана,**Худжандский научный центр**(Представлено членом-корреспондентом НАН Таджикистана Х.А.Абдуллаевым 09.10.2023 г.)*

На основе использования генотипов-доноров генов клейстогамии и их гибридизации с различными хазмогамными сортами впервые получены восемь новых клейстогамных линий КЛ-21, КЛ-22, КЛ-23, КЛ-24, КЛ-25, КЛ-26, КЛ-27, КЛ-28 с фенотипически маркированными признаками. Применением клейстогамных линий в селекционном процессе созданы новые сорта хлопчатника «Авесто» и «20-солагии Истиклолят» с высоким уровнем самофертильности, семенной продуктивности и урожайности. Использование фенотипически маркированных клейстогамных линий хлопчатника позволяет решать многие фундаментальные и прикладные задачи в генетике, селекции и семеноводстве данной культуры.

Ключевые слова: хлопчатник, цветки хазмогамные и клейстогамные, линии, гибридизация.

Хлопчатник по своей природе является факультативным самоопылителем растением с очень широким диапазоном естественного перекрёстного опыления. Сорта хлопчатника в естественных условиях перекрёстно опыляются от 2 до 12%, а в исключительных случаях этот показатель может достигать 70-80%, иногда даже до 100% [1-2]. Вследствие этого многие существующие сорта хлопчатника в сельскохозяйственном производстве «теряют» свою генетическую «чистоту». Для сохранения чистоты сорта нужны закрытоцветущие (клеистогамные) и самоопыляющиеся сорта. С целью создания таких сортов селекционерам нужны клейстогамные линии с последующим их использованием в селекционном процессе.

В связи с этим настоящая работа посвящена созданию новых клейстогамных линий и использованию их в селекции хлопчатника в нужном направлении – повышению урожайности этой культуры.

Материалы и методы исследований

В качестве экспериментального материала для опытов были использованы различные хазмогамные сорта и клейстогамные линии, относящиеся к двум аллополиплоидным видам хлопчатника (*G.hirsutum* L. и *G.barbadense* L.):

1. Хазмогамные сорта вида *G.hirsutum* L.: Худжанд – 67, Назири, Дуплекс и инбредные линии Л-3, Л-501, Л-461, Л-70, Л-650 из генерической коллекции Лаборатории частной генетики хлопчатника

Адрес для корреспонденции: Негматов Бахтиёр Мирзонабиевич. 735777, Республика Таджикистан, г. Худжанд, ул. Сырдарьинская, 26, Худжандский научный центр НАН Таджикистана, Северо-восточная промзона. E-mail: mirzobakhtiyor.negmatov.78@mail.ru

Ташкентского Государственного Университета (Узбекистан), созданные под руководством академика АН Узбекистана Мусаевым Д.А., 2. Хазмогамный сорт вида *G.barbadense* L.: Бахор – 14; 3. Клейстогамные линии КЛ-5, КЛ-14 и КЛ-17, созданные в Отделе Общей биологии и биотехнологии растений Худжандского научного центра Национальной академии наук Республики Таджикистан под руководством к.б.н. Негматова М.Н.

С целью получения новых клейстогамных линий все перечисленные хазмогамные и клейстогамные сорта и линии были реципрокно скрещены между собой и, таким образом, были получены гибриды F_1 поколения. Начиная с F_2 поколения в течении ряда лет в периоде цветения были проведены учёты расщепления хазмогамных и клейстогамных растений и отбор рекомбинантных генотипов с различными хозяйственно-ценными признаками.

Для определения уровня самофертильности и семенной продуктивности у всех отобранных клейстогамных генотипов были проанализированы такие показатели структуры цветка, как уровни жизнеспособности пыльцевых зёрен, среднее число и качество семян в завязях цветка.

Определение уровня жизнеспособности пыльцевых зёрен проводили по методике В.С.Шардакова [3]. Подсчёт числа семян в завязях цветков проводили по И.Д.Романову [4].

Опыты проводили на экспериментальном участке Согдийского филиала Таджикского научно-исследовательского Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук.

Растения для генетико-селекционных исследований выращивали согласно агорекорендациям по возделыванию хлопчатника в Таджикистане [5].

Посев родительских форм и гибридов проводился рендомизированно в трёхкратной повторности с соблюдением методики по закладке полевых опытов [6] и проведению генетико-селекционных исследований с хлопчатником [7].

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010. Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента при уровне значимости P , не превышающей 0.01 и 0.05.

Результаты и их обсуждение

Прежде всего, у используемых в качестве родительских пар для реципрокных скрещиваний предварительно были проанализированы уровни жизнеспособности пыльцевых зёрен и количество семян в завязях цветков. Результаты этих исследований представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы самый высокий процент жизнеспособных пыльцевых зёрен наблюдается у промышленного сорта Худжанд-67 (98.43%). Только небольшая часть пыльцевые зёрна (1.57%) этого сорта являются стерильными, и они не участвуют в процессе опыления и оплодотворения. Среди хазмогамных инбредных линий самый высокий показатель жизнеспособности пыльцы наблюдается у линии Л-70 (97.3%) и, соответственно, стерильные пыльцевые зёрна составляют 2.69%.

У клейстогамных линий, самый высокий процент жизнеспособности пыльцы наблюдается у линий КЛ-17 (97.14% фертильных) и 2.86 – стерильных.

Таблица

Анализ жизнеспособности пыльцевых зёрен и количество семян в завязях цветков у хазмогамных и клейстогамных сортов и линий хлопчатника

Наименование сортов и линий	Уровень жизнеспособности пыльцевых зёрен		Среднее число семян в завязях цветков, шт.
	фертильных (%)	стерильных (%)	
Хазмогамные сорта и линии			
1. Худжанд-67	98.43	1.57	48.9±1.3
2. Назири	98.35	1.65	46.7±1.2
3. Л-461	97.21	2.79	44.7±1.1
4. Л-501	96.78	3.22	35.1±1.1
5. Л-70	97.31	2.69	32.3±1.1
6. Л-650	97.25	2.75	43.6±1.1
Клейстогамные линии			
1. КЛ-5	96.18	3.82	38.4±1.1
2. КЛ-14	96.65	3.35	44.1±1.2
3. КЛ-17	97.14	2.86	45.1±1.2

По показателю числа семян (таблица) в завязях цветков наибольшее число семян встречается у хазмогамного сорта Худжанд -67 (48.9 шт.). Среди клейстогамных линий наибольшее число семян наблюдается у линии КЛ-17 (45.1 шт.).

Таким образом, результаты наших предварительных опытов показали, что отобранные сорта и линии для скрещивания имеют довольно высокий уровень (97-98%) жизнеспособных пыльцевых зёрен, являются высокофертильными и они пригодны для рецiproкных скрещиваний.

Для создания новых рекомбинантных клейстогамных линий были проведены рецiproкные скрещивания между различными хазмогамными и клейстогамными сортами и линиями, указанных в таблице. В итоге были получены 24 комбинации гибридов F₁ поколения.

Анализ гибридов F₁ от скрещиваний вышеуказанных хазмогамных и клейстогамных генотипов показал, что признак клейстогамности у линий КЛ-5, КЛ-14 и КЛ-17 имеет рецессивную природу и контролируется ядерными генами, так как ни в одной из комбинаций скрещиваний в F₁ нами не были зафиксированы растения с клейстогамными цветками.

Для определения характера расщепления в F₂ было проведено инцухтирование цветков растений F₁. Кроме того, было проведено скрещивание гибридов F₁ с обеими родительскими формами для получения гибридов.

Результаты анализа растений гибридов F₂ во всех комбинациях скрещивания показали, что наблюдается расщепления близкое к 15:1 (соответственно хазмогамных и клейстогамных). Из классической генетики известно, что такое расщепление наблюдается в том случае, когда анализируемый признак контролируется двумя полимерными генами и с аккумулятивными действиями.

Ранее [8] аналогичные результаты были получены при скрещивании клейстогамной линии КЛ-3 с хазмогамными линиями Л-70, Л-501 и Л-601.

В популяциях гибридов F₂ поколения, в фазе массового цветения, проводили индивидуальные отборы растений с клейстогамными цветками. Следует отметить, что отобранные генотипы, кроме наличия признака клейстогамии, обладают ещё одними или несколькими фенотипически маркированными хозяйственно ценными признаками. На основе проведённых индивидуальных отборов и

многократного испытания по потомству были созданы 8 новых клейстогамных линий: КЛ-21, КЛ-22, КЛ-23, КЛ-24, КЛ-26, КЛ-27 и КЛ-28, которых можно использовать в создании высокоурожайных сортов.

В заключении следует отметить, что создание клейстогамных линий и на их основе селекция новых закрытоцветущих сортов хлопчатника и их широкое внедрение в производство способствует более длительному сохранению сортовой чистоты и хороших технологических качеств хлопкового волокна. Кроме этого, внедрение в производство клейстогамных сортов значительно упрощает процесс семеноводства данной культуры, и у каждого фермерского и дехканского хозяйства появляется реальная возможность в производстве высококачественных посевных семян для своих нужд. Это позволяет значительно снизить себестоимость получаемых посевных семян и соответственно повышается рентабельность хлопководческих, фермерских и дехканских хозяйств.

Поступило 09.10.2023 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнова Л.Ч., Гесос К.Ф., Полотебнова Т.У. О роли перекрёстного опыления в повышении генетической пластичности сортов и гибридов хлопчатника и принципах отбора. – Вопросы генетики, селекции и семеноводства хлопчатника. Научные труды ВНИИССХ. – Ташкент, 1976, Вып. 13, с. 3-14.
2. Негматов М.Н. Перекрёстное опыление хлопчатника. – Мат-лы респ. конф. молодых учёных и специалистов, посв. 50-летию Комсомола Таджикистана. – Душанбе, 1976, с. 37-43.
3. Шардаков В.С. Реакция на пероксидазы как показатель жизнеспособности пыльцы растений. – ДАН СССР. Новая серия, 1948, т. 60, №3, с. 286-290.
4. Романов И.Д. Развитие семяпочек и зародышевого мешка. – В кн. «Хлопчатник». Т. 3. – Ташкент: Изд-во АН Уз. ССР, 1960, с. 117-122.
5. Ахмедов Х.М., Набиев Т.Н., Бухориев Т.А. Научная система ведения сельского хозяйства Таджикистана (на тадж. яз.). – Душанбе: Матбуот, 2009, 766 с.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1985, 334 с.
7. Симонгулян Н.Г., Мухамедханов С.Р., Шафрин А.Н. Генетика, селекция и семеноводство хлопчатника. – Ташкент: Мехнат, 1987, 318 с.
8. Негматов М.Н. Генетический анализ признака клейстогамии у хлопчатника. – ДАН РТ, 2006, т. 49, с. 362-365.

Б.М.Неъматов

БУНЁДИ ЛИНИЯҲОИ КЛЕЙСТОГАМӢ ВА ИСТИФОДАБАРИИ ОНҲО ДАР СЕЛЕКСИЯИ ПАХТА

*Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
Маркази илмии Хучанд*

Нахустин бор дар асоси истифодаи генотипҳо-донорҳои генҳои клейстогамӣ дошта ва дурагакунии онҳо бо навҳои хазмогамӣ 8 (ҳашт) линияи клейстогамии нав: КЛ-21, КЛ-22, КЛ-23, КЛ-24,

КЛ-25, КЛ-26, КЛ-27, КЛ-28 бунёд карда шуд, ки онҳо дорои аломатҳои фенотикии нишондор мебошанд. Дар натиҷаи ба қор бурдани линияҳои клейстогамӣ дар раванди селексионӣ ду навъи пахтаи клейстогамии серҳосили «Авасто» ва «20-солагии Истиқлолият» ихтироъ карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: *растани пахта, гулҳои хазмогамӣ ва клейстогамӣ, линияҳо, дурагақунӣ.*

V.M.Negmatov

CREATION OF CLEISTOGAMOUS LINES AND THEIR USE IN COTTON BREEDING

*National Academy of Sciences of Tajikistan,
Khudjand of Sciences Center*

For first the time, with use genotypes-donors cleistogamous genes and their hybridization with different chasmagamous variety has been obtained 8 a new cleistogamous line: KL-21, KL-22, KL-23, KL-24, KL-25, KL-26, KL-27 and KL-28 possessing different phenotypically marked characteristic.

By application of cleistogamous lines in the breeding processes created a new cotton variety «Avesto», «20-solagii Istiqlolijat» with high fertility and crop productivity.

Key words: *cotton, chasmogamous and cleistogamous flowers, lines, hybridization.*

Сведения об авторах:

1. **Негматов Бахтиёр Мирзонабиевич** – Худжанский научный центр Национальной академии наук Таджикистана, старший научный сотрудник Отдела общей биологии и биотехнологии.
E-mail: mirzobakhtiyor.negmatov.78@mail.ru.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2023 г.

№1-2

МАТЕМАТИКА

З.Х.Рахмонов, А.З.Азамов, Н.Н.Назрублов. Асимптотическая формула в обобщении проблемы Варинга для почти пропорциональных кубов

Р.Х.Авезов. Метод декомпозиции Адомяна и его применение в теории дробных дифференциальных уравнений в частных производных

А.Х.Табари, З.Р.Имомов. О парастрофах квазигруппы Стейна, изотопных абелевой группе

Ш.М.Зулфонов. Решение начально-краевой задачи для телеграфного уравнения

М.Ш.Шабозов, Н.О.Гадоев. О наилучшем линейном методе совместного приближения функций в пространстве Харди $H_{q,\rho}$ ($q \geq 1, 0 < \rho \leq 1$)

М.И.Джангибеков. О задаче наилучшего совместного полиномиального приближения дифференцируемых периодических функций в L_2

С.Ф.Савлатов. Об алгебре, порожденной поликern-операторами Бергмана с нечетной характеристикой со сдвигом

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М.М.Кабиллов, П.Б.Садриддинов, А.С.Баротов. Сравнительный анализ основных параметров волны горения пропано-воздушной смеси в двух моделях фильтрационного горения газов

АСТРОНОМИЯ

В.В.Бусарев. Применение многополосной фотометрии для поиска признаков пылевой активности астероидов

ФИЗИКА

М.А.Кудусов, У.Мадвалиев, А.Р.Мукумов, С.Ф.Абдуллаев. Анализ влияния естественной пыли на производительность солнечных фотоэлектрических панелей в условиях г. Душанбе

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Д.Н.Низомов, И.И.Каландарбеков, И.К.Каландарбеков. Моделирование задач строительной механики на основе теории подобия

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Т.Б.Холматов, Д.Х.Мирзоев, Ф.А.Назаров, М.М.Тагоев, У.М.Мирсаидов. Физико-химические основы разложения алюмосиликатных руд Таджикистана фосфорной кислотой

А.М.Исоев. Хлорное разложение алюмосиликатных руд Таджикистана

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С.М.Бахронов, М.З.Ахмедов, М.Д.Бобоёров, А.Мирзоев, И.Мирсаидзода.

Термодинамический анализ сернокислотного разложения отходов урановой промышленности на территории «Карта 1-9» г. Бустон

Р.А.Султонов, У.Р.Раджабов, С.Дж.Юсуфи, Г.Ф.Наврүззода, И.Х.Юсупов. Исследование структуры льняных волокон и фиброина натурального шелка методом спиновых меток

БОТАНИКА

П.А.Курбонова. О некоторых редких стрептофитовых водорослях (Streptophyta), обнаруженных в Таджикистане

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Х.А.Абдуллаев, Н.Х.Ойзода, Б.А.Солиева, М.М.Саиднабиев, М.Л.Дадобаева. О влиянии формы и окраски листа на распределение ассимилятов по органам растений хлопчатника

№3-4**МАТЕМАТИКА**

М.Илолов, Ш.М.Зулфонон. Начально-краевая задача для уравнения в частных производных 2-го порядка

Р.Л.Хотамова. Распределение дробных частей многочлена, аргумент которого пробегает простые числа из короткого интервала

Х.М.Хуромонов. О наилучшем совместном полиномиальном приближении функций и их производных в пространстве Бергмана B_2

А.Захурбеков. Наилучшее совместное приближение некоторых классов функций двух переменных в $L_2(Q)$

Э.М.Мухамадиев, М.М.Каримов, И.Дж.Нуров. Исследование бифуркации периодических решений для двумерной динамической системы с главной однородной частью

О.Х.Каримов, З.Дж.Хакимова. О коэрцитивной разрешимости эллиптического дифференциального уравнения недивергентного вида

Л.Н.Раджабова, Ф.М.Ахмадов. Задачи типа Коши для двумерного интегрального уравнения типа Вольтерра с граничными особыми и сильно-особыми линиями

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М.М.Кабилон, З.Б.Шерматова. Эквивалентная математическая модель фильтрационного горения газов при наличии теплопотерь

АСТРОНОМИЯ

Г.И.Кохирова, А.М.Буриев, Д.К.Аюбов. Результаты наблюдений кометы C/2021 A2 (NEOWISE) в Таджикистане

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Х.М.Абдуллаев, Э.Д.Шаимов, Р.Т.Кадыров, У.М.Шаимов. Температурное поведение структуры трехкомпонентного сополиэфира

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

К.О.Бобоев, М.Д.Бобоёров, Б.Б.Баротов, И.Мирсаидзода. Особенности анализа урана в урансодержащих рудах и отходах

Д.З.Музафарова, М.Т.Жумаев, Л.Солиев. Фазообразование в системе Na, Ca, Al||SO₄, CO₃-H₂O при 273 К

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

З.Х.Гайбуллаева, Т.Х.Гадоев, Б.И.Асроров, Ш.Б.Бахриддинзода, А.Шарифов. Ресурсосберегающая технология переработки угля месторождения Фан-Ягноб

А.С.Курбонов, К.И.Нематуллоев, М.М.Тагоев, А.П.Тагаев, У.М.Мирсаидов. Получение боросиликатного стекла из местных сырьевых материалов Таджикистана

МИНЕРАЛОГИЯ

М.А.Мираков. Ниобий-танталовая минерализация в пегматитовой жиле лесхозовская из Шахдаринского пегматитового поля (Юго-Западный Памир)

№5-6

МАТЕМАТИКА

З.Х.Рахмонов, И.Аллаков, Б.Т.Абраев. Асимптотическая формула в обобщении тернарной проблемы Гольдбаха с почти равными слагаемыми

Д.Дж.Хокиев. Оценка двойных сумм значений характера Дирихле от сдвинутых произведений двух чисел лежащих в арифметических прогрессиях

С.М.Лашкарбеков. Стохастические дифференциальные уравнения с процессом Леви

М.Ш.Шабозов, А.А.Шабозова, М.М.Миркалонова. Оценка остатка ряда Тейлора для некоторых классов аналитических функций суммами Тейлора в пространстве Харди

К.К.Палавонов, Х.М.Хуромонов. Наилучшее среднеквадратическое приближение функций в пространстве Бергмана и значение поперечников некоторых классов функций

Д.С.Сафаров. Точное ограниченное периодическое решение обобщенного уравнения Кортвега-де Фриза с постоянными отклоняющимися аргументами

Н.Раджабов. К теории одного класса переопределенной системы интегральных уравнений по цилиндрической области

М.Б.Хушвахтзода. К теории модельных трехмерных интегральных уравнений типа Вольтерра с граничными особыми и слабо особыми областями

АСТРОНОМИЯ

Г.И.Кохирова, А.М.Буриев, С.Н.Сафаров, Ф.Дж.Рахматуллаева. Физические свойства астероида 2011 XZ1 по наблюдениям в период сближения с Землей

ФИЗИКА

М.Ш.Имом, Ф.Рахими. Изучение потока тепловых нейтронов исследовательского ядерного реактора UTR-KINKI

ЭКОЛОГИЯ

М.З.Ахмедов, Х.М.Назаров, Ш.А.Рахимбердиев, У.Мирсаидов. Естественные радионуклиды в почвах на территории ареала хвостохранилища Адрасман

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.Шарифов, У.М.Мирсаидов. Концепция внедрения водородной энергетики в Таджикистане

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

У.Х.Усмонова. Технологические основы сернокислотной переработки обожжённой боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения

Дж.З.Тошов, А.Шарифов, Д.С.Неъматзода, З.А.Гозиев. Изменение свойств дорожного битума под влиянием минеральных добавок разных составов

ГЕОЛОГИЯ

С.Нусратулло. Влияние горнопромышленных предприятий рудного поля Чоре на окружающую среду

№7-8**МАТЕМАТИКА**

З.Х.Рахмонов. Среднее значение коротких тригонометрических сумм Г.Вейля

М.Ш.Шабозов, Г.А.Юсупов. О наилучшем полиномиальном приближении аналитических функций в пространстве Харди

Д.А.Кодиров. О наилучшем приближении функций рядами Фурье по собственным функциям задачи Штурма-Лиувилля в L_2 и некоторые применения к специальным функциям

И.К.Курбанов, Д.С.Сафаров. Точное ограниченное и периодическое решение обобщенного уравнения Бюргерса-Кортевега-де Фриза с постоянными отклоняющимся аргументами

М.Илолов, Ф.Раимзода. Решение одной пространственно-одномерной линейной задачи с функциональными условиями

Н.Раджабов. Переопределенная система интегральных уравнений по цилиндрической области, когда основным уравнением является второе уравнение

АСТРОНОМИЯ

Г.И.Кохирова, Ф.Дж.Рахматуллаева, Д.Л.Горшанов, В.Н.Львов, А.В.Девяткин, М.Н.Латипов. Наблюдения покрытия звезды спутником Нептуна Тритоном в обсерватории Санглох

ФИЗИКА

З.Умар, М.У.Шодиев, М.С.Курбониён, Томоюки Ямамото, Ф.Рахими. Первопринципные расчеты электронной структуры KMgF_3 , легированного ионами Cr^{3+} под давлением

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

И.И.Каландарбеков. Моделирование каркасных зданий с элементами сейсмоизоляции на основе теории подобия

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

К.И.Нематуллоев, Н.А.Ашурзода, А.С.Курбонов, И.М.Рахимов, У.М.Мирсаидов. Спекательный способ разложения магнетитовой руды месторождения Харангон Таджикистана
У.Раджабов, С.Г.Ёрмамадова, К.У.Бойназарова. Физико-химических свойств координационного соединения серебра(I) с альбендазолом

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев, Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов, И.Н.Ганиев. Диаграмма состояния и магнитные свойства твёрдых растворов системы $\text{Tb}_4\text{Sb}_3\text{-Yb}_4\text{Sb}_3$

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

Ш.А.Байрамбекова, М.Б.Ниязмухамедова, М.М.Рахимов. Содержание пластидных пигментов у некоторых сортов ячменя, выращенных в условиях богары

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Л.М.Балхова. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях некоторых сортов сафлора

БИОХИМИЯ

З.Б.Давлятназарова. Ферментативные пути адаптации растений в условиях стресса

№9-10

МАТЕМАТИКА

З.Х.Рахмонов, Ф.З.Рахмонов. Проблема Варинга с почти пропорциональными слагаемыми

Ш.А.Хайруллоев. О равномерных по параметрам оценках специальных тригонометрических сумм

М.Ш.Шабозов, Н.О.Гадоев. О наилучшем линейном методе приближения функций в пространстве Харди $H_{q,\rho}(1 \leq q \leq \infty, 0 < \rho \leq R)$

Д.К.Тухлиев. О наилучшем приближении функций в пространстве Бергмана B_2

С.А.Исхоков, Д.С.Гаибов, Ф.Ш.Махмадова. О резольвенте эллиптических операторов с нестепенным вырождением в ограниченной области

К.Ш.Файззода. О решении задачи Дирихле для одной эллиптической системы шестого порядка с разрывным коэффициентом

АСТРОНОМИЯ

Г.И.Кохирова, А.М.Буриев, С.Н.Сафаров. Определение некоторых особенностей потенциально опасного астероида 1998 OR2 по наблюдениям в Таджикистане

М.Нарзиев, Х.Ф.Худжаназаров, Т.Й.Йопек. Январские метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО

ФИЗИКА

Т.Х.Салихов, Ю.П.Ходжаев, А.Э.Сулейманов, А.Махмалатиф. Вклад релаксации потока тепла в поглощающей подложке в характеристики фотоакустического сигнала прозрачных образцов

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Д.Н.Низомов, Б.А.Турсунов. Численное решение статических задач плит на упругом основании методом сосредоточенных деформаций

ЭКОЛОГИЯ

Ш.С.Сагдиева, М.У.Шарофова, С.Б.Самиев, Ш.Ш.Самиева, Ф.Рахими, М.Миршохи. Анализ среднесуточных показателей некоторых поллютантов в составе атмосферного воздуха в городе Душанбе в период с 2017 по 2021 гг.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Д.Х.Халиков, Х.К.Махкамов, С.Халикова, Д.С.Мухиддинов, Х.Х.Авлоев. Сравнительное изучение кислотной гидролиз-экстракции протопектинов корзинки подсолнечника и свекловичного жома

М.Д.Бобоёров, Ф.Дж.Саломов, Б.Б.Баротов, А.Ш.Насруллоев, И.Мирсаидзода. Сравнительная оценка термодинамических процессов разложения урансодержащих руд Таджикистана

В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев, И.Н.Ганиев, Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов. Синтез и магнитные свойства твёрдых растворов системы $Tb_5Bi_3-Er_5Bi_3$

МЕТАЛЛУРГИЯ

А.Муродиён, Н.Х.Раджабзода, Ш.Кабир, Н.А.Наимов, Х.А.Мирпочаев, Б.С.Азизов. Экологическая и технико-экономическая оценка работы алюминиевых электролизеров

ПРИКЛАДНАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ГЕНЕТИКА

Б.П.Пирмахмадзода. Секвенирование генома микобактерий туберкулёза

№11-12

МАТЕМАТИКА

З.Х.Рахмонов, Ф.З.Рахмонов. Поведение коротких тригонометрических сумм Г.Вейля в больших дугах

Д.К.Тухлиев. О наилучшем приближении в среднем в пространстве Бергмана B_2

Г.А.Юсупов, М.А.Мавлоназаров. О среднеквадратических совместных приближениях 2π -периодических функций в L_2

М.М.Каримов. Приложение принципа смены индекса к исследованию бифуркации Андронова-Хопфа

ИНФОРМАТИКА

Ф.С.Комилиён, М.Ф.Рахимов. Микросервисная архитектура: от монолита к гибким распределенным системам

АСТРОНОМИЯ

Г.И.Кохирова, М.Жанг, У.Х.Хамроев, С.Ли, А.И.Джонмухаммади, М.Н.Латипов. Семейство астероидов с кометоподобными орбитами, связанное с метеороидным роем Дельта-Канкриды

ФИЗИКА

Ш.Ш.Азимов, В.Н.Петухов, Т.А.Хасанов, А.Н.Лакаев. Влияние поверхности раствора на распространение сигналов акустической эмиссии в ходе гетерогенной химической реакции с выделением газа

ЭКОЛОГИЯ

Ш.Р.Муродов, Ф.Мухидинова, С.С.Рахматшоев, Б.Б.Баротов, И.Мирсаидзода. Проведение радиоэкологического мониторинга на историческом объекте Аджинатеппа в районе Кушониён Таджикистана

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Т.Б.Холматов, К.А.Рахимов, М.М.Тагоев, С.К.Кодирзода, У.М.Мирсаидов. Получение сырьевых материалов для производства фарфора из алюмосиликатных руд

М.Н.Абдусалямова, М.А.Бадалова, Ф.А.Махмудов. Построение диаграмм состояний квазибинарных разрезов систем Yb-Mn-Sb, Eu-Mn-Sb, Eu-Mn-Bi и исследование свойств соединений

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С.М.Досаев, К.И.Нематуллоев, М.М.Тагоев, И.М.Рахимов, У.М.Мирсаидов. Кинетика солянокислотного разложения магнетитовой руды месторождения Харангон Таджикистана

В.Д.Абулхаев, М.А.Балаев, И.Н.Ганиев, Х.Х.Назарзода, Б.Д.Сайдалиев, С.О.Убайдов. Твердые растворы на основе антимонидов Tb₄Sb₃, Nd₄Sb₃ и их электрофизические свойства

ГЕОХИМИЯ

Ю.Я.Валиев, Х.Б.Кабгов. Геохимические особенности распределения редких элементов в углях Зиддинского месторождения

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М.Б.Икрами, Х.А.Саидов, М.Б.Шарипова, К.К.Мирзорахимов. Изучение острой токсичности экстрактов из корней лоха узколистного

ГЕНЕТИКА

Б.М.Негматов. Создание клейстогамных линий и их использование в селекции хлопчатника

Указатель статей, опубликованных в 2023 г.

Авторский указатель

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

1.	Абдуллаев С.Ф.	1-2
2.	Абдуллаев Х.А.	1-2
3.	Абдуллаев Х.М.	3-4
4.	Абдусаломова М.Н.	11-12
5.	Абраев Б.Т.	5-6
6.	Абулхаев В.Д.	7-8, 9-10, 11-12
7.	Авезов Р.Х.	1-2
8.	Азимов Ш.Ш.	11-12
9.	Азамов А.З.	1-2
10.	Аллаков И.А.	5-6
11.	Асроров Б.И.	3-4
12.	Ахмадов Ф.М.	3-4
13.	Ахмедов М.З.	1-2, 5-6
14.	Ашурзода Н.А.	7-8
15.	Аюбов Д.К.	3-4
16.	Бадалова М.А.	11-12
17.	Байрамбекова Ш.А.	7-8
18.	Балаев М.А.	7-8, 9-10, 11-12
19.	Балхова Л.М.	7-8
20.	Баротов Б.Б.	3-4, 9-10, 11-12
21.	Бахриддинзода Ш.Б.	3-4
22.	Бахронов С.М.	1
23.	Бобоев К.О.	3-4
24.	Бобоёров М.Д.	1-2, 3-4,
25.	Бойназарова К.У.	7-8
26.	Буриев А.М.	3-4, 5-6, 9-10
27.	Бусарев В.В.	1-2
28.	Валиев Ю.Я.	11-12
29.	Гадоев Н.О.	1-2, 9-10
30.	Гадоев Т.Х.	3-4
31.	Гайбуллаева З.Х.	3-4
32.	Ганиев И.Н.	7-8, 9-10, 11-12
33.	Гозиев З.А.	5-6
34.	Горшанов Ф.Дж.	7-8
35.	Давлятназарова З.Б.	7-8
36.	Дадобаева М.Л.	1-2
37.	Девяткин А.В.	7-8
38.	Джангибеков М.И.	1-2
39.	Джонмухаммади А.И.	11-12
40.	Досаев С.М.	11-12
41.	Ёрмамадова С.Г.	7-8
42.	Жанг М.	11-12
43.	Жумаев М.Т.	3-4
44.	Захурбеков А.	3-4

45.	Зулфонов Ш.М.....	1-2, 3-4
46.	Икрами М.Б.....	11-12
47.	Илолов М.....	3-4, 7-8
48.	Имом М.Ш.....	5-6
49.	Имомов З.Р.....	1-2
50.	Исоев А.М.....	1-2
51.	Йопек Т.Й.....	9-10
52.	Кабгов Х.Б.....	11-12
53.	Кабиллов М.М.....	1-2, 3-4
54.	Кадырови Р.Т.....	3-4
55.	Каландарбеков И.И.....	1-2, 7-8
56.	Каландарбеков И.К.....	1-2
57.	Каримов М.М.....	3-4, 11-12
58.	Каримов О.Х.....	3-4
59.	Кодиров Д.А.....	7-8К
60.	Комилиён Ф.С.....	11-12
61.	Кодирзода С.К.....	11-12
62.	Кохирова Г.И.....	3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12
63.	Кудусов М.А.....	1-2
64.	Курбониён М.С.....	7-8
65.	Курбонов А.С.....	3-4, 7-8
66.	Курбонов И.К.....	7-8
67.	Курбонова П.А.....	1-2
68.	Лакаев А.Н.....	11-12
69.	Латипов М.Н.....	7-8, 11-12
70.	Лашкарбеков С.М.....	5-6
71.	Ли С.....	11-12
72.	Львов В.И.....	7-8
73.	Мавлоназаров.....	11-12
74.	Мадвалиев У.....	1-2
75.	Махкамов Х.К.....	9-10
76.	Махмалатиф А.....	9-10
77.	Махмудов Ф.А.....	11-12
78.	Мираков М.А.....	3-4
79.	Мирзоев А.....	1-2, 9-10
80.	Мирзоев Д.Х.....	1-2
81.	Мирзорахимов К.К.....	11-12
82.	Миркалонова М.М.....	5-6
83.	Мирсаидзода И.....	1-2, 3-4, 9-10, 11-12
84.	Мирсаидов У.М.....	1-2, 3-4, 5-6, 5-6, 7-8, 11-12
85.	Миршохи М.....	9-1
86.	Музафарова Д.З.....	3-4
87.	Мукумов А.Р.....	1-2
88.	Муродов Ш.Р.....	11-12
89.	Мухамадиев Э.М.....	3-4
90.	Мухидинова Ф.....	11-12

91.	Мухиддинов Д.С.	9-10
92.	Назаров Ф.А.	1-2
93.	Назаров Х.М.	5-6
94.	Наврүззода Г.Ф.	1-2
95.	Назарзода Х.Х.	7-8, 9-10, 11-12
96.	Назрублоев Н.Н.	1-2
97.	Нарзиев М.	9-10
98.	Насратулло С.	5-6
99.	Насруллоев А.Ш.	9-10
100.	Негматов Б.М.	11-12
101.	Неъматзода	5-6
102.	Нематуллоев К.И.	3-4, 7-8, 11-12
103.	Низомов Д.Н.	1-2, 9-10
104.	Ниязмухамедова М.Б.	7-8
105.	Нуров И.Дж.	3-4
106.	Нусратулло С.	5-6
107.	Ойзода Н.Х.	1-2
108.	Палавонов К.К.	5-6
109.	Петухов В.И.	11-12
110.	Пирмахмадзода Б.П.	9-10
111.	Раджабов Н.	5-6, 7-8
112.	Раджабов У.Р.	1-2, 7-8
113.	Раджабова Л.Н.	3-4
114.	Раимзода Ф.	7-8
115.	Рахимбердиев Ш.А.	5-6
116.	Рахими Ф.	5-6, 7-8, 9-10
117.	Рахимов И.М.	7-8, 11-12
118.	Рахимов К.А.	11-12
119.	Рахимов М.М.	7-8
120.	Рахматуллаева Ф.Дж.	5-6, 7-8
121.	Рахматшоев С.С.	11-12
122.	Рахмонов З.Х.	1-2, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12
123.	Рахмонов М.	
124.	Рахмонов Ф.З.	9-10, 11-12
125.	Савлатов С.Ф.	1-2
126.	Сагдиева Ш.С.	9-10
127.	Садриддинов П.Б.	1-2
128.	Саиднабиев М.М.	1-2
129.	Саидов Х.А.	11-12
130.	Сайдалиев Б.Д.	7-8, 9-10, 11-12
131.	Салихов Т.Х.	9-10
132.	Саломов Ф.Дж.	9-10
133.	Самиев С.Б.	9-10
134.	Самиева Ш.Ш.	9-10
135.	Сафаров Д.С.	5-6, 7-8
136.	Сафаров С.Н.	5-6, 9-10

137.	Солиев Л.	3-4
138.	Солиева Б.А.	1-2
139.	Сулейманов А.Э.	9-10
140.	Султонов Р.А.	1-2
141.	Табари А.Х.	1-2
142.	Тагаев А.П.	3-4
143.	Тагоев М.М.	1-2, 3-4, 11-12
144.	Томоюки Ямомото	7-8
145.	Тошов Дж.З.	5-6
146.	Турсунов К.А.	9-10
147.	Тухлиев Д.К.	9-10, 11-12
148.	Убайдов С.О.	7-8, 9-10, 11-12
149.	Умар З.	7-8
150.	Усмонова У.Х.	5-6
151.	Файззода К.Ш.	9-10
152.	Хайруллоев Ш.А.	9-10
153.	Хакимова З.Дж.	3-4
154.	Халиков Д.Х.	9-10
155.	Халикова С.	9-10
156.	Хасанов Т.А.	11-12
157.	Хамроев У.Х.	11-12
158.	Ходжаев Ю.П.	9-10
159.	Хокиев Д.Дж.	5-6
160.	Холматов Т.Б.	11-12
161.	Холматов Т.К.	1-2
162.	Хотамова Р.Л.	3-4
163.	Худжаназаров	9-10
164.	Хуромонов Х.М.	3-4, 5-6
165.	Хушвахтзода М.Б.	5-6
166.	Шабозов М.Ш.	1-2, 5-6, 7-8, 9-10
167.	Шабозова А.А.	5-6
168.	Шаимов У.М.	3-4
169.	Шаимов Э.Д.	3-4
170.	Шарипова М.Б.	11-12
171.	Шарифов А.	3-4, 5-6, 5-6
172.	Шарофова М.У.	9-10
173.	Шерматова З.Б.	3-4
174.	Шодиев М.У.	7-8
175.	Юсупов Г.А.	7-8, 11-12
176.	Юсупов И.Х.	1-2
177.	Юсуфи С.Дж.	1-2