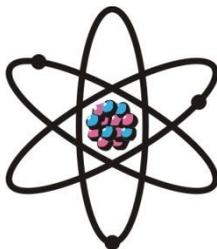


**ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 2 (183)
2021 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Н.Ф.Олифтаев. Точные неравенства Джексона-Стечкина в терминах τ -модулей непрерывности в L_2 7

АСТРОНОМИЯ

К.В.Холшевников , Д.В.Миланов, А.С.Щепалова. Пространство кеплеровых орбит и семейство его фактор-пространств	17
Л.Л.Соколов, И.А.Баляев, К.С.Холшевников, Б.Б.Эскин. О сближениях и соударениях астероидов с планетами.....	27
Д.В.Миланов, А.С.Щепалова. Определение средней орбиты семейства кеплеровых орбит	37
Б.М.Шустов. О причинах, определяющих значение индекса массы метеорных тел	44
Т.Дж.Йопек, Г.И.Кохирова, П.Дженнискенс, Д.Янчес, М.Гайдукова, Р.Рудавская. Центр метеорных данных Международного астрономического союза: банк данных метеорных потоков.....	51

АСТРОФИЗИКА

А.А.Ибрагимов. Определение скорости солнечного ветра по измерениям точек плазменного хвоста кометы C/2019 Y4 (ATLAS)	66
--	----

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М.Ш.Холов, Б.Джафари, М.Дж.Халикова, Х.З.Карамбахшов, Ш.Р.Самихов, П.Лангер, С.Ш.Сафаров. Реакция палладий кросс-сочетания Бухвальд-Хартвига для 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она	72
--	----

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Х.М.Назаров, И.Мирсаидзода (И.У.Мирсаидов), Б.Б.Баротов, К.О.Бобоев, У.М.Мирсаидов. Оценка возможности переработки урановых отходов хвостохранилища Адрасман	84
А.С.Курбонов, Дж.Х.Джураев, А.П.Тагаев, М.М.Тагоев, У.М.Мирсаидов. Термодинамические характеристики протекающих реакций при разложении боросиликатных руд ортофосфорной кислотой.....	90

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ф.Н.Хасанов, Ю.Ф.Баходуров, Э.Дж.Гозиев, Б.К.Рахматуллоев. Комплексообразование меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3 моль/л HCl	96
--	----

МЕТАЛЛУРГИЯ

З.С.Назаров, Х.Сафиев. Переработка отходов шламового поля Открытого акционерного общества «Таджикская алюминиевая компания»	105
---	-----

ГЕОХИМИЯ

М.М.Мамадвафоев, Д.А.Давлатшоев. Марганец в породах интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля (Центральный Таджикистан)	111
---	-----

ГЕОЛОГИЯ

А.С.Низов, А.К.Ходжиев. Геодинамическая эволюция Южно-Гиссарской зоны как предпосылки для развития рудоносной вулкано-плутонической ассоциации.....	123
---	-----

ЭНЕРГЕТИКА

Г.Н.Петров, А.С.Кодиров, Х.М.Ахмедов. К вопросу оптимизации территориального размещения электростанций средней и малой мощности	132
---	-----

ТЕХНИКА

Л.Шарипов, Д.Н.Низомов, А.Д.Рахмонзода, И.С.Муминов, И.Ш.Ашуров. Конструкция безригельного каркаса из монолитного железобетона для сейсмических районов	140
---	-----

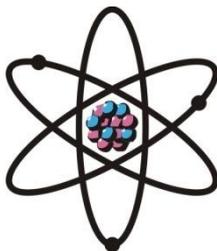
ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Светлой памяти Зинченко З.А. (01.04.1941 – 07.07.2017)	148
--	-----

НОВЫЕ КНИГИ	151
--------------------------	-----

ШУЪБАИ
ИLMҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз мохи
январ соли 1952
нашр мешавад



№ 2 (183)
с. 2021

ХАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

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

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

Н.Ф.Олифтаев. Нобаробарии аниқи Ҷексон-Стечкин дар истилоҳоти τ -модулҳои бифосилагӣ дар L_2 7

АСТРОНОМИЯ

К.В.Холшевников, Д.В.Миланов, А.С.Щепалова. Фази мадорҳои кеплерҳо ва оилаи он дар омилҳои фазо..... 17

Л.Л.Соколов, И.А.Баляев, К.С.Холшевников, Б.Б.Эскин. Оид ба наздикшавӣ ва бархурии астероидҳо бо сайёраҳо..... 27

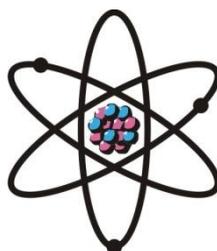
Д.В.Миланов, А.С.Щепалова. Муайян кардани мадорҳои миёнаи оилаи мадори Кеплерҳо 37

Б.М.Шустов. Дар бораи сабабҳои муайян кардани арзиши индекси массаи ҷисмҳои метеороҳо 44

Т.Ҷ.Йопек, Г.И.Қохирова, П.Ченнискенс, Д.Янчес, М.Ҳайдукова, Р.Рудаевская. Маркази маълумотҳои метеорологии Иттиҳоди Байналмилалии Астрономӣ: маҳзани маълумотҳои селҳои метеорологӣ	51
АСТРОФИЗИКА	
А.А.Ибрагимов. Муайян намудани суръати шамоли офтобӣ бо воситаи ченкунии нуқтаҳои думи плазмавии кометаи C/2019 Y4 (ATLAS).....	66
ХИМИЯИ ОРГАНИКӢ	
М.Ш.Холов, Б.Джафари, М.Дж.Халикова, Х.З.Карамбахшов, Ш.Р.Самихов, П.Лангер, С.Ш.Сафаров. Реаксияи палладий кросс-омезиши Бухвалд-Хартвиг барои 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он.....	72
ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ	
Х.М.Назаров, И.Мирсаидзода (И.У.Мирсаидов), Б.Б.Баротов, К.О.Бобоев, У.М.Мирсаидов. Баҳодиҳии имконияти коркардани партовҳои урании маҳфузгоҳи Адрасмон	84
А.С.Қурбонов, Ҷ.Х.Қураев, А.П.Тағоев, М.М.Тағоев, У.М.Мирсаидов. Хусусиятҳои термодинамикии реаксияҳои, ки ҳангоми таҷзияи маъданҳои боросиликатӣ бо кислотаи ортофосфат мегузаранд	90
ХИМИЯИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ	
Ф.Н.Хасанов, Ю.Ф.Баходуров, Э.Ҷ.Ғозиев, Б.К.Раҳматуллоев. Комплексиосилкунии миси (II) бо 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом дар муҳити 3 мол/л HCl.....	96
МЕТАЛЛУРГИЯ	
З.С.Назаров, Х.Сафиев. Коркарди партовҳои чамбияти сахомии қушодаи “Ширкати алюминии тоҷик”	105
ГЕОХИМИЯ	
М.М.Мамадҷафоев, Д.А.Давлатшоев. Марганец дар чинҳои комплекси интрузивии майдони маъдандори Кафандар (Тоҷикистони Марказӣ)	111
ГЕОЛОГИЯ	
А.С.Ниёзов, А.К.Ҳочиев. Таҳаввули геодинамикии минтақаи Ҳисори Чанубӣ ҳамчун омилҳои ташаккули ассоциатсияи вулконию плутонии маъдандор	123
ЭНЕРГЕТИКА	
Г.Н.Петров, А.С.Қодиров, Ҳ.М.Аҳмедов. Оид ба масъалаи муносибгардонии ҷойгиркунии ҳудудии нерӯгоҳҳои миёна ва камиқтидор.....	132
ТЕХНИКА	
Л.Шарипов, Ҷ.Н.Низомов, А.Ҷ.Раҳмонзода, И.С.Муминов, И.Ш.Ашуров. Сохти синчи беболор аз оҳанубетонӣ монолитӣ барои минтақаҳои зилзилахатарнок.....	140
ЁДБУДИ ОЛИМ	
З.А.Зинченко (01.04.1941 – 07.07.2017)	148
КИТОБҲОИ НАВ	151

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

The journal was established
in January 1952



№ 2 (183)
2021

EDITORIAL BOARD

Prof. **Kh.Kh.Muminov**, Doctor of Physical and Mathematical, Editor-in-Chief; **G.I.Kokhirova**, Doctor of Physical and Mathematical, Deputy Editor-in-Chief; **S.H.Abdulaeva**, Secretary; **O.Amirzoda** – Doctor of Engineering; **Kh.M.Akhmedov**, Doctor of Chemistry; Prof. **P.B.Babadzhanov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **A.R.Faysiev**, Doctor of Geology and Mineralogy; Prof. **M.I.Ilovov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **I.N.Ganiev**, Doctor of Chemistry; Prof. **D.Kh.Khalikov**, Doctor of Chemistry; Prof. **S.A.Iskhokov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Z.V.Kobuliev**, Doctor of Engineering; Prof. **U.M.Mirsaidov**, Doctor of Chemistry; **S.Kh.Negmatullaev**, Doctor of Engineering; Prof. **S.O.Odinaev**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **N.R.Rajabov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **F.Rakhimi**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Z.Kh.Rakhmonov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **T.Kh.Salihov**, Doctor of Engineering; Prof. **Z.D.Usmanov**, Doctor of Physical and Mathematical; **F.Shokir**, Candidate of Physical and Mathematical.

CONTENTS

MATHEMATICS

N.F.Oliftaev. Sharp inequalities of Jackson-Stechkin in terms of τ -modules of continuity in L_2 7

ASTRONOMY

K.V.Kholshevnikov, **D.V.Milanov**, **A.S.Shechepalova**. The space of keplerian orbits and a family of its quotient spaces..... 17

L.L.Sokolov, **I.A.Balyaev**, **K.S.Kholshevnikov**, **B.B.Eskin**. On the convergence and collisions of asteroids with the planets..... 27

D.V.Milanov, **A.S.Shechepalova**. Determination of the mean orbit of a family Keplerian orbits..... 37

B.M.Shustov. On the reasons that determine the value of the mass index of meteor bodies..... 44

T.J.Jopek, **G.I.Kokhirova**, **P.Jenniskens**, **D.Janches**, **M.Hajdukova**, **R.Rudawska**. IAU meteor data center: the shower database 51

ASTROPHYSICS

A.A.Ibragimov. Determination of solar wind velocity by measuring points plasma tail of comet C/2019 Y4 (ATLAS)..... 66

ORGANIC CHEMISTRY

M.Sh.Kholov, B.Jafari, M.D.Khalikova, Kh.Z.Karambakhshov, Sh.R.Samikhov, P.Langer, S.Sh.Safarov. Palladium cross-coupling reaction of Buchwald-Hartwig for 8-chloro-2-methyl-benzo [4.5] thiazolo [3, 2- a] pyrimidin-4-one 72

PHYSICAL CHEMISTRY

Kh.M.Nazarov, I.Mirsaidzoda (I.U.Mirsaidov), B.B.Barotov, K.O.Boboiev, U.M.Mirsaidov. Possibility assessment of uranium waste processing from Adrasman tailings..... 84
A.S.Kurbonov, J.Kh.Juraev, A.P.Tagayev, M.M.Tagayev, U.M.Mirsaidov. Thermodynamic features of processing reactions during decomposition of borosilicate ore with orthophosphoric acid 90

INORGANIC CHEMISTRY

F.N.Hasanov, Yu.F.Bakhodurov, E.J.Goziev, B.K.Rakhmatulloev. Complex formation of copper (II) with 1-phenyl-2,3-dimethylpyrazoline-5-thione in a medium 3 mol/l HCl..... 96

METALLURGY

Z.S.Nazarov, H.Safiev. Sludge field waste recycling of the open joint stock company “Tajik aluminum company” 105

GEOCHEMISTRY

M.M.Mamadvafoev, D.A.Davlatshoev. Manganese in the rocks of the intrusive complexes of the Kafandara ore field (Central Tajikistan)..... 111

GEOLOGY

A.S.Niyozov, A.K.Khodzhiev. The geodynamic evolution of the South Gissar zone as a prerequisite for the development of the ore-bearing volcano-plutonic association 123

ENERGETICS

G.N.Petrov, A.S.Kodirov, Kh.M.Akhmedov. On the issue of optimization of the territorial distribution of power plants of medium and low power 132

TECHNICS

L.Sharipov, J.N.Nizomov, A.J.Rahmonzoda, I.S.Muminov, I.Sh.Ashurov. Construction of monolithic reinforced concrete frame-free frame for seismic areas..... 140

MEMORY OF SCIENTIST

Z.A.Zinchenko (01.04.1941 – 07.07.2017)...... 148

NEW BOOKS..... 151

УДК 517.5

Н.Ф.ОЛИФТАЕВ

ТОЧНЫЕ НЕРАВЕНСТВА ДЖЕКСОНА-СТЕЧКИНА В ТЕРМИНАХ
 τ -МОДУЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОСТИ В L_2

Педагогический институт Таджикистана в Раитском районе

Поступила в редакцию 26.04.2021 г.

Для τ -модулей гладкости m -го порядка вычислены точные константы в неравенствах типа Джексона-Стечкина. Также найдены точные значения верхних граней наилучшего совместного полиномиального приближения некоторых классов функций, усреднённых с заданным весом τ -модулей гладкости r -х производных, которые мажорируются заданной функцией.

Ключевые слова: наилучшее полиномиальное приближение, точные константы, неравенства типа Джексона, τ -модуль гладкости, аппроксимационная характеристика.

Пусть \mathbb{N} – множество натуральных чисел; $\mathbb{Z}_+ = \mathbb{N} \cup \{0\}$; \mathbb{R}_+ – множество неотрицательных чисел вещественной оси. Через $L_2 := L_2[0, 2\pi]$ обозначим пространство 2π -периодических функций f , суммируемых с квадратом по Лебегу с конечной нормой

$$\|f\| := \|f\|_{L_2[0, 2\pi]} = \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |f(x)|^2 dx \right)^{1/2}.$$

Пусть \mathfrak{T}_{2n-1} – подпространство тригонометрических полиномов порядка $n-1$.

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

Адрес для корреспонденции: Олифтаев Нодир Фезилобекович. 735450, Республика Таджикистан, Гарм, ул. Э.Мухиддинова, 63, Педагогический институт Таджикистана в Раитском районе.
E-mail: nodir.oliftaev@inbox.ru

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

где $a_k(f)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), $b_k(f)$ ($k = 1, 2, \dots$) – соответственно косинус- и синус-коэффициенты Фурье функции $f \in L_2$, величина её наилучшего приближения элементами $T_{n-1} \in \mathfrak{T}_{2n-1}$ равна

$$\begin{aligned} E_{n-1}(f)_2 &:= \inf \{ \|f - T_{n-1}\| : T_{n-1} \in \mathfrak{T}_{2n-1} \} = \\ &= \|f - S_{n-1}(f)\|_2 = \left\{ \sum_{k=n}^{\infty} \rho_k^2(f) \right\}^{1/2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \rho_k^2(f) &:= a_k^2(f) + b_k^2(f), \quad k \geq n, \quad k, n \in \mathbb{N}, \\ S_{n-1}(f; x) &= \frac{a_0(f)}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} (a_k(f) \cos kx + b_k(f) \sin kx) \end{aligned} \quad (3)$$

– частная сумма $(n-1)$ -го порядка ряда Фурье (1) функции $f \in L_2$.

Под $L_2^{(r)}$ ($r \in \mathbb{Z}_+$, $L_2^{(0)} := L_2$) понимаем множество функций $f \in L_2$, у которых производные $(r-1)$ -го порядка $f^{(r-1)}(x)$ абсолютно непрерывны, а производные $f^{(r)} \in L_2$. Для произвольной функции $f \in L_2$ равенством

$$\omega_m(f, t)_2 := \sup \{ \|\Delta_h^m(f)\| : |h| \leq t \},$$

где

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

– конечная разность m -го порядка функции f в точке x с шагом h , определим модуль непрерывности m -го порядка $f \in L_2$ в пространстве L_2 .

При решении ряда экстремальных задач теории полиномиальной аппроксимации функций $f \in L_2$ константы

$$\chi_{n,r,m}(t)_2 := \sup \left\{ \frac{n^r E_{n-1}(f)_2}{\omega_m(f^{(r)}, t/n)_2} : f \in L_2^{(r)}, f^{(r)} \neq \text{const} \right\} \quad (4)$$

в неравенствах типа Джексона-Стечкина

$$E_{n-1}(f)_2 \leq \chi n^{-r} \omega_m(f^{(r)}; t/n)_2, \quad (5)$$

изучали многие авторы [1-21]. Условимся под весовой функцией на отрезке $[0, h]$ понимать неотрицательную суммируемую функцию φ , неэквивалентную нулю на этом же отрезке. В [21] с целью обобщения всех известных результатов константы (4) введена в рассмотрение экстремальная аппроксимационная характеристика

$$\chi_{m,n,r,p}(\varphi; h) := \sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f^{(r)} \neq \text{const}}} \frac{E_{n-1}(f)_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}; t)_2 \varphi(t) dt \right)^{1/p}}, \quad (6)$$

где $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $0 < p \leq 2$, $0 < h \leq 3\pi / (4n)$, φ – весовая на отрезке $[0, h]$ функция и доказано двустороннее неравенство

$$\left\{ A_{n,p}^{r,m}(\varphi; h) \right\}^{-1} \leq \chi_{m,n,r,p}(\varphi; h) \leq \left\{ \inf_{n \leq k < \infty} A_{k,p}^{r,m}(\varphi; h) \right\}^{-1}, \quad (7)$$

где

$$A_{k,p}^{r,m}(\varphi; h) := 2^{m/2} \left(k^{rp} \int_0^h (1 - \cos kt)^{mp/2} \varphi(t) dt \right)^{1/p}, \quad k \geq n. \quad (8)$$

Отметим, что с целью отыскания точной константы в неравенстве (6) при $p = 2$ соотношение (7) ранее было доказано А.А.Лигуном [6], а при $\varphi(t) \equiv 1$ в [20] было доказано равенство

$$\sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f^{(r)} \neq \text{const}}} \frac{E_{n-1}(f)_2}{\left(\int_0^h \omega_m^p(f^{(r)}; t)_2 dt \right)^{1/p}} = \frac{1}{2^m n^r} \left(\int_0^h \left(\sin \frac{nt}{2} \right)^{mp} dt \right)^{-1/p}. \quad (9)$$

Неравенства типа (7) для других модификаций модулей непрерывности получены во многих работах (см. например, литературу, приведенную в [22-24]).

Для исследования поведения наилучшего приближения функций алгебраическими полиномами в пространствах $L_p[a, b]$, $p \geq 1$ и $C[a, b]$ К.Г.Иванов [25, 26] ввёл в рассмотрение новые модули непрерывности и гладкости и изучил их свойства и связи с известными дифференциально-разностными характеристиками функций. Для случая 2π -периодических функций этот вопрос изучен в [8, 27]. Приведем необходимые сведения из указанных работ, полагая $\|f\|_p := \|f\|_{L_p[0, 2\pi]}$.

Пусть $\lambda(x)$ – положительная 2π -периодическая функция. Величину

$$\tau_m(f, w, \lambda)_{p, p} := \left\| w(\cdot) \omega_m(f, \cdot; \lambda(\cdot))_{p'} \right\|_p, \quad p', p \geq 1,$$

где

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

называют τ -модулем гладкости m -го порядка функции $f(x)$, принадлежащей пространству $L_{\max(p', p)}[0, 2\pi]$.

Если $\lambda(x) \equiv u = \text{const} > 0$, $f \in L_p[0, 2\pi]$, $w(x) \equiv 1$ и $p' \in [1, p]$, то

$$\tau_m(f; 1, u)_{p', p} \asymp \omega_m(f, u)_p, \quad (10)$$

где символ “ \asymp ” означает отношение слабой эквивалентности.

Следуя [27], вводим в рассмотрение экстремальную аппроксимационную характеристику следующего вида

$$\chi'_{m, n, r, q}(q; h)_{p'} := \sup_{\substack{f \in L_2^{(r)} \\ f \neq \text{const}}} \frac{2^{m/2} E_{n-1}(f)_2}{\left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1; t)_{p', 2} \varphi(t) dt \right)^{1/q}}, \quad (11)$$

где $1 \leq p' \leq 2$, $q \in \mathbb{R}_+$, $h \in \mathbb{R}_+ \setminus \{0\}$ и φ – весовая на отрезке $[0, h]$ функция. Здесь и далее в соотношениях общего характера при вычислении верхней грани по всем функциям $f \in L_2^{(r)}$ предполагается, что $f \neq \text{const}$, причём отношение $0/0$ будем считать равным нулю.

Для решения некоторых экстремальных задач на классах функций определённый интерес представляет отыскание точного значения величины (11). В [27] доказано

$$\frac{1}{\beta_{n, m, r, q}(\varphi; h)} \leq \tilde{\chi}_{n, m, r, q}(\varphi; h)_2 \leq \frac{1}{\inf_{n \leq k < \infty} \beta_{k, m, r, q}(\varphi; h)}, \quad (12)$$

где $m, n \in \mathbb{N}$, $0 < q \leq 2$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $h \in (0, 3\pi / (4n)]$, φ – весовая функция,

$$\beta_{k, m, r, q}(\varphi; h) := \left(k^{rq} \int_0^h ((kt)^{-1} \mathcal{J}_m(kt))^{q/2} \varphi(t) dt \right)^{1/q}, \quad (13)$$

$$\mathcal{J}_m(u) := \int_0^u (1 - \cos \tau)^m d\tau. \quad (14)$$

Отметим, что (12) есть обобщение неравенства (7) на случай наилучшего полиномиального приближения функций $f \in L_2^{(r)}$ посредством τ -модулей непрерывности m -го порядка $\tau_m(f^{(r)}, 1; t)_2$. Из (12) вытекает, что если

$$\inf\{\beta_{k,m,r,q}(\varphi; h) : k \geq n\} = \beta_{n,m,r,q}(\varphi; h), \quad (15)$$

то

$$\tilde{\mathcal{X}}_{n,m,r,q}(\varphi; h)_2 = \{\beta_{n,m,r,q}(\varphi; h)\}^{-1}. \quad (16)$$

В [27] доказаны необходимые и достаточные условия, при которых (15) имеет место, а именно доказано, что если функция $\varphi \in C^{(1)}[0, h]$ и при всех $1/r < p \leq 2$, $0 < t \leq h$ выполняется дифференциальное неравенство

$$(rp - 1)\varphi(t) - t\varphi'(t) \geq 0, \quad (17)$$

то имеет место (15) и, следовательно, (16).

Очевидно, что условие (17) весьма ограничительно, поскольку множество весовых функций φ , для которых оно выполняется, достаточно узко.

В настоящей работе найдено точное значение величины (11), во-первых, для всех значений $0 < q \leq \infty$ и, во-вторых, без дополнительного предположения, что $\varphi \in C^{(1)}[0, h]$ и удовлетворяет условию (17).

Здесь без доказательства анонсируем следующие утверждения.

Лемма. Для произвольной функции $f \in L_2^{(r)}$, $r \in \mathbb{Z}_+$ при любых $m, n \in \mathbb{N}$ и $t \in (0, \pi/n]$ имеет место точное неравенство

$$\tau_m(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} \geq 2^{m/2} \cdot n^r \cdot E_{n-1}(f)_2 \cdot \{(nt)^{-1} \mathcal{J}_m(nt)\}^{1/2} \quad (18)$$

в том смысле, что существует функция $f \in L_2^{(r)}$, для которой оно обращается в равенство.

Лемма обеспечивает возможность найти точное значение константы в неравенстве типа Джексона-Стечкина вида

$$E_{n-1}(f)_2 \leq \frac{\mathcal{K}_{n,r}}{n^r} \tau_m(f^{(r)}, 1; t/n)_{2,2},$$

где $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $f \in L_2^{(r)}$, $0 < t \leq \pi$. Полагаем

$$\mathcal{K}_{n,r} := \mathcal{K}_{n,r}(\tau_m, t) = \sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{n^r E_{n-1}(f)_2}{\tau_m(f^{(r)}, 1; t/n)_{2,2}}. \quad (19)$$

Отметим, что величина (19) при $m = 1$ ранее изучалась в [8], где доказано равенство

$$\mathcal{K}_{n,r}(\tau_1, t) = \left\{ 2 \left(1 - \frac{\sin t}{t} \right) \right\}^{-1/2}, \quad 0 < t \leq \pi.$$

Имеет место следующая

Теорема 1. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $0 < t \leq \pi$. Тогда справедливо равенство

$$\mathcal{K}_{n,r}(\tau_m, t) = \left\{ 2^m t^{-1} \mathcal{J}_m(t) \right\}^{-1/2}. \quad (20)$$

В частности,

$$\mathcal{K}_{n,r}(\tau_m, \pi) = \frac{1}{\sqrt{C_{2m}^m}}. \quad (21)$$

Сформулируем основной результат работы.

Теорема 2. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $0 < q \leq \infty$, $r \in \mathbb{Z}_+$, $0 < h \leq \pi/n$, φ – весовая на отрезке $[0, h]$ функция. Тогда имеет место равенство

$$\chi'_{m,n,r,q}(\varphi; h)_2 = \left\{ n^{rq} \int_0^h ((nt)^{-1} \mathcal{J}_m(nt))^{q/2} \varphi(t) dt \right\}^{-1/q}. \quad (22)$$

Хорошо известно, что для функции $f \in L_2^{(r)}$ её промежуточные производные $f^{(s)}$ ($s = \overline{0, r}$; $r \in \mathbb{N}$; $f^{(0)} \equiv f$) также принадлежат пространству L_2 , а потому представляет несомненный интерес изучение поведения величин $E_{n-1}(f^{(s)})_2$ ($s = \overline{0, r}$; $r \in \mathbb{N}$) на самом классе $L_2^{(r)}$ или на некотором подклассе $\mathfrak{M}^{(r)} \subset L_2$, то есть требуется найти точное значение величины

$$E_{n-1}^{(s)}(\mathfrak{M}^{(r)})_2 := \sup \left\{ E_{n-1}(f^{(s)})_2 : f \in \mathfrak{M}^{(r)} \right\}. \quad (23)$$

Прежде, чем решать задачу (23) для конкретно заданного класса $\mathfrak{M}^{(r)}$ из $L_2^{(r)}$, приведём одно утверждение в качестве следствия доказанной теоремы 2.

Теорема 3. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $0 < q \leq \infty$, $0 < nh \leq \pi$, φ – весовая на отрезке $[0; h]$ функция. Тогда

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{2^{m/2} n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} \varphi(t) dt \right)^{1/q}} =$$

$$= \left\{ \int_0^h ((nt)^{-1} \mathcal{J}_m(nt))^{q/2} \varphi(t) dt \right\}^{-1/q}. \quad (24)$$

Следствие 1. В условиях теоремы 3 при $m=1$ и $0 < h \leq 3\pi/4n$ имеет место равенство

$$\begin{aligned} \sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{\sqrt{2} n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \tau_1^q(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} \varphi(t) dt \right)^{1/q}} = \\ = \left\{ \int_0^h \left(1 - \frac{\sin nt}{nt}\right)^{q/2} \varphi(t) dt \right\}^{-1/q}. \end{aligned} \quad (25)$$

Из (25), в частности при $q=2$ и $\varphi(t) \equiv 1$, получаем

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h \tau_1^2(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} dt \right)^{1/2}} = \left\{ \frac{n}{2(nh - Si(nh))} \right\}^{1/2}, \quad (26)$$

где

$$Si(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt \text{ — интегральный синус.}$$

Если же в (25) полагать $q=2$, $\varphi(t) = t$, то будем иметь

$$\sup_{f \in L_2^{(r)}} \frac{n^{r-s} E_{n-1}(f^{(s)})_2}{\left(\int_0^h t \tau_1^2(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} dt \right)^{1/2}} = \frac{1}{h \sqrt{1 - \left(\frac{2}{nh} \sin \frac{nh}{2} \right)^2}}. \quad (27)$$

Отметим, что соотношение (25) получается из (22) в силу равенства

$$(nt)^{-1} \mathcal{J}_1(nt) = \frac{1}{nt} \int_0^{nt} (1 - \cos t) dt = \left(1 - \frac{\sin nt}{nt}\right),$$

а (26) и (27) получаются непосредственным вычислением.

Пусть $\Phi(h)$, где $0 < h \leq 2\pi$, непрерывная возрастающая функция, такая, что $\Phi(0) = 0$. Символом $W_q^{(r)}(\tau_m, \varphi; \Phi)$ обозначим класс функций $f \in L_2^{(r)}$, для которых при любом $h \in (0; 2\pi]$ имеет место неравенство

$$\left(\int_0^h \tau_m^q(f^{(r)}, 1; t)_{2,2} \varphi(t) dt \right)^{1/q} \leq \Phi(h). \quad (28)$$

Приводим решение экстремальной задачи (23) в случае, когда $\mathfrak{M}^{(r)} = W_q^{(r)}(\tau_m, \varphi; \Phi)$. Имеет место следующая

Теорема 4. Пусть $m, n \in \mathbb{N}$, $r, s \in \mathbb{Z}_+$, $r \geq s$, $0 < q \leq \infty$, $0 < nh \leq \pi$, φ – весовая на отрезке $[0; h]$ функция. Тогда справедливо равенство

$$E_{n-1}^{(s)}(W_q^{(r)}(\tau_m, \varphi; \Phi)) = 2^{-m/2} \cdot n^{-(r-s)} \cdot \left\{ \int_0^h ((nt)^{-1} \mathcal{J}_m(nt))^{q/2} \varphi(t) dt \right\}^{-1/q} \cdot \Phi(h).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Черных Н.И. О наилучшем приближении периодических функций тригонометрическими полиномами в L_2 . – Матем. заметки, 1967, т. 2, №5, с. 513-522.
2. Черных Н.И. О неравенстве Джексона в L_2 . – Тр. МИАН СССР, 1967, т. 88, с. 71-74.
3. Тайков Л.В. Неравенства, содержащие наилучшие приближения и модуль непрерывности функций из L_2 . – Матем. заметки, 1976, т. 20, №3, с. 433-438.
4. Тайков Л.В. Наилучшие приближения дифференцируемых функций в метрике пространства L_2 . – Матем. заметки, 1977, т. 22, №4, с. 535-542.
5. Тайков Л.В. Структурные и конструктивные характеристики функций из L_2 . – Матем. заметки, 1979, т. 25, №2, с. 217-223.
6. Лигун А.А. Некоторые неравенства между наилучшими приближениями и модулями непрерывности в пространстве L_2 . – Матем. заметки, 1978, т. 24, №6, с. 785-792.
7. Шалаев В.В. О поперечниках в L_2 классов дифференцируемых функций, определяемых модулями непрерывности высших порядков. – Укр. матем. журнал, 1991, т. 43, №1, с. 125-129.
8. Вакарчук С.Б. О наилучших полиномиальных приближениях в L_2 некоторых классов 2π -периодических функций и точных значениях их n -поперечников. – Матем. заметки, 2001, т. 70, №3, с. 334-345.
9. Вакарчук С.Б. Точные константы в неравенствах типа Джексона и точные значения поперечников функциональных классов из L_2 . – Матем. заметки, 2005, т. 78, №5, с. 792-796.
10. Вакарчук С.Б. Неравенства типа Джексона и поперечники классов функций в L_2 . – Матем. заметки, 2006, т. 80, №1, с. 11-19.
11. Айнуллоев Н. О поперечниках дифференцируемых функций в L_2 . – Доклады АН Тадж. ССР, 1985, т. 28, №6, с. 309-313.
12. Шабозов М.Ш., Шабозов О.Ш. О поперечниках классов периодических функций в пространстве L_2 . – ДАН РТ, 2006, т. 49, №2, с. 111-115.
13. Юссеф Х. О наилучших приближениях функций и значениях поперечников классов функций в L_2 . Применение функционального анализа в теории приближений. Сб. научн. трудов. – Калинин, Калининский гос. ун-т, 1988, с. 100-114.

14. Юсупов Г.А., О точных значениях поперечников некоторых классов периодических дифференцируемых функций в пространстве $L_2[0,2\pi]$. – ДАН РТ, 2008, т. 51, №12, с. 810-817.
15. Юдин В.А. Диофантовы приближения в экстремальных задачах. – ДАН СССР, 1980, т. 251, №1, с. 54-57.
16. Иванов В.И., Смирнов О.И. Константы Джексона и константы Юнга в пространствах L_p – Тула, Тульский гос. ун-т. 1995.
17. Васильев С.Н. Точное неравенство Джексона-Стечкина в L_2 с модулем непрерывности, порожденным произвольным конечноразностным оператором с постоянными коэффициентами. – Докл. РАН, 2002, т. 385, №1, с. 11-14.
18. 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.
19. Вакарчук С.Б., Щитов А.Н. Наилучшие полиномиальные приближения в L_2 и поперечники некоторых классов функций. – Укр. матем. журнал, 2004, т. 56, №11, с. 1458-1466.
20. 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.
21. 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.
22. Вакарчук С.Б. Обобщенные характеристики гладкости в неравенствах типа Джексона и поперечники классов функций в L_2 . – Матем. заметки, 2015, т. 98, №4, с. 511-529.
23. Вакарчук С.Б., Забутная В.И. Неравенства типа Джексона-Стечкина для специальных модулей непрерывности и поперечники функциональных классов в пространстве L_2 . – Матем. заметки, 2012, т. 92, №4, с. 497-514.
24. Шабозов М.Ш. Некоторые вопросы аппроксимации периодических функций тригонометрическими полиномами в L_2 . – Чебышевский сборник, 2019, т. 20, №4, с. 145-158.
25. Ivanov Kamen G. On a new characteristic of functions. I. – Сердика Българ. Мат. Списание, 1982, т. 8, №3, с. 262-279.
26. Ivanov Kamen G. On a new characteristic of functions. II. Direct and converse theorems for the best algebraic approximation in $C[-1;1]$ and $L_p[-1;1]$ – Сердика Българ. Мат. Студ., 1983, т. 5, с. 151-163.
27. Шабозов М.Ш., Олифтаев Н.Ф. Наилучшие приближения и точные значения поперечников некоторых классов периодических функций в L_2 . – Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук, 2013, 4(153), с. 23-31.

Н.Ф.ОЛИФТАЕВ

НОБАРОБАРИҶОИ АНИҚИ ЧЕКсон-СТЕЧКИН ДАР ИСТИЛОҶОТИ τ -МОДУЛҶОИ БЕФОСИЛАГӢ ДАР L_2

Донишқадаи омӯзгории Тоҷикистон дар ноҳияи Раишт

Дар мақола барои τ -модули суфтагии тартиби m -ум доимиҳои аниқ дар нобаробариҳои намуди Чеқсон-Стечкин ҳисоб карда шудаанд. Инчунин, қиматҳои сарҳади аниқи болоии наздиққунии беҳтарини ҳамчояи полиномиалии баъзе синфи функсияҳо, ки бо вазни додашудаи миёнакардашудаи τ -модули суфтагии ҳосилаи тартиби r -ум бо функсияи додашуда маҳдуд мебошад, ёфта шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: наздиккунии беҳтарини полиномиалӣ, доимиҳои аниқ, нобаробарии намуди
Чексон, τ -модули суфтагӣ.

N.F.OLIFTAEV

**SHARP INEQUALITIES OF JACKSON-STECHKIN IN TERMS OF
 τ -MODULES OF CONTINUITY IN L_2**

Pedagogical Institute of Tajikistan in Rasht region

For τ modules of smoothness of m order the sharp constant in Jackson-Stechkin type inequality were calculated. Also for some classes of functions averaged with given weights of τ modules of smoothness of r derivatives which majorized with given functions the sharp upper bounds of the best joint polynomial approximation were found.

Key words: best polynomial approximation, sharp constants, Jackson type inequality, τ -module of smoothness, approximation characteristic.

УДК 521.14

К.В.ХОЛШЕВНИКОВ, Д.В.МИЛАНОВ, А.С.ЩЕПАЛОВА*

**ПРОСТРАНСТВО КЕПЛЕРОВЫХ ОРБИТ И
СЕМЕЙСТВО ЕГО ФАКТОР-ПРОСТРАНСТВ**

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация,

**Институт прикладной астрономии РАН, Российская Федерация*

Поступила в редакцию 20.11.2020 г.

Исследование связи метеороидных потоков с кометами и астероидами, поиск родительских тел потоков – одна из интереснейших задач астрономии, в разрешение которой П.Б.Бабаджанов внес существенный вклад. Ключевую роль играет оценка близости орбит небесных тел, для чего лучшим инструментом является метризация 5-мерного пространства кеплеровых орбит. В последние 15 лет предложено несколько метрик, превращающих различные пространства кеплеровых орбит в метрические. Важную роль играют фактор-пространства, позволяющие не принимать во внимание долготу узла, или аргумент перицентра, или и то и другое. Эти элементы меняются вековым образом под влиянием различных возмущений. Здесь мы вводим еще одно, четвертое фактор-пространство, в котором отождествляются орбиты с произвольными долготами узлов и аргументами перицентров при условии, что их сумма (долгота перицентра) фиксирована. Определена функция Q_6 , играющая роль расстояния между указанными классами орбит. Приведен алгоритм ее вычисления по данным элементам орбит и соответствующая программа на языке C^{++} . К сожалению, Q_6 не является полноценной метрикой. Мы доказали, что она удовлетворяет первым двум аксиомам метрического пространства, но третья – аксиома треугольника – нарушается, по крайней мере для больших эксцентриситетов. Однако в двух важных частных случаях (одна из орбит круговая, долготы перицентров все трех орбит совпадают) аксиома треугольника верна. Не исключено, что она верна для всех эллиптических орбит, но это требует дальнейшего исследования.

Ключевые слова: кеплерова орбита, метрика, фактор-пространство метрического пространства, расстояние между орбитами.

Адрес для корреспонденции: Холшевников Константин Владиславович, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9. Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, E-mail: kvk@astro.spbu.ru

Введение. Исследование связи метеороидных потоков с кометами и астероидами, поиск родительских тел потоков – одна из интереснейших задач астрономии, в разрешении которой П.Б.Бабаджанов внес существенный вклад. Ключевую роль играет оценка близости орбит небесных тел, для чего лучшим инструментом является метризация 5-мерного пространства кеплеровых орбит. В последние 15 лет предложено несколько метрик, превращающих различные пространства кеплеровых орбит в метрические. Важную роль играют фактор-пространства, позволяющие не принимать во внимание те орбитальные элементы, которые меняются вековым образом под влиянием различных возмущений [1-6]. Мы рекомендуем в качестве основного пространство \mathbb{H}_2 всех непрямолинейных кеплеровых орбит (мы сохраняем введенную в [3] нумерацию), а в качестве трех фактор-пространств \mathbb{H}_3 (игнорируются узлы,) \mathbb{H}_4 (игнорируются аргументы перицентров) и \mathbb{H}_5 (игнорируется и то, и другое). Между тем известны потоки, в которых узлы и перицентры испытывают большие вековые возмущения, тогда как их сумма (долгота перицентра) изменяется мало. Здесь требуется фактор-пространство, в котором отождествляются орбиты с произвольными долготами узлов и аргументами перицентров при условии, что их сумма фиксирована. Такое пространство введено в [7], но его свойства исследованы еще не полностью. Здесь мы расскажем о его свойствах, хотя еще не все важные свойства нам удалось установить.

Пространства $\mathbb{H}_2 \div \mathbb{H}_5$. Элементами пространства \mathbb{H}_2 служат все непрямолинейные кеплеровы орбиты \mathcal{E} . Положение на орбите мы опускаем, но направление движения по орбите учитываем.

Элементами пространства \mathbb{H}_3 являются классы орбит с фиксированными p, e, i, ω и всевозможными значениями Ω .

Элементами пространства \mathbb{H}_4 являются классы орбит с фиксированными p, e, i, Ω и всевозможными значениями ω .

Элементами пространства \mathbb{H}_5 являются классы орбит с фиксированными p, e, i , и всевозможными значениями ω, Ω .

Здесь p, e, i, Ω, ω — фокальный параметр, эксцентриситет, наклонение, долгота восходящего узла и аргумент перицентра соответственно.

Пространство \mathbb{H}_2 пятимерно, \mathbb{H}_3 и \mathbb{H}_4 четырехмерны, \mathbb{H}_5 трехмерно. Эти пространства легко превращаются в метрические введением функций $\varrho_n(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2)$, определяющих расстояния между их элементами. Простые выражения для ϱ_n , $n = 2 \div 5$, приведены в [2-3]. Они удовлетворяют трем аксиомам метрического пространства. Опшем их.

Пусть в некотором пространстве \mathbb{X} определена функция на $\mathbb{X} \times \mathbb{X}$, удовлетворяющая трем аксиомам [8-10]:

1. $\varrho(x_1, x_2) \geq 0$, причем $\varrho(x_1, x_2) = 0$ тогда и только тогда, когда $x_1 = x_2$;
2. $\varrho(x_1, x_2) = \varrho(x_2, x_1)$;
3. $\varrho(x_1, x_3) \leq \varrho(x_1, x_2) + \varrho(x_2, x_3)$ (аксиома треугольника).

Эта функция называется расстоянием (метрикой) и превращает \mathbb{X} в метрическое пространство. Иногда построить метрику затруднительно и приходится довольствоваться квазиметрикой: функцией на $\mathbb{X} \times \mathbb{X}$, удовлетворяющей первым двум аксиомам и ослабленной третьей аксиоме. Именно,

За. $\varrho(x_1, x_3) \leq M[\varrho(x_1, x_2) + \varrho(x_2, x_3)]$ (ослабленная аксиома треугольника) при некоторой постоянной M . Квазиметрика при $M = 1$ является метрикой.

Пространство \mathbb{H}_6 . Элементами четырехмерного фактор-пространства \mathbb{H}_6 пространства \mathbb{H}_2 являются классы орбит с фиксированными p, e, i , и всевозможными значениями ω, Ω , удовлетворяющими условию $\omega + \Omega = \varpi$ при фиксированной долготе перицентра ϖ .

В [7] предложена функция ϱ_6 , играющая роль расстояния между указанными классами орбит и удовлетворяющая первым двум аксиомам метрического пространства. Алгоритм ее вычисления не элементарен, в отличие от алгоритмов для $\varrho_2 \div \varrho_5$. Именно,

$$\varrho_6^2(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = (1 + e_1^2)p_1 + (1 + e_2^2)p_2 - 2\zeta_6(\varepsilon_1, \varepsilon_2)\sqrt{p_1 p_2}. \quad (1)$$

В трех частных случаях ζ_6 элементарна.

1. Если хотя бы одна из орбит – круговая, то

$$\zeta_6 = \cos(i_1 - i_2). \quad (2)$$

2. Если хотя бы одна из орбит (дадим ей номер 2) лежит в основной плоскости и описывает прямое движение, так что $\sin i_2 = 0, \cos i_2 = 1$, то

$$\zeta_6 = c_1 + \frac{1}{2(1-c_1)e_1 e_2} + \frac{1}{2(1+c_1)e_1 e_2 \cos \varpi}. \quad (3)$$

3. Здесь и далее $s_1 = \sin i_1, s_2 = \sin i_2, c_1 = \cos i_1, c_2 = \cos i_2$.

4. Если хотя бы одна из орбит (дадим ей номер 2) лежит в основной плоскости, но описывает обратное движение, так что $\sin i_2 = 0, \cos i_2 = -1$, то

$$\zeta_6 = -c_1 + e_1 e_2. \quad (4)$$

В остальных случаях задача сводится к решению тригонометрического уравнения третьей степени

$$a_0 + a_1 \sin y + a_2 \sin(y - \varpi) + a_3 \sin(2y - \varpi) + a_4 \sin(2y - 2\varpi) + a_5 \sin(3y - 2\varpi) = 0. \quad (5)$$

Здесь

$$\begin{aligned} a_0 &= e_1 e_2 s_1^2 s_2^2 \sin \varpi, \\ a_1 &= -e_1 e_2 s_1 s_2 (1 + c_1 + c_2 - 3c_1 c_2), \\ a_2 &= -2s_1 s_2 (1 - c_1 c_2) (2 + \mu e_1 e_2), \\ a_3 &= -e_1 e_2 (1 - c_1) (1 - c_2) (1 - c_1 - c_2 - 3c_1 c_2), \\ a_4 &= s_1^2 s_2^2 (2 + \mu e_1 e_2), \\ a_5 &= e_1 e_2 s_1 s_2 (1 - c_1) (1 - c_2). \end{aligned}$$

Алгоритм вычисления следующий.

1. При $\mu = 1$ и $\mu = -1$, $-\pi < y \leq \pi$, находим все вещественные корни $y_n(\mu)$ уравнения (5). При каждом μ их не более 6.
2. Каждому корню $y_n(\mu)$ отвечает ровно одно значение $x_n(\mu)$, вычисляемое по формулам

$$\cos x = \mu \frac{s_1 s_2 - (1 - c_1 c_2) \cos(y - \varpi)}{D}, \quad \sin x = \mu \frac{(c_2 - c_1) \sin(y - \varpi)}{D}, \quad (6)$$

3. где

$$D = (1 - c_1 c_2) - s_1 s_2 \cos(y - \varpi), \quad \mu = \pm 1.$$

4. Получаем несколько (не более 12) точек вида $(x_n(\mu), y_n(\mu))$.
5. Для каждой пары $(x_n(\mu), y_n(\mu))$ определяем ζ_2 по формуле

$$\begin{aligned} \zeta_2(x, y) &= A_0 + A_1 \cos(\varpi - y) + A_2 \cos y - A_2 \cos x + \\ &B_1 \cos(\varpi - x - y) + B_2 \cos(\varpi - 2y) + B_3 \cos \varpi + B_4 \cos(\varpi + x - y), \end{aligned} \quad (7)$$

6. где

$$\begin{aligned} A_0 &= c_1 c_2, & A_1 &= s_1 s_2, & 2A_2 &= e_1 e_2 s_1 s_2, & \varpi &= \varpi_1 - \varpi_2, \\ 4B_1 &= e_1 e_2 (1 - c_1) (1 + c_2), \\ 4B_2 &= e_1 e_2 (1 - c_1) (1 - c_2), \\ 4B_3 &= e_1 e_2 (1 + c_1) (1 + c_2), \\ 4B_4 &= e_1 e_2 (1 + c_1) (1 - c_2). \end{aligned}$$

7. Величина ζ_6 равна наибольшему из чисел $\zeta_2(x_n(\mu), y_n(\mu))$.
8. Искомая величина ϱ_6 дается формулой (1).

Если

$$e_1 e_2 s_1 s_2 \neq 0, \quad i_1 = i_2, \quad \sin \varpi = 0, \quad (8)$$

то из корней уравнения (5) два корня $y = 0$ и $y = \pi$ тривиальны и не зависят от μ .
Дальше алгоритм аналогичен.

Алгоритм реализован в виде программы, которую можно скачать по ссылке:
<https://drive.google.com/drive/folders/1cGCTHqxdqatGfReK3jXRrhLLEc8pdzJwk?usp=sharing>

Программа написана на языке C⁺⁺. На вход ей подается количество орбит и элементы для каждой орбиты, она рассчитывает расстояние между выбранным числом орбит (считая расстояния между каждой орбитой со всеми остальными). Более подробное описание программы можно прочитать в файле "Read.TXT".

Перейдем к свойствам функции Q_6 .

А. Функция Q_6 не удовлетворяет даже ослабленной аксиоме треугольника. Это следует из нижеприведенного примера.

Представим орбиту \mathcal{E} из \mathbb{H}_2 вектором $F(\mathcal{E})$ в $\mathbb{R} \times \mathbb{C} \times \mathbb{C} \times \mathbb{R}$:

$$F(\mathcal{E}) = \sqrt{p} \begin{pmatrix} c \\ -i s \exp i(\varpi - \omega) \\ \frac{e}{2} ((c + 1) \exp i\varpi + (1 - c) \exp i(\varpi - 2\omega)) \\ s e \sin \omega \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Здесь i — мнимая единица.

Первые две координаты $F(\mathcal{E})$ соответствуют высоте и проекции на базовую плоскость вектора момента импульса. Третья и четвертая — проекции и высоте вектора Лапласа–Рунге–Ленца. При изменении аргумента перицентра ω от 0 до 360° вектор площадей движется по окружности с центром на оси Z , а вектор эксцентриситета описывает восьмерку на сфере радиуса $e\sqrt{p}$ с узлом в точке $\omega = 0$.

При этом

$$Q_2(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2) = |F(\mathcal{E}_1) - F(\mathcal{E}_2)|, \quad Q_6(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2) = \min_{\omega_1, \omega_2} |F(\mathcal{E}_1) - F(\mathcal{E}_2)|,$$

где модуль вектора с комплексными координатами (b_1, b_2, b_3, b_4) обозначает величину $(|b_1|^2 + |b_2|^2 + |b_3|^2 + |b_4|^2)^{\frac{1}{2}}$.

Рассматривая окружности, описываемые третьим компонентом вектора $F(\mathcal{E})$, можно заключить, что

$$2Q_6(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2) \geq |e_1 \sqrt{(p_1)(1 + c_1)} \exp i\varpi_1 - e_2 \sqrt{(p_2)(1 + c_2)} \exp i\varpi_2| - \\ - [e_1 \sqrt{(p_1)(1 - c_1)} + e_2 \sqrt{(p_2)(1 - c_2)}] \quad (10)$$

для любых $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2 \in \mathbb{H}_2$.

Обозначим для краткости три орбиты, необходимые нам для примера, через x, y, z . Их элементы приведем в таблице

Элемент	x	y	z
p	1	1	1
e	e	e	e
i	i	i	i
ϖ	β	$-\beta$	0

Свяжем элементы соотношениями

$$e > 0, \quad 7 - 4\sqrt{3} = 0.071797 < c < 1, \quad \sin \frac{\beta}{2} = \frac{1-c}{1+c}, \quad (11)$$

обеспечивающими касание окружностей, задаваемых третьей координатой вектора (9) у пар орбит x, z и y, z . Используя (10, 11), оценим

$$\begin{aligned} \varrho_6(x, y) &\geq \frac{e}{2} [(1+c)|\exp i\beta - \exp(-i\beta)| - 2(1-c)] = e[(1+c)\sin\beta - (1-c)] = \\ &= e(1-c) \left[2\sqrt{1 - \left(\frac{1-c}{1+c}\right)^2} - 1 \right] = e(1-c) \left(\frac{4\sqrt{c}}{1+c} - 1 \right), \end{aligned} \quad (12)$$

что положительно в силу первых соотношений (11). Функцию $\varrho_6(x, z)$ оценим сверху расстоянием ϱ_2 между следующими представителями $x(\omega_1)$ и $z(\omega_2)$ классов x и z :

$$\omega_1 = \frac{\pi + \beta}{4}, \quad \omega_2 = \frac{3\pi - \beta}{4}.$$

Прямым вычислением, учитывая (11), можно убедиться, что векторы эксцентриситета этих представителей совпадают:

$$\mathbf{v}_x = \mathbf{v}_z = \frac{e}{2} \left((1+c)\cos^2 \frac{\beta}{2}, (1-c)\cos \frac{\beta}{2}, 2s\sin \frac{\pi + \beta}{4} \right).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \varrho_6^2(x, z) &\leq \varrho_2^2(x, z) \leq s^2 |\exp i(\beta - \omega_1) - \exp(-i\omega_2)|^2 = s^2 |\exp i(\beta - (\omega_1 - \omega_2)) - 1|^2 = \\ &= 2s^2 \left(1 + \sin \frac{\beta}{2} \right) = \frac{4s^2}{1+c} = 4(1-c). \end{aligned} \quad (13)$$

Пара орбит y, z получается из пары z, x сдвигом на $-\beta$ по координате ϖ . Из формулы (9) видно, что такой сдвиг не меняет расстояний ϱ_2 и ϱ_6 . Следовательно $\varrho_6(y, z) = \varrho_6(x, z)$. Из (10,13) следует

$$\frac{\varrho_6(x, y)}{\varrho_6(x, z) + \varrho_6(y, z)} \geq \frac{e}{4} \sqrt{1-c} \left[\frac{4\sqrt{c}}{1+c} - 1 \right]. \quad (14)$$

Правая часть (14) положительна и неограниченно возрастает с ростом e . Таким образом, универсальной постоянной M , обеспечивающей неравенство, не существует.

Однако наш контр-пример требует нереально большого эксцентриситета. Прямой расчет дает для правой части (14) наибольшее значение $0.1576949e$ при $c = 0.4512257$. Таким образом, неравенство треугольника 3 может гарантированно нарушаться для тройки x, y, z только при $e > 6.341360$.

Возможно, для негиперболических орбит Q_6 все же удовлетворяет аксиоме треугольника 3. Пока мы не смогли доказать (или опровергнуть) это утверждение. В его пользу говорят нижеследующие свойства.

Б. Пусть орбита x круговая, а y и z произвольны. Обозначим соответствующие орбитам пары векторов площадей и эксцентриситета $(\mathbf{u}_x, \mathbf{v}_x)$, $(\mathbf{u}_y, \mathbf{v}_y)$ и $(\mathbf{u}_z, \mathbf{v}_z)$. По определению,

$$\varrho_6(y, z) = \min_{R, S} \left| |R\mathbf{u}_y - S\mathbf{u}_z, R^{-1}\mathbf{v}_y - S^{-1}\mathbf{v}_z| \right| = \left| |R_0\mathbf{u}_y - S_0\mathbf{u}_z, (R_0)^{-1}\mathbf{v}_y - (S_0)^{-1}\mathbf{v}_z| \right|. \quad (15)$$

Запятые между парами трехмерных векторов в (15) соединяют их в векторы шестимерные, для которых вычисляется евклидова норма. Минимум берется по всем поворотам R и S трехмерного пространства вокруг оси аппликат. Каждое из этих преобразований соответствует одному значению долготы восходящего узла; R^{-1} и S^{-1} обозначают преобразования векторов $\mathbf{v}_y, \mathbf{v}_z$ такие, что $(R\mathbf{u}_y, R^{-1}\mathbf{v}_y) \sim (\mathbf{u}_y, \mathbf{v}_y)$ и $(S\mathbf{u}_z, S^{-1}\mathbf{v}_z) \sim (\mathbf{u}_z, \mathbf{v}_z)$. Индексом $\mathbb{1}$ отмечена та пара преобразований, на которой достигается минимум.

Пусть P и Q — такие повороты вокруг оси Z , что векторы $\mathbf{u}_x, P\mathbf{u}_y$ и $Q\mathbf{u}_z$ лежат в одной плоскости вместе с ортом \mathbf{k} , по одну сторону от последнего. Тогда

$$\begin{aligned} \varrho_6(y, z) &\geq \left| |P\mathbf{u}_y - Q\mathbf{u}_z, (R_0)^{-1}\mathbf{v}_y - (S_0)^{-1}\mathbf{v}_z| \right|, \\ \varrho_6(x, y) &= \left| |P\mathbf{u}_y - \mathbf{u}_x, \mathbf{v}_y| \right| = \left| |P\mathbf{u}_y - \mathbf{u}_x, (R_0)^{-1}\mathbf{v}_y| \right|, \\ \varrho_6(x, z) &= \left| |Q\mathbf{u}_z - \mathbf{u}_x, \mathbf{v}_z| \right| = \left| |Q\mathbf{u}_z - \mathbf{u}_x, (S_0)^{-1}\mathbf{v}_z| \right|. \end{aligned} \quad (16)$$

Поскольку три шестимерных вектора под знаками нормы в (16) образуют треугольник, выполнено неравенство

$$\varrho_6(x, y) \leq \varrho_6(y, z) + \varrho_6(x, z).$$

По той же причине, оценки

$$\begin{aligned} \varrho_6(y, z) &\leq \left| \left| P\mathbf{u}_y - Q\mathbf{u}_z, P^{-1}\mathbf{v}_y - Q^{-1}\mathbf{v}_z \right| \right|, \\ \varrho_6(x, y) &= \left| \left| P\mathbf{u}_y - \mathbf{u}_x, P^{-1}\mathbf{v}_y \right| \right|, \\ \varrho_6(x, z) &= \left| \left| \mathbf{u}_x - Q\mathbf{u}_z, -Q^{-1}\mathbf{v}_z \right| \right|, \end{aligned}$$

влекут неравенство

$$\varrho_6(y, z) \leq \varrho_6(x, y) + \varrho_6(x, z).$$

Таким образом, если среди трех орбит есть круговая, то найдется треугольник с длинами сторон, равными расстояниям между орбитами. Отметим, что эксцентриситет двух других орбит может быть любым.

В. Введем подмножество $\mathbb{H}_6(\varpi) \subset \mathbb{H}_6$, состоящее из орбит с фиксированной долготой перицентра ϖ . Для пары орбит из этого подпространства минимальное расстояние между представителями классов эквивалентности достигается при значениях аргументов перицентра, равных $\frac{\pi}{2}$ или $\frac{3\pi}{2}$. Фиксируя соответствующего представителя в каждом классе, мы получим изометричное вложение $(\mathbb{H}_6(\varpi), \varrho_6)$ в $(\mathbb{H}_2, \varrho_2)$. Учитывая, что векторы эксцентриситета всех выбранных нами представителей сонаправлены, а векторы площадей лежат в одной полуплоскости, нетрудно заключить, что $(\mathbb{H}_6(\varpi), \varrho_6)$ изометрично прямому произведению полуплоскости и луча с евклидовой метрикой.

Таким образом, пространство $(\mathbb{H}_6(\varpi), \varrho_6)$ — метрическое, и аксиома треугольника 3 справедлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-12-00050).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kholshchevnikov K.V. Metric Spaces of Keplerian Orbits. – Celest. Mech. Dyn. Astron., 2008, vol. 100, 3. pp. 169-179.
2. Холшевников К.В. О метриках в пространствах кеплеровских орбит. – Физика космоса: Труды 45-й международной студ. науч. конф., Екатеринбург, 1-5 февр. 2016 г. – Екатеринбург: Изд. УрФУ, 2016, с. 168-184
3. Kholshchevnikov K.V., Kokhirova G.I., Babadzhanyan P.B., Khamroev U.H. Metrics in the space of orbits and their application to searching for celestial objects of common origin. – MNRAS. 2016, vol. 462, 2, pp. 2275-2283.
4. Milanov D.V. Metrics in Keplerian orbits quotient spaces. – Celest. Mech. Dyn. Astron., 2018, 130:27. <https://doi.org/10.1007/s10569-018-9820-1>
5. Кузнецов Э.Д., Сафронова В.С. Приложение метрик пространства кеплеровых орбит для поиска астероидов на близких орбитах. Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2017, № 4, вып. 2, с. 86-92.
6. Kuznetsov E., Safronova V. Application of metrics in the space of orbits to search for asteroids on close orbits. – Planetary and Space Science. 2018. v. 157, pp. 22-27.

7. Холшевников К.В., Щепалова А.С., Джамати М.С. Об одном фактор-пространстве кеплеровых орбит. - Вестник Санкт-Петербургского университета. 8. Математика. Механика. Астрономия. 2020. Т. 7 (65). Вып. 1. С. 165-174. <https://doi.org/>
8. Хаусдорф Ф. Теория множеств. М.: КомКнига, 2006, 304 с.
9. Бураго Д.Ю., Бураго Ю.Д., Иванов С.В. Курс метрической геометрии. – М.: Ижевск: Изд. ИКИ, 2004, 512 с.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1984, 831 с.

К.В.ХОЛШЕВНИКОВ, Д.В.МИЛАНОВ, А.С.ЩЕПАЛОВА*

ФАЗОИ МАДОРҶОИ КЕПЛЕРҶО ВА ОИЛАИ ОН ДАР ОМИЛҶОИ ФАЗО

*Донишгоҳи Давлатии Санкт-Петербург, Федератсияи Россия,
Институти астрономия амалии Академияи илмҳои Россия

Таҳқиқи робитаи ҷараёнҳои метеороид бо кометаҳо ва астероидҳо ва ҷустуҷӯи ҷирмҳои волидайнӣ - яке аз масъалаҳои ҷолибтарини астрономия мебошад, ки дар ҳалли он П.Б.Бобольонов саҳми назаррас гузоштааст. Нақши калидиро баҳодихии наздикии мадорҳои ҷирмҳои осмонӣ мебошад, ки барои он беҳтарин воситаи он чен кардани фазои 5-ченаки мадори Кеплерӣ мебошад. Дар 15 соли охир якчанд нишондиҳандаҳои пешниҳод карда шуданд, ки ҷойҳои гуногуни мадори Кеплерро ба метрикаи табдил медиҳанд. Фазои омил нақши муҳимро мебошад, ба шумо имкон медиҳад, ки дарозии гирех ё далели перисентрро ё ҳардуи онҳоро сарфи назар кунад. Ин унсурҳо ба таври дунявӣ зерӣ таъсири изтиробҳои гуногун тағйир меёбанд. Ин унсурҳо ба таври дунявӣ зерӣ таъсири изтиробҳои гуногун тағйир меёбанд. Дар ин ҷо мо боз як фазои ҷорумро ҷорӣ мекунем, ки дар он мадорҳо бо дарозии худсаронаи гирехҳо ва далелҳои перисентр муайян карда мешаванд, ба шарте ки ҷамъи онҳо (дарозии перисентр) собит бошад. Функсияе муайян карда шудааст, ки ϱ_6 нақши масофаи байни синфҳои нишон додашудаи мадорҳоро муайян мекунад. Алгоритми ҳисобкунии он аз элементҳои мадори додашуда ва як барномаи мувофиқ дар забон C⁺⁺ оварда шудааст. Мутаассифона, ϱ_6 ин метрика мукамал нест. Мо исбот кардем, ки он ду аксиомаи фазои метриро қонеъ мекунад, аммо сеюм – аксиомаи секунҷа вайрон карда мешавад, ҳадди аққал барои эксцентриситҳои қалон. Аммо, дар ду ҳолати муҳими махсус (яке аз мадорҳо давршакл аст, дарозии перисентрии ҳамаи се мадор рост меояд), аксиомаи секунҷа дуруст аст. Эҳтимол аст, ки он барои ҳамаи мадорҳои эллипсӣ рост бошад, аммо ин таҳқиқоти минбаъдaro талаб мекунад.

Калимаҳои калидӣ: мадори Кеплерӣ, метрӣ, фазои тақсимкунандаи фазои метрӣ, масофаи байни мадорҳо.

K.V.KHOLSHEVNIKOV, D.V.MILANOV, A.S.SHCHEPALOVA*

THE SPACE OF KEPLERIAN ORBITS AND A FAMILY OF ITS QUOTIENT SPACES

St Petersburg University, Russian Federation,

**Institute of Applied Astronomy Russian Academy of Sciences*

The research of relationship of meteoroid streams with comets and asteroids as well as the search of streams' parent bodies is one of the most interesting problems in astronomy. P. B. Babadzhanov made a significant contribution to the solution of this problem. The key notion in this area of research is a notion of the proximity of orbits of celestial bodies, and the measurement instrument for the proximity is a metric on the five-dimensional space of Keplerian orbits. Several metrics were proposed in last 15 years, which turn various spaces of Keplerian orbits into metric spaces. Quotient spaces of orbits, allowing to disregard the longitude of ascending node or the argument of pericenter or both, play an important role. Those elements evolve secularly under the influence of various perturbations. Here we introduce one more quotient space, where two orbits are considered identical if they differ only in their longitudes of nodes and arguments of pericenters, but have the same sum of these elements (the longitude of pericenter). The function Q_6 is defined to calculate distance between two equivalence classes of orbits. The algorithm of calculation of Q_6 value is provided along with corresponding program, written in C++ language. Unfortunately, Q_6 is not a full-fledged metric. We proved that it satisfies first two axioms of metric space, but not the third one: the triangle inequality does not hold, at least in the case of large eccentricities. However there are two important particular cases when the triangle axiom is satisfied: one of three orbits is circular, longitudes of pericenters of all three orbits coincide. Perhaps the inequality holds for all elliptic orbits, but this is a matter of future research.

Key words: keplerian orbit, metric, quotient space of metric space, distance between orbits.

УДК 521.14

Л.Л.СОКОЛОВ, И.А.БАЛЯЕВ, К.С.ХОЛШЕВНИКОВ, Б.Б.ЭСКИН

О СБЛИЖЕНИЯХ И СОУДАРЕНИЯХ АСТЕРОИДОВ С ПЛАНЕТАМИ

Санкт-Петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 18.11. 2020 г.

На примерах опасных астероидов Апофис и 2008 EX5, а также семейств модельных астероидов рассматриваются сближения их с Землей на траекториях, ведущих к соударению с ней. Такие сближения позволяют заблаговременно обнаружить опасный объект, уточнить его орбиту из наблюдений, а также предоставляют потенциальную возможность использования эффекта гравитационного маневра для экономного предотвращения соударения астероида с Землей. Показано, что для реальных опасных астероидов и их возможных соударений предвещающие сближения встречаются чаще, чем для произвольно построенных траекторий соударения.

Ключевые слова: астероиды, эволюция орбиты, сближение, соударения с планетами.

Введение. Важнейшим стимулом исследования астероидов и особенно их траекторий является проблема обеспечения астероидной безопасности Земли. Актуальность этой комплексной проблемы не вызывает сомнений, особенно после падения метеорита под Челябинском в 2013 году. Для ее решения необходимы прежде всего наблюдения астероидов, уточнение их орбит, выделение угрожающих Земле объектов и исследование соответствующих опасных сценариев их возможных движений. Большую работу под эгидой НАСА проводят ученые США. Их результаты представлены, в частности, на регулярно обновляемом сайте sneos.jpl.nasa.gov/sentry/. Информацию об опасных астероидах можно найти также на сайте NEODyS (Пизанский университет, Италия). Проблеме обеспечения астероидно-кометной безопасности посвящено огромное количество статей, монографий, конференций разного уровня.

Прежде всего представляют интерес возможные соударения астероидов с Землей, оценка их вероятности. Важно также исследовать сближения астероидов с Землей. Обыч-

Адрес для корреспонденции: Соколов Леонид Леонидович. 198504, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 28, Астрономический институт им. В.В.Соболева. E-mail: lsok@astro.spbu.ru

но новые опасные объекты открывают в окрестности момента сближения. На сегодня немало опасных астероидов потеряно, среди них есть и крупные, размером в несколько сотен метров. При сближении их с Землей появляется шанс их переоткрытия. И конечно, каждое сближение дает возможность наблюдения, уточнения орбиты, уточнения уровня угрозы.

Актуальна также задача целесообразного изменения орбиты астероида, в частности, увода его от соударений с Землей. Принципиальная трудность, возникающая при ее решении - огромный импульс, который необходимо приложить к астероиду размером в несколько сотен метров. Если не использовать атомный (термоядерный) взрыв, в принципе можно использовать эффект гравитационного маневра, в том случае, если до соударения имеет место тесное сближение с Землей. При этом малые изменения орбиты до сближения увеличиваются на несколько порядков после сближения. Используется даровая и практически неисчерпаемая гравитационная энергия Солнечной системы. Поэтому важно знать, есть ли на траекториях возможных соударений предшествующие тесные сближения, и насколько типично это явление.

Так, в докладе [1] траектории семейства модельных астероидов, имеющих соударения с Землей в некоторый фиксированный момент, вычислялись от этого момента в прошлое на 30 лет. После этого находились изменения скоростей астероидов семейства, необходимые для предотвращения соударений, в зависимости от времени до соударения. В частности, отмечается, что на полученных траекториях предваряющие сближения на расстояние меньше радиуса Хилла (0.01 а.е.) имели место за 30 лет в 518 случаях из 10000, то есть примерно в 5 процентах случаев. Это позволяет уменьшить требуемое для увода от соударения астероида с Землей изменение его скорости примерно на два десятичных порядка.

В настоящей работе будут рассмотрены возможные соударения и сближения с Землей исследованных нами астероидов Апофис и 2008 EX5, а также некоторых семейств модельных астероидов. Особое внимание мы обратим на сближения, предваряющие соударения. Нас прежде всего интересует, насколько типичны такие "предсближения".

Возможные сближения и соударения с Землей астероида Апофис. Астероид Апофис – один из самых известных опасных астероидов. Количество работ, ему посвященных, необозримо. Среди прочего, Апофис демонстрирует тесную связь между возможными соударениями и предшествующими сближениями его с Землей. Открытый американскими астрономами летом 2004 года, в декабре он стал самым опасным с вероятностью соударения с Землей в 2029 году около 3 процентов и размерами порядка 400 метров. Радарные наблюдения в январе 2005 позволили установить невозможность соударения и наличие тесного сближения в 2029 году. Тесное сближение ведет к рассеянию возможных траекторий, включая резонансные возвраты и соударения с Землей в обозримом будущем. Самым опасным оказалось возможное тогда соударение в 2036 году. В 2006-2012 годах Апофис был практически недоступен для наблюдений. В это время продолжа-

лись теоретические исследования возможных опасных траекторий Апофиса, особенно - ведущих к соударению в 2036 году и к резонансным возвратам после 2036 года. Было открыто множество возможных соударений после 2036 года. В 2012-13 годах начались наблюдения Апофиса, после чего возможные соударения в 2036 году, а также все связанные с резонансными возвратами после 2036 года, стали невозможными. Однако незадолго до этого американские исследователи обнаружили вблизи номинальной орбиты Апофиса возможные сближения с Землей в 2051 году. Любопытно, что соударения в 2051 году быть не может, но очень тесные сближения возможны. Эти сближения и соответствующие резонансные возвраты дают огромное число возможных на сегодня соударений Апофиса с Землей. Их в текущем столетии мы нашли порядка сотни. Почему именно сближения в 2051 индуцируют так много соударений - интригующая загадка.

Методы, используемые нами для выделения возможных соударений и сближений астероидов с Землей, изложены в наших предыдущих работах, в частности [2,3].

Таким образом, известные на сегодня траектории, ведущие к соударениям Апофиса с Землей в текущем столетии, имеют тесное (38 тысяч км) сближение с ней в 2029 году, а также сближение с Землей в 2051 году. Для 13 наиболее опасных соударений в табл. 1 приводятся минимальные геоцентрические расстояния в 2051 году на соответствующих траекториях. Траектории упорядочены по положению щелей, ведущих к соударению.

На рис. 1 приведены относительные положения ведущих к сближениям и соударениям щелей и соответствующие минимальные геоцентрические расстояния для виртуального Апофиса [4]. Положения определяются отклонением большой полуоси от номинала в начальный момент. Апофис назван виртуальным, поскольку сближения и соударения рассматриваются в значительно более широкой области, чем та, в которой настоящий Апофис может находиться по современным данным. Видно, что положения соударений и положения сгущений сближений в целом соответствуют друг другу.

Таблица 1

Минимальные геоцентрические расстояния Апофиса (млн. км) в 2051 году на траекториях, ведущих к соударению

N	Год соударения	R_{min} (2051) г., млн. км
1	2076	1.23
2	2068	0.763
3	2077	0.745
4	2091	0.219
5	2078	0.209
6	2065	0.198
7	2066	0.183
8	2074	0.134
9	2055	0.0934
10	2060	0.129
11	2056	0.179
12	2064	1.77
13	2075	1.81

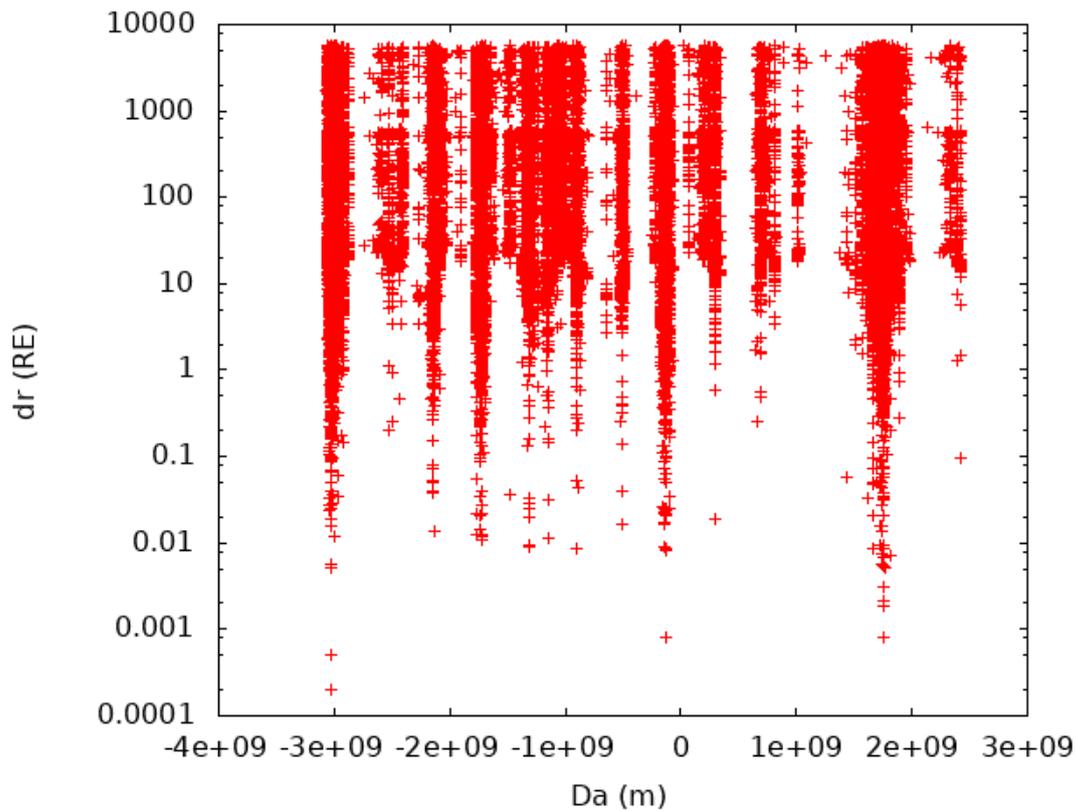


Рис. 1. Сближения и 553 соударения виртуального астероида Апофис с Землей (положения щелей и минимальные геоцентрические расстояния).

Возможные сближения и соударения с Землей астероида 2008 EX5. Аналогичные исследования были проведены на кафедре небесной механики СПбГУ для астероида 2008 EX5 ([4]). Было найдено 59 возможных соударений с Землей в текущем столетии. Из них 9 имели перед соударениями сближения на расстояние менее 0.1 млн. км, 21 – от 0.1 до 0.5 млн. км, 11 – от 0.5 до 1.0 млн. км, 15 – от 1.0 до 3.0 млн. км. Только 3 траектории соударения не имели предваряющих сближений теснее 10^7 км. Номинальная орбита этого астероида не имела в текущем столетии сближений теснее, чем 3.0 млн. км. Большинство сближений на траекториях соударения происходит в 2042 году, много сближений также в 2061 году.

В табл. 2 приведены минимальные геоцентрические расстояния в 2042 году для траекторий, ведущих к первым по времени 7 соударениям с предваряющими сближениями; траектория с соударением в 2068 году имеет минимальное геоцентрическое расстояние в 2042 году более 10^7 км и не включена в таблицу.

Таблица 2

Минимальные геоцентрические расстояния 2008 EX5 (млн. км)
в 2042 году на траекториях, ведущих к соударению

N	Год соударения	R_{\min} (2042) г., млн. км
1	2059	0.090
2	2062	0.335
3	2063	0.089
4	2065	0.335
5	2070	1.29
6	2070	1.14
7	2071	0.690

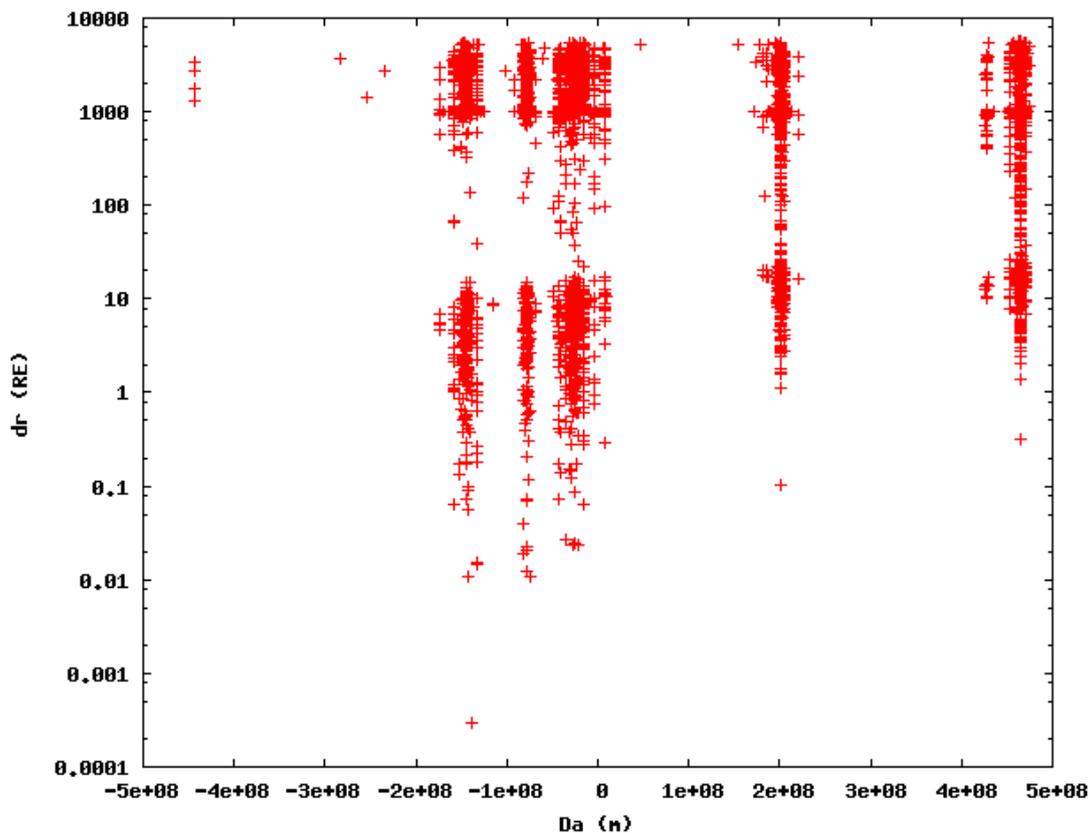


Рис. 2. Сближения и 56 соударений астероида 2008 EX5 с Землей
(положения щелей и минимальные геоцентрические расстояния)

В табл. 3 иллюстрируется эффект гравитационного маневра. Именно, для четырех траекторий соударения приведены минимальные геоцентрические расстояния в 2042 году, а также соответствующий "мультипликатор" k , показывающий, во сколько раз изменение минимального геоцентрического расстояния при соударении больше, чем его изменение в 2042 году. Так, если мы изменили минимальное геоцентрическое расстояние в 2042 году на 10 км, в 2074 году оно изменится на 7900 км – больше радиуса Земли. Конечно, приведенные числа относятся к астероиду 2008 EX5, но для других астероидов картина аналогичная.

Рис. 2 для астероида 2008 EX5 аналогичен рис. 1 для Апофиса. По-прежнему видно, что положения соударений и предшествующих сближений соответствуют друг другу.

Таблица 3

Эффект гравитационного маневра для 2008 EX5 при сближениях в 2042 году на траекториях, ведущих к соударению

Год соударения T	2083	2071	2062	2074
R min (2042) г, млн. км	1.86	0.690	0.355	0.188
$k = \Delta R \text{ min } (T) / \Delta R \text{ min } (2042)$	5	30	150	790

Сближения на траекториях соударения модельных астероидов: интегрирование в прошлое. Рассмотрим множество сближений на траекториях соударения модельных астероидов, полученных методом, аналогичным использованному в [1]. Именно, рассмотрим куб с центром в центре Земли и ребром 1 млн. км. На каждой грани его равномерно распределим 144 точки, всего 864. Построив центральные проекции этих точек на поверхность вписанного в куб шара, получим 864 начальных положения астероида. Будем строить траектории соударения численным интегрированием в прошлое от указанного начала. Предполагаем, что скорости в начальный момент направлены по геоцентрическому радиус-вектору. Рассмотрены два случая. 1. Все модули начальных скоростей одинаковы, их значения изменяются от 3 до 30 км/сек ([5]) с шагом 3 км/сек. 2. Модули начальных скоростей случайны и подчинены распределению Максвелла [5]. На полученных на интервале 100 лет траекториях соударения находились сближения менее, чем на 0.05 а.е. и 0.01 а.е. Результат - доля таких сближений от общего числа траекторий в процентах - приведен ниже. Более подробно использованные методы будут опубликованы в журнале "Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия." Отметим только, что интегрирование производилось методом Рунге-Кутты 4 порядка, точность проверялась интегрированием в обратном направлении; учитывалось притяжение всех планет, движущихся по кеплеровым круговым орбитам, элементы орбит планет близки к реальным; в случае распределения Максвелла было проведено 10 численных экспериментов со случайными модулями скоростей; во всех случаях результаты были получены как с учетом гиперболических гелиоцентрических орбит астероида, так и без их учета.

Таблица 4

Доля астероидов с зафиксированным сближением на указанное расстояние от общего количества астероидов, участвующих в моделировании, в зависимости от значения их начальной геоцентрической скорости. Значения после исключения гиперболических орбит.

Начальная скорость (км/с)	Сближения менее чем на 0,05 а.е., (%)	Сближения менее чем на 0,01 а.е., (%)
3	98.73	46.41
6	97.11	41.09
9	93.40	41.09
12	75.81	35.88
15	64.49	31.55
18	61.76	36.10
21	69.03	39.84
24	75.70	44.98
27	74.78	41.74
30	72.01	40.43

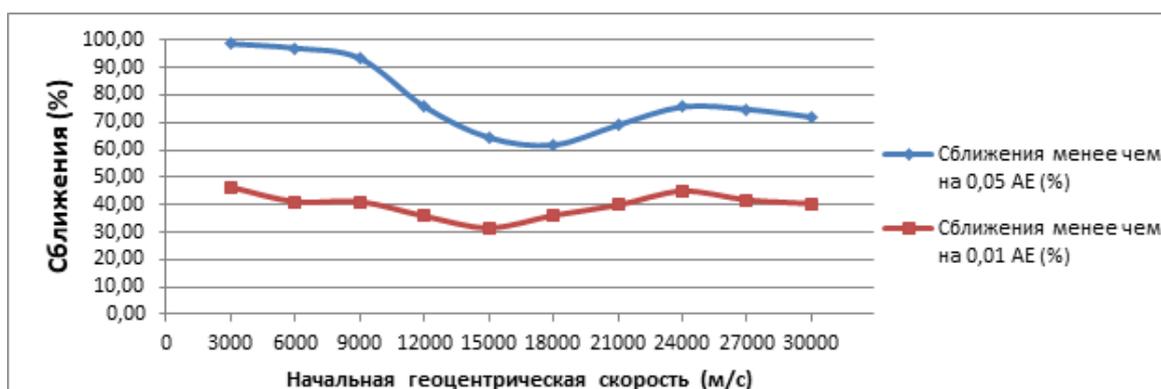


Рис. 3. Процент тесных сближений после исключения гиперболических орбит

В данном случае процент тесных сближений будет равен 74.4 и 38.8 соответственно.

Таким образом, можно сказать, что "в среднем" около 3/4 сталкивающихся с Землей модельных астероидов подходили к Земле в течение предыдущих 100 лет ближе, чем на 0.05 а.е.; а около 2/5 – ближе, чем на 0.01 а.е.

Сближения на траекториях соударения модельных астероидов: интегрирование в будущее. Рассмотрим альтернативный подход к построению множества орбит соударения модельных астероидов. Выберем исходную кеплерову орбиту астероида, рассмотрим множество в том или ином смысле близких траекторий и выделим среди них траектории, ведущие в будущем к соударению. На этих траекториях соударения найдем предшествующие тесные сближения, если они есть. Таким образом можно исследовать различные области в пространстве исходных кеплеровых орбит.

Рассмотрим область эксцентриситетов от 0.0 до 0.8, перигелиев от 0.3 до 1.3, наклонений от 0 до 15 градусов. Эта область содержит большинство опасных АСЗ. В ней берем 10 равноотстоящих значений эксцентриситета, 10 равноотстоящих значений перигелийного расстояния и 5 равноотстоящих значений наклона. Для каждой из 500 получившихся комбинаций эксцентриситета, перигелийного расстояния и наклона вычисляем начальные данные 10^5 астероидов со случайными значениями трех оставшихся угловых переменных. Движение каждого из полученных $5 \cdot 10^7$ модельных астероидов численно прогнозируется на 200 лет в будущее, находятся сближения и соударения с Землей, Луной и планетами. Используется разработанная И.А.Баляевым модификация интегратора Эверхарта [6], значительно увеличившая быстродействие за счет использования однотипности проводимых вычислений. Учитываются только гравитационные возмущения в движении астероидов, используется модель движения планет DE430.

Приведем некоторые результаты численного интегрирования $5 \cdot 10^7$ модельных астероидов, имеющие отношение к рассматриваемому в настоящей статье вопросу. Всего было найдено 868 траекторий соударения. Из них 147 с Землей, 2 с Луной, 81 с Венерой, 14 с Меркурием, 6 с Марсом, 616 с Юпитером, 2 с Сатурном. Из них были выделены соударения, происходящие более, чем через 100 лет после начала интегрирования. Для Земли таких оказалось 72; из них 20 имели предварительные сближения с Землей на расстояние до 0.01 а.е., 70 – на расстояние до 0.05 а.е. Для 5 из 72 соударений предваряющее сближение происходит за 358 - 365 суток до соударения, то есть соударение происходит с резонансной 1/1 орбиты, имеет место "резонансный возврат". Для Венеры было выделено 33 соударения, проходящие через 100 и более лет после начала; все они имели предварительные сближения на расстояние до 0.05 а.е., а 18 – на расстояние до 0.01 а.е. С Юпитером более, чем через 100 лет происходит 327 соударений и только в 28 случаях имеются предваряющие их сближения на расстояние до 0.05 а.е. Сравнительно малое число предваряющих сближений у Юпитера можно, наверное, объяснить его большим периодом.

Заключение. Любопытно вспомнить, что в работе [7] на основе примитивного моделирования и самых общих соображений сформулировано утверждение о том, что опасный астероид обычно появляется в окрестности Земли радиуса 0.1 а.е. за несколько (1-30) лет до соударения с ней. Можно сказать, что если рассматриваются возможные соударения конкретного астероида в будущем, то это утверждение недалеко от истины.

Подводя общие итоги, можно сделать вывод о том, что тенденция наличия тесных сближений астероидов с Землей перед соударением с ней несомненно имеет место. Получаемые оценки числовых характеристик этого явления таковы, что его можно использовать как для экономного увода астероидов от соударения с Землей, так и для обнаружения опасных объектов. Несомненно, вопрос нуждается в дальнейших исследованиях. Это важно еще и потому, что наблюдается неустойчивость результатов (числа предваряющих сближений) по отношению к выбранному для исследования множеству траекторий соударения. Если это возможные траектории конкретного опасного астероида, то после сбли-

жения, особенно – тесного, происходит их рассеяние, и в существенно более широкой области (чем исходная) находится большее число возможных соударений в будущем. Как правило, они связаны с резонансными возвратами. Поэтому особенно важно проводить эти исследования для конкретных опасных астероидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loucks M.E., Carrico J.P., Lu E.T., and Chapman Clark R.. Asteroid Deflection Requirements as a Function of Warning Time. Presented at "Asteroids, Comets, Meteors 2017" Montevideo, Uruguay, April 2017.
2. Sokolov L.L., Bashakov A.A. and Pitjev N.P. Peculiarities of the Motion of Asteroid 99942 Apophis. – Solar System Research, 2008, Vol. 42 No. 1, pp. 18-27.
3. Petrov N., Sokolov L., Polyakhova E. and Oskina K.. Predictions of asteroid hazard to the Earth for the 21st century. – AIP Conference Proceedings 1959, 040012(2018); doi:10.1063/1.5034615
4. Sokolov L., Kuteeva G., Petrov N. and Eskin B.. Hazardous near-Earth asteroids approach. – AIP Conference Proceedings 2171, 13019(2019), <https://doi.org/10.1063/1.5133286>.
5. Kholshchikov K.V. and Shor V.A. Velocity distribution of meteoroids in the vicinity of planets and satellites. – Earth, Moon, and Planets, 1996, 72, pp. 419-423,.
6. Баляев И.А. Об ускорении численного интегрирования уравнений движения астероидов. – Астрономический вестник, 2020, т. 54, № 6, с. 567-576.
7. Елькин А.В., Соколов Л.Л. О последовательных прохождениях АСЗ в окрестностях Земли. – Международная конференция «Астероидная опасность-95», 23–25 мая 1995 г. С.-Петербург. Тезисы докладов. - СПб.: Изд-во МИПАО и ИТА РАН, 1995, т. 2, с. 41.

Л.Л.СОКОЛОВ, И.А.БАЛЯЕВ, К.С.ХОЛШЕВНИКОВ, Б.Б.ЭСКИН

ОИД БА НАЗДИКШАВӢ ВА БАРХУРИИ АСТЕРОИДӢО БО САЙӢРАӢО

Донишгоҳи давлатии Санкт-Петербург

Ба мисол аз намунаҳои астероидҳои хатарнокӣ Апофис ва 2008 ЕХ5, инчунин оилаҳои астероидҳои намунавӣ, наздикшавии онҳо ба Замин дар траекторияҳое, ки боиси бархӯрд бо он мешаванд, баррасӣ карда мешаванд.

Чунин вохӯриҳо имкон медиҳанд, ки қисми хатарнок пешакӣ муайян карда шавад, мадори он аз мушоҳидаҳо аниқ карда шавад ва инчунин имконияти истифодаи маневри ҷозоба барои пешгирии бархӯрди як астероид бо Замин фароҳам оварда шавад. Нишон дода шудааст, ки барои астероидҳои воқеии хатарнок ва бархӯрдҳои эҳтимолии онҳо, равишҳои қаблӣ нисбат ба траекторияҳои бархӯрдҳои худсарона бештар маъмуланд.

Калимаҳои калидӣ: астероидҳо, таҳаввули мадор, наздикшавӣ, бархӯрд бо сайёраҳо.

L.L.SOKOLOV, I.A.BALYAEV, K.S.KHOLSHEVNIKOV, B.B.ESKIN

**ON THE CONVERGENCE AND COLLISIONS OF ASTEROIDS WITH THE
PLANETS**

Saint Petersburg State University, Russia

Using examples of dangerous asteroids Apophis and 2006 EX5, as well as families of model asteroids, we consider their approach to the Earth on trajectories leading to a collision with it. Such approaches allow detecting a dangerous object in advance, clarifying its orbit from observations, and also provide a potential opportunity to use the effect of a gravitational maneuver to economically prevent an asteroid from colliding with the Earth. It is shown that for real dangerous asteroids and their possible collisions, preliminary approaches are more common than for randomly constructed collision trajectories.

Key words: asteroids, orbit evolution, convergence, collisions with the planets.

УДК 523.532

Д.В.МИЛАНОВ, А.С.ЩЕПАЛОВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ОРБИТЫ
СЕМЕЙСТВА КЕПЛЕРОВЫХ ОРБИТ**

Санкт-Петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 20.11.2020 г.

В задачах выявления метеорных потоков, поиска их родительских тел и отождествления фрагментов этих тел важную роль играет такой объект, как средняя орбита потока. Это кеплеровская орбита, полученная усреднением орбит тел, составляющих изучаемую группу. Сама операция усреднения не имеет естественного и однозначного определения, поскольку системы орбитальных элементов разнообразны, а преобразования между ними нелинейны. Мы предлагаем определять среднюю орбиту семейства, основываясь на метрике в пространстве орбит. Следуя Фреше, назовем средним семейства тот элемент пространства, который минимизирует средне-квадратическое расстояние до членов семейства. Доказать существование и единственность такого элемента и найти способ его вычисления — непростая задача. Здесь мы решаем ее для трех метрик, введенных К.В. Холиевниковым на пространстве криволинейных орбит H . Приводятся точные формулы для вычисления среднего семейства орбит в пространстве H и двух его факторпространствах, состоящих из классов орбит, различающихся лишь аргументом перицентра (H/ω) или аргументом перицентра и долготой восходящего узла ($H/(\Omega, \omega)$). Также даны условия существования и единственности средних в этих пространствах: эти условия выполнены для всех выборок, за исключением нигде не плотного множества.

Ключевые слова: кеплерова орбита, метрика, фактор-пространство метрического пространства, расстояние между орбитами, средняя орбита.

Введение. В задачах выявления метеорных потоков, поиска их родительских тел и отождествления фрагментов этих тел важную роль играет такой объект, как средняя орбита потока. Это кеплеровская орбита, полученная усреднением орбит тел, составляющих изучаемую группу.

Адрес для корреспонденции: Миланов Данила Владимирович, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9, Санкт-Петербургский государственный университет. E-mail: danila.milanov@gmail.com

Сама операция усреднения не имеет естественного и однозначного определения. Часто для этой цели используется процедура вычисления среднего арифметического элементов орбит, однако, такой метод имеет недостаток: в разных системах элементов средние орбиты одного и того же семейства тел будут, вообще говоря, различны. Причина этого состоит в нелинейности преобразований перехода между системами элементов.

Мы предлагаем определять среднюю орбиту семейства, основываясь на метрике в пространстве орбит. Именно, для семейства орбит $\mathcal{E}_k, k = 1 \dots n$ назовем средней орбиту

\mathcal{E} , доставляющую глобальный минимум функции

$$F(\mathcal{E}) = \sum_{k=1}^n d^2(\mathcal{E}_k, \mathcal{E}),$$

где $d(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2)$ — расстояние между орбитами. Множество точек глобального минимума F известно как среднее Фреше [1]. Разумеется, существование и единственность такого минимума не гарантированы в общем случае. Однако, их можно ожидать от критерия, реалистично отражающего близость, по крайней мере для «типичной» выборки орбит. Более подробно этот вопрос рассмотрен далее для конкретных критериев.

Заметим, что поэлементная средняя орбита, упомянутая выше, укладывается в рамки нашего определения, если положить

$$d^2(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2) = \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i^1 - \varepsilon_i^2)^2,$$

где $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_5$ — элементы орбиты в выбранной системе.

Далее мы расскажем о вычислении среднего Фреше на пространстве криволинейных кеплеровских орбит \mathbb{H} относительно трех метрик, введенных в работах [3] и [4]. Для этих метрик удастся полностью решить вопрос о существовании и единственности среднего и получить точные формулы для его вычисления.

Среднее в метрике ϱ . Обозначим через \mathbb{H} множество всех непрямолинейных кеплеровских орбит. Метрика, введенная в работе [4], определяет расстояние между орбитами $x, y \in \mathbb{H}$ следующим образом:

$$\varrho(x, y) = \sqrt{(\mathbf{u}_x - \mathbf{u}_y)^2 + (\mathbf{v}_x - \mathbf{v}_y)^2}, \quad (1)$$

где $\mathbf{u}_x, \mathbf{v}_x$ и $\mathbf{u}_y, \mathbf{v}_y$ — отвечающие орбитам x и y пары векторов, заданные формулами

$$\mathbf{u} = \frac{\mathbf{K}}{\mu^2}, \quad \mathbf{v} = \mathbf{e}|\mathbf{u}|.$$

Здесь \mathbf{K} обозначает вектор площадей, а \mathbf{e} — вектор Лапласа–Рунге–Ленца:

$$\mathbf{K} = \mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}, \quad \mathbf{e} = \frac{\dot{\mathbf{r}} \times \mathbf{K}}{\mu^2} - \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}'|},$$

где \mathbf{r} и $\dot{\mathbf{r}}$ — радиус-вектор точки и ее скорость в барицентрической системе координат.

Задача поиска средней орбиты эквивалентна задаче минимизации функции

$$f(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \sum_{k=1}^n ((\mathbf{u}_k - \mathbf{u})^2 + (\mathbf{v}_k - \mathbf{v})^2),$$

при условии

$$\mathbf{u}\mathbf{v} = 0.$$

Здесь \mathbf{u}, \mathbf{v} и $\mathbf{u}_k, \mathbf{v}_k, k = 1 \dots n$ — параметры искомой средней и множества известных орбит, подлежащего усреднению.

Производные функции Лагранжа

$$L(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \lambda) = \sum_{k=1}^n ((\mathbf{u}_k - \mathbf{u})^2 + (\mathbf{v}_k - \mathbf{v})^2) + \lambda \mathbf{u}\mathbf{v}$$

имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}} &= 2 \sum_{k=1}^n (\mathbf{u} - \mathbf{u}_k) + \lambda \mathbf{v} = 2n(\mathbf{u} - \bar{\mathbf{u}} \pm \mu \mathbf{v}), & \frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}} &= 2 \sum_{k=1}^n (\mathbf{v} - \mathbf{v}_k) + \lambda \mathbf{u} \\ &= 2n(\mathbf{v} - \bar{\mathbf{v}} \pm \mu \mathbf{u}), \end{aligned}$$

где

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{u}_k, \quad \bar{\mathbf{v}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{v}_k, \quad \mu = \frac{\lambda}{2n}.$$

Критические точки L удовлетворяют, таким образом, системе уравнений

$$\mathbf{u} + \mu \mathbf{v} = \bar{\mathbf{u}}, \quad \mathbf{v} + \mu \mathbf{u} = \bar{\mathbf{v}}, \quad \mathbf{u}\mathbf{v} = 0,$$

решения $\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0$ которой даются формулами

$$\mathbf{u}_0 = \frac{1}{1-\mu^2} (\bar{\mathbf{u}} - \mu \bar{\mathbf{v}}), \quad \mathbf{v}_0 = \frac{1}{1-\mu^2} (\bar{\mathbf{v}} - \mu \bar{\mathbf{u}}), \quad (2)$$

а параметр μ находится из уравнения

$$\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}\mu^2 - (\bar{\mathbf{u}}^2 + \bar{\mathbf{v}}^2)\mu + \bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}} = 0.$$

Если $\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}} = 0$, то $\mu = 0$ и $\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0$ совпадают со средними арифметическими $\bar{\mathbf{u}}$ и $\bar{\mathbf{v}}$.
Иначе, перепишем уравнение в виде

$$\mu^2 - \mu\nu + 1 = 0, \quad \nu = \frac{\bar{\mathbf{u}}^2 + \bar{\mathbf{v}}^2}{\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}}. \quad (3)$$

Второй дифференциал L

$$d^2L = 2n((d\mathbf{u})^2 + (d\mathbf{v})^2 + 2\mu d\mathbf{u}d\mathbf{v})$$

преобразованием переменных

$$d\mathbf{u} = d\mathbf{x} + d\mathbf{y}, \quad d\mathbf{v} = d\mathbf{x} - d\mathbf{y}$$

приводится к каноническому виду

$$d^2L = 4n((1 + \mu)(d\mathbf{x})^2 + (1 - \mu)(d\mathbf{y})^2).$$

Следовательно, минимумы f вычисляются по формулам (2) и (3), при условии $|\mu| \leq 1$. Такому ограничению удовлетворяет ровно один корень уравнения (3):

$$\mu = \frac{1}{2}(\nu - \operatorname{sgn}\nu\sqrt{\nu^2 - 4}). \quad (4)$$

Если $\mu = \pm 1$, то дифференциал d^2L вырождается, и орбит, минимизирующих $f(\mathbf{u}, \mathbf{v})$, становится бесконечно много. Еще одна исключительная ситуация возникает в случае $\bar{\mathbf{u}} = k\bar{\mathbf{v}}$ для вещественного k , $|k| < 1$. В этом случае выражения (4) и (2) дают $\mu = k$ и $\mathbf{u}_0 = 0$. Напомним, что прямолинейные орбиты не входят в пространство \mathbb{H} и, следовательно, в этом случае задача не имеет решения.

Таким образом, за исключением особых случаев, описанных выше, среднее Фреше в пространстве (\mathbb{H}, ϱ) существует, единственно и вычисляется по формулам (2). Отметим, что в пространстве выборок размера n множество особых точек замкнуто и нигде не плотно, и поэтому вряд ли осложнит практические расчеты.

Рассеяние орбит семейства естественно оценить средним квадратом расстояния до средней орбиты. Раскрыв скобки и выполнив преобразования, получим

$$\begin{aligned} R = \frac{f(\mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0)}{n} &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\left(\mathbf{u}_k - \frac{\bar{\mathbf{u}} - \mu\bar{\mathbf{v}}}{1 - \mu^2} \right)^2 + \left(\mathbf{v}_k - \frac{\bar{\mathbf{v}} - \mu\bar{\mathbf{u}}}{1 - \mu^2} \right)^2 \right) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\mathbf{u}_k^2 + \mathbf{v}_k^2) - \frac{\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}}{\mu} = \overline{\mathbf{u}^2} + \overline{\mathbf{v}^2} - \frac{\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{v}}}{\mu}. \end{aligned}$$

Для семейства близких между собой орбит величина $|\nu^{-1}|$ мала. Среди метеорных потоков [2] максимальное ее значение равно 0.028 (поток 164 Northern June Aquilids), медианное — 0.0005. Приближение первого порядка по ν^{-1}

$$\mathbf{u}_0 \approx \bar{\mathbf{u}} - \frac{1}{\nu}\bar{\mathbf{v}}, \quad \mathbf{v}_0 \approx \bar{\mathbf{v}} - \frac{1}{\nu}\bar{\mathbf{u}}$$

дает представление о величине отклонения параметров \mathbf{u}, \mathbf{v} средней орбиты от средних арифметических тех же параметров семейства.

Среднее в метрике ϱ_ω и $\varrho_{\Omega, \omega}$. В работах [3] и [4] рассмотрены три фактормножества пространства криволинейных орбит \mathbb{H} с метрикой ϱ , полученные отождествлением орбит, различающихся только аргументом перицентра (\mathbb{H}/ω), долготой восходящего узла (\mathbb{H}/Ω) либо обоими элементами ($\mathbb{H}/(\Omega, \omega)$). В качестве критериев близости элементов \mathbb{H}/ω , \mathbb{H}/Ω и $\mathbb{H}/(\Omega, \omega)$ введены функции

$$\varrho_\omega = \min_{\omega_1, \omega_2} \varrho, \quad \varrho_\Omega = \min_{\Omega_1, \Omega_2} \varrho, \quad \varrho_{\Omega, \omega} = \min_{\omega_1, \omega_2, \Omega_1, \Omega_2} \varrho,$$

и даны их явные выражения через элементы орбит.

Как показано в статье [5], пространства $(\mathbb{H}/\omega, \varrho_\omega)$ и $(\mathbb{H}/(\Omega, \omega), \varrho_{\Omega, \omega})$ изометрично вкладываются в \mathbb{R}^4 и \mathbb{R}^3 . Образы пространств представляют собой выпуклые множества с разрезами, обусловленными требованием непрямолинейности орбит: $\mathbf{u} \neq 0$. Такие вложения позволяют свести задачу вычисления средней орбиты к поиску обычного среднего арифметического векторов евклидова пространства. Следующие из этих соображений простые формулы для вычисления кеплеровских элементов средней орбиты были получены в [6]. Мы приводим их ниже.

$$p_m = \frac{1}{n^2} \left(\sum_{j=1}^n p_j + 2 \sum_{1 \leq j < k} \sqrt{p_j p_k \cos I_{jk}} \right), \quad (5)$$

$$e_m = \frac{1}{n\sqrt{p_m}} \sum_{j=1}^n e_j \sqrt{p_j}, \quad (6)$$

$$\cos i_m = \frac{1}{n\sqrt{p_m}} \sum_{j=1}^n \sqrt{p_j} \cos i_j, \quad (7)$$

$$(\sin \Omega_m, \cos \Omega_m) = \frac{1}{n\sqrt{p_m \sin i_m}} \sum_{j=1}^n \sqrt{p_j} \sin i_j (\sin \Omega_j, \cos \Omega_j), \quad (8)$$

где I_{jk} — взаимный наклон ориентированных орбит. В пространстве $(\mathbb{H}/\omega, \varrho_\omega)$ наклон определяется равенством

$$\cos I_{jk} = \cos i_j \cos i_k + \sin i_j \sin i_k \cos(\Omega_j - \Omega_k), \quad (9)$$

а в пространстве $(\mathbb{H}/(\Omega, \omega), \varrho_{\Omega\omega})$ равенством

$$I_{jk} = i_j - i_k. \quad (10)$$

В случае $\sin i_m = 0$, долгота восходящего узла Ω_m не определена.

Поскольку среднее в рассматриваемых пространствах суть среднее арифметическое в евклидовых пространствах–образах, полученные решения единственны. Иначе обстоит дело с существованием. Для существования среднего относительно метрики ϱ_ω необходимо и достаточно выполнение условия $\sum \mathbf{u}_k \neq \mathbf{0}$. Для метрики $\varrho_{\Omega,\omega}$ среднее существует, если плоскость хотя бы одной орбиты не совпадает с базовой, либо $\sum \mathbf{u}_k \neq \mathbf{0}$. Оба эти ограничения происходят из требования $\mathbf{u} \neq \mathbf{0}$ для средней орбиты и вряд ли обременительны для практических расчетов.

Величины

$$R_\omega = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varrho_\omega^2(X_i, X_m) \quad \text{и} \quad R_{\Omega,\omega} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varrho_{\Omega,\omega}^2(Y_i, Y_m) \quad (11)$$

дают удобные численные характеристики рассеяния орбит семейства. R_ω и $R_{\Omega,\omega}$ представляют собой оценки следов матриц ковариаций образов орбит в евклидовых пространствах. В кеплеровских элементах R_ω и $R_{\Omega,\omega}$ выражаются одинаково:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i (1 + e_i^2) - p_m (1 + e_m^2), \quad (12)$$

но значения их различны, поскольку элементы p_m и e_m по-разному вычисляются в \mathbb{H}/ω и $\mathbb{H}/(\Omega, \omega)$.

Благодарность. Мы благодарим профессора К.В.Холшевникова за ценные замечания, сделанные им при подготовке доклада.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 18-12-00050).

ЛИТЕРАТУРА

1. Fréchet M. Les éléments aléatoires de nature quelconque dans un espace distancié. – Annales de l'institut Henri Poincaré, 1948, vol. 10, no. 4, pp. 215-310.

2. Jenniskens P., Nénon 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, 266, pp. 331-354.
3. Kholshchevnikov K.V. Metric Spaces of Keplerian Orbits. – *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2008, 100(3), pp. 169-179.
4. Kholshchevnikov K.V., Kokhirova G.I., Babadzhanov P.B., Khamroev U.H. Metrics in the space of orbits and their application to searching for celestial objects of common origin. – *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2016, 462(2), pp. 2275-2283.
5. Milanov D.V. Metrics in Keplerian orbits quotient spaces – *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2018, 130(3), 27.
6. Milanov D.V. On Local Normability of Spaces of Keplerian Orbits – *Vestnik St. Petersburg University, Mathematics*, 2019, 52(3), pp. 317-326.

Д.В.МИЛАНОВ, А.С.ЩЕПАЛОВА

МУАЙЯН КАРДАНИ МАДОРҶОИ МИЁНАИ ОИЛАИ МАДОРИ КЕПЛЕРҶО

Донишгоҳи давлатии Санкт-Петербург

Дар ин вазифаҳо муайян кардани селҳои метеоро, ҷустуҷӯи ҷирмҳои волидайнӣ онҳо ва муайян кардани пораҳои ин ҷирмҳо, ба монанди мадори миёнаи ҷараён, нақши муҳим мебозад. Ин мадори Кеплерӣ аст, ки тавассути ҳисоби миёнаи мадори ҷирмҳое, ки гурӯҳи таҳқиқшавандаро ташкил медиҳанд, ба даст оварда шудааст. Худи амалиёти миёна ба таърифи табиӣ ва якрағ бархӯрдор нест, зеро системаҳои элементҳои мадор гуногунан ҳастанд ва дигаргуниҳои байни онҳо ғайрихаттӣ мебошанд. Мо пешниҳод менамоем, ки мадори миёнаи оила аз рӯи метрӣ дар фазои мадор муайян карда шавад. Аз рӯи Фреше, мо мадори миёнаи оиларо он унсурро меномем, ки масофаи миёнаи квадрати ба аъзои оила кам мекунад. Исбот кардани мавҷудият ва ягонагии чунин унсур ва ёфтани роҳи ҳисоб кардани он кори осон нест. Дар ин ҷо мо се метриқхоро ҳисоб менамоем, ки К.В.Колшевников дар фазои қачиҳои мадорҳои N ҷорӣ кардааст. Формулаҳои дақиқ барои ҳисоб кардани оилаи миёнаи мадорҳо дар фазои N ва ду фазои омили он, ки аз синфҳои мадорҳо иборатанд, ки танҳо бо далели перисентр (H/ω) ё далели перисентр ва дарозии гиреҳи болораванда фарқ мекунад ($H/(\Omega, \omega)$) оварда мешаванд. Шартҳо барои мавҷудият ва беҳамтоии воситаҳо дар ин фазоҳо низ фароҳам оварда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: мадори кеплерӣ, метрӣ, фазои таксимкунандаи фазои метрӣ, масофаи байни мадорҳо, мадори миёна.

DETERMINATION OF THE MEAN ORBIT OF A FAMILY KEPLERIAN ORBITS

Saint Petersburg State University

In problems of identifying meteor showers, searching for their parent bodies and identifying fragments of these bodies the average orbit of the stream plays an important role. This is the Keplerian orbit obtained by averaging the orbits of the bodies that make up the group under study. The averaging operation itself does not have a natural and unambiguous definition, since the systems of orbital elements are diverse, and the transformations between them are nonlinear. We propose to determine the average orbit of the family based on the metric in the orbit space. Following Frechet, we define the mean of the family as an element of the space that minimizes the mean-square distance to family members. It is not an easy task to prove the existence and uniqueness of such an element and find a way to calculate it. Here we accomplish it for three metrics which were introduced by K.V. Kholshchevnikov on the space of curvilinear orbits H . Exact formulas are given for calculation of the mean of a family of orbits in the space H and its two quotient spaces, consisting of classes of orbits that differ only in the argument of the pericenter (H / ω) or the argument of the pericenter and the longitude of the ascending node ($H / (\Omega, \omega)$). Conditions for the existence and uniqueness of means in these spaces are also given: these conditions are satisfied for all samples, with the exception of a nowhere dense set.

Key words: keplerian orbit, metric, quotient space of metric space, distance between orbits, mean orbit.

УДК 523.532

Б.М.ШУСТОВ

**О ПРИЧИНАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЗНАЧЕНИЕ ИНДЕКСА МАССЫ
МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ**

Институт астрономии Российской академии наук

Поступила в редакцию 20.11.2020 г.

Проанализированы формы (наклоны) спектров масс метеороидов. В целом, формы спектров масс метеорных тел, вызывающих явления спорадических метеоров, в дифференциальном виде близки $dN \propto N^2 dM$ (соответствует индексу массы метеорных тел $s = 2$). Вид этого спектра может быть объяснен случайным характером процесса образования метеороидов – (последовательной) фрагментацией родительских тел метеороидов. Отклонения от этого вида отражают влияние факторов, доминирующих при дальнейшей эволюции населения метеороидов.

Ключевые слова: метеор, метеороид, индекс массы.

Введение. В апреле 2017 г. комиссия F1 Международного астрономического союза приняла решение [1] использовать в дальнейшей работе следующий термин: *метеороид* – это твердый природный объект размером примерно от 30 микрометров до 1 метра, движущийся в межпланетном пространстве или приходящий из него. Если метеороид входит в атмосферу и вызывает явление метеора, то применяют также термин «метеорное тело». Определяемое из наблюдений распределение метеороидов по массе обычно описывают степенным законом:

$$dN = cM^{-s} dM, \quad (1)$$

где dN – число частиц, значения массы которых лежит в интервале $[M, M+dM]$, c – нормирующий коэффициент, а s - (дифференциальный) индекс массы метеороидов (метеорных тел). Иногда используют также понятие т.н. кумулятивного индекса массы α , причем $\alpha = s - 1$. Используемый до сих пор даже в научной литературе термин «индекс массы ме-

Адрес для корреспонденции: Шустов Борис Михайлович, 119017, Россия, г. Москва, ул. Пятницкая, 48. Институт астрономии РАН. E-mail: bshustov@inasan.ru

теоров» [см., например, 2] физически некорректен, т.к. какая может быть масса у явления? Мы будем использовать более точный, хотя и более громоздкий термин «индекс массы метеорных тел», или «индекс массы метеороидов».

Индекс массы для любой конкретной популяции метеороидов – весьма важная характеристика, т.к. она позволяет весьма наглядно описать распределение числа этих тел по массе (спектр масс). Значения $s < 2$ указывают на то, что в более крупных (массивных) частицах содержится бóльшая часть массы населения метеороидов, а значения $s > 2$ указывают на то, что большая часть массы сосредоточена в мелких частицах.

Очевидно, что при решении одной из главных задач метеорной астрономии – оценке притока массы метеороидов различных размеров на Землю, совершенно необходимо знать спектр масс, то есть значение индекса массы s . Есть и очевидный прикладной аспект – необходимо знать спектр масс метеороидов для оценки рисков (последствий) столкновений метеороидов с космическими аппаратами. Эта оценка сильно зависит от того, какого размера (массы) объекты преобладают в потоке околоземных метеороидов.

Спектры масс метеороидов. В принципе следует различать спектры масс метеороидов, населяющих межпланетное пространство и метеорных тел, т.к. статистика последних может отличаться по сравнению со статистикой межпланетных метеороидов вследствие гравитационной фокусировки экранирования Землей [см. 3]. Однако, главное влияние эти факторы оказывают на величину плотности потока метеороидов, а не на форму спектра масс, так что в этой работе мы их не учитываем и считаем, что форма спектра (индексы масс) для межпланетных метеороидов и метеорных тел не различаются.

Спектр масс метеороидов определяют из наблюдений различными способами: из метеорных наблюдений в оптическом и радиодиапазонах, анализа повреждений КА и с помощью датчиков соударений. Определение массы вошедшего в атмосферу метеороида по метеорным проявлениям – важная, хотя и весьма непростая задача. Здесь мы не будем обсуждать этот вопрос, а обратимся к результатам определения индекса массы, полученным различными группами исследователей.

Согласно результатам длительных серий наблюдений, выполненных многими исследователями, можно сделать важный вывод – индексы массы метеорных тел как правило отличаются для спорадических метеоров и метеорных потоков.

В классической работе [4] были не только определены значения индекса s по наблюдениям спорадических метеоров в Таджикистане, но также изучены суточные и сезонные вариации индекса. Проанализировано более 200000 метеорных эхо-сигналов, наблюдавшихся радиосредствами в 1965–1970 годах. Оказалось, что суточный ход индекса s имел минимальное значение (1.96) в период 10–12 часов стандартного душанбинского времени, и максимальные значения (2.15–2.28) в период 18–22 часов. Среднее значение s равно 2.1 ± 0.1 в диапазоне масс метеороидов 0.001–100 г. Определенной закономерности в сезонном изменении индекса s не выявлено. В работе [5] представлены результаты определения индексов массы по четырехлетним радарным наблюдениям спорадических ме-

теоров с помощью одного из лучших радиоинструментов для наблюдений метеоров – радара CMOR (the Canadian Meteor Orbit Radar). Получено среднее значение и оценены вариации индекса: $s = 2.17 \pm 0.07$. Вариации характеризуют население метеороидов на различных участках земной орбиты. Аналогичные результаты получены с радаром, расположенным в Аргентине – в [6] опубликовано полученное за десятилетний период наблюдений значение $s = 2.0$.

Оптические наблюдения дают для спорадических метеоров сходный набор значений s . В работе [7] по наблюдениям на двух камерах Супер-Шмидт слабых метеоров и на малой камере ярких метеоров (болидов) получено значение $s = 2.1$. Оценки блеска 301499 метеоров, полученные 1196 наблюдателями в сети Международной Метеорной Организации (ИМО) из оптических (видео) регистраций метеорных событий в период 1988–2003 гг., позволили получить оценку $s = 2.17 \pm 0.03$ [8]. В работе [9] по наблюдениям на сети ИМО, проведенным в 2011–2017 гг., получены значения популяционных индексов для спорадических метеоров, при этом среднее значение s составило 2.08. Там же приведены данные о популяционных индексах r метеорных потоков η -Лириды и η -Аквариды, для которых можно вывести (по формуле $s = 1 + 2.5 \log(r)$) значения $s = 1.74$ и 1.72 соответственно. В работе [10] по наблюдениям Квадрантид и Геминид с радаром CMOR значения индекса массы были оценены как 1.55 и 1.65 соответственно. Последняя оценка прекрасно согласуется с полученной гораздо ранее в работе [11] средней оценкой $s = 1.67$ для метеорного потока Геминид.

Суммируя этот краткий обзор, можно утверждать, что характерное распределение масс метеорных тел, вызывающих спорадические метеоры, неплохо описывается законом $dN \propto M^2 dM$, тогда как распределение масс метеорных тел в метеорных потоках имеет более пологий вид ($s < 2$). Представление о зависимости числа объектов естественного происхождения в ближнем космосе от их массы в очень широком диапазоне масс даёт диаграмма, адаптированная из [12] и показанная на рис. 1. На этом рисунке приведены сводные данные (по многим экспериментам и моделям) кумулятивного числа столкновений объектов естественного происхождения с Землей (за год). Для сравнения нанесена линия, наклон которой соответствует значению индекса массы $s = 2$.

Причины, определяющие вид спектра масс метеорных тел. Естественно, возникает вопрос – почему наклон спектра масс в случае спорадических метеоров близок к -2? И второй вопрос – почему спектр масс метеорных потоков более пологий, чем у спорадических метеоров. В этой небольшой работе предложен ответ на очень общий (практически «философский») первый вопрос. Вопрос действительно общий, т.к. близость вида спектра масс к закону $dN \propto M^2 dM$ характерна для самых различных ансамблей астрономических объектов.

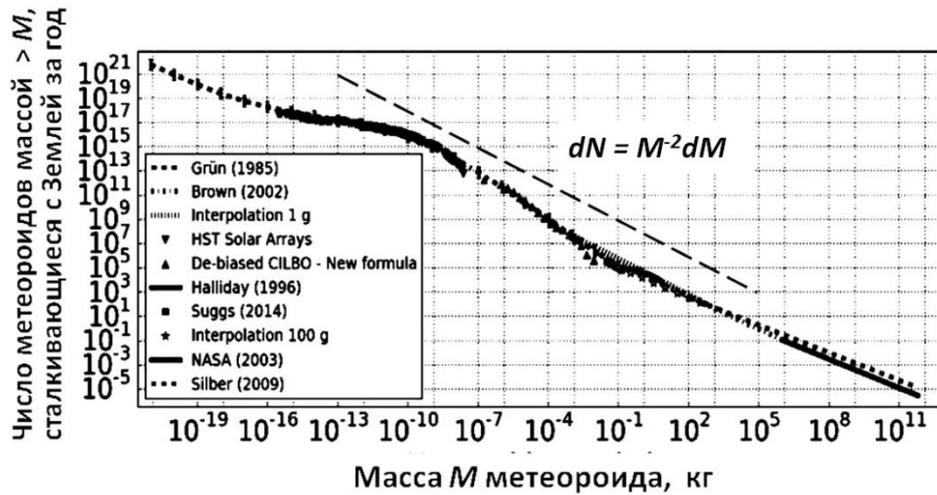


Рис. 1. Число метеороидов с массой, превышающей M , сталкивающихся с Землей за год [11]. Штриховой линией показана зависимость $dN \propto M^{-2}dM$ в диапазоне масс, соответствующему современному определению метеороида.

В [13] представлен некий, тоже «философский», ответ на вопрос о причинах универсальности спектров масс. «Философская» суть ответа состоит в следующем. Особенности образования и разрушения астрономических объектов на различных масштабах, как правило, сложны и определяются многими факторами и конкурирующими процессами. Если процессов много и все они вносят сравнимый вклад, их совместный результат можно представить как результат некоторого случайного процесса, который можно представить как некоторый статистический шум. Один из наиболее важных видов такого шума – т.н. белый шум. Белый шум – это статистическое представление случайного сигнала, имеющего одинаковую интенсивность на разных частотах, то есть у такого сигнала нет выделенных частот (или длин волн). Если от случайной величины – длины волны (линейного масштаба λ) перейти к массе (т.е. λ^3), то можно показать [см. 13], что условие отсутствия выделенного масштаба λ , приводит к значению показателя наклона в спектре масс «-2» (соответствует $s = 2$). На некоторых этапах могут доминировать те или иные факторы, и тогда можно говорить об определенной (выделенной) «физике процесса», вызывающей отклонения от случайности. Таким образом, спектр масс естественных небесных тел отражает особенности происхождения и эволюции ансамбля таких тел. Например, при образовании звезд из молекулярных облаков имеет место случайный процесс фрагментации облаков на фрагменты звездных масс (ядра). При этом получается спектр масс звезд, близкий к $dN \propto M^{-2}dM$. В [13] обсуждаются особенности спектров масс крупных космических объектов – ядер молекулярных облаков, звезд, звездных скоплений, галактик и скоплений галактик. В [14] этот диапазон расширен еще больше, вплоть до масштабов космической пыли.

В процессе эволюции населений астрономических тел (как газовых, так и твердых) спектр масс меняется вследствие двух основных и противоположных по действию процессов. Эти процессы – разрушение (фрагментация) объектов и их слияние (коагуляция). И фрагментацию, и коагуляцию можно наблюдать в природе на самых различных масштабах. Математическое описание этих процессов – сложная задача. Одно из наиболее полных описаний можно найти в [15].

В отличие от, например, процессов формирования галактик или пыли в протопланетных облаках, роль процессов слияния в эволюции населения метеороидов практически незначительна. Метеороиды образуются в результате распада комет, столкновений астероидов и более крупных метеороидов, а также в результате выброса твердого вещества с поверхности таких тел, как Луна или Марс, в результате высокоскоростных ударов об эти тела достаточно крупных тел. Согласно сложившимся представлениям, большинство метеорных потоков образуется в результате распада комет. Например, полученная в [16] оценка плотности метеорных тел в потоке Персеид (0.4 г/см^3) согласуется именно с их кометным происхождением. По-видимому, значительная часть метеороидов, вызывающих при входе в атмосферу явление спорадических метеоров, являются результатом распада метеорных потоков вследствие возмущающего влияния планет.

Итак, именно процесс фрагментации играет основную роль в появлении новых метеороидов. Фрагментация исходного твердого тела может произойти либо очень быстро (столкновительная фрагментация), либо в более замедленном режиме (распад комет вследствие испарения ледяной компоненты). Отметим, что в жизни малых тел Солнечной системы столкновения – обычное явление, они играли особенно большую роль на ранних стадиях эволюции Солнечной системы. Например, практически на всех снимках астероидов, сделанных с высоким разрешением с помощью космических аппаратов, видны многочисленные следы ударов. Столкновения малых тел на относительных скоростях, типичных для современной Солнечной системы, как правило приводят к (частичной) фрагментации сталкивающихся тел. Каменистые метеороиды, появившиеся в результате распада комет вследствие испарения, бывшие достаточно крупными вкраплениями в ледяные кометные тела, когда-то образовались также в результате предыдущей столкновительной эволюции твердых тел. Поэтому мы рассматриваем фрагментацию (возможно многократную) как основной процесс, ответственный за образование метеороидов. В мировой литературе имеется большое количество работ как теоретических, так и экспериментальных по изучению (многократной) фрагментации. В силу публикационных ограничений укажем только работы [17] и [18]. В работе [18] показано, что фрагментация тел, в которых нет каких-то выделенных субструктур определенного масштаба, приводит к образованию тел (фрагментов), спектр масс которых близок к $dN \propto M^{-2} dM$.

Заключение. В рамках небольшой статьи невозможно привести детальную аргументацию выводов, тем не менее, по-видимому, можно полагать, что спектры масс населений малых тел Солнечной системы, включая метеороиды, как и спектры масс более

крупных астрономических объектов во Вселенной в дифференциальном виде близки к $dN \propto M^2 dM$. Для метеороидов это соответствует значению индекса массы $s = 2$. Отклонения от этого вида отражают влияние факторов, доминирующих при образовании и дальнейшей эволюции населений малых тел. Для метеорных потоков, для которых типично значение индекса массы метеорных тел $s < 2$, то есть. более мелких тел в потоке относительно меньше, чем в случае спорадических метеоров, это уменьшение вполне вероятно связано с действием эффекта Пойнтинга-Робертсона [см., например, 19]. Исходя из изложенного, можно ожидать, что для очень молодого метеороидного роя значение s должно быть близко к 2, а у более старых роев оно падает. Проверка этого предположения – хорошая задача как для наблюдателей, так и для теоретиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koschny D. and Borovicka J., WGN, Journal of the International Meteor Organization, 2017, 45, 91.
2. Vida D., Campbell-Brown M., Brown P. G., Egal A. and Mazur M. J., A&A, 2020, 635, A153.
3. Moorhead A. V., Egal A., Brown P. G., Moser D. E. and Cooke W. J., Journal of Spacecraft and Rockets, 2019, 56, 1531.
4. Babadzhанov P. B. and Bibarsov R. S., Astronomicheskii Vestnik, 1992, 26, 103.
5. Blaauw R. C., Campbell-Brown M. D. and Weryk R. J., MNRAS, 2011, 412, 2033.
6. Janches D., Brunini C. and Hormaechea J. L., AJ, 2019, 157, 240.
7. Babadzhанov P. B., in A. Milani, M. di Martino, and A. Cellino, eds., Asteroids, Comets, Meteors 1993, IAU Symposium, 1994, v. 160, 45-54.
8. Rendtel J., in M. Triglav-Čekada and C. Trayner, eds., Proceedings of the International Meteor Conference, 22nd IMC, 2004 Bollmannsruh, Germany, 2003, pp. 114-122.
9. Molau S., Crivello S., Goncalves R., Saraiva C., Stomeo E., Kac J. – WGN, Journal of the International Meteor Organization, 2017, 45, 144.
10. Blaauw R.C., Campbell-Brown M.D. and Weryk R.J. - MNRAS, 2011, 414, 3322.
11. Babadzhанov P.B., Isamutdinov S.O., Chebotarev R.P. – Astronomicheskii Vestnik, 26, 93, 1992.
12. Drolshagen G., Koschny D., Drolshagen S., Kretschmer J., Poppe B. P&SS, 2017, 143, 21.
13. Shustov B.M., Tutukov A.V. Astronomy Reports, 2018, 62, 724.
14. Shustov B.M. – INASAN Science Reports, 2019, 4, 356.
15. Berton J., Random Fragmentation and Coagulation Processes., (Cambridge University Press), 2006.
16. Kokhirova G.I., Babadzhанov P.B., Khamroev U.H., Latipov M.N., Faizov S.B., - MNRAS, 2020, 494, 1018.
17. Babadjanov P.B., Novikov G.G., Lebedinets V.N., Blokhin A.V. In Middle Atmosphere Program, 1987, vol. 25, pp. 218-221.
18. Brown W.K. – Journal of Astrophysics and Astronomy, 1989, 10, 89.
19. Tomko D. and Neslušan L. A&A, 2016, 592, A107.

Б.М.ШУСТОВ

**ДАР БОРАИ САБАБҲОИ МУАЙЯН КАРДАНИ АРЗИШИ ИНДЕКСИ
МАССАИ ЧИСМҲОИ МЕТЕОРҲО**

Институти астрономияи Академияи илмҳои Россия

Шаклҳо (нишебҳо)-и спектри массаи метеороидҳо таҳлил карда мешаванд. Умуман, шаклҳои спектри массаи ҷисмҳои метеорикӣ, ки падидаҳои метеорҳои спорадикро ба вуҷуд меоранд, дар шакли дифференциалӣ наздик ба $dN \propto N^{-2}dM$ (ба индекси массаи ҷисмҳои метеорҳо $s = 2$) мувофиқ мекунад. Пайдо шудани ин спектрро бо хусусияти та-содуфии раванди ташаккули метеороидҳо (пайдарпай) пора-пора шудани ҷисмҳои воли-даини метеороидҳо шарҳ додан мумкин аст. Дуршавӣ аз ин намуд таъсири омилҳои бар-таридошта ба эволютсияи минбаъдаи шумораи аҳолии метеороидҳоро инъикос мекунад.

Калимаҳои калидӣ: метеор, метеороид, индекси массаҳо.

B.M.SHUSTOV

**ON THE REASONS THAT DETERMINE THE VALUE OF THE MASS INDEX
OF METEOR BODIES**

Institute of astronomy of the Russian Academy of Sciences

The shapes (slopes) of the meteoroid mass spectra are analyzed. In general, the forms of the mass spectra of meteor bodies that cause sporadic meteor phenomena in differential form are close to $dN \propto M^{-2}dM$ (this corresponds to meteoroid massindex $s = 2$). The appearance of this spectrum can be explained by the random nature of the meteoroid formation process –(sequen-tial) fragmentation of the parent bodies of meteoroids. Deviations from this reflect the influence of factors that dominate further evolution of the meteoroid population.

Key words: meteor, meteoroid, mass index .

УДК 523.532

T.J. JOPEK, G.I. KOKHIROVA*, P. JENNISKENS**, D. JANCHES***,
M. HAJDUKOVA****, R. RUDAWSKA*****

IAU METEOR DATA CENTER: THE SHOWER DATABASE

Astronomical Observatory Institute, Faculty of Physics, A. M. University, Poznan, Poland,

***Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan,*

****SETI Institute, 189 Bernardo Ave, Mountain View, CA, 94043, USA,*

*****NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 20771, USA,*

******Astronomical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia,*

******ESA/ESTEC, Keplerlaan 1, 2201, AZ Noordwijk, the Netherlands*

Поступила в редакцию 22.01.2021 г.

The IAU Working Group on Meteor Shower Nomenclature was established in 2006 to regulate the nomenclature of meteor showers reported in the scientific literature. One year later the International Astronomical Union Meteor Data Center shower database was implemented (IAU MDC). The database does not contain all information about the meteor showers. Its purpose is to give each new meteoroid stream, published in the scientific literature, a unique name and codes.

During the “Meteoroids 2019” conference held in Bratislava, the IAU Working Group on Meteor Shower Nomenclature established new rules for the introduction and removal of meteor showers from the MDC. In this paper, we present a concise description of the meteor shower database, its origin, and structure and, in particular, the current requirements for the introduction of new data, and unknown as well as known meteor showers.

Key words: meteoroid stream, meteor shower, IAU MDC shower database, meteor shower nomenclature rules, new meteor shower submission rules.

Introduction

A phenomenon of meteoroid shower or meteoroid stream has been correctly interpreted by astronomers in the half of the XIX century. It was realized that in the Earth nearby space a compact group of tiny bodies is orbiting around Sun like a swarm of bees or in the form of the

Адрес для корреспонденции: Кохирова Гулчехра Исроиловна. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бухоро, 22, Институт астрофизики НАНТ. E-mail: kokhirova2004@mail.ru

extended stream of small particles. What these particles of matter had in common was that they orbited Sun in very similar orbits.

Today, many meteoroid stream are known, to date (December 2020), 835 meteoroid showers (streams) are registered at the IAU MDC database¹, among them 112 were officially named by the International Astronomical Union [1-3].

However as to the ~700 showers included in the Working List of the Meteor Data Center, there is no consensus among all meteor astronomers. Many researchers have identified different numbers of the meteoroid streams, e.g.: among the photographic meteoroids orbits Lindblad [4] found 78 streams; Jopek [5] provides a list of 88 streams; Terentjeva [6] among the visual and photographic data identified 168 streams; Sekanina [7] found 275 radio-meteoroid streams and Lebedinets et al. [8] found 819 radio-meteoroid streams. More recently, Brown et al. [9] identified 45 meteoroid streams; Kornos et al. [10] found 267 meteor showers; Rudawska and Jenniskens [11] identified 88 showers among the video data; by an automated search Brown et al. [12] identified 117 showers; results for 320 showers and shower-components are presented in Jenniskens et al. [13-15]; using automated meteor shower search methodology Pokorny et al. [16] identified 58 showers.

The differences in these results can be easily explained by different sets of the orbital data used for meteoroid streams searching. But not only, it is known that even on the same data set, it is possible to identify a different number of streams [4,17]. The main difficulty in determining the number of actually existing streams is due to the lack of the precise definition of a meteoroid stream (shower). In 1961, Commission 22 of the IAU (currently Commission F1) defined a meteor shower as a number of meteors with approximately parallel trajectories and a meteoroid stream as a number of meteoroids with nearly identical orbits [18,19]. In 2018, the problem was revisited by Commission F1. New definitions were partly published by Borovicka [20] and will be published in the IAU Transactions.² According to this report: “A *meteoroid stream* is a group of meteoroids which have similar orbits and a common origin. A *Meteor shower* is a group of meteors produced by meteoroids of the same meteoroid stream”. However, what one should understand by “*similar orbits*” was not specified and so the new definitions are still of a general nature [21].

¹The meteor showers database is available at the address <http://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/> or at <http://pallas.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/>. The second component of the IAU Meteor Data Center, containing the orbits of individual meteoroids, is available at the address <https://www.astro.sk/iaumdcDB/>, see [34,35].

² So far, the full text of these definitions is posted on the Web: https://www.iau.org/static/science/scientific_bodies/commissions/f1/meteordefinitions_approved.pdf.

In the past, additional confusion resulted from inaccurate rules on the names of meteoroid streams. Despite the nomenclature rules were widely discussed, the problem was not settled by the community of meteor astronomers before AD 2006. As a result, in the scientific literature, meteor showers and meteoroid streams were named in a subjective way, which sometimes led to confusion, e.g. some showers had multiple names, e.g. like Draconids, which also were named as gamma Draconids, October Draconids, Giacobinids-Zinerids and Giacobinids [22].

The naming conventions for celestial objects, and the method of announcement of their discovery, has been the prerogative of the IAU since years. However, until 2009, the IAU has never approved an official name of a meteor shower. To make up for these shortcomings, during the IAU General Assembly in Prague in 2006, Commission 22 established a Task Group for Meteor Shower Nomenclature (later transformed into the Working Group on Meteor Shower Nomenclature, hereafter WG) [23,24]. The task of this group was to formulate a meteor shower nomenclature rules, and in particular, a list of established meteor showers that could receive official names during the next IAU General Assembly in Rio de Janeiro. Since 2006, the Working Groups are established for periods of three years, and serve until the next General Assembly of the IAU.¹

As a result, in August of 2009, for the first time in the history of meteor astronomy, 64 meteor showers were officially named by the IAU [25,26]. During the next GA IAU in Beijing in 2012, the next group of 31 meteor showers obtained official names. In 2015, at the XXIX GA IAU in Honolulu, the names of 18 showers were officially accepted. At the same time, one shower already officially named (3/SIA the Southern iota Aquariids) was removed from the list of established showers, hence, to date the list contains 112 established showers, officially named by the IAU [27]. All these showers are listed in Table, in Appendix (see also in [1-3]).

The IAU MDC shower database

In 2007, the meteor shower database was implemented as a part of the IAU MDC and was posted on the website at the addresses: <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/> [1-3].

As intended by the Working Group, the IAU MDC database was not to contain full information on meteoroid streams or meteor showers. The purpose of the database is to give an unique names to the meteoroid streams or showers, the discovery of which has been documented in the scientific literature. For already known 'old' showers, the Working Group accepted traditional names, e.g.: Ursids, alpha Monocerotids or November Hydrids etc. However, in the case of streams identified after 2007, new nomenclature rules were applied.

¹The names of the current staff of the WG are available at the address: https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Dokumenty/task_group.php .

Meteor showers nomenclature rules

Peter Jenniskens [22,23,28] proposed to clarify the existing traditional rules for naming meteoroid streams and showers. The general rule was that a meteor shower should be named after the constellation of stars that contains the radiant. And to distinguish among showers from the same constellation the shower may be named after the nearest (brightest) star. Over time, these rules have been slightly modified and extended to be more precise and to cope with the difficulties encountered as a result of the sharp increase in the number of new streams identified. An example of the difficulty is illustrated in Fig. 1.

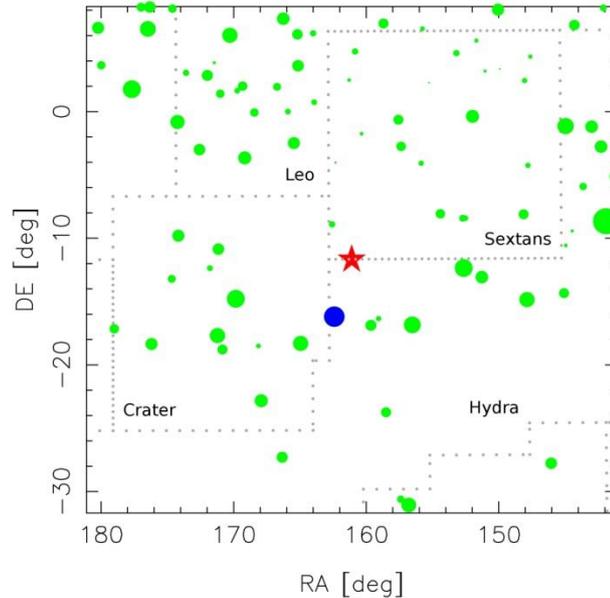


Figure 1. The difficult case of the radiant placement (marked by a star symbol) of January nu Hydrids (544/JNH). The nearest star is in blue color. The radiant of the shower lies almost at the border of two constellations.

As one can see the radiant point of January nu Hydrids is placed very close to the border between the Hydra and Sextans constellations. With a “naked eye” it is not possible to decide which constellation this radiant lies in. In another case the radiant clearly may lies in a given constellation, but the nearest stars belongs to another one.

To solve these types of problems numerically, constellation boundary software and a star catalog are needed.

To define the boundaries of the constellations the approach given by Roman [29] was applied and as the star catalogue, the Yale Bright Star Catalogue (BSC) 5th Revised Edition was chosen [30]. From the BSC a subset of 3141 stars was drawn, for which Bayer and/or Flamsteed names were available. The subset contains 1561 Bayer’s stars and 2552 stars designed by Flamsteed. 972 stars have both Bayer and Flamsteed designations. Fig. 2 illustrates distribution of Bayer and Flamsteed stars on the whole celestial sphere. Together with the software defining

the borders of the constellations, these stars are used to fix a unique name of the new meteor shower submitted to the MDC database.

The current meteor shower and meteoroid stream naming rules are available on the Web at the address https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Dokumenty/shower_nomenclature.php. See also [1-3].

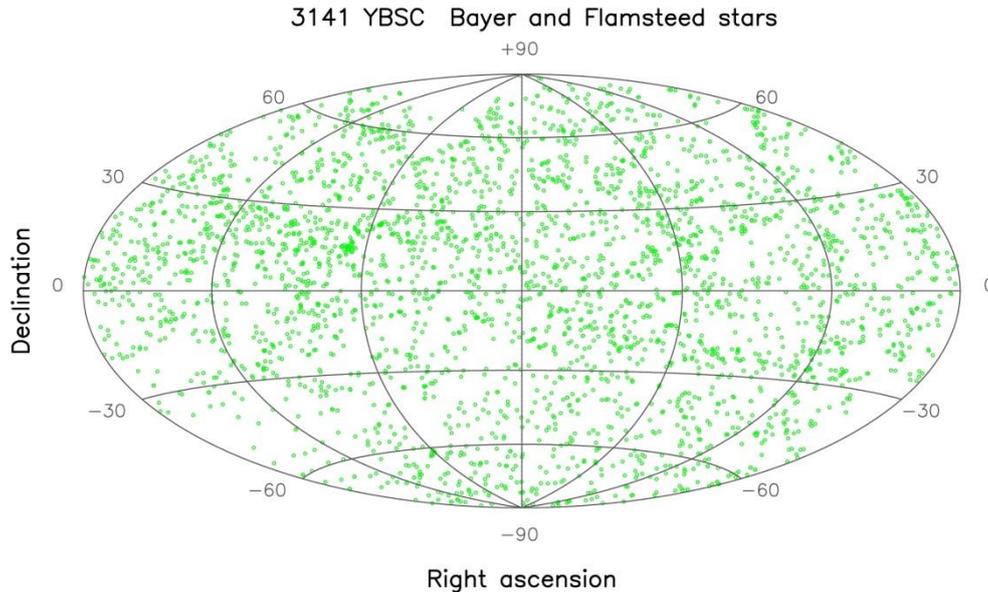


Figure 2. The Hammer-Aitoff diagram of 3141 Bayer and Flamsteed stars selected from the Yale Bright Star Catalogue. Together with the software defining the borders of the constellations, these stars are used to fix a unique name of the new meteor shower submitted to the MDC database. On this diagram the sky coverage is not perfect, still one can see a few regions less populated by stars.

The database structure

Presently, the IAU MDC database includes five lists of meteor showers:

- List of All Showers actually registered in the database, to date 829 showers.
- List of Established Showers, 112 showers approved and officially named by the IAU.
- The Working List; 693 showers that were already, or will be published in the scientific literature.
- List of Meteor Shower Groups, actually it contains 24 shower complexes.
- List of Removed Showers, it contains 157 showers.

All data from these lists may be displayed by the Web browser, or, except of the List of Remove Showers, can be downloaded as ASCII files.

The new showers discussed in literature are first added to the Working List, each being assigned a number, a three letter code and a unique name, e.g. 26 NDA Northern delta Aquarids; 1038 SND 69 Draconids; 1049 DIU December iota Ursae Majorids. To avoid confusion, it is a

good idea to write the codes and names of these streams as, e.g. #26/NDA Northern delta-Aquarids; #1038/SND 69-Draconids; #1049/DIU December iota-Ursae Majorids.

Upon review of the collected data in the Working List, the WG can nominate a shower to become an established one. The list of nominated candidates is discussed and completed shortly before the next GA IAU and it is proposed for the approval by the F1 Commission during the GA IAU. Once the official names have been obtained, the approved streams are moved to the List of Established streams. Henceforth, each established stream has the status of the object whose members come from the same parent body.

Rules for delivering and removing data

Since 2007, the MDC has been collecting data from known and newly discovered meteoroid streams. In each case, new data should be sent to the persons responsible for maintaining the shower part of the MDC, the current contact details are given on the website of the database.

In the MDC database, the heliocentric elements of meteoroid orbits are given, as well as geocentric radiant coordinates and geocentric velocities. The basic reference planes of the system are the mean equator and the ecliptic on the epoch J2000. Moment of time is represented by the ecliptic longitude of the sun. The format of the data sent to the MDC includes a number of geocentric, heliocentric and other additional information:

1. *Activity* – annual activity, or year of observed activity.
2. *S. Lon* – solar ecliptic longitude at peak of shower, or the mean solar ecliptic longitude at the moment of observation of meteors included in the shower (degrees, epoch J2000).
3. *RA* – mean Right Ascension of the shower radiant (degrees, epoch J2000).
4. *DE* – mean Declination of the shower radiant (degrees, epoch J2000).
5. *dRA* – Radiant drift in Right Ascension (not obligatory, degrees RA per degree Lon, epoch J2000).
6. *dDE* – Radiant drift in Declination (not obligatory, degrees DE per degree Lon, epoch J2000).
7. V_G – mean Geocentric Speed (km/s).
8. *a* – mean semi-major axis (AU) (not obligatory).
9. *q* – mean perihelion distance (AU).
10. *e* – mean eccentricity.
11. *Peri* – mean argument of perihelion (degrees, epoch J2000).
12. *Node* – mean longitude of ascending node (degrees, epoch J2000).
13. *Incl* – mean inclination of the orbital plane (degrees, epoch J2000).
14. *N* – number of meteors used for calculating the mean radiant and orbit.

Since 2019, a table containing data on individual members of a shower is required.

15. *OT* – code of the technique used to observe the meteor shower: *P* – photo, *R* – radar, *T* – TV, video, *V* – visual.
16. Web link to publication describing the identification of a given shower.

All meteoroid stream data should be sent to the MDC as an ASCII file, according to the template available on the MDC website.

New rules and the lookup tables

Since 2019, during the "Meteoroids 2019" conference, the WG established new rules for the introduction and removal of meteoroid streams from the MDC [31]. Before publishing each new meteoroid stream (meteor shower) must receive a unique name from the MDC, as well as numeric and 3-letter code. The discovery of a new shower or the redetermination of the parameters of a known shower must be published in a scientific journal. In order to facilitate the introduction into the MDC of streams discovered by amateur astronomers, papers published in the WGN (the Journal of the IMO), MeteorNews and e-Radiant are also accepted. In order to avoid deletion, a submitted manuscript must be sent to the Meteor Data Center within half a year of requesting the shower names and numbers.

Another problem discussed at the Meteoroids 2019 conference was the need to establish a procedure for removing unnecessary data from the MDC Working List. The Working List included duplicates and clusters of meteoroid orbits of very low statistical significance to claim that they originated from the same parent body. As a result, it was concluded that any stream would be removed from the Working List if a work recommending such a decision was published. In difficult cases, the MDC will consult the Working Group on Meteor Shower Nomenclature to confirm that proposed decision. Finally, the MDC will move the shower to the List of Removed Showers and add a note giving the reason for the removal on the MDC Web site.

However, it should be noted that, an incomplete record (e.g. no orbital data) is not a reason for removal, as long as the proposed shower is uniquely identified. Any removed shower can eventually be moved back to the Working List after such a recommendation has been published.

Concerning the proposed shower data that were not published within a half of a year in a peer-reviewed article that describes the detection, it was decided that these shower names should be deleted from the Working List altogether, and not be added to the Removed List. As a result of these new rules, 157 streams were removed from the MDC Working List.

Additionally, during the WG business meeting during the Meteoroids 2019 conference it was decided that future submissions for new names to the MDC (as well as for known streams) should be accompanied by a "lookup table" that gives shower members parameters. The table in ASCII data format must contain the following information of each meteor on which the new identification is based:

1. *CurNum* – current number of the meteor in the look-up table.
2. *SolLon* – ecliptic longitude of Sun at the meteor instant (J2000).
3. *SCELoG* – Sun centered ecliptic longitude of the geocentric radiant.
4. *ELaG* – ecliptic latitude of the geocentric radiant.
5. V_G – geocentric velocity.
6. *IAUNo* – IAU numerical code of the shower.
7. *IAUCod* – IAU 3 letter code of the shower, (not obligatory).
8. *CatCod* – code of the source catalogue of the meteor, (not obligatory).
9. *MetCod* – meteor code given in the source catalogue, (not obligatory).

The required data format is given on the MDC website.

To convert the equatorial coordinates of the radiant to the ecliptic coordinates (both given in the J2000 epoch), it is sufficient to make a simple rotation from the equatorial system to the ecliptic one, see e.g. [32,33]. To transform the ecliptic coordinates of the radiant into a system that rotates with the Sun (Sun centered system), it is enough to subtract the ecliptic longitude of the Sun from the ecliptic longitude of the radiant. Both values must correspond to the moment of meteor observation.

The lookup tables provided to the MDC will allow a more complete insight into future meteoroid streams submitted to the database. They contain information about shower duration, as well as radiant and speed dispersions. The MDC user, by comparing the contents of the tables, will therefore be able to assess whether an identified 'new' stream is already in the MDC.

Conclusions

It would have been recalled that before publishing, each new meteoroids stream must receive a unique name from the MDC, and the IAU numeric and 3-letter code. The new entry to the MDC must be published in a scientific journal or in the WGN (the Journal of the IMO), MeteorNews and e-Radiant. In order to avoid deletion from the MDC, a manuscript describing the study must be sent to the MDC within half a year of requesting the shower names and codes. To each new submission to the MDC should be accompanied by a “lookup table” that gives shower members parameters.

As a result of the changes in the mode of operation of the MDC shower base, 157 streams were transferred from the Working List to the List of Removed Showers. These were mostly duplicates, and their removal reduced the number of streams on the Working List to 693.

The introduced changes, a critical assessment of the database content and the way it functions, lead to an improvement in the quality of data contained in the MDC, and make the lists more valuable for the users, for their efforts to better understand meteoroid streams.

However, despite our recent efforts, the MDC database is not perfect. Surely it still contains incorrect data, mistakes and errors that we have overlooked. Therefore with a view to continuous improvement of the database we appreciate every critical remark related with the information archived in the MDC.

Acknowledgments

We would like to acknowledge: Reiner Arlt, David Asher, Rhiannon Blaauw, Steve Hutcheon, Diego Janches, Sirko Molau, Ned Smith, Francisco Ocaña, Željko Andreić, Damir Šegon, DenisVida, Allan Mulof, Paul Roggemans, Galina Ryabova, Masahiro Koseki, Alfredo Dal'Ava Júnior, Mikiya Sato, Regina Rudawska and Zuzana Kaňuchová who helped improve the IAU MDC contents in recent years.

Members of the Working Group on Meteor Shower Nomenclature during 2018–2021 include Peter Jenniskens, Diego Janches, Tadeusz Jopek, Masahiro Koseki, Maria Hajdukova, Gulchehra I. Kokhirova, Althea Moorhead, Regina Rudawska, Robert Weryk, and Quanzhi Ye.

This research has made use of NASA's Astrophysics Data System Bibliographic Services.

REFERENCES

1. Jopek, T.J., Jenniskens, P. The Working Group on Meteor Showers Nomenclature: A History, Current Status and a Call for Contributions, In: Cooke, W.J., Moser, D.E., Hardin, B.F., Janches, D. (Eds.), *Meteoroids: the Smallest Solar System Bodies*, Proceed. of the Meteoroids Conf. held in Breckenridge, Colorado, USA, May 24–28, 2010, NASA/CP-2011-216469, 2011, p. 7–13.
2. Jopek, T.J., Kanuchova, Z. Current status of the IAU MDC Meteor Showers Database, In: "Meteoroids 2013", Proceed. of the Astron. Conf. held at A.M. University, Poznan, Poland, Aug. 26-30, 2013, T.J. Jopek, F.J.M. Rietmeijer, J. Watanabe, I.P. Williams (eds), A.M. University Press, 2014, p. 353-364.
3. Jopek, T.J., Kanuchova, Z. IAU Meteor Data Center-the shower database: A status report, *Planet. Space Sci.*, 2017, Vol. 143, p. 3-6.
4. Lindblad, B.A. A stream search among 865 precise photographic meteor orbits, *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, 1971, Vol. 12, p. 1-13.
5. Jopek, T.J. Comet and meteor streams associations, PhD dissertation, Astronomical Observatory, Physics Department, A. M. University, Poznan, Poland, 1986, 88 pp.
6. Terentjeva, A. K. *Isledovanije meteorov* (in Russian), 1966, #1, M.: Nauka, p. 62-132.
7. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year, *Icarus*, 1976, Vol. 27, p. 265-321.
8. Lebedinets, V.N., Korpusov, V.N., Sosnova, A.K. Tr. In-t ehksperim.meteorol., 1972, Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sov. Min. SSSR, Vol. 34, p. 88-171.
9. Brown, P., Weryk, R.J., Wong, D.K., Jones, J. The Canadian Meteor Orbit Radar Meteor Stream Catalogue, *Earth, Moon, and Planets*, 2008, Vol. 102, Issue 1-4, p. 209-219.
10. Kornos, L., Matlovic, P., Rudawska, R., Toth, J., Hajdukova, M.Jr., Koukal, J., Piffel, R. Confirmation and characterization of IAU temporary meteor showers in EDMOND database, In: "Meteoroids 2013", Proceed. of the Astron. Conf. held at A.M. University, Poznan, Poland, Aug 26–30, 2013, T.J. Jopek, F.J.M. Rietmeijer, J.Watanabe, I.P. Williams (eds), A. M. University Press, 2014, p. 225-233.
11. Rudawska, R., Jenniskens, P. New meteor showers identified in the CAMS and SonotaCo meteoroid orbit surveys, In: "Meteoroids 2013", Proceed. of the Astron. Con. held at A.M. University, Poznan, Poland, Aug 26–30, 2013, T. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams (eds), A. M. University Press, 2014, p. 217-224.
12. Brown, P., Wong, D.K., Weryk, R. J., Wiegert, P. A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. II: Identification of minor showers using a 3D wavelet transform, 2010, *Icarus*, Vol. 207, p. 66–81.
13. Jenniskens, P., Neron, Q., Albers, J., Gural, P. S., et al. The established meteor showers as observed by CAMS, 2016a, *Icarus*, Vol. 266, p. 331–354.
14. Jenniskens, P., Neron, Q., Gural, P. S., Albers, J., Haberman, B., et al. CAMS confirmation of previously reported meteor showers, 2016b, *Icarus*, Vol. 266, p. 355–370.
15. Jenniskens, P., Neron, Q., Gural, P. S., Albers, J., Haberman, B., et al. CAMS newly detected meteor showers and the sporadic background, 2016c, *Icarus*, Vol. 266, p. 384–409.
16. Pokorny, P., Janches, D., Brown, P.G., Hormaechea, J.L. An orbital meteoroid stream survey using the Southern Argentina Agile MEteor Radar (SAAMER) based on a wavelet approach, *Icarus*, 2017, Vol. 290, p. 162-182.

17. Jopek, T.J., Valsecchi, G.B. and Froeschle, Cl. Meteoroid stream identification: a new approach - II. Application to 865 photographic meteor orbits, MNRAS, 1999, Vol. 304, p. 751-758.
18. Millman, P. M. Meteor news, Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 1961, Vol.55, p. 265.
19. Millman, P. M. Terminology in Meteoritic Astronomy, Meteoritics, 1963, Vol. 2, p. 7-11.
20. Borovicka, J. About the definition of meteoroid, asteroid, and related terms, WGN JIMO, 2016, Vol. 44, p.31-34.
21. Williams, I.P., Jopek, T.J., Rudawska, R., Toth, J., Kornos, L. Minor Meteor showers and sporadic Background, In: Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond, Ryabova G. O., Asher D. J., and Campbell-Brown M. D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2019, p. 210-234.
22. Jenniskens, P. The IAU Meteor showers Nomenclature rules, Earth Moon and Planets, 2008, Vol. 102, p. 5-9.
23. Jenniskens, P. The IAU Meteor showers Nomenclature rules In: IAU Information Bulletin 99, 2007, January 2007, p. 60-62.
24. Spurny, P., Watanabe, J.I., Mann, I., Baggaley, W.J., Borovicka, J., Brown, P.G., Consolmagno, G.J., Jenniskens, P., Pellinen-Wannberg, A.K., Porubcan, V., Williams, I.P., Yano, H. Commission 22: Meteors, Meteorites and Interplanetary Dust, In: Proceed. of The Business Meeting of Commission 22, Meteors, Meteorites and Interplanetary Dust, van der Hucht, Karel A. (eds.), Transactions IAU, 2007, Vol. 3, Issue 26B, p. 140-141.
25. Watanabe, J.I., Jenniskens, P., Spurny, P., Borovicka, J., Campbell-Brown, M., Consolmagno, G., Jopek, T., Vaubaillon, J., Williams, I.P., Zhu J. Commission 22: Meteors, Meteorites and Interplanetary Dust, Transactions IAU, 2010, Vol. 6, Issue T27, p. 177-179.
26. Bowell, E.L.G., Meech, K.J., Williams, I.P., et al. Division III: Planetary Systems Science, Transactions IAU, 2010, Vol.6, Issue T27, p. 158-167.
27. Janches, D., Brown, P., Jenniskens, P., Jopek, T., Kanuchova, Z., Kokhirova, G., Trigo-Rodriguez, J., Watanabe, J., Koseki, M., Rudawska, R. COMMISSION F1 WG Meteor Shower Nomenclature (MSN-WG). Transactions IAU, 2018, Vol. XXXA, Reports on Astronomy 2015-2018, ed. P.Benvenuti, p. 67.
28. Jenniskens, P. The IAU meteor shower nomenclature rules, WGN JIMO, 2006, Vol. 34, p.127-128.
29. Roman N.G. Identification of a constellation from a position, Publication of the Astronomical Society of Pacific, 1987, Vol. 99, p. 695.
30. Hoffleit D., Warren Jr. The Bright Star Catalog, 5th Revised Edition (Preliminary Version), 1991, <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/bsc5.html>.
31. Jenniskens, P., Jopek, T. J., Janches D., Hajdukova M., Kokhirova G. I., Rudawska, R. On removing showers from the IAU Working List of Meteor Showers, Planet. Space Sci., 2020, Vol. 182, article id. 104821.
32. Meeus, J. Astronomical Algorithms (2nd ed.), 1998, Richmond, VA: Willmann-Bell.
33. Montenbruck, O., Pfleger, T. Astronomy on the Personal Computer, XIII, third edition, 1998, Springer, 312 pp.
34. Neslusan, L., Porubcan, V., Svoren, J. IAU MDC Photographic Meteor Orbits Database: Version 2013, Earth Moon and Planets, 2014, Vol. 111, p. 105-114.
35. Narziev, M., Chebotarev, R.P., Jopek, T.J., Neslusan, L., Porubcan, V., Svoren, J., Khujanazarov, H.F., Bibarsov, R.Sh, Irkaeva, Sh.N., Isomutdinov, Sh.O., Kolmakov, V.N., Polushkin, G.A., Sidorin, V.N., IAU MDC meteor orbits database - A sample of radio-meteor data from the Hissar Observatory, Planet. Space Sci., 2020, Vol. 192, article id. 105008.

Appendix

Since 2009, for the first time in the history of meteor astronomy, 64 meteor showers were officially named by the IAU [1]. During the GA IAU in Beijing in 2012, the next group of 31 meteor showers obtained official names. In 2015, at the XXIX GA IAU in Honolulu, the names of 18 showers were officially accepted. At the same time, one shower already officially named (3/SIA the Southern iota Aquariids) was removed from the list of established showers [3].

Hence, to date, the MDC contains the list of 112 established showers, officially named by the IAU. All these showers are listed in Table. For each stream, only one set of data is given, the full list can be downloaded from the MDC Web site 'https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/Roje/roje_lista.php? corobic_roje=1&sort_roje=0'.

Table

Geocentric radiant and heliocentric orbital data of 112 meteor showers (streams) officially named by the GA IAU. The solar ecliptic longitude *S.Lon* at the time of shower maximum activity, the geocentric radiant right ascension and declination *RA*, *DE* and the values of the angular orbital elements *Peri*, *Node*, *Incl* are given for the epoch J2000.0. In the first two columns the IAU numerical and three letters code are provided.

No	Code	Shower Name	S.Lon	RA	DE	VG	a	q	e	Peri	Node	Incl
1	CAP	alpha Capricornids	128.9	306.6	-8.2	22.2	2.618	0.602	-	266.67	128.9	7.68
2	STA	Southern Taurids	224.0	49.4	13	28	2.07	0.352	-	115.4	37.3	5.4
4	GEM	Geminids	262.1	113.2	32.5	34.58	1.372	0.141	-	324.42	261.5	24.02
5	SDA	Southern delta Aquariids	125.6	342.1	-15.4	40.5	3.107	0.087	-	148.9	312.2	26.4
6	LYR	April Lyrids	32.4	272	33.3	46.6	45.7	0.921	-	214.3	31.8	79.6
7	PER	Perseids	140.2	46.8	57.8	59.49	24	0.949	0.96	150.4	139.7	113
8	ORI	Orionids	208.6	95.4	15.9	66.2	9.68	0.571	-	82.8	28.6	164.2
9	DRA	October Draconids	203.9	274.7	52.4	16.7	2.392	0.995	0.584	178.2	203.9	25.5
10	QUA	Quadrantids	283.3	230	49.5	41.36	3.14	0.979	-	172	283.3	72
11	EVI	eta Virginids	354.0	182.1	2.6	29.2	2.562	0.382	-	349.1	280.5	3.5
12	KCG	kappa Cygnids	145.2	286.2	59.1	24.8	3.09	0.99	-	194	145	38
13	LEO	Leonids	235.1	154.2	21.6	70.66	10.1	0.9853	-	173.5	236.1	162.36
15	URS	Ursids	271.0	219.3	75.3	33	4.62	0.944	-	204.9	270.7	51.5
16	HYD	sigma Hydrids	265.5	131.9	0.2	58	12.3	0.224	-	124	84.8	124.9
17	NTA	Northern Taurids	224	58.6	21.6	28.3	2.12	0.35	-	294.9	226.2	3.1
18	AND	Andromedids	232	24.2	32.5	17.2	2.76	0.789	-	238.9	231	10
19	MON	December Monocerotids	260.9	101.8	8.1	42	50.7	0.193	-	128.1	80.2	35.2
20	COM	Comae Berenicids	274	175.2	22.2	63.7	14.4	0.541	-	265	283.3	139.4
21	AVB	alpha Virginids	32.0	203.5	2.9	18.8	2.55	0.744	0.716	247.9	30.0	7.0
22	LMI	Leonis Minorids	209	159.5	36.7	61.9	286	0.616	-	102.73	208.4	125.32
23	EGE	epsilon Geminids	206	101.6	26.7	68.8	10	0.731	-	241.7	209	172.9
26	NDA	Northern delta Aquariids	139	344.7	0.4	40.5	2.536	0.071	-	332.6	139	23
27	KSE	kappa Serpentids	15.7	230.6	17.8	45	-	0.45	-	275	15.7	65
31	ETA	eta Aquariids	46.9	336.9	-1.5	65.9	16.16	0.581	-	97.9	44.44	163.9
33	NIA	Northern iota Aquariids	147.7	328.4	-5.6	31.2	1.625	0.26	-	308	147.7	5
61	TAH	tau Herculis	72	228.5	39.8	15	2.695	0.97	-	204.2	72.6	18.6
63	COR	Corvids	86.0	205.8	0.2	8.7	2.35	0.999	0.571	193.7	91.8	2.6
69	SSG	Southern mu Sagittariids	78	276.4	-27.5	19.6	2.142	0.65	-	84.3	279.4	2.6

No	Code	Shower Name	S.Lon	RA	DE	VG	a	q	e	Peri	Node	Incl
96	NCC	Northern delta Cancrids	296.0	127.6	21.5	27.2	2.23	0.410	0.814	286.6	290.0	2.7
97	SCC	Southern delta Cancrids	296.3	134.1	10.1	(26.8)	2.114	0.475	0.761	100.7	126.9	6.3
100	XSA	Daytime xi Sagittariids	304.9	284.8	-18.6	26.3	1.744	0.383	-	66.6	296	4.3
102	ACE	alpha Centaurids	319.4	212.1	-59.4	58.2	-	0.977	-	348.9	138.9	107.0
110	AAN	alpha Antliids	313.1	162.1	-13.3	42.7	-	0.143	0.920	141.9	133.1	64.3
128	MKA	Daytime kappa Aquariids	359.7	338.7	-7.7	33.2	-	0.18	0.89	42	359.7	1.8
137	PPU	pi Puppids	33.6	110.4	-45.1	15	2.97	1	-	359	33.64	21
144	APS	Daytime April Piscids	30.3	7.6	3.3	28.9	1.32	0.22	-	45	30.7	0.5
145	ELY	eta Lyrids	49.1	292.5	39.7	45.3	6.03	0.995	-	190	45.7	79.4
151	EAU	epsilon Aquilids	59	284.9	15.6	30.8	0.873	0.354	-	318.3	59.5	59.6
152	NOC	Northern Daytime omega Cetids	47.8	2.3	17.8	33	0.967	0.108	-	25.6	47.8	42
153	OCE	Southern Daytime omega Cetids	48.6	22.5	-3.6	36.6	1.623	0.122	-	213.9	228.6	32.6
156	SMA	Southern Daytime May Arietids	52.7	33.7	9.2	28.9	1.68	0.27	-	233	232.7	5
164	NZC	Northern June Aquilids	86	298.3	-7.1	36.3	1.348	0.114	-	329.5	86.5	39.3
165	SZC	Southern June Aquilids	80	297.8	-33.9	33.2	1.15	0.11	-	152	259.7	33.5
170	JBO	June Bootids	96.3	222.9	47.9	14.1	-	-	-	-	-	-
171	ARI	Daytime Arietids	76.7	40.2	23.8	35.7	1.376	0.085	-	25.9	77.6	25
172	ZPE	Daytime zeta Perseids	78.6	64.5	27.5	25.1	1.492	0.365	-	60.5	81.5	6.5
173	BTA	Daytime beta Taurids	96.7	84.9	23.5	29	1.653	0.274	-	52.3	102.7	0.3
175	JPE	July Pegasids	107.5	340	15	61.3	(44)	0.536	-	267.2	107.5	131.6
183	PAU	Piscis Austrinids	123.7	340.7	-25.7	40.5	4.31	0.17	-	114	303.7	45
184	GDR	July gamma Draconids	125.3	280.1	51.1	27.4	-	-	-	-	-	-
187	PCA	psi Cassiopeiids	114.4	29.4	71.5	40.3	2.481	0.821	-	121.2	114.4	72.1
188	XRI	Daytime xi Orionids	121.9	94.4	15	44	8.33	0.08	-	211.6	301.9	32.8
191	ERI	eta Eridanids	137.5	45	-12.9	64	20.26	0.961	-	26.6	317.5	130.4
197	AUD	August Draconids	142	272.5	65.1	17.3	1.515	1.007	0.335	185.6	141.9	30.4
198	BHY	beta Hydrusids	143.8	36.3	-74.5	22.8	(3.25)	0.966	-	27.3	323.8	35
202	ZCA	Daytime zeta Cancrids	147	119.7	19	43.8	5	0.05	-	206.5	326.9	21.1
206	AUR	Aurigids	158.7	89.8	38.7	65.7		0.683	-	110.2	158.7	148.5
208	SPE	September epsilon Perseids	170	50.2	39.4	64.5	31.1	0.742	-	241.9	171.3	138.9
212	KLE	Daytime kappa Leonids	180.7	162.7	15.7	43.6	48	0.11	-	39	180.7	26
221	DSX	Daytime Sextantids	186.1	154.5	-1.5	31.2		0.151	0.855	212.5	6.1	23.1
233	OCC	October Capricornids	189.3	301.5	-8.7	(15)	3.65	0.99	0.730	193.2	189.3	2.8
242	XDR	xi Draconids	210.8	170.3	73.3	35.8	1.279	0.988	-	175.3	210.8	69
246	AMO	alpha Monocerotids	239.3	117.1	0.8	63	500	0.488	-	90.66	59.32	134.13
250	NOO	November Orionids	245	90.6	15.7	43.7		0.113	-	140.5	67	24.8
252	ALY	alpha Lyncids	268.9	138.8	43.8	50.4	(25.4)	0.281	-	295.9	268.8	84.4
254	PHO	Phoenicids	253	15.6	-44.7	11.7	2.96	0.99	0.670	359	74	13
257	ORS	Southern chi Orionids	260	78.7	15.7	21.5	2.23	0.594	-	86.4	80.1	5.2
281	OCT	October Camelopardalids	193	166	79.1	46.6	368	0.993	-	170.6	192.6	78.6
319	JLE	January Leonids	282.5	148.3	23.9	52.7	6.3	0.055	0.991	333.7	282	109.3

No	Code	Shower Name	S.Lon	RA	DE	VG	a	q	e	Peri	Node	Incl
320	OSE	omega Serpentids	275.5	242.7	0.5	38.9	1.37	0.164	0.880	38.8	275.9	56.5
321	TCB	theta Coronae Borealis	296.5	232.3	35.8	38.66	1.108	0.924	0.166	124.9	296.5	77
322	LBO	lambda Bootids	295.5	219.6	43.2	41.75	1.49	0.956	0.358	206.6	295.4	79.3
323	XCB	xi Coronae Borealis	294.5	244.8	31.1	44.25	2.34	0.817	0.651	124.7	294.5	79.6
324	EPR	epsilon Perseids	95.5	58.2	37.9	44.8	4.55	0.13	0.971	39.7	96	63
325	DLT	Daytime lambda Taurids	85.5	56.7	11.5	36.4	1.57	0.104	0.934	210.8	1.7	23.2
326	EPG	epsilon Pegasids	105.5	326.3	14.7	29.9	0.757	0.173	0.771	334.9	105.2	55.4
327	BEQ	beta Equuleids	106.5	321.5	8.7	31.6	0.887	0.163	0.816	330.3	106.2	49.7
328	ALA	alpha Lacertids	105.5	343	49.6	38.9	1.089	1.002	0.080	217.1	105.3	81.1
330	SSE	sigma Serpentids	275.5	242.8	-0.1	42.3	1.92	0.16	0.917	41.3	275.9	64
331	AHY	alpha Hydrids	285.5	127.6	-7.9	43.6	12.7	0.287	0.977	115.6	105	57.1
333	OCU	October Ursae Majorids	202	144.8	64.5	54.1	5.9	0.979	0.875	163.7	202.1	99.7
334	DAD	December alpha Draconids	256.0	210.8	58.6	40.8	2.48	0.983	0.603	177.4	254.8	71.8
335	XVI	December chi Virginids	267.0	194.3	-12.0	69.1	6.24	0.663	0.985	290.3	86.5	169.1
336	DKD	December kappa Draconids	252.0	187.2	70.2	43.8	10.31	0.929	0.914	208.5	251.5	73.1
337	NUE	nu Eridanids	163.0	61.5	4.3	67.1	7.04	0.867	0.916	43.7	53.2	150.7
338	OER	omicron Eridanids	232.0	59.9	0.1	28.5	3.92	0.497	0.875	94.1	49.2	19.6
339	PSU	psi Ursae Majorids	253.0	169.8	42.4	61.7	9.13	0.928	0.901	208.9	253.8	119.4
341	XUM	January xi Ursae Majorids	298.0	168.7	33	40.9	1.5	0.217	0.857	313.2	298.0	66.8
343	HVI	h Virginids	38.3	202.8	-10.8	18.5	2.92	0.753	0.742	65.5	218.7	0.6
346	XHE	x Herculids	350.0	253.0	49.2	35.2	2.99	0.975	0.673	196.7	350.0	59.8
348	ARC	April rho Cygnids	37	324.5	45.9	41.8	6.51	0.810	0.875	125.55	37	69.9
362	JMC	June mu Cassiopeiids	74	17.5	53.9	43.6	57.24	0.577	0.990	97.68	74	68.3
372	PPS	phi Piscids	106	20.1	24.1	62.9	2.09	0.856	0.590	125.02	106	152.6
388	CTA	chi Taurids	220	63.2	24.7	42.1	4.97	0.081	0.984	328.49	220	12.3
390	THA	November theta Aurigids	237	89	34.7	33.8	1.13	0.116	0.897	330.07	237	27.8
404	GUM	gamma Ursae Minorids	299	231.8	66.8	31.8	4.2	0.959	0.772	199.54	299	51.1
411	CAN	c Andromedids	107.0	29.1	47.3	57.5	8.40	0.687	0.938	109.1	107.4	112.9
427	FED	February eta Draconids	315.1	239.9	62.5	35.6	-250	0.971	-	194.09	315.1	55.2
428	DSV	December sigma Virginids	267.4	205.5	5.47	66	-	0.605	0.974	102.66	267.4	149.64
431	JIP	June iota Pegasids	94.5	332.6	29.2	59	-	0.9015	0.988	219.57	94.46	113.39
445	KUM	kappa Ursae Majorids	225	147.2	45	65.7	-19.54	0.988	1	185.9	224	129.6
446	DPC	December phi Cassiopeiids	252	19.5	57.7	16.5	3.1	0.896	0.714	218.7	252.1	18
506	FEV	February epsilon Virginids	315.3	201.7	10.4	63		0.488	0.958	271.2	315.3	138.1
510	JRC	June rho Cygnids	84	321.8	43.9	50.2	21	1.007	0.931	190	84.2	90
512	RPU	rho Puppids	223	120	-24	57.5	13	0.985	0.913	9	43	106.4
524	LUM	lambda Ursae Majorids	215	158.2	49.4	60.3	13	0.917	0.931	147	215	115
526	SLD	Southern lambda Draconids	221.6	163	68.1	48.7	4	0.986	0.744	189	221.6	88
529	EHY	eta Hydrids	256.9	132.9	2.3	62.5	15	0.383	0.974	103.8	76.9	142.8
530	ECV	eta Corvids	304.9	192.0	-18.1	68.1	5.29	0.820	0.847	50.1	122.2	50.1
533	JXA	July xi Arietids	119	40.1	10.6	69.4	-	0.883	0.965	318	299	171.6
549	FAN	49 Andromedids	114	20.9	46.7	60.1	-	0.918	0.925	143.1	114	118.2
569	OHY	omicron Hydrids	309	176.3	-34.1	59.1	-	0.684	0.931	68.6	128.9	114.3

Т.Дж.ЙОПЕК, Г.И.КОХИРОВА*, П.ДЖЕННИСКЕНС**, Д.ЯНЧЕС***,
М.ГАЙДУКОВА****, Р.РУДАВСКАЯ*****

**ЦЕНТР МЕТЕОРНЫХ ДАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОГО
АСТРОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА:
БАНК ДАННЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ**

*Институт астрономической обсерватории, Физический факультет,
Университет им. А. Мицкевича, Познань, Польша,*

*** Институт астрофизики АН Республики Таджикистан,*

**** SETI Институт, Маунтайн Вью, Калифорния, США,*

***** Центр космических полетов имени Годдарда НАСА, Гринбелт, Мэриленд, США,*

****** Астрономический институт Академии наук Словакии, Братислава, Словакия,*

****** Европейское космическое агентство ESA/ESTEC, Нордвик, Нидерланды*

Рабочая группа Международного астрономического союза (МАС) по Номенклатуре метеорных потоков создана в 2006 г. с целью регулирования наименований метеорных потоков, опубликованных в научной литературе. Банк данных Центра метеорных данных МАС (ЦМД МАС) был внедрен годом позже. Банк данных не содержит всей информации о метеорных потоках, его цель – дать каждому новому метеороидному рою, опубликованному в научной литературе, уникальное имя и код.

Во время международной научной конференции “Метеороиды 2019”, прошедшей в Братиславе, Рабочая группа МАС по Номенклатуре метеорных потоков установила новые правила для включения и исключения метеорных потоков в/из банка данных ЦМД МАС. В этой статье мы даем краткое описание банка данных метеорных потоков, его происхождение и структуру и, в частности, приведены текущие требования к включению новых данных о неизвестных, а также известных метеорных потоках.

Ключевые слова: метеороидный рой, метеорный поток, банк данных потоков ЦМД МАС, номенклатурные правила метеорного потока, правила регистрации нового метеорного потока.

Т.Ҷ.ҲОПЕК, Г.И.ҚОҲИРОВА*, П.ЧЕННИСКЕНС**, Д. ЯНЦЕС***,
М.ҲАЙДУКОВА****, Р.РУДАВСКАЯ*****

**МАРКАЗИ МАЪЛУМОТҲОИ МЕТЕОРИИ ИТТИҲОДИ
БАЙНАЛМИЛАЛИИ АСТРОНОМӢ: МАҲЗАНИ МАЪЛУМОТҲОИ
СЕЛҲОИ МЕТЕОРӢ**

*Институти расадхонаи астрономӣ, факултаи физика, Донишгоҳи ба номи
А.Митскевич, Познан, Лаҳистон,*

***Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,*

****SETI Институт, Маунтайн Вью, Калифорния, ИМА,*

*****Маркази парвозҳои кайҳонӣ ба номи Годдарди НАСА, Гринбелт, Мериленд, ИМА,*

******Институти астрономии Академияи илмҳои Словакия, Братислава, Словакия,*

******Агентии кайҳонии Аврупо ESA/ESTEC, Нордвик, Ҳолланд*

Гурӯҳи кории Иттиҳоди Байналмилалӣ Астрономӣ (ИБА) оид ба Феҳрасти селҳои метеорӣ бо мақсади ба танзим даровардани номҳои селҳои метеорие, ки дар адабиёти илмӣ нашр шудаанд, соли 2006 таъсис дода шудааст. Маҳзани маълумотҳои Маркази маълумотҳои метеории ИБА (МММ ИБА) пас аз як сол татбиқ гардидааст. Маҳзани мазкур кулли маълумотҳои селҳои метеориро дар бар намегирад, мақсади ӯ – ба ҳар як тӯдаи нави метеороидӣ, ки дар адабиёти илмӣ нашр шудааст, ном ва рамзи беназир гузоштан аст.

Ҳангоми конференсияи байналмилалӣ илмӣ «Метеороидҳо 2019», ки дар шаҳри Братислава баргузор гардидааст, Гурӯҳи кории ИБА оид ба феҳрасти селҳои метеорӣ қоидаҳои нав барои ворид ва хориҷ кардани селҳои метеориро ба/аз маҳзани маълумотҳои МММ ИБА муқаррар кардааст. Дар ин мақола, мо тавсифи мухтасари маҳзани маълумотҳои селҳои метеорӣ, пайдоиш ва сохтори он ва инчунин талаботҳои ҷорӣ барои ворид кардани маълумоти нав дар бораи селҳои номаълум ва маълумро пешниҳод менамоем.

Калимаҳои калидӣ: тӯдаи метеороидӣ, селҳои метеорӣ, маҳзани маълумотҳои селҳои МММ ИБА, қоидаҳои феҳрасти селҳои метеорӣ, қоидаи қайди сели метеории нав.

УДК 523.6

А.А.ИБРАГИМОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ
ТОЧЕК ПЛАЗМЕННОГО ХВОСТА КОМЕТЫ C/2019 Y4 (ATLAS)**

Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана

Поступила в редакцию 11.03.2021 г.

В статье определены радиальная скорость солнечного ветра по наблюдениям плазменного хвоста кометы C/2019 Y4 (ATLAS) для околокометного пространства и гелиографическая широта кометы. Условием занижения значения определенной скорости относительно экспериментально измеренной скорости солнечного ветра космическим аппаратом предлагается воздействие тангенциальной компоненты скорости солнечного ветра.

Ключевые слова: солнечный ветер, комета, гелиографическая широта, тангенциальная скорость.

Изучение солнечного ветра (СВ) важно в целях реконструкции физики Солнца, а также для выявления свойства межпланетной среды. Параметры СВ уже давно измеряются космическими аппаратами, но данные не могут отразить всю картину межпланетной среды. Как отмечено в [1] скорость СВ – ключевой параметр, определяющий динамику гелиосферы: распространение потоков, перенос энергии, взаимодействие потоков и их эволюцию с расстоянием.

Существует метод определения скорости СВ по отклонению плазменного хвоста кометы от продолженного хвоста кометы. По мнению Бирмана [2] отклонение плазменного хвоста от продолженного радиус-вектора (абerrационный угол плазменного хвоста кометы) вызвано тем, что ускорение составляет с ним угол ε такой, что

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{v_t}{w_a}, \quad (1)$$

где v_t – поперечный компонент орбитальной скорости кометы, w_a – радиальная скорость СВ, вычисленная по абerrации плазменного хвоста кометы. Такое объяснение позволяет понять, почему кометный хвост может оставаться прямолинейным. При этом считается, что плазменный хвост лежит в плоскости кометной орбиты [3].

Адрес для корреспонденции: Ибрагимов Алишер Абдуллоходжаевич. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бухоро, 22, Институт астрофизики НАНТ. E-mail: a.ibragimov73@mail.ru

В работе [4] по данным около 1600 наблюдений из [3] представлены результаты, касающиеся скорости плазмы СВ и делаются следующие выводы: солнечный ветер имеет довольно резкий минимум скорости 150 ± 50 км/сек; скорость солнечного ветра имеет эмпирические соотношения с геомагнитной активностью и с индексом поверхностного магнитного возмущения; эти соотношения предсказывают среднюю скорость плазмы 500 ± 50 км/с и различие для солнечных максимумов и минимумов; тангенциальный СВ около Земли имеет скорость около 10 км/с и имеет направление совпадающее с направлением вращения Солнца. Также отмечено, что широтные вариации скорости СВ не могут быть определены в связи с малочисленностью данных.

Гелиоширотные исследования проведены в [5], где указано, что по мере удаления от Солнца активные области смещаются в высокие гелиографические широты b . В низких широтах отрицательные ε наблюдаются лишь на гелиоцентрических расстояниях $r < 1.3$ а.е. В минимуме солнечной активности более активны низкие широты $b = \pm 5-15^\circ$ (до $r \sim 2$ а.е.), наблюдаются также отрицательные ε на высоких широтах ($b > 70^\circ$). В годы минимумов солнечной активности отрицательные aberrации отмечаются на гелиоцентрических расстояниях в 2.5 раза больших (до 5 а.е.), чем в годы максимумов. В другой работе [6] сделаны следующие заключения:

1. Абберрационные скорости СВ, определяемые по отклонению осей хвостов I типа (плазменный хвост) от продолженного радиус-вектора, наблюдавшихся длительное время, позволяют выявить особенности распределения скоростей солнечного ветра по гелиографической широте.

2. Установлено, что на разных гелиографических широтах абберрационные скорости СВ различны: имеет место понижение в области экватора и увеличение над активными областями Солнца.

3. Обнаружено смещение активных зон СВ в течение 11-летнего цикла в соответствии с общим ходом солнечной активности.

4. Средняя величина абберрационной скорости СВ вблизи минимума больше, чем в максимуме солнечной активности.

5. Величина скорости в пределах $0.5 < r < 2.5$ а.е. не зависит от гелиоцентрического расстояния.

В перечисленных работах [4, 5] акцентируется необходимость дальнейшего изучения процессов, как в кометах, так и в солнечном ветре для выявления физической природы солнечно-кометного взаимодействия. С этой целью обработано изображение кометы C/2019 Y4 (ATLAS), полученное на телескопе АЗТ-8 ГисАО (рис. 1). Характеристики телескопа и ПЗС камеры приводятся в [7]. Угол aberrации вычислялся по формуле:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\eta}{\xi},$$

где ξ, η – оси кометоцентрических координат, определяемые по методу Штумпфа [8]. Алгоритм вычислений описан в [9]. Заданные величины i, Ω – элементы орбиты кометы; Δ, r – геоцентрическое и гелиоцентрическое расстояния кометы; l, R – гелиоцентрические долгота и расстояние Земли; f – фокусное расстояние телескопа приведены на рис. 2.

Элементы орбиты и эфемериды кометы приведены из [10], солнечно-земные данные приведены из [11].

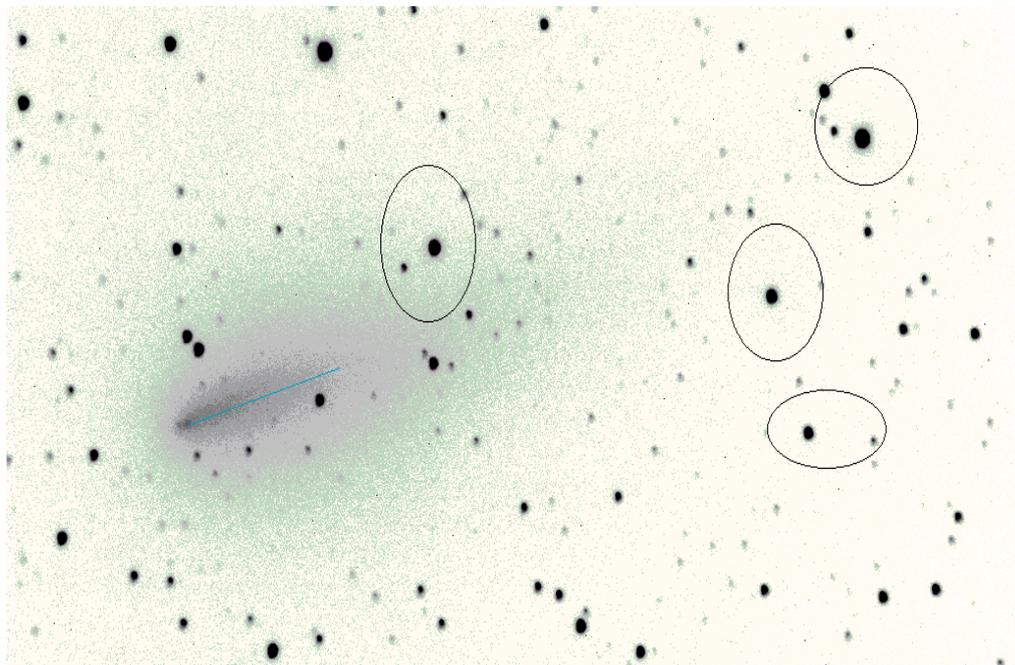


Рис. 1. Изображение кометы C/2019 Y4 (ATLAS).

	A	B
1	ρ -геоцентрическое расстояние	0,9620
2	Ω -долгота восходящего узла	120,5721
3	r -гелиоцентрическое расстояние	1,035
4	l -элонгация+180	213,96
5	i -угол наклона орбиты к эклиптике	45,3839
6	f -фокусное расстояние объектива	2820,00
7	R -гелиоцентрическое расстояние Земли	1,00552
8	γ -угол крена	12,475
9	x -абсцисса точки хвоста	382,30
10	y -ордината точки хвоста	311,70
11	X -абсцисса ядра кометы	382,30
12	Y -ордината ядра кометы	311,70
13	$U=$	63,43148624
14	$\lambda=$	56,23425058
15	$\alpha=$	29,66573682
16	$\cos \beta=$	-0,854766411
17	$\beta=$	148,7339385
18	$A_0=$	440,6061848
19	$B_0=$	-221,7574575
20	$A=$	1,001738654
21	$B=$	-0,074472304
22	$C=$	-359,7516705
23	$D=$	-0,211250938
24	$E=$	0,95484837
25	$F=$	-216,8650032
26	$a=$	-0,614418495
27	$b=$	0,48594721
28	$c=$	2533,798407
29	$\xi=$	0,00000E+00
30	$\eta=$	0,00E+00

Рис. 2. Заданные величины согласно методу Штумфа.

Из рис. 2 видно, что выполняется условие, отмеченное в [9], то есть при равенстве прямоугольных координат измеряемых точек координатам ядра кометы, получаем нулевые значения кометоцентрических координат. Также указывается повышение точности вычисления угла поворота γ при условии малости угла обзора и совпадении осей прямоугольных координат с экваториальными координатами.

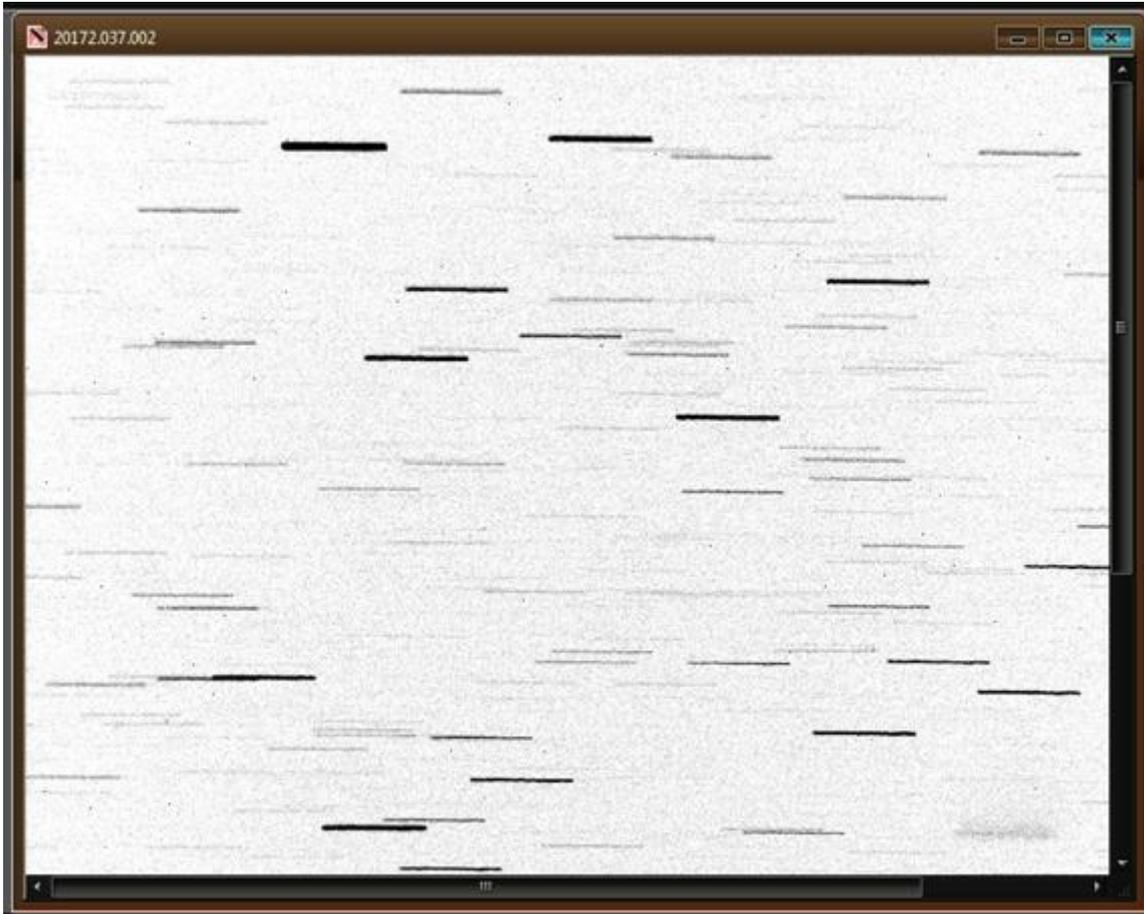


Рис. 3. Изображение звездного неба.

Изображение 45x45 дуговых минут (рис. 3) получено на телескопе с экваториальной монтировкой при выключенном часовом механизме. Видно, что прямое восхождение α совпадает с горизонтальной осью изображения и угол поворота (угол между проекцией продолженного радиус-вектора и абсциссой изображения) можно вычислить по формуле [9]:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{|\delta_{r-v} - \delta_c|}{|\alpha - \alpha_c|},$$

где α_c , δ_c – экваториальные координаты ядра кометы, α – прямое восхождение опорных звезд, по которым вычисляется δ_{r-v} (склонения точек продолженного радиус-вектора) уравнением [12] большого круга (табл):

$$\operatorname{tg} \delta_{r-v} = \frac{\operatorname{tg} \delta_s \times \sin(\alpha_c - \alpha) - \operatorname{tg} \delta_c \times \sin(\alpha_s - \alpha)}{\sin(\alpha_c - \alpha_s)}.$$

Экваториальные координаты Солнца, кометы и продолженного радиус-вектора

	Солнце	Комета	Продолженный радиус-вектор				
α°	31.44583	86.73042	86.86185	87.06566	87.04545	87.09408	87.31011
δ°	+12.74228	+63.15861	+63.1878	+63.2327	+63.2283	+63.2390	+63.2861

Таким образом, для проведенной оси на глаз (рис.1) получаем абберационный угол $\varepsilon=3.6\pm 0.2^\circ$, что дает для абберационной скорости СВ, вычисленной по формуле (1), $w=320\pm 25$ км/с. Поперечная и радиальная компоненты орбитальной скорости кометы (v_t , v_r) вычисляются согласно [13] и равны $v_r=20.4$ км/с.

Гелиографическая широта кометы определяется по формуле [12]:

$$b = \arcsin[\sin(\omega + \varphi) \cdot \sin i], \cos \varphi = \frac{2q}{r} - 1,$$

где ω , φ и i – элементы орбиты. На момент наблюдения $t=23.672$ апреля 2020 г. (по мировому времени) комета находилась на гелиографической широте $b=45.4^\circ$.

По данным измерений космического аппарата Advanced Composition Explorer [14] скорость СВ равна $w_r=390\pm 7$ км/с.

Как видно, экспериментально измеренная и вычисленная по абберации скорости отличаются. Рассмотрим воздействие тангенциальной скорости солнечного СВ на плазму кометы:

$$tg \varepsilon = \frac{w_t + v_t}{w_r + v_r}. \quad (2)$$

Тангенциальная скорость, вычисленная по формуле (2), равняется $w_t \approx 7$ км/с и направлена против движения кометы. При условии, что комета и измеряемый аппарат находятся в одном потоке СВ, воздействие тангенциальной скорости может объяснить увеличение отклонения плазменного хвоста кометы от продолженного радиус-вектора и, соответственно, занижение абберационной скорости. Для подтверждения данного факта необходимы наблюдательные данные более двух суток, так как воздействие тангенциальной компоненты СВ кратковременное явление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khabarova O.V., Obridko V.N. et al. Evolution of the Solar Wind Speed with Heliocentric Distance and Solar Cycle. Surprises from Ulysses and Unexpectedness from Observations of the Solar Corona. – Plasma Physics Reports, 2018, Vol. 44, No. 9, pp. 840-853, DOI: 10.1134/S1063780X18090064.
2. Biermann L. Physical processes in comet tails and their relation to solar activity – La physique des cometes, Louvain, 1953, 251 p.
3. Belton M. J. S., Brandt J. C. Interplanetary gas. XII. A catalogue of comet-tail orientations – ApJS, 1966, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1966ApJS...13..125B/abstract>.
4. Brandt J. C. Interplanetary gas. XIII. Gross plasma velocities from the orientations of ionic comet tails – ApJ, 1967, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/ApJ...147..201B>.
5. Тарашук В.П. Активные области в солнечном ветре по данным наблюдений комет. – Астрометрия и астрофизика, 1974, т. 22, с. 53-57.

6. Тарашук В.П. Скорость солнечного ветра на низких гелиографических широтах. – Астрометрия и астрофизика, 1974, т. 22, с. 57-61.
7. Миникулов Н.Х., Гулямов М.И., Абдуллоев С.Х. Первые ПЗС-наблюдения в ГисАО – Известия АН РТ, 2007, №4 (129), с. 22-25.
8. Stumpff P. Uber die Projektion von beobachteten Schweifpunkten auf die Ebene der Kometenbahn. – A.N., 1956, Band 283, pp. 245-248.
9. Ибрагимов А.А. Определение скорости солнечного ветра по наблюдениям плазменных хвостов комет. – ДАН РТ, 2020, том 63 № 5-6, с. 343-349.
10. <https://minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>
11. The Astronomical Almanac for the year 2020, ISBN 978-0-7077-46005, ISSN 0737-6421.
12. Добровольский О.В. Кометы. – М.: Наука, 1966, 288 с.
13. Jockers K. The ion tail of comet Kohoutek 1973 XII during 17 days of solar wind gusts. – Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 1985, 62, pp. 791-838.
14. <https://www.swpc.noaa.gov/products/real-time-solar-wind-phase-ii>.

А.А.ИБРАГИМОВ

**МУАЙЯН НАМУДАНИ СУРЪАТИ ШАМОЛИ ОФТОБӢ БО ВОСИТАИ
ЧЕНКУНИИ НУҚТАҶОИ ДУМИ ПЛАЗМАВИИ КОМЕТАИ
C/2019 Y4 (ATLAS)**

Институти астрофизикаи АМИ Тоҷикистон

Дар мақола суръати радиалии шамоли офтобӣ аз рӯи мушоҳидаҳои думи плазмавии кометаи C/2019 Y4 (ATLAS) дар фазои наздикометавӣ ва арзи гелиографии комета муайян карда шудааст. Шартӣ кам гаштани қимати суръати муайяншуда нисбати суръати таҷрибавӣ чен кардаи дастгоҳи кайҳонӣ таъсири чӯзӣ тангенсиалии суръати шамоли офтобӣ пешниҳод карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: шамоли офтобӣ, комета, арзи гелиографӣ, суръати тангенсиалӣ.

A.A.IBRAGIMOV

**DETERMINATION OF SOLAR WIND VELOCITY BY MEASURING POINTS
PLASMA TAIL OF COMET C/2019 Y4 (ATLAS)**

Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan

The article determined the radial velocity of the solar wind from observations of the plasma tail of comet C/2019 Y4 (ATLAS) for near-comet space and the heliographic latitude of the comet. The effect of the tangential component of the solar wind velocity is proposed as a condition for underestimating the value of the determined velocity relative to the experimentally measured solar wind velocity by the spacecraft.

Key words: solar wind, comet, heliographic latitude, tangential velocity.

УДК 547.8

М.Ш.ХОЛОВ, Б.ДЖАФАРИ*, М.ДЖ.ХАЛИКОВА, Х.З.КАРАМБАХШОВ,
Ш.Р.САМИХОВ**, П.ЛАНГЕР*, С.Ш.САФАРОВ

**РЕАКЦИЯ ПАЛЛАДИЙ КРОСС-СОЧЕТАНИЯ БУХВАЛЬД-ХАРТВИГА
ДЛЯ 8-ХЛОР-2-МЕТИЛ-БЕНЗО[4,5]ТИАЗОЛО[3,2- А]ПИРИМИДИН-4-ОНА**

Институт химии им. В.И.Никитина Национальной Академии наук Таджикистана,

**Институт органической химии университета Росток, Германия,*

***Таджикский национальный университет*

Поступила в редакцию 07.04.2021 г.

Бензотиазоло[3,2-а]пиримидины обладают широким спектром фармакологической активности, такими, как антибактериальными, противоопухолевыми, фунгицидными, противолейшманиозными, успокоительными и противогрибковыми. Реакция кросс-сочетания Бухвальд-Хартвига, которая является образованием связей C-N посредством реакции кросс-сочетания палладия между аминами и арилзамещёнными галидами хорошо сработала также с различными аминами и гетерилгалидами, то есть 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-оном. При оптимизации реакции 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она с морфолином лучшим каталитическим условием оказалось применение в качестве катализатора $Pd_2(dba)_3 \cdot xCHCl_3$ (4 моль%), лиганда XPhos, (8 моль%) основания $NaOtBu$, (1.4 экв) и кипячение в толуоле (2 мл) в течение 16 ч. При этих условиях выход 8-морфолино-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она составил 85%, для других аминов - продуктов кросс-сочетания составил в процентах: 52 (8-фенил- метиламино-), 72 (8-фторфениламино-), 56 (8-(3-трифторметил-фениламино)-), и 63 (8-(3,5-тиметоксифениламино)-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она. Структурное разъяснение синтезированных соединений обосновано данными ЯМР 1H , ^{13}C и ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он, реакция аминирования, палладий кросс-сочетания Бухвальд-Хартвига.

Адрес для корреспонденции: Сафаров Сайфидин Шаҳобидинович, 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ. E-mail: safi@mail.ru.

В 1983 г. Мигита с соавторами разработал палладий (0) – каталитический метод аминирования бромаренов при помощи оловосодержащих амидов, как нуклеофилов. Хотя этот метод не смог получить широкого применения из-за токсичности соединений амида олова и ограничения эффективности в синтезе различных ариламидов, он способствовал дальнейшим исследованиям в этой области [1]. Позднее, в 1990-х гг., Бухвальд и Хартвиг по отдельности открыли новую палладий (0) - каталитическую реакцию, в которой амины использовались непосредственно в качестве нуклеофилов в присутствии оснований для синтеза аминов, реакция проходит без использования оловосодержащих амидов. Эта палладий- каталитическая реакция аминирования стала известна, как реакция аминирования Бухвальд-Хартвига, названная в честь американских исследователей Стивена Бухвальда и Джона Хартвига [1-3], применённая в синтетической органической химии для формирования связей C-N посредством реакции кросс-сочетания палладия между аминами и арилзамещёнными галидами [4].

Общий механизм реакции аминирования Бухвальд-Хартвига включает в себя каталитический цикл, состоящий из последовательных стадий: 1) окислительное присоединение, 2) образование амина, 3) депротонирование амина и 4) восстановительное элиминирование.

Механизм реакции начинается с окислительного присоединения органогиалида к Pd^0L_n для образования комплекса $R^1Pd^{II}L_nX$. Полученный арилпалладиевый (II) комплекс ($R^1Pd^{II}L_nX$) реагирует с амином и основанием, приводя к формированию связи металл-азот [4]. Этот процесс может проходить через несколько различных механизмов. Когда используется очень сильное основание, которое может депротонировать амин, конъюгатное основание амина может замещать галогенид в центре металла; однако использование такого сильного основания не распространено в реакциях Бухвальда-Хартвига (рис. 1). Когда галогенид арилпалладия (II) содержит открытый координационный центр, амин может координироваться с палладием до переноса протона на основание. Наконец, когда галогенид арилпалладия (II) не имеет открытой координационной площадки, восстановительная элиминация создает связь C–N и восстанавливает палладий (0). Этот этап обычно ограничивает оборот и сильно влияет на объём реакции. Как правило, чем выше плотность электронов в азоте, тем выше скорость восстановительного элиминирования. Кроме того, трёхкоординатные комплексы (генерируемые с использованием стерически объёмных фосфинов) подвергаются восстановительной элиминации с большей скоростью, чем четырёхкоординатные комплексы. В результате палладиевые комплексы стерически объёмистых трет-, бутил- или адамантилфосфинов обычно сопряжены с относительно слабыми нуклеофилами азота, такими как сульфонамиды [5].

Учитывая важность функций аминов в медицинской химии и фармакологии и удобство протекания реакции Бухвальд-Хартвига, а также из-за важности производных бензотиазоло[3,2-а]пиримидина, как фармакологических скаффолдов: антибактериальные

[6,7], противоопухолевые [8-10], фунгицидные [11] и противолейшманиозные, успокоительные, противогрибковые [12-24], мы вовлекли 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она (1) [25] в реакцию Бухвальд-Хартвига. Лучшие результаты были получены с использованием $\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$ - как катализатора, XPhos - как лиганда и NaOtBu - как основания в толуоле. Реакция 1 с морфолином дала желаемый продукт 3а с выходом 85% (табл. 1).

Важно отметить, что простое нуклеофильное ароматическое замещение ($\text{S}_{\text{N}}\text{Ar}$) в отсутствие палладиевого катализатора не привело к желаемому продукту (табл. 1, вход 8).

Таблица 1

Оптимизация синтеза соединения 3а: Р - реакция, [%]^а - выход продукта в процентах

Р	Катализатор, моль%	Лиганд, моль%	Основание, экв.	Растворитель, мл	[%] ^а
1	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, 2	XPhos, 8	NaOtBu, 1.4	толуол, 2	45
2	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, 2	DavePhos, 1.5	NaOtBu, 1.4	толуол, 3	0
3	$\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4$, 1	DavePhos, 8	NaOtBu, 1.4	толуол, 3	0
4	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, 2	XPhos, 8	NaOtBu, 1.4	толуол, 2	30
5	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, 4	XPhos, 8	NaOtBu, 1.4	толуол, 2	85
6	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, 1	XPhos, 2	NaOtBu, 1.4	толуол, 2	0
7	$\text{Pd}_2(\text{dba})_3$, 1	XPhos, 8	NaOtBu, 1.4	толуол, 2	0
8	-	-	NaOtBu, 1.4	метанол, 2	0

Реакция 1 с различными анилинами предоставила продукты 3b-e с хорошим выходом (табл. 1). Причём успешно были использованы анилины, содержащие электронно-донорные и электронно-акцепторные заместители.

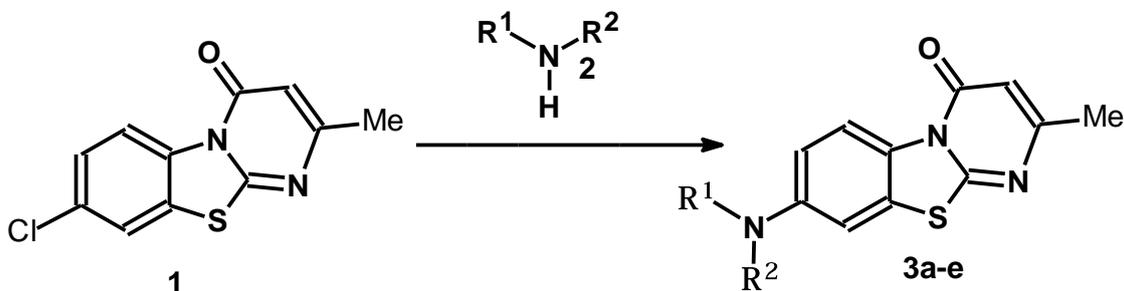


Схема 1. Получение целевых продуктов 3а-е: а) $\text{R}^1, \text{R}^2 = \text{H}_4\text{C}_2\text{OC}_2\text{H}_4$; б) $\text{R}^1 = \text{Me}, \text{R}^2 = \text{C}_6\text{H}_5$; в) $\text{R}^1 = \text{H}, \text{R}^2 = 4\text{-FC}_6\text{H}_4$; д) $\text{R}^1 = \text{H}, \text{R}^2 = 3\text{-F}_3\text{CC}_6\text{H}_4$; е) $\text{R}^1 = \text{H}, \text{R}^2 = 3,3\text{-(MeO)}_2\text{C}_6\text{H}_3$. Условие: амин (1.1 эквивалент), $\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$ (0.04 эквивалент), (0.08 эквивалент), NaOtBu (1.4 эквивалент), толуол (растворитель), 100°C, 16 ч.

Механизм реакции $1 + \text{V}^1 \rightarrow 3$ происходит по одной схеме каталитического цикла Бухвальд-Хартвига (рис. 1). После образования прекалалитического процесса L_nPd^0 ($n=1$ или $\text{L}=\text{XPhos}$) происходит окислительное присоединение L_nPd^0 к соединению 1 (Het-Br) с образованием A^1 , дальнейшая координация V^1 с A^1 в присутствии основания приводит к образованию депротонированного $\text{C}^1 \rightarrow \text{D}^1$, далее восстановительное элиминирование D^1

приводит к образованию целевого продукта 3 с формированием C-N-связи и регенерации катализатора.

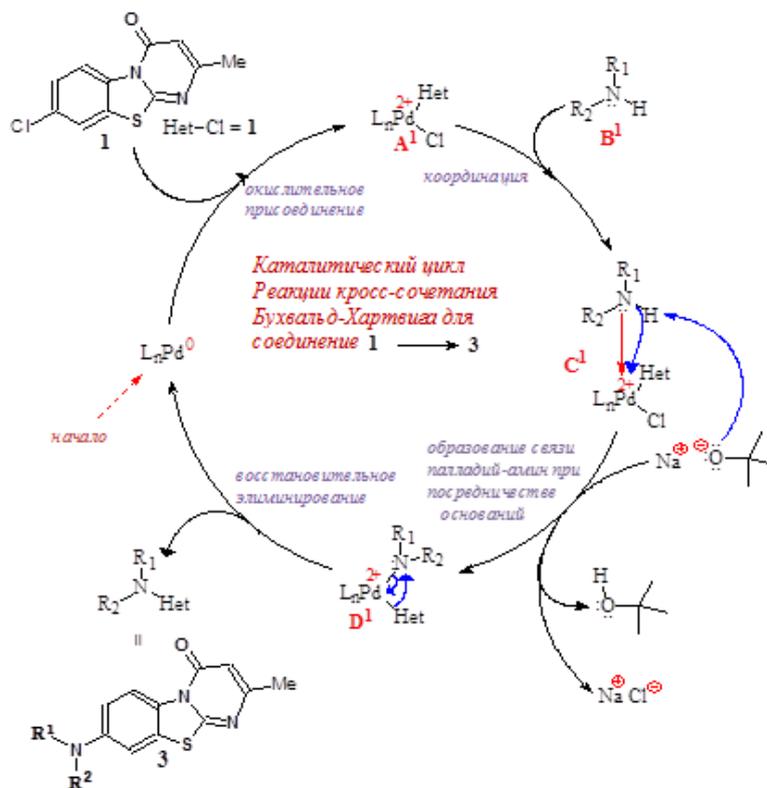


Рис. 1. Каталитический цикл реакции кросс-сочетания Бухвальд-Хартвига для получения соединения 3 из 1.

Достоверность структуры полученных соединений этой серии была подтверждена данными ЯМР ^1H , ^{13}C и ИК-спектроскопии.

На спектре ЯМР ^1H (CDCl_3) δ , м. д., Гц, были обнаружены характерные полосы поглощения для соединения 3а (рис. 2) в следующих областях: 8.89 (д, $^3\text{J} = 9.3$, 1H, CH_{Ar}), 7.09 (д, $^4\text{J} = 2.6$, 1H, CH_{Ar}), 7.03 (дд, $^3\text{J} = 9.3$, $^4\text{J} = 2.6$, 1H, CH_{Ar}), 6.22 (д, $^4\text{J} = 0.7$, 1H, $\text{CH}_{\text{Het-Ar}}$), 3.88 (т, $^3\text{J} = 4.9$, 4H, CH_2), 3.22 (т, $^3\text{J} = 4.9$, 4H, CH_2), 2.36 (д, $^4\text{J} = 0.5$, 3H, CH_3).

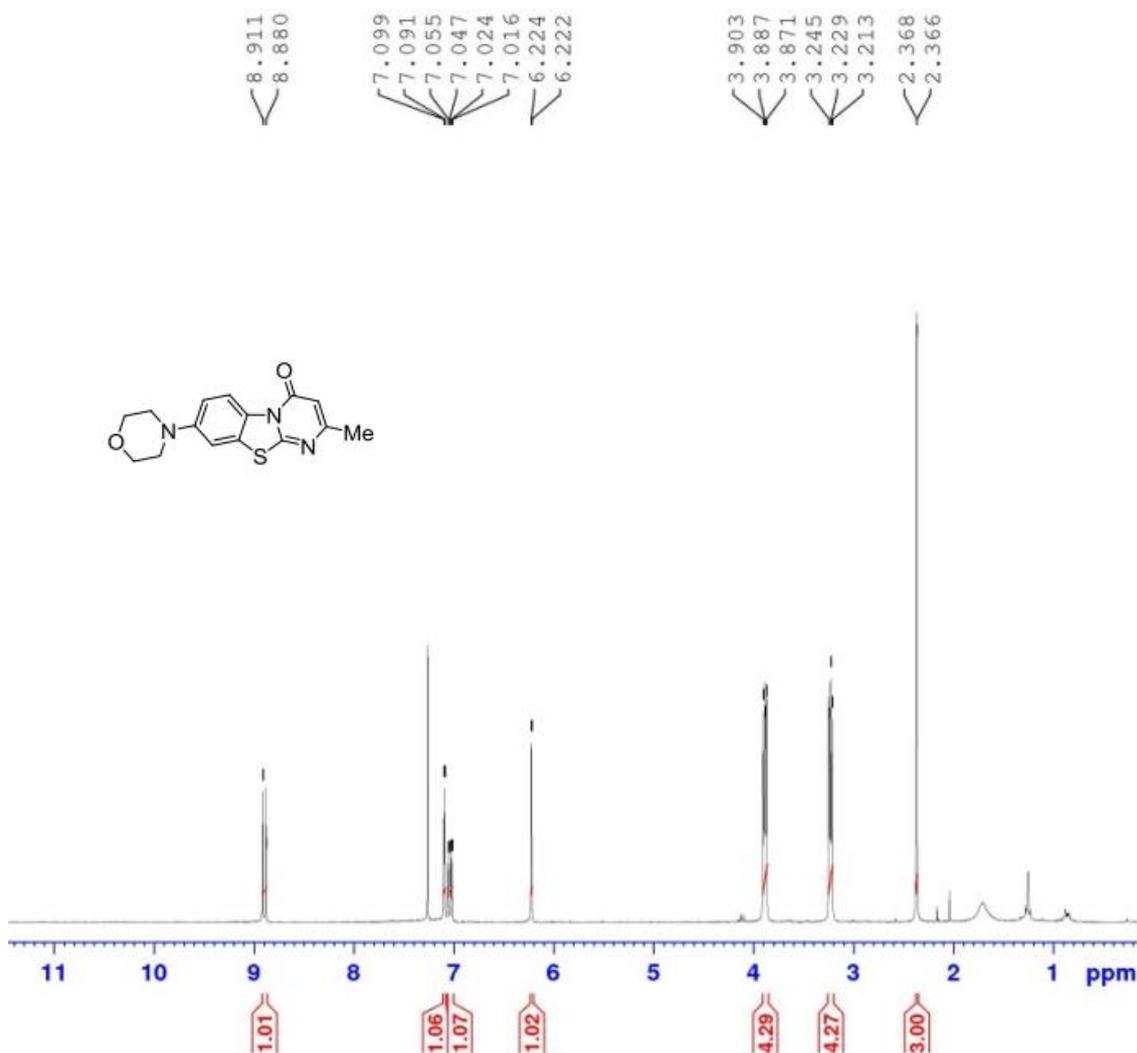


Рис. 2. Спектр ЯМР ¹H 8-морфолино-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она (3а) в CDCl₃.

На спектре ЯМР ¹³C (CDCl₃) δ, м. д., Гц, были обнаружены характерные полосы поглощения для соединения 3а (рис. 3) в следующих областях: 162.60 (C_{Аp}), 61.16 (C_{Аp}), 161.06 (C_{Аp}), 150.47 (C_{Аp}), 129.27 (C_{Аp}), 125.89 (C_{Аp}), 120.77 (CH_{Аp}), 115.00 (CH_{Аp}), 107.32 (CH_{Аp}), 107.18 (CH_{Гет-Аp}), 66.85 (CH₂), 49.27 (CH₂), 23.84 (CH₃).

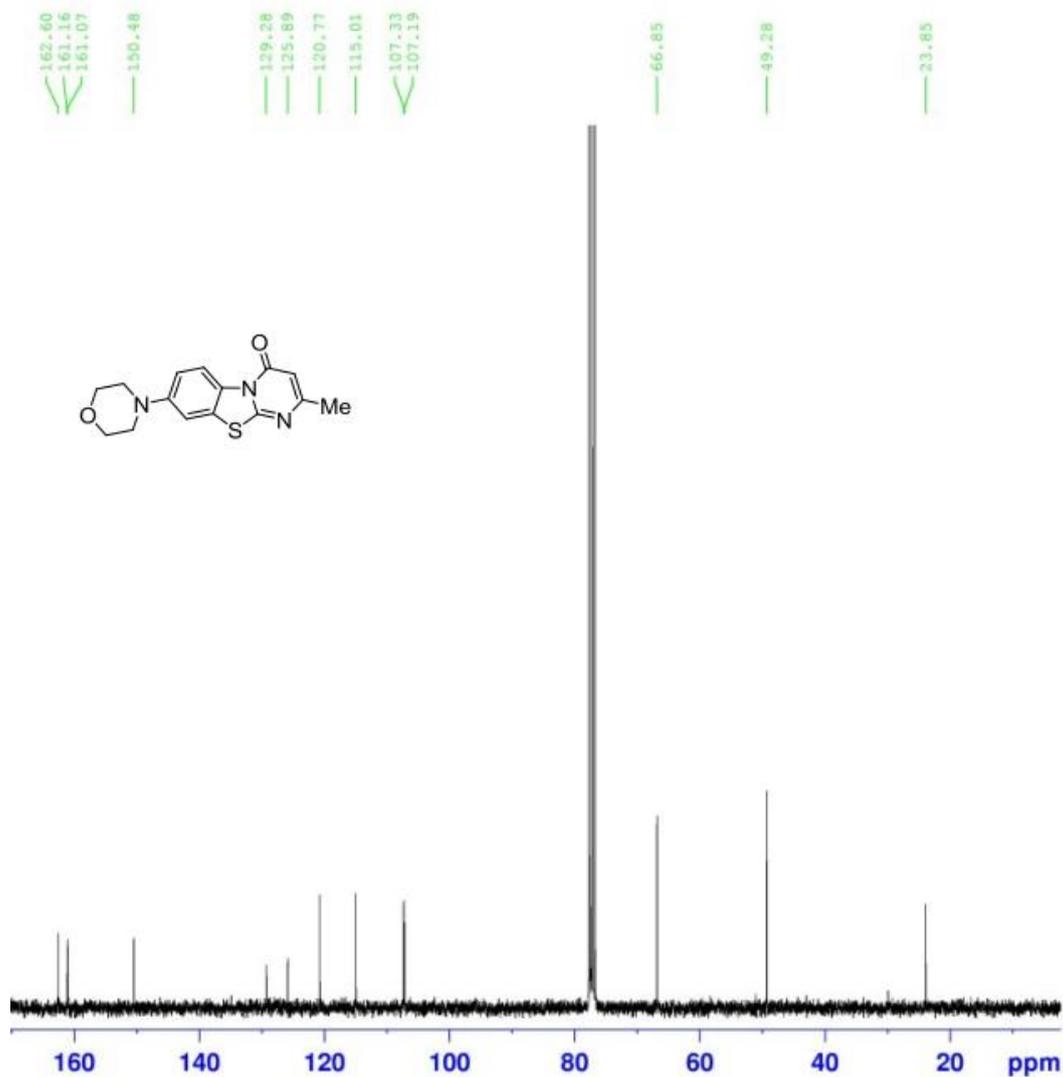


Рис. 3. Спектр ЯМР ¹³C 8-морфолино-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3а) в CDCl₃.

Выводы: 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2- а]пиримидин-4-он был вовлечён в реакцию кросс-сочетания Бухвальд-Хартвига с различными аминами. При оптимизации реакции с морфолином лучшее каталитическое условие было найдено с применением в качестве источника палладия Pd₂(dba)₃·CHCl₃ (4 моль%), лиганда XPhos (8 моль%) основания NaOtBu (1.4 экв) и кипячения в толуоле (2 мл) в течение 16 ч. При этих условиях выход 8-морфолино-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2- а]пиримидин-4-она составил 85%. Другие амины также хорошо работали в этих условиях и выход продукта кросс-сочетания составил от умеренного (52%) до хорошего (72%). Достоверность структур синтезированных соединений была подтверждена данными ЯМР ¹H, ¹³C и ИК-спектроскопии.

Экспериментальная часть

Исходные соединения для синтеза и растворители были доступны с чистотой более 99.5% основного компонента. Для тонкослойной хроматографии (ТСХ) были использованы пластинки марки Merck Silica 60 F254 над поверхностью алюминия от фирмы Macherey–Nagel. Для хроматографической колонки был использован силикагель марки Fluka silica gel 60 (0.063-0.200 мм, 70-320 меш) от фирмы Fluka.

Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C были записаны на инструментах Bruker 300, 400, Av. В качестве внутреннего стандарта был использован тетраметилсилан ($d = 0/00$ м.д.) Для калибровки ЯМР-сигналов были использованы стандартные сигналы хлороформа (7.260 м.д. для ^1H , 77.160 м.д. для ^{13}C). Для обозначения сигналов были использованы следующие сокращения: с (синглет), д (дублет), т (триплет), дд (двойной дублет), ддд (двойной двойной дублет), пт (псевдо триплет), к (квартет), п (пентет), гепт (гептет). Инфракрасные (ИК) спектры были записаны на спектрометре марки Bruker ALPHA-P с использованием метода ослабленного, полного отражения (attenuated total reflectance). Для обозначения сигналов ИК-спектров были использованы следующие знаки сокращения: сл (слабый), ср (средний) и сил (сильный). Рентгеноструктурный анализ монокристаллов был выполнен на Bruker-Nonius Apex X8 CCD-diffractometer.

Масс-спектры были записаны на приборе Finigal MAT 95, масс-спектры высокого разрешения были измерены на приборе QNOF ULTIMA 3, Thermo Electron LCQ Deca (San Jose, CA) ESI технологии. Элементный состав синтезированных соединений был выполнен в микроаналитической лаборатории университета Ростова.

Общая методика получения 8-амино-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-онов (3a-e)

8-Хлоро-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (1) (1.0 экв., 0.399 ммоль), амина (1.2 экв.), $\text{Pd}_2\text{dba}_3 \cdot \text{CHCl}_3$ (0.04 экв.), XPhos (0.08 экв.), NaOtBu (1.4 экв.) был нагрет при интенсивном перемешивании в сухом толуоле (2 мл) при 105°C в течение 16 ч. После охлаждения до комнатной температуры реакционная масса была разбавлена водой и экстрагирована из ЭА. Органический слой был высушен безводным сульфатом натрия, и растворитель был выпарен. Оставшееся твёрдое вещество было очищено хроматографической колонкой над силикагелем (ЭА : гептан).

8-Морфолино-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3a)

Получен из 1 и морфолина согласно разработанной общей методики для 3a-e. Выход 102 мг (0.33 ммоль, 85%), твёрдое коричневое вещество с т. пл. = $267-268^\circ\text{C}$. $R_f = 0.51$ (20% ЭА-гептан). ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д., Гц: 8.89 (д, $^3\text{J} = 9.3$, 1H, CH_{Ar}), 7.09 (д, $^4\text{J} = 2.6$, 1H, CH_{Ar}), 7.03 (дд, $^3\text{J} = 9.3$, $^4\text{J} = 2.6$, 1H, CH_{Ar}), 6.22 (д, $^4\text{J} = 0.7$, 1H, $\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 3.88 (т, $^3\text{J} = 4.9$, 4H, CH_2), 3.22 (т, $^3\text{J} = 4.9$, 4H, CH_2), 2.36 (д, $^4\text{J} = 0.5$, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д., Гц.: 162.60 (C_{Ar}), 61.16 (C_{Ar}), 161.06 (C_{Ar}), 150.47 (C_{Ar}), 129.27 (C_{Ar}), 125.89 (C_{Ar}), 120.77 (CH_{Ar}), 115.00 (CH_{Ar}), 107.32 (CH_{Ar}), 107.18 ($\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 66.85 (CH_2), 49.27 (CH_2), 23.84 (CH_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3109 (сл), 2961 (сл), 2322 (сл), 1981 (сл), 1666 (сил), 1596

(ср), 1501 (сил), 1390 (ср), 1251 (ср), 1230 (ср), 1114 (ср), 1021 (ср), 948 (ср), 910 (сл), 866 (сл), 831 (ср), 797 (сил), 748 (сл), 684 (ср), 621 (ср), 572 (ср), 458 (сл), 441 (сл). Масс-спектр FD MS m/z (%): 301(100), 300(11), 244(14), 243(86), 215(36), 214(20), 200(5), 187(7), 176(9), 134(3), 107(4), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₁₅H₁₅N₃O₂S: 301.08795, найден: 301.08777. Элементный состав вычислен в % для C₁₅H₁₅N₃O₂S: C, 59.78; H, 5.02; N, 13.94; найден, в %: C, 59.81; H, 5.05; N, 13.96.

8-Фенилметиламино-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3b)

Получен из **1** и N-метиланилина. Выход 62 мг (0.16 ммоль, 52%), твёрдое жёлтое вещество с т. пл. = 159-160°C. R_f = 0.56 (20% ЭА-гептан). ЯМР ¹H (CDCl₃), δ, м. д., Гц: 8.84 (д, ³J = 9.2, 1H, CH_{Аp}), 7.34-7.40 (м, 2H, CH_{Аp}), 7.16 (д, ³J = 7.6, 3H, CH_{Аp}), 7.05 (д, ⁴J = 2.4, 1H, CH_{Аp}), 6.99 (дд, ³J = 9.2, ⁴J = 2.5, 1H, CH_{Аp}), 6.21 (д, ⁴J = 0.7, 1H, CH_{Гет-Аp}), 3.37 (с, 3H, CH₂), 2.36 (с, 3H, CH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ, м. д., Гц.: 162.40 (C_{Аp}), 161.11 (C_{Аp}), 161.00 (C_{Аp}), 148.45 (C_{Аp}), 148.16 (C_{Аp}), 129.93 (CH_{Аp}), 128.78 (C_{Аp}), 125.64 (C_{Аp}), 124.46 (CH_{Аp}), 124.26 (CH_{Аp}), 120.61 (CH_{Аp}), 116.02 (CH_{Аp}), 108.61 (CH_{Аp}), 107.08 (CH_{Гет-Аp}), 40.66 (CH₃), 23.84 (CH₃). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3122 (сл), 3101 (сл), 3000 (сл), 2651 (сл), 1667 (сил), 1588 (ср), 1390 (ср), 1339 (сил), 1255 (сл), 1167 (ср), 1081 (сл), 977 (ср), 811 (ср), 760 (ср), 693 (ср), 628 (сл), 570 (сл), 478 (сл), 423 (ср). Масс-спектр FD MS m/z (%): 321(100), 320(19), 279(11), 254(4), 219(2), 206(2), 205(2), 192(3), 181(2), 179(2), 161(2), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₁₈H₁₅N₃OS: 321.09303; найден: 321.09277. Элементный состав вычислен в % для C₁₈H₁₅N₃OS: C, 62.27; H, 4.70; N, 13.07; найден, в %: C, 62.31; H, 4.65; N, 13.03.

8-(Фторфениламино)-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3с)

Получен из **1** и 4-фторанилина. Выход 92 мг (0.28 ммоль, 72%), твёрдое коричневое вещество с т. пл. = 152-153°C. R_f = 0.68 (20% ЭА-гептан). ЯМР ¹H (CD₃SOCD₃), δ, м. д., Гц: 8.71 (д, ³J = 9.0, 1H, CH_{Аp}), 8.54 (с, 1H, NH), 7.60 (с, 1H, CH_{Аp}), 7.10-7.16 (м, 5H, CH_{Аp}), 6.23 (с, 1H, CH_{Гет-Аp}), 2.29 (с, 3H, CH₃). ЯМР ¹³C (CD₃SOCD₃), δ, м. д., Гц.: 161.95 (C_{Аp}), 160.72(C_{Аp}), 159.79 (C_{Аp}), 143.46 (C_{Аp}), 141.76 (д, ¹J = 245.4, CF), 138.57 (д, ⁴J = 2.2, C_{Аp}), 128.05 (C_{Аp}), 125.43 (C_{Аp}), 120.21 (д, ³J = 8.0, CH_{Аp}), 119.73 (CH_{Аp}), 115.86 (д, ²J = 22.3, CH_{Аp}), 114.91 (CH_{Аp}), 107.28 (CH_{Аp}), 106.09 (CH_{Гет-Аp}), 23.07 (CH₃). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3296 (ср), 3221 (сл), 3116 (сл), 3076 (сл), 2922 (сл), 1655 (сил), 1598 (ср), 1544 (сл), 1496 (сил), 1402 (ср), 1385 (ср), 1364 (сл), 1340 (сл), 1253 (сл), 1213 (ср), 1101 (сл), 854 (ср), 792 (сл), 701 (ср), 681 (ср), 562 (сл), 532 (ср). Масс спектр FD MS m/z (%): 325 (100), 297 (16), 296 (10), 283 (21), 281 (11), 209 (11), 208 (17), 207 (74), 191 (6), 148 (12), 133 (7), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI, M+H)⁺ вычислен для C₁₇H₁₃FN₃OS: 326.07579, найден: 326.07579; (ESI, M+Na)⁺ вычислен для C₁₇H₁₂FN₃NaOS: 348.05773, найден: 348.05785. Элементный состав вычислен в % для C₁₇H₁₂FN₃OS: C, 62.76; H, 3.72; N, 12.91; найден, в %: C, 62.73; H, 3.79; N, 12.97.

8-(3-Трифторметилфениламино)-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3d)

Получен из **1** и 3-трифторметиланилина. Выход 84 мг (0.22 ммоль, 56%), твёрдое жёлтое вещество с т. пл. = 197-198°C. $R_f = 0.63$ (20% ЭА-гептан). ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д., Гц: 8.96 (д, $^3\text{J} = 9.2$, 1H, CH_{Ar}), 7.56 (д, $^4\text{J} = 2.0$, 1H, CH_{Ar}), 7.46 (с, 1H, NH), 7.42 (с, 1H, CH_{Ar}), 7.28-7.34 (м, 3H, CH_{Ar}), 7.15 (дд, $^3\text{J} = 9.1$, $^4\text{J} = 2.2$, 1H, CH_{Ar}), 6.25 (с, 1H, $\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 2.38 (с, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д., Гц.: 162.82 (C_{Ar}), 161.11 (C_{Ar}), 160.77 (C_{Ar}), 154.74 (C_{Ar}), 148.10 (C_{Ar}), 147.03 (C_{Ar}), 134.64 (CH_{Ar}), 133.06 (CH_{Ar}), 131.74 (C_{Ar}), 129.76 (к, $^2\text{J} = 31.6$, CH_{Ar}), 127.58 (CH_{Ar}), 125.81 (C_{Ar}), 124.70 (к, $^3\text{J} = 2.7$, CH_{Ar}), 121.78 (CH_{Ar}), 121.00 (CH_{Ar}), 115.28 (к, $^1\text{J} = 277.4$, CF_3), 107.53 ($\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 23.83 (CH_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3457 (ср), 3290 (ср), 3077 (ср), 2730 (сл), 1647 (сил), 1596 (ср), 1533 (ср), 1491 (сил), 1442 (ср), 1391 (ср), 1327 (ср), 1258 (ср), 1153 (ср), 1124 (ср), 1066 (сл), 978 (ср), 949 (ср), 859 (ср), 694 (ср), 562 (ср). Масс-спектр FD MS m/z (%): 375(100), 347(19), 346(16), 333(14), 308(7), 222(3), 173(2), 145(3), 95(2), 67(4), 39(4), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{F}_3\text{N}_3\text{OS}$: 375.06477, найден: 375.06417. Элементный состав вычислен в % для $\text{C}_{18}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{OS}$: C, 57.59; H, 3.22; N, 11.19; найден, в %: C, 57.61; H, 3.19; N, 11.21.

8-(3,5-Диметоксифениламино)-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (3e)

Получен из **1** и 3,5-диметоксианилина. Выход 89 мг (0.24 ммоль, 63%), твёрдое жёлтое вещество с т. пл. = 218-219°C. $R_f = 0.60$ (20% ЭА-гептан). ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д., Гц: 8.88 (д, $^3\text{J} = 9.1$, 1H, CH_{Ar}), 7.34 (д, $^4\text{J} = 2.2$, 1H, CH_{Ar}), 7.11 (дд, $^3\text{J} = 9.1$, $^4\text{J} = 2.4$, 1H, CH_{Ar}), 6.27 (д, $^4\text{J} = 2.2$, 2H, CH_{Ar}), 6.22 (д, $^4\text{J} = 0.7$, 1H, $\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 5.96-6.15 (м, 2H, NH, CH_{Ar}), 3.77 (с, 6H, OCH_3), 2.37 (д, $^4\text{J} = 0.6$, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д., Гц.: 162.25 (C_{Ar}), 161.78 (C_{Ar}), 160.95 (C_{Ar}), 160.80 (C_{Ar}), 143.64 (C_{Ar}), 142.61 (C_{Ar}), 129.71 (C_{Ar}), 125.70 (C_{Ar}), 120.89 (CH_{Ar}), 116.94 (CH_{Ar}), 108.85 (CH_{Ar}), 106.99 ($\text{CH}_{\text{Гет-Ар}}$), 97.43 (CH_{Ar}), 94.29 (CH_{Ar}), 55.39 (OCH_3), 23.58 (CH_3). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3303 (сл), 2926 (сл), 1731 (сл), 1659 (сил), 1584 (сил), 1543 (ср), 1495 (ср), 1481 (сл), 1386 (сл), 1261 (ср), 1203 (ср), 1152 (сил), 1068 (ср), 977 (ср), 833 (ср), 805 (сил), 765 (сл), 681 (ср), 579 (сл), 537 (сл). Масс-спектр FD MS m/z (%): 367(100), 338(8), 281(7), 207(4), 199(4), 155(4), 73(26), 69(10), 63(7), 54(4), 39(18), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI, $\text{M}+\text{H}^+$) вычислен для $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}$: 368.10634, найден: 368.10649, (ESI, $\text{M}+\text{Na}^+$) вычислен для $\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$: 390.08828, найден: 390.08874. Элементный состав вычислен в % для $\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}$: C, 62.11; H, 4.66; N, 11.44; найден, в %: C, 62.13; H, 4.70; N, 11.47.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kosugi M., Kameyama M., Migita T. Palladium-catalyzed aromatic amination of aryl bromides N, N-diethylamino-tributyltin. – Chem. Lett., 1983, v. 12(6), pp. 927-928.

2. Louie J., Hartwig J.F. Palladium-catalyzed synthesis of arylamines from aryl halides. Mechanistic studies lead to coupling in the absence of tin reagents. – *Tetrahedron. Lett.*, 1995, v. 36(21), pp. 3609-3612.
3. Guram A.S., Rennels R.A., Buchwald S.L. A Simple Catalytic Method for the Conversion of Aryl Bromides to Arylamines. – *Angew. Chem. Int. Ed.*, 1995, v. 34(12), pp. 1348-1350.
4. Heravi M.M., Kheilkordi Z., Zadsirjan V., Heydari V, Malmir M. Buchwald-Hartwig reaction: An overview. – *J. Organomet. Chem.*, 2018, v. 861, pp. 17-104.
5. Hartwig J.F., Shaughnessy K.H., Shekhar S., Green R. A. Palladium-Catalyzed Amination of Aryl Halides. – *Org. React.*, 2019, v. 100, 14 p.
6. Bhosale V. N., Vartale S.P., Deshmukh V.K., Kuberkar S.V. Novel synthesis and antibacterial activity of 3-amino-8-chloro-4-oxo-(2H)/aryl/heterylpyrazolo[3',4':4,5]pyrimido[2,1b][1,3]benzothiazoles. – *J. Chem. Pharm. Res.*, 2010, v. 2, pp. 51-58.
7. Sharma P. K., Kumar M., Mohan V. Synthesis and antimicrobial activity of 2H- pyrimido-[2,1-b]benzothiazol-2-ones. – *Res. Chem. Intermed.*, 2010, v. 36, pp. 985-993.
8. El-Sherbeny M.A. Synthesis of certain pyrimido[2,1-b]benzothiazole and benzothiazolo-[2,3-b]quinazoline derivatives for in vitro antitumor and antiviral activities. – *Arzn.-Forsch.*, 2000, v. 50(9), pp. 848-853.
9. Trapani G., Carotti A., Franco A., Latrofa G., Gench G., Liso G. Structure-affinity relationships of some alkoxycarbonyl-2H-or-4H-pyrimido [2,1-b]benzothiazol-2- or 4-one benzodiazepine receptor ligands. – *Eur. J. Med. Chem.*, 1993, v. 28(1), pp. 13-21.
10. Trapani G., Franco A., Latrofa G., Carotti A., Genchi G., Serra M., Biggio G., Liso G. Synthesis and benzodiazepine receptor binding of some imidazo- and pyrimido[2,1-b]benzothiazoles. – *Eur. J. Med. Chem.*, 1996, v. 31(7,8), pp. 575-587.
11. Hilal H.S., Ali-Shtayeh M.S., Arafat R., Al-Tel T., Voelter W., Barakat A. Synthesis of new series of heterocyclic scaffolds for medicinal purposes. – *Eur. J. Med. Chem.*, 2006, v. 41, pp.1017-1024.
12. Ram V.J., Singha U.K., Guru O.Y. Synthesis of Pyrimidines and Azolopyrimidines as Leishmanicides. – *ChemInform*, 1990, v. 11, p. 1-21.
13. Chaitanya M.S., Nagendrappa G., Vaidya V.P. Synthesis, biological and pharmacological activities of 2-methyl-4Hpyrimido[2,1-b][1,3]benzothiazoles. – *J. Chem. Pharm. Res.*, 2010, v. 2, pp. 206–213.
14. Jones E.D., Vandegraaff N., Le G., Choi N., Issa W., Macfarlane K., Thienthong N., Winfield L.J., Coates J.A., Lu L., X. Li, Feng X., Yu C., Rhodes D.I., Deadman J.J. Design of a series of bicyclic HIV-1 integrase inhibitors. Part 1: selection of the scaffold. – *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2010, v. 20, pp. 5913–5917.
15. Gupta S.V., Baheti K.G., Ganorkar S.B., Dekhane D., Pawar S., Thore S.N. Synthesis and pharmacological investigation of novel 2-substituted-3-carboxamido-4H-pyrimidobenzothiazole derivatives as a new class of H1-antihistaminic agent. – *Med. Chem. Res.*, 2013, v. 22, pp.1065-1072.
16. Shukla G., Tiwari A.K., Singh V.K., Bajpai A., Chandra H., Mishra A.K. Effect of a Novel Series of Benzothiazolo-Quinazolones on Epidermal Growth Factor Receptor (EGFR) and Biological Evaluations. – *Chem. Biol. Drug Des.*, 2008, v. 72, pp. 533–539.
17. Kandeel M.M., Synthesis and Biological Activity of Some New Diaryl Sulphones Containing Fused Thiazolo Pyrimidines. – *J. Chin. Chem. Soc.*, 2001, v. 48, pp. 37-43.
18. Rao G.D., Acharya B., Verma S., Kaushik M. N, N'-Dichlorobis (2,4,6-trichlorophenyl) urea (CC-2) as a new reagent for the synthesis of pyrimidone and pyrimidine derivatives via Biginelli reaction. – *Tetrahedron Lett.*, 2011, v. 52, pp. 809-812.
19. Sahu P.K., Sahu P.K., Jain R., Yadav R., Agarwal D.D. Hydrotalcite: recyclable, novel heterogeneous catalyst for facile, environmentally benign and high yielding multi-component synthesis

- and mechanistic study under solvent free conditions. – Catal. Sci. Technol., 2012, v. 2, pp. 2465-2475.
20. Sahu P.K., Lal J., Thavaselvam D., Agarwa D. A facile green synthesis and in vitro antimicrobial activity 4H-pyrimido[2,1-b][1,3]benzothiazole derivatives using aluminum trichloride under solvent free conditions. – Med. Chem. Res., 2012, v. 21, pp. 3826-3834.
 21. Atar A.B., Jeong Y.S., Jeong Y.T. Iron fluoride: the most efficient catalyst for one-pot synthesis of 4H-pyrimido[2,1-b]benzothiazoles under solvent-free conditions. – Tetrahedron, 2014, v. 70(34), pp. 5207-5213.
 22. Kaur N., Kaur K., Raj T., Kaur G., Singh A., Aree T., Jang D.O. One-pot synthesis of tri-cyclic dihydropyrimidine derivatives and their biological evaluation. – Tetrahedron, 2015, v. 71, pp. 332-337.
 23. Nagarapu L., Gaikwad H.K., Palem J.D., Venkatesh R., Bantu R., Sridhar B. Convenient approach for the one-pot, three-component synthesis of triheterocyclic 4H-pyrimido[2,1-b]- benzothiazole derivatives using TBAHS. – Synth. Commun., 2013, v. 43, pp. 93-104.
 24. Sahu P.K., Sahu P.K., Agarwal D.D. Efficient and facile synthesis of heterocycles and their mechanistic consideration using kaolin. – RSC Adv., 2013, v. 3, pp. 9854-9864.
 25. Jafari B., Rashid F., Safarov S., Ospanov M., Yelibayeva N., Abilov Zh.A., Turmukhanova M.Z., Kalugin S.N., Ehlers P., Umar M.I., Zaib S., Iqbal J., Langer P. Synthesis of Novel Benzothiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-ones with Potential Cytotoxic and Pro-Apoptotic Potential. – Chemistry Select, 2018, v. 3, pp. 12213-12218.

М.Ш.ХОЛОВ, Б.ДЖАФАРИ*, М.ДЖ.ХАЛИКОВА, Х.З. КАРАМБАХШОВ,
Ш.Р.САМИХОВ**, П.ЛАНГЕР*, С.Ш.САФАРОВ

**РЕАКСИЯИ ПАЛЛАДИЙ КРОСС-ОМЕЗИШИ
БУХВАЛД-ХАРТВИГ БАРОИ**

8-ХЛОП-2-МЕТИЛ-БЕНЗО[4,5]ТИАЗОЛО[3,2- А]ПИРИМИДИН-4-ОН

Институти химия ба номи В.И.Никитинаи АМИТ,

**Институти химияи органикии донишгоҳи Росток, Германия,*

***Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*

Бензотиазоло[3,2-а]пиримидинҳо дорои спектрҳои васеи фаъоли фармакологӣ ба монанди антибактерияҳои бар зиддиварам, фунгисидӣ, зиддидейшманиоза, оромкунанда ва зиддихоришак мебошад. Реаксияи кросс-омезиши Бухвалд-Хартвиг ин реаксияи бавучудоии банди С-Н ба воситаи реаксияи палладий кросс-омезиши байни аминҳо ва арилҳосилаи галид буда, инчунин бо аминҳои гуногун ва гетерил галидҳо, яъне 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он хеле хуб кардааст. Барои оптимизатсияи реаксияи 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2- а]пиримидин-4-он бо морфолин шароити хуби каталитики истифодаи шароити зерин буд: ба сифати катализатор Pd₂(dba)₃CHCl₃, (4 мол%), лиганд XPhos (8 мол%) основания NaOtBu (1., экв) ва чӯшиш дар толуол (2 мл) давоми 16 соат. Дар ин шароит баромади 8-морфолин-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он 85%-ро ташкил дода барои маҳсулотҳои аминҳои дигари кросс-омезиш бо фоиз: 52 (8-фенилметиламино-), 72 (8-фторфениламино-), 56(8-(3-трифторметил-

фениламино)-, ва 63 (8-(3,5-тиметоксифениламино)-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-он ташкил додааст. Сохти павастҳои синтешкардашуда бо маълумотҳои спектрии ЯМР ^1H , ^{13}C ва ИК асоснок карда шудааст.

Калимаҳои калиди: 8-хлор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-он, реаксияи аминиронии палладий кросс-омезишии Бухвалд-Хартвиг.

M.Sh.KHOLOV, B.JAFARI*, M.D.KHALIKOVA, Kh.Z.KARAMBAKHSHOV,
Sh.R.SAMIKHOV**, P.LANGER*, S.Sh.SAFAROV

**PALLADIUM CROSS-COUPPLING REACTION OF BUCHWALD-HARTWIG
FOR 8-CHLORA-2-METHYL-BENZO [4.5] THIAZOLO [3, 2- A]
PYRIMIDIN-4-ONE**

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

**Institute of organic Chemistry University of Rostock Germany,*

***Tajik National University of Republic Tajikistan*

Benzothiazolo [3,2-a] pyrimidine has a wide range of pharmacologically active properties such as antibacterial antitumor antitumor, fungicidal, antitumor, sedative and antifungal. The Buchwald-Hartwig cross-coupling reaction, which is a reaction of the formation of C-N bonds by a palladium cross-coupling reaction between amines and aryl substituted halides, also worked well with different amines and heteryl halides, i.e. 8-chloro-2-methylbenzo [4.5] thiazolo [3,2-a] pyrimidin-4-one. By optimization the reaction of 8-chlorine-2-methylbenzo [4.5] thiazolo [3.2-a]pyrimidine -4-one with morpholine, the best a catalytic condition appeared application as catalyst $\text{Pd}_2(\text{dba})_3 \cdot \text{CHCl}_3$, (4 mol%) , ligand XPhos (8 mol %) bases NaOtBu, (1.4 экв) and boiling in toluene (2 ml) during 16 h. Under these conditions yield of 8-morfolino-2-methylbenzo [4.5] thiazolo [3.2-a] a pyrimidine -4-one was 85%, for other amines of products of a cross-coupling a percentage of yields were: 52 (8-phenylmethylamino-), 72 (8-fluorphenylamino-), 56 (8-(3-trifluormethylphenylamino)-) and 63 (8-(3,5-dimethoxyphenylamino) -2-methylbenzo[4.5] thiazole [3.2-a]pyrimidine-4-one, Structural explanation of the synthesized connections are proved by data of NMR ^1H , ^{13}C and IR-spectroscopy

Key words: 8-chloro-2-methylbenzo[4.5]thiazolo [3,2-a]pyrimidin-4-one, palladium reaction cross-coupling of Buchwald-Hartwig-amination.

УДК 539.01-539.12; 621.039

Х.М.НАЗАРОВ, И.МИРСАИДЗОДА (И.У.МИРСАИДОВ), Б.Б.БАРОТОВ, К.О.БОБОЕВ,
У.М.МИРСАИДОВ**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ ОТХОДОВ
ХВОСТОХРАНИЛИЩА АДРАСМАН***Агентство по ядерной и радиационной безопасности**Национальной академии наук Таджикистана**Поступила в редакцию 21.01.2021 г.*

Приведены результаты по переработке урановых отходов хвостохранилища Адрасман. Определены химические, гранулометрические, минералогические составы урановых отходов, а также их активности. Найдены оптимальные параметры переработки хвостов.

Ключевые слова: отходы, хвостохранилище, уран, активность, Адрасман.

Во второй половине 20 века более 30% производимого в СССР уранового концентрата в виде жёлтого кека поступало из стран Центральной Азии. Технологии добычи и переработки урановых руд разрабатывались одними и теми же научно-исследовательскими и проектными организациями в составе Министерства среднего машиностроения. Характеристики наследия урановых площадок в Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане отличаются. В некоторых странах Центральной Азии было сильно развито подземное выщелачивание, в других – традиционный гидрометаллургический способ [1].

В период с 1961 по 1995 гг. на многих рудниках произошло прекращение добычи, однако восстановительные мероприятия были проведены лишь на незначительном количестве объектов, которые располагались в районе расположения важных населенных пунктов [2].

Так, в Таджикистане, в густо населенном районе г. Бустон (бывший г. Чкаловск), отвалы урановых руд были закрыты стабильным грунтовым покрытием слоем 1 м, что существенно снизило эманацию радона и дозы гамма-излучения на поверхности отвала. Тем не менее, отвалы здесь продолжают оставаться фактором риска, поскольку они расположены всего в 50 м от жилых домов. Следует отметить, что реабилитационные мероприятия были произведены на очень небольшом количестве объектов, а часто и вовсе не

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

проводились, специальные фонды для восстановления радиационной безопасности также не создавались. Тем не менее, последующая судьба наследия урановой промышленности, начиная с середины 1990-х годов, существенно различалась в каждой из республик Центральной Азии. Так, если в Таджикистане и Кыргызстане добыча и переработка урановых руд были практически прекращены, то в Узбекистане и Казахстане добыча продолжается до настоящего времени.

Проблемы отходов, которые образовались от прошлой деятельности, должны быть решены соответствующим образом. В большинстве стран данного региона основным ограничением для рекультивации является недостаток доступных финансовых ресурсов, которые могут быть направлены на эти цели. Другим существенным ограничением для развития национальных планов реабилитационных мероприятий является недостаток соответствующей регуляторной инфраструктуры.

В последние годы внимание многих исследователей направлено на обеззараживание местностей, в которых проводилась добыча радиоактивных веществ. На сегодняшний день радиоактивные отходы не нашли своего применения, но их можно вторично перерабатывать с целью добычи уранового концентрата и утилизации отходов [3-5].

Поэтому разработка технологии переработки отходов урановой промышленности является актуальной задачей.

В работах [1, 2] описаны результаты переработки отходов хвостохранилища «Карта 1-9» (г. Бустон) и хвостохранилищ Гафуровского района.

В настоящей работе приводятся результаты исследования по поиску и возможности вторичной переработки урановых отходов на примере хвостохранилища Адрасман. Химический, гранулометрический, минералогический составы и активность хвостов Адрасмана приведены в табл. 1-5.

Таблица 1

Гранулометрический состав хвостов из хвостохранилища Адрасман

Выход классов	Крупность классов, мм					Σ выход классов
	+1	-1+0,314	-0,314 +0,1	-0,1+ 0,074	< 0,074	
в граммах	5	65	70	110	250	500
в %	1	13	14	22	50	100

Мощность гамма-излучения на поверхности составляет 0.85-1.25 мкЗв/час, а в теле хвостохранилища 0.5-150.0 мкЗв/час. Суммарная активность составляет 160 Кюри. Общегодовой выброс радона 6.5-7.0 Кюри/год (табл. 2).

Таблица 2

Радионуклидный состав хвостов из хвостохранилища Адрасман

Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг	Радионуклиды	Средневзвешенная активность, Бк/кг
^{40}K	180±7	^{227}Th	76±3
^{210}Pb	874±124	^{228}Ac	148±2
^{212}Bi	88±4	^{228}Th	2017±202
^{212}Pb	154±10	$^{234}\text{Pa-M}$	892±101
^{214}Bi	1551±16	^{234}Th	1272±131
^{214}Pb	1486±47	^{235}U	99±4
^{219}Rn	84±4	$^{238}\text{U+dau}$	1271±94
^{226}Ra	1626±291		

Таблица 3

Активность ЕРН в пробах, отобранных из Адрасманского хвостохранилища

Активность радионуклидов, Бк/кг			A _{эфф.} , Бк/кг
^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
2087-29677	30-342	535-1812	2200-30285

Таблица 4

Минералогический состав хвостов из хвостохранилища Адрасман

Минерал	№3				Старые данные
	%				
Кварц - SiO_2	39.80	94.66	95.12	23.80	85-95
Циркон - $\text{Zr}(\text{SiO}_4)$	53.65				
Барит - BaSO_4	6.55				
$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$		3.31			
$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$		2.03	1.76		
$(\text{Na}_{0.98}\text{Ca}_{0.02})(\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8)$			3.12		
Гематит - Fe_2O_3				76.20	
^{238}U					0.02-0.08
Fe					5-7
Ca					10-15

Минералогический состав руды определяли рентгенофазовым анализом на приборе ДРОН-3 (модернизированный) с цифровой обработкой на медном аноде (35 кВ и 20 мА) и никелевым фильтром. Основными минералами руды являются кварц, альбит, ортоклаз, урановая слюда (рисунок).

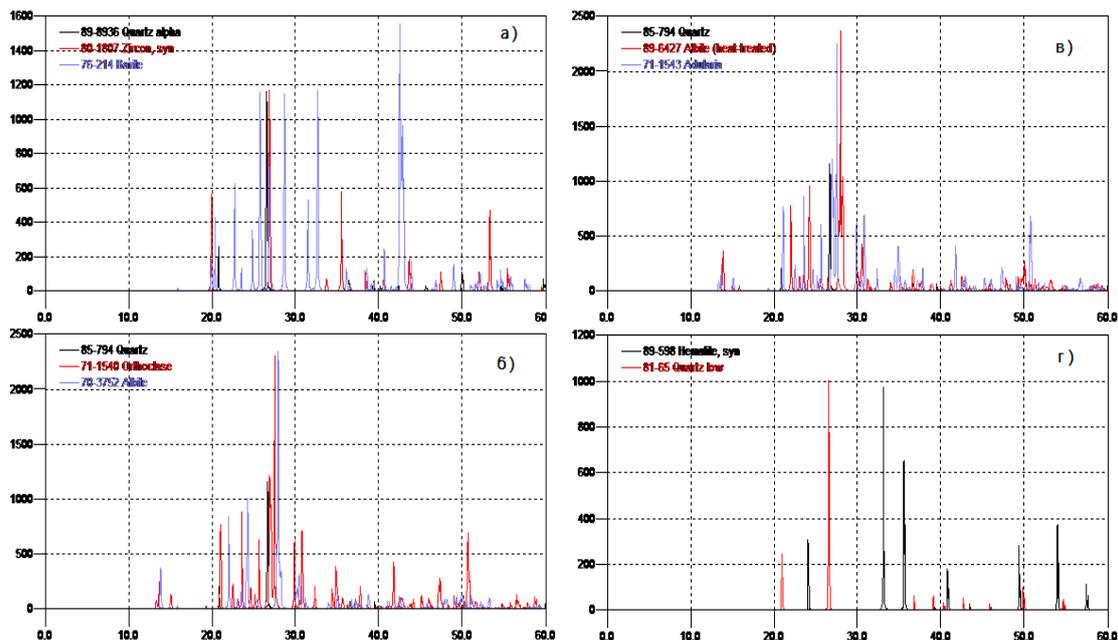


Рисунок. Рентгенограмма радиоактивных отходов из хвостохранилища Адрасман.

Результаты химических анализов обобщены в табл. 5.

Таблица 5

Среднее содержание элементов в составе хвостов Адрасманского хвостохранилища

Содержание элементов											
Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	V	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	U*
мг/кг									%		
129	304	103	132	42	5	186	109	51	0,3	9	0.024

*Анализ на уран объёмным методом, %

С учётом того, что руда является карбонатной, для её выщелачивания можно рекомендовать содовый метод.

Найдены оптимальные параметры переработки отходов и предложена принципиальная технологическая схема их переработки.

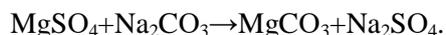
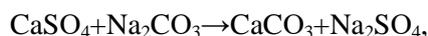
При переработке отходов хвостохранилища Адрасман, содержащих карбонаты, кислотное выщелачивание экономически невыгодно, поэтому применяют разложение с помощью растворов карбонатов щелочных металлов.

В основе карбонатного выщелачивания лежит реакция



При этом уран переходит в сравнительно хорошо растворимое в воде комплексное соединение – трикарбонатуранилат натрия. По этой реакции с применением содового раствора довольно легко вскрываются все осадочные урановые породы, трёхокись и моноуранаты [6, 7].

Нежелательными примесями при содовом выщелачивании являются гипс и сульфат магния, так как их взаимодействие с содой приводит к большому расходу последней:



При содовом выщелачивании урановых руд образуются труднорастворимые гидроксиды металлов (для шестивалентного урана характерно образование диуранатов) (табл. 6).

Таблица 6

Растворимость в воде гидроксидов некоторых металлов при температуре 25°C [7]

Гидроксид металла	Растворимость, мг/л	Гидроксид металла	Растворимость, мг/л
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1200	$\text{UO}_2(\text{OH})_2$	9
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	4	$\text{U}(\text{OH})_4$	0.0001
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	2	$(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$	0.5
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	0.0002	$\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$	0.5
$\text{Al}(\text{OH})_3$	0.0006	-	-

За исключением кальция, все эти металлы могут быть количественно переведены в осадок при содовой обработке урановых руд. Однако осаждение гидратов наблюдается лишь при определённом значении pH растворов.

Количественное осаждение урана наблюдается при значениях pH=6; осаждение урановых концентратов проводят в большинстве случаев аммиаком или щелочью в пределах pH=6-7.

Учитывая всё это, карбонатное выщелачивание проводили с расходом 100-400 кг/т Na_2CO_3 . Выщелачивание пульпы проводилось при Т:Ж=1:2 и t=80°C в течение 6 часов. Далее твёрдый остаток после выщелачивания трижды промывали водой при соотношении Т:Ж=1:1. Извлечение урана растёт с увеличением расхода соды от 100 до 400 кг/т и достигает 82%. Оптимальным считается извлечение урана 72% (при 200 кг/т соды), так как оно достигается с меньшим расходом соды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаидов У.М. Отходы уранодобывающего производства в Таджикистане. – Горный журнал, 2012, № 9, с. 128-130.
2. Хакимов Н., Назаров Х.М., Мирсаидов И.У. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности. – Душанбе: Дониш, 2011, 125 с.
3. Khakimov N., Nazarov Kh.M., Mirsaidov I.U. Physico-Chemical and Manufacturing Basis for Uranium Concentrations Production from Wastes of Hydrometallurgical Plants and Technical Waters. – Dushanbe, 2012, 210 p.
4. Хакимов Н., Назаров Х.М., Мирсаидов И.У. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод. – Душанбе: Мавлави, 2012, 120 с.
5. Мирсаидов И.У. Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов и сырьевых материалов. – Душанбе: Дониш, 2014, 106 с.

6. Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978, с. 93-94.
7. Шевченко В.Б., Судариков Б.Н. Технология урана. – М.: Госатомиздат, 1961, с. 130.

Х.М.НАЗАРОВ, И.МИРСАИДЗОДА (И.У.МИРСАИДОВ), Б.Б.БАРОТОВ, К.О.БОБОЕВ,
У.М.МИРСАИДОВ

БАҲОДИҲИИ ИМКОНИЯТИ КОРКАРДАНИ ПАРТОВҲОИ УРАНИИ МАҲФУЗГОҲИ АДРАСМОН

Агентии амнияти ядрой ва радиатсионии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои коркарди партовҳои уран аз маҳфузгоҳи Адрасмон оварда шуданд. Таркибҳои кимиёвӣ, гранулометрӣ, минералогии партовҳои уран, инчунин фаъолнокии онҳо муайян карда шуданд. Параметрҳои мусоиди коркарди партовҳо ёфт шуданд.

Калимаҳои калидӣ: партовҳо, маҳфузгоҳ, уран, фаъолнокӣ, Адрасмон.

Kh.M.NAZAROV, I.MIRSAIDZODA (I.U.MIRSAIDOV), B.B.BAROTOV, K.O.BOBOEV,
U.M.MIRSAIDOV

POSSIBILITY ASSESSMENT OF URANIUM WASTE PROCESSING FROM ADRASMAN TAILINGS

Nuclear and Radiation Safety Agency for the National Academy of Sciences of Tajikistan

The results on the processing of uranium waste from the Adrasman tailing dump are presented in this article. The chemical, granulometric, mineralogical compositions of uranium wastes, as well as their activities, have been determined. The optimal parameters of tailings processing have been found.

Key words: waste, tailing dump, uranium, activity, Adrasman.

УДК 546.273÷536.75

А.С.КУРБОНОВ, ДЖ.Х.ДЖУРАЕВ, А.П.ТАГАЕВ, М.М.ТАГОЕВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТЕКАЮЩИХ
РЕАКЦИЙ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ БОРОСИЛИКАТНЫХ РУД
ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ**

Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистан

Поступила в редакцию 13.01.2021 г.

В работе приведён термодинамический анализ возможности протекания ряда химических реакций при обработке боросиликатных руд Таджикистана ортофосфорной кислотой. Анализ показал возможность протекания реакций почти всех минералов состава боросиликатных руд выщелачиванием ортофосфорной кислотой в исследуемом интервале температур.

Ключевые слова: боросиликатные руды, разложение, термодинамический анализ, энтальпия, энтропия, теплоёмкость.

При прохождении химико-технологических процессов важное место занимают термодинамические расчеты химических реакций. Они позволяют сделать заключение о принципиальной возможности данного химического превращения, предварительно выбрать условия проведения процесса, определить равновесный состав продуктов, рассчитать теоретически достижимые степени превращения исходных веществ и выходы продуктов, а также энергетические эффекты (теплота реакции, теплота изменения агрегатного состояния и т.д.), что необходимо для составления энергетических балансов и определения энергетических затрат.

Ранее в работах [1-3] был изучен процесс разложения боросиликатных руд с различными минеральными кислотами, а также спеканием с натрий- и кальцийсодержащими реагентами в зависимости от различных физико-химических факторов и установлены оптимальные параметры процессов разложения.

Адрес для корреспонденции: Курбанов Амиршо Сохибназарович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии им. В.И. Никитина НАНТ.
E-mail: amirsho_77@mail.ru

В данной работе с целью выяснения возможности протекающих реакций при разложении боросиликатных руд ортофосфорной кислотой мы привели термодинамические характеристики этих реакции.

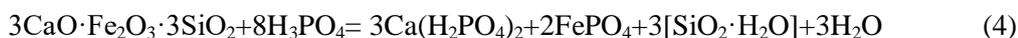
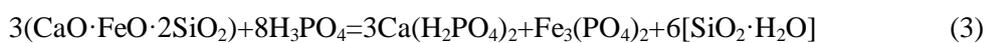
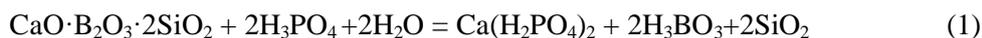
Химический и минералогический составы боросиликатной руды были определены объёмным, весовым, пламенно-фотометрическим и РФА методами анализов. Процентное содержание минералов состава боросиликатной руды месторождения Ак-Архар приведено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание минералов в составе боросодержащих руд (в %)

№	Наименование минералов	Содержание минералов в составе руды (мас%)
1.	$\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ – данбурит	20
2.	$2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – датолит	10
3.	$3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ – гранат	29
4.	$\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$ – пироксены	10
5.	SiO_2 – кварц	17
6.	CaCO_3 – кальцит	7

При разложении боросиликатного сырья ортофосфорной кислотой предполагаются возможности протекания следующих реакций:



Для выяснения возможности самопроизвольного протекания вышеуказанных реакций, используя стандартные термодинамические величины (табл. 2) [4], были рассчитаны термодинамические параметры рассматриваемых реакций.

Таблица 2

Термодинамические величины веществ

№	Вещество	$\Delta \text{H}^0_{\text{обр}}$, кДж/моль	S^0 , Дж/моль·К	$\text{C}^0_{\text{p}298}$ Дж/моль·К
1	$\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_{8\text{кр}}$	-3882.75±2.51	154.8±2.09	185.1±0.83
2	$\text{CaBSiO}_4(\text{OH})_{\text{кр}}$	-2465.60±1.67	110.0±1.25	-
3	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_{8\text{кр}}$	-2849.30±8.37	166.5±8.37	-
4	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3\text{кр}$	-5806.56±11.7	341.0±10.16	357.73±10.16
6	$\text{CaCO}_3\text{кр}$	-1206.83±0.84	91.7±0.42	83.47±0.42
7	$\text{CO}_2_{\text{газ}}$	-393.50±0.05	213.6±0.04	37.11±0.04
8	$\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$	-285.84±0.04	70.0±0.21	75.29±0.04
9	$\text{SiO}_2\text{кр}$	-905.40±1.42	43.5±0.84	44.43±0.21
10	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2_{\text{р}}$	-3114.73±2.51	259.83±0.83	258.82±0.83
11	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$	-2804.36±5.44	-835.48±20.5	-
12	FePO_4	-1297.04±8.36	-530.39±9.62	189.41±0.41
13	H_3PO_4	-1286.62±1.25	221.43±9.2	106.06±0.83
14	$\text{H}_3\text{BO}_3_{\text{р}}$	-1094.00±0.84	88.7±0.44	81.33±0.41

На основе закона Гесса можно рассчитать стандартный тепловой эффект химической реакции, исходя из стандартной теплоты образования веществ, участвующих в реакции:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum \Delta_f H_{298}^0(\text{кон. продукт}) - \sum \Delta_f H_{298}^0(\text{исх. вещ-во}). \quad (6)$$

Пересчёт изменения энтальпии с температуры 298 К на любую другую температуру требует сведений о теплоёмкостях участников реакции.

Используя справочную литературу [4, 5], изменение теплоёмкости системы (ΔC_p^0) в ходе реакции, при $P = \text{const}$ можно вычислить по следующему уравнению:

$$\Delta C_p^0 = \sum \nu_{\text{кон}} C_p^{\text{кон}} - \sum \nu_{\text{исх}} C_p^{\text{исх}}. \quad (7)$$

Уравнения Кирхгофа в интегральной форме можно применить для расчёта теплового эффекта при конкретной температуре:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 dT. \quad (8)$$

Когда $\Delta C_p^0 = \text{const} = \Delta C_{p,298}^0$, тогда:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_{p,298}^0 (T - 298). \quad (9)$$

Изменения энтропии рассматриваемых реакций при стандартных условиях вычислены с использованием справочной литературы [5] по следующему уравнению:

$$\Delta S_{298}^0 = \sum \Delta S_{298}^0(\text{кон. продукт}) - \sum \Delta S_{298}^0(\text{исх. вещ-во}). \quad (10)$$

Пересчёт её с температуры 298 К на любую другую осуществляется по формуле:

$$\Delta S_T = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p^0}{T} dT = \Delta S_{298}^0 + \Delta C_{p,298}^0 \ln(T/298). \quad (11)$$

Изменения энергии Гиббса при стандартных условиях рассчитывали по следующему уравнению:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0. \quad (12)$$

Для конкретной температуры изменение энергии Гиббса определяли по формуле:

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \Delta S_T. \quad (13)$$

Разложение боросиликатной руды ортофосфорной кислотой изучали в интервале температур 298-363К, более низкие температуры замедляют скорости химических реакций, а более высокие – вызывают кипение раствора. В связи с тем, что реакции протекают в незначительном интервале изменения температур, обычно влияние теплоёмкости на энтальпию исследуемых соединений можно не учитывать.

Для рассмотренных реакций (1)-(5) в табл. 3 приведены их термодинамические характеристики.

Таблица 3

Термодинамические характеристики рассматриваемых реакций

№ реакции	ΔH^0_{298} , кДж/моль	ΔS^0_{298} , Дж/моль·град	ΔG^0_{298} , кДж/моль
(1)	-85.83±0.41	8.43±2.34	-88.34±1.11
(2)	-150.52±2.26	122.06±2.51	-186.89±1.51
(3)	-455.04±0.91	-758.49±2.51	-229.0±0.16
(4)	-269.9±4.77	-956.39±0.84	15.19±4.52
(5)	-13.97±5.48	230.83±9.59	-82.75±2.62

Как видно из табл. 3, для реакций (1), (2) и (5) $\Delta H < 0$ и $\Delta S > 0$, то есть данная реакция протекает самопроизвольно благодаря удачному сочетанию термодинамических факторов. Для остальных химических реакций доминирующим является энтальпийный фактор, данные процессы протекают особенно хорошо при низких температурах, исходя из формулы (12), для них вычислены значения энергии Гиббса.

В табл. 4 приведены результаты расчёта изменения энергии Гиббса в температурном интервале от 298 до 363K по формулам (6)-(13), а также построен график температурной зависимости изменения энергии Гиббса (рис).

Из рис. и табл. 4 видно, что в (1), (2) и (5) реакциях отрицательное значение энергии Гиббса увеличивается за счёт повышения температуры процесса и увеличения, соответственно, значения энтальпии ($\Delta S > 0$), что положительно влияет на процесс разложения боратных руд ортофосфорной кислотой.

Таблица 4

Изменения энергия Гиббса (ΔG^0_T , кДж/моль) при различных температурах

№ реакции	ΔG^0_{298}	ΔG^0_{303}	ΔG^0_{313}	ΔG^0_{323}	ΔG^0_{333}	ΔG^0_{343}	ΔG^0_{353}	ΔG^0_{363}
(1)	-88.34 ±1.11	-88.38 ±1.14	-88.46 ±1.16	-88.55 ±1.19	-88.63 ±1.21	-88.72 ±1.23	-88.8 ±1.26	-88.89 ±1.28
(2)	-186.89 ±1.51	-187.5 ±1.49	-188.72 ±1.47	-189.94 ±1.45	-191.16 ±1.41	-192.38 ±1.39	-193.61 ±1.37	-194.82 ±1.35
(3)	-229.0 ±0.16	-225.21 ±0.14	-217.63 ±0.12	-210.04 ±0.09	-202.46 ±0.06	-194.8 ±0.04	-187.29 ±0.02	-179.71 ±0.01
(4)	15.19 ±4.52	19.88 ±4.52	29.45 ±4.51	39.01 ±4.51	48.57 ±4.49	58.14 ±4.48	67.7 ±4.48	77.27 ±4.47
(5)	-82.75 ±2.62	-83.91 ±2.53	-86.22 ±2.44	-88.53 ±2.34	-90.83 ±2.24	-93.14 ±2.14	-95.45 ±2.05	-97.76 ±1.95

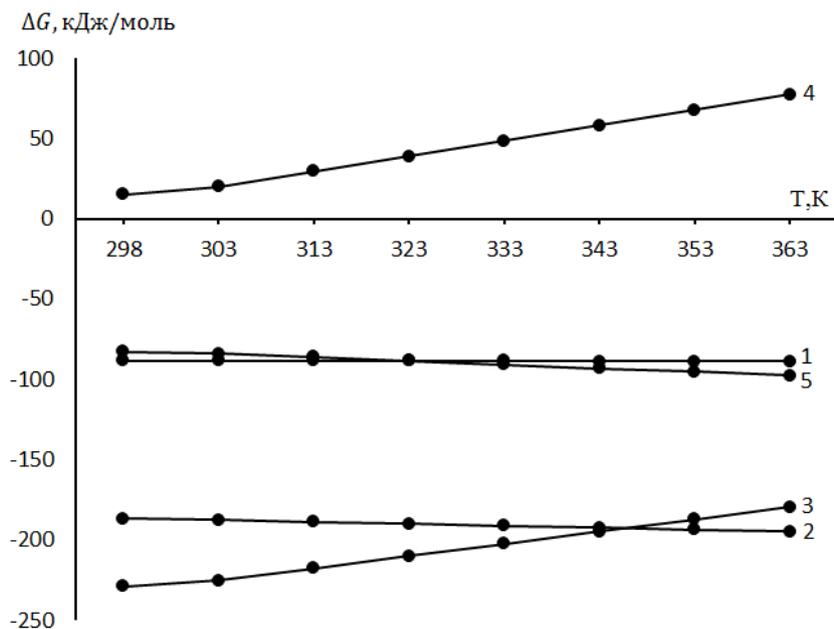


Рис. Зависимость ΔG реакций от температуры

(1 – данбурит, 2 – кальцит, 3 – датолит, 4 – пироксены, 5 – гранат, 6 – гидрослюда).

Остальные реакции протекают, соответственно, при более низких температурах, с повышением температуры происходит увеличение положительных значений ΔG . Таким образом, значительное повышение температуры процесса замедляет дальнейшее протекание этих реакций. Более высокие температуры процесса способствуют переходу величины ΔG из отрицательных значений в положительные. Однако процессы разложения боратных руд не требуют значительно высоких температур, поэтому изменения энергии Гиббса в них являются незначительными и имеются все предпосылки к протеканию химических реакций в боросиликатной руде с точки зрения термодинамических возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д. Кислотное разложение боросиликатных руд. – Душанбе: Дониш, 2015, 96 с.
2. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Назаров Ф.А., Тагоев М.М. Спекательные методы переработки боросиликатных руд Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2020, 122 с.
3. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Якубов З.Т., Курбонбеков А., Маматов Э.Д., Назаров Ш.Б. Извлечение полезных компонентов из боросиликатного сырья с различным содержанием бора кислотными методами. – Изв. АН РТ, 2015, № 2(159), с. 25-28.
4. Рябин В.А., Остроумов Т.Ф. Термодинамические свойства веществ: Справочник. –Л.: Химия, 1977, 390 с.
5. Равдель А.А., Пономарева А.М. Краткий справочник физико-химических величин. – Л.: Химия, 1983, 232 с.

А.С.ҚУРБОНОВ, Ҷ.Х.ҶУРАЕВ, А.П.ТАҒАЕВ, М.М.ТАҒОЕВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ХУСУСИЯТҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ РЕАКСИЯҲОЕ, КИ ҲАНГОМИ
ТАҶЗИЯИ МАЪДАНҲОИ БОРОСИЛИКАТӢ БО КИСЛОТАИ
ОРТОФОСФАТ МЕГУЗАРАНД**

Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИ Тоҷикистон

Дар мақола таҳлили термодинамикии эҳтимолияти гузариши як қатор реаксияҳои химиявӣ ҳангоми коркарди маъданҳои боросиликати Тоҷикистон бо кислотаи ортофосфат оварда шудааст. Таҳлилҳо нишон доданд, ки гузариши қариб ҳамаи реаксияҳои минералҳои таркиби маъдани боросиликатӣ ҳангоми ишқоронӣ бо кислотаи ортофосфат дар ҳудудҳои ҳароратҳои омӯхташуда имконпазир мебошанд.

Калимаҳои калидӣ: маъданҳои боросиликатӣ, таҷзия, таҳлили термодинамикӣ, энталпия, энтропия, гармиғунҷоиш.

A.S.KURBONOV, J.KH.JURAEV, A.P.TAGAEV, M.M.TAGOEV, U.M.MIRSAIDOV

**THERMODYNAMIC FEATURES OF PROCESSING REACTIONS DURING
DECOMPOSITION OF BOROSILICATE ORE WITH ORTHOPHOSPHORIC
ACID**

V.I.Nikitin Institute of Chemistry National academy of sciences of Tajikistan

The paper presents thermodynamic analysis of a number of chemical reactions possibility during the processing of borosilicate ores of Tajikistan with orthophosphoric acid. The analysis showed the reactions feasibility of almost all minerals of the borosilicate ores composition by leaching with orthophosphoric acid in the investigated temperature range.

Key words: borosilicate ores, decomposition, thermodynamic analysis, enthalpy, entropy, thermal capacity.

УДК 541.4:(4546.74.2+548.736)

Ф.Н.ХАСАНОВ, Ю.Ф.БАХОДУРОВ, Э.ДЖ.ГОЗИЕВ, Б.К.РАХМАТУЛЛОЕВ

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ (II) С 1-ФЕНИЛ-2,3-
ДИМЕТИЛПИРАЗОЛИН-5-ТИОНОМ В СРЕДЕ 3 МОЛЬ/Л HCl**

Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета

Поступила в редакцию 06.01.2021 г.

Потенциометрическим методом исследован процесс комплексообразования Cu(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом (1-Ф-2,3-ДМП-5-Т) в среде 3 моль/л HCl. Показано, что в системе Cu(II)-1-Ф-2,3-ДМП-5-Т образуются четыре комплексные частицы. Определены общие и ступенчатые константы устойчивости 1-фенил-2,3-диметилпиразолиновых комплексов Cu(II) в зависимости от температуры. Рассчитаны термодинамические функции образования комплексов методом температурного коэффициента. Установлено, что комплексы меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом энтальпийно стабилизированы. Определено, что температурный фактор индифферентно влияет на зависимости pK ; от концентраций HCl для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II).

Ключевые слова: 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион, комплексообразование, медь (II), константа устойчивости, термодинамические функции.

Координационные соединения имеют важное значения в биологических процессах и широко применяются в технологических производствах. В том числе координационные соединения меди(II) с гетероциклическими лигандами нашли широкое и практическое применение в фармакологии и медицине. Авторы [1-3] исследовали процесс комплексообразования хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолиновых комплексов Cu(II). Известно, что для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолиновых комплексов Cu(II) с понижением концентрации HCl на 1 моль/л наблюдается уменьшение численных значений констант устойчивости [1]. Образование хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолиновых комплексов

Адрес для корреспонденции: Хасанов Фаррух Нурмахмадович 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета. E-mail: farrukh.19@mail.ru

Cu(II) в среде 7 моль/л HCl, показывает, что Cu(II) с этим органическим лигандом последовательно образует четыре комплексные формы [2]. В работе [3] при изучении комплексообразования Cu (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 6 моль/л HCl при температуре 298К установлено, что моно- и двухзамещённые медные комплексы по устойчивости превосходят таковые рениевые комплексы. Авторы [4 - 5] исследовали процесс комплексообразования меди(II) 1-метил-2-меркаптоимидазолом в средах 7-6 моль/л HCl. Установлено, что в этих средах с повышением температуры устойчивость комплексов уменьшается. С помощью метода температурного коэффициента оценены величины термодинамических функций процесса комплексообразования в этой системе. В работе [6] методами электронной ЯМР, ИК спектроскопии и масс-спектрометрии изучены комплексообразования 2,3-диметил-5-гидрокси-6-аминопиримидин-4(3 Н)-она с Cu^{2+} в неводных растворах. При этом установлено последовательное образование четырех- и пятизамещенных координационных соединений меди(II). С использованием методов спектрофотометрии и мольных отношений определены составы образующихся комплексов. Установлены донорные центры в молекуле лиганда, участвующие в координации с ионами меди(II) и рассчитаны константы комплексообразования.

Вместе с тем комплексообразование меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3 моль/л HCl остается неизученным.

Целью данной работы явилось исследование процесса комплексообразования меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в широком диапазоне температуры, определение общих констант устойчивости, образующихся в растворе комплексов и термодинамических функций реакции комплексообразования.

Экспериментальная часть

В качестве исходного соединения использовали $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ марки «чда» и 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион, который были синтезированы в соответствии с методикой, описанной в [3]. Потенциометрическое титрование проводили на компараторе напряжения Р-3003. Температурная точность составляла $\pm 0.1^\circ C$. В качестве индикаторного электрода служила платиновая пластинка. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод. Различную концентрацию окисленной-восстановительной формы 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона создавали окислением его части в среде 3 моль/л HCl 0.1N раствором J_2 . Равновесную концентрацию лиганда в каждой точке титрования рассчитывали по уравнению.

$$\lg[L] = \frac{E_{исх} - E_i}{1.983 \cdot 10^{-4}} + \lg C_L^{исх} + \frac{1}{2} \lg \frac{V_{исх}}{V_{общ}}$$

где $E_{исх}$ - исходный равновесный потенциал системы в отсутствие меди(II); E_i - равновесный потенциал системы в данной точке титрования; $C_L^{исх}$ - исходная аналитическая концентрация 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона; $\frac{V_{исх}}{V_{общ}}$ - отношение исходного объёма

ёма системы к общему; T – температура проведения опыта. Функцию образования \bar{n} находили по уравнению

$$\bar{n} = \frac{C_L - [L]}{C_{Cu(II)}}$$

Все расчеты по определению функции образования равновесной концентрации 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона, уточнению константы образований, мольных долей проводили с использованием Excel, Borland Delphi.

Результаты и их обсуждение

Исследование потенциометрического титрования системы [R-S-S-R]/[RS], где RS-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион в среде 3моль/л HCl. В процессе титрования добавляемого раствора CuCl₂ наблюдается закономерное увеличение равновесного потенциала окислительно-восстановительной системы. В качестве примера в табл. 1 представлены экспериментальные результаты по определению функции образования комплексов меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3моль/л HCl, при температуре 318К.

Таблица 1

Определенные значения функции образования хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в 3 моль/л HCl при 318К

ΔE	C_L	C_{Cu}	n	$-Lg[L]$
40.0	0.00980583	0.00194175	3.8777051	2.64277037
47.0	0.00976789	0.00232108	3.4501096	2.75451190
59.0	0.00973025	0.00269750	3.1868278	2.94546438
69.0	0.00969290	0.00307102	2.9003974	3.10472795
77.0	0.00965583	0.00344168	2.6353685	3.23230264
84.0	0.00961905	0.00380952	2.4061230	3.34403132
96.0	0.00954631	0.00453686	2.0399791	3.53579358
110.0	0.00947467	0.00525328	1.7704324	3.75922909
124.0	0.00940410	0.00595903	1.5606599	3.98265238
136.0	0.00936920	0.00630798	1.4746640	4.17357369
143.0	0.00933457	0.00665434	1.3949864	4.28527781
148.0	0.00930018	0.00699816	1.3227854	4.36529329
156.0	0.00926606	0.00733945	1.2581197	4.49283433
163.0	0.00919854	0.00801457	1.1446313	4.60532213
172.0	0.00913201	0.00867993	1.0500322	4.74948407
180.0	0.00906643	0.00933573	0.9697346	4.87779182
192.0	0.00893805	0.01061947	0.8408670	5.07100251
201.0	0.00881326	0.01186736	0.7421354	5.21664115
213.0	0.00863248	0.01367521	0.6309663	5.41125584
222.0	0.00834711	0.01652893	0.5048338	5.56114115
230.0	0.00808000	0.01920000	0.4207282	5.69494618

На основании данных потенциометрического титрования построены кривые образования комплексов меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3 моль/л HCl, в интервале температур 298-338К, которые представлены на рис. 1.

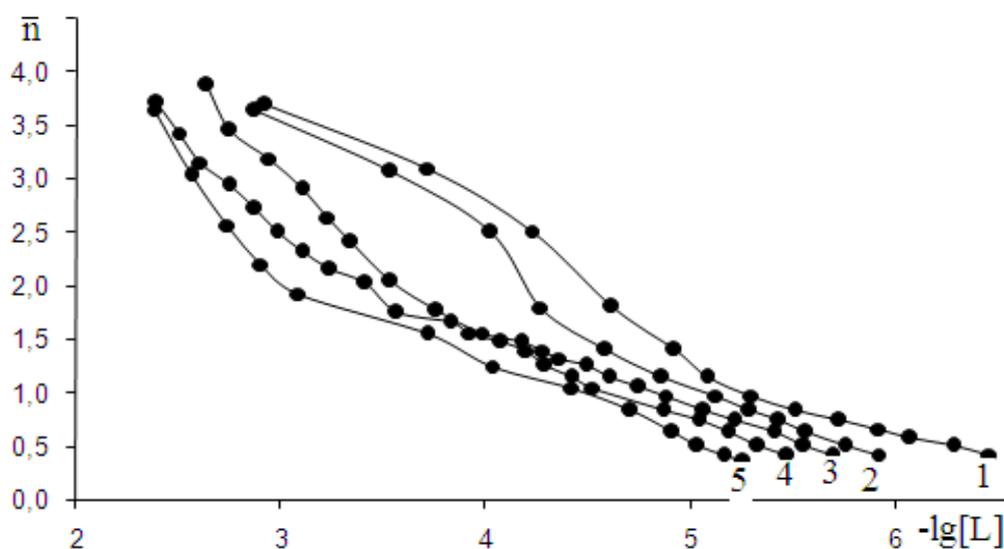


Рис. 1. Кривые зависимости функции образования хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди (II) в среде 3 моль/л HCl при 298 (1), 308 (2), 318 (3), 328 (4) и 338 К (5).

Из рис 1. видно, что при повышении температуры кривые образования комплексов, практически не изменяя свою форму, смещаются в сторону больших значений равновесной концентрации этого органического лиганда. Этот факт свидетельствует об однотипности протекания комплексообразования при температуре 298-338К. Установлено, что при взаимодействии хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов Cu(II) в среде 3 моль/л HCl, при температуре 298-338К последовательно образуются четыре комплексные формы. Определенные методом Бьеррума по кривым образования значения ступенчатых констант образований всех комплексных форм представлены в табл. 2.

Таблица 2

Ступенчатые константы образований 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 3 моль/л HCl оценённые методом Бьеррума

Т. К	$\lg K_1$	$\lg K_2$	$\lg K_3$	$\lg K_4$
298	6.30 ± 0.25	4.85 ± 0.14	4.23 ± 0.15	2.89 ± 0.18
308	5.82 ± 0.12	4.50 ± 0.15	4.0 ± 0.27	2.88 ± 0.12
318	5.65 ± 0.21	4.12 ± 0.20	3.30 ± 0.24	2.74 ± 0.24
328	5.53 ± 0.27	4.02 ± 0.13	2.98 ± 0.21	2.47 ± 0.17
338	5.21 ± 0.18	3.77 ± 0.21	2.77 ± 0.17	2.42 ± 0.18

Из данных табл. 2. видно, что при повышении температуры все ступенчатые константы устойчивости уменьшаются. Этот факт свидетельствует об экзотермичности процесса комплексообразования 1-хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов Cu(II). Полученные экспериментальные данные показали, что на значения ступенчатых констант устойчивости по-разному влияет температурный фактор. Так, величина $\lg K_1$ при повышении температуры от 298К до 338К уменьшается в 1.247 раз, а величины логарифма константы $\lg K_2$, $\lg K_3$ и $\lg K_4$ соответственно в 1.286, 1.527 и 1.181 раз. При

этом установлено, что температурный фактор в наименьшей степени влияет на четвертую константу образования комплексов меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом.

С целью уточнения вычисленных констант устойчивости хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов Cu(II) использовали формулу и математические программы, описанные в работе [1].

В табл. 3 приведены уточненные значения хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 3 моль/л HCl.

Таблица 3

Уточненные величины pK_i^* для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 3 моль/л HCl при 298-338K

T, K	pK_1^*	pK_2^*	pK_3^*	pK_4^*
298	6.34±0.078	4.98±0.085	4.10±0.052	2.88±0.095
308	5.82±0.032	4.64±0.065	3.87±0.085	2.80±0.10
318	5.61±0.021	4.21±0.074	3.35±0.091	2.54±0.096
328	5.39±0.04	4.05±0.087	3.08±0.073	2.26±0.087
338	5.25±0.08	3.81±0.062	2.91±0.068	2.16±0.097

Сравнение данных табл. 2-3 показывают, что после уточнения ступенчатые константы устойчивости изменяются по-разному. Из данных табл. 3 видно, повышение температуры от 298 до 338K приводит к уменьшению устойчивости для монозамещенного комплекса в 1.21 раз, а четырехзамещенного в 1.33 раза. Сравнение полученных данных в настоящей работе по устойчивости комплексов меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3 моль/л HCl с данными, полученными по устойчивости аналогичных комплексов среде 4 моль/л HCl [7] показывает, что уменьшение концентрации HCl на 1 моль/л приводит к увеличению ступенчатых констант устойчивости всех комплексных форм. Так величина pK_1 при 298 K увеличивается от 6.01 до 6.34, а величины pK_2 , pK_3 , pK_4 увеличиваются соответственно на 0.16; 0.82 ; 0.07.

Таблица 4

Ступенчатая константа образований 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 4 моль/л HCl оценённые методом Бьеррума

T. K	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
298	6.01±0.05	4.82±0.08	3.28±0.25	2.81±0.17
308	5.69±0.02	4.24±0.35	2.95±0.07	2.68±0.22
318	5.51±0.23	4.02±0.02	2.73±0.14	2.48±0.15
328	5.25±0.31	3.20±0.35	2.46±0.11	2.32±0.23
338	5.14±0.08	3.08±0.33	2.22±0.18	2.20±0.28

Таблица 5

Величины ΔpK_i для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) при переходе от 4 моль/л HCl к 3 моль/л HCl.

Т.К	ΔpK_1	ΔpK_2	ΔpK_3	ΔpK_4
298	0.29	0.16	0.95	0.08
308	0.13	0.26	1.05	0.20
318	0.10	0.10	0.57	0.26
328	0.14	0.82	0.52	0.15
338	0.11	0.69	0.55	0.22

Из данных табл. 4-5 можно сделать вывод о том, что с повышением температуры наблюдается общая тенденция к уменьшению величины ΔpK_i при переходе от 4 моль/л HCl к 3 моль/л HCl. Так, если для монозамещенного комплекса величина ΔpK_1 при 298К равна 0.29, то при 338 эта разность составляет 0.11. Другими словами, увеличение температуры от 298 до 338К приводит к снижению ΔpK_1 от 0.29 до 0.11, то есть 2.636 раз. Эти экспериментальные факты могут быть связаны тем, что при уменьшении концентрации HCl от 4 моль/л до 3 моль/л, вероятно, усиливается конкуренция между молекулами воды и молекулами гетероциклического органического лиганда за место во внутренней координационной сфере. Эти данные свидетельствуют о том, что температурный фактор индифферентно влияет на зависимости pK_i от концентраций HCl для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II). Величины констант образований хлоридных комплексов меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона, определенные из кривых образований, использовали для оценки термодинамических характеристик процесса комплексообразования. (рис. 2, табл. б).

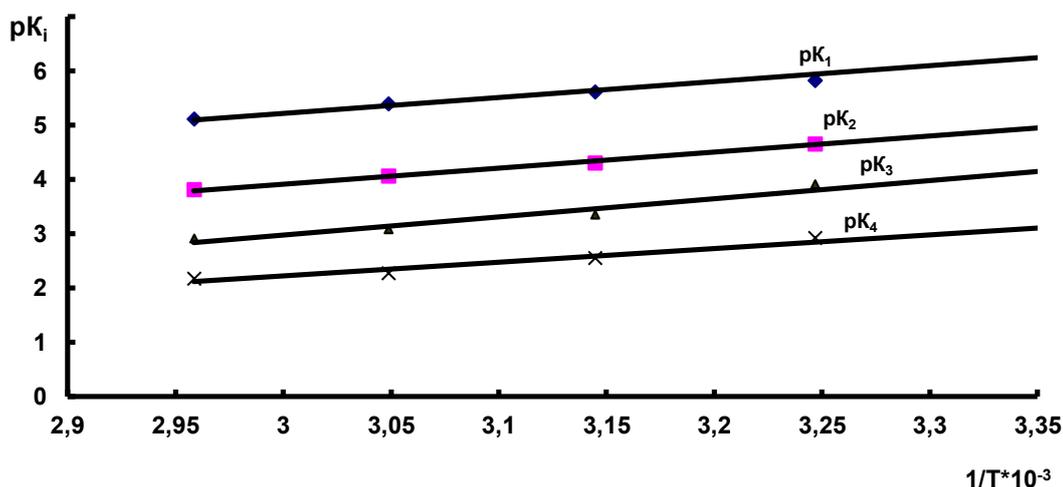


Рис. 2. Зависимость $pK_i=f(1/T)$ для хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 3 моль/л HCl.

Таблица 6

Значения термодинамических функций процесса образования хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди (II) в среде 3моль/л HCl

Состав комплекса	$-\Delta G_p$, кДж/моль	$-\Delta H_p$, кДж/моль	$-\Delta S_p$, Дж/(моль·К)
$[\text{CuL}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$	35.42 ± 0.54	56.55 ± 5.7	70.9 ± 2.99
$[\text{CuL}_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$	27.38 ± 0.46	51.16 ± 6.2	79.81 ± 2.51
$[\text{CuL}_3(\text{H}_2\text{O})_3]^{2+}$	24.36 ± 0.8	76.16 ± 8.5	173.8 ± 4.38
$[\text{CuL}_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$	18.22 ± 0.38	40 ± 4.3	73.14 ± 2.11

Анализ значений термодинамических функций показывает, что величина изобарно-изотермического потенциала последовательно увеличивается, но имеет отрицательное значение и свидетельствует о самопротекаемости процесса комплексообразования. Величина энтальпии реакции образования комплексов меди во всех стадиях имеет отрицательное значение, которое показывает экзотермичность процесса комплексообразования. В зависимости от величин изобарно-изотермического потенциала и энтальпии реакции образования комплексов меди значение энтропии претерпевает намного большее изменение. Этот экспериментальный факт свидетельствует о вероятности хаотичности продуктов реакции комплексообразования.

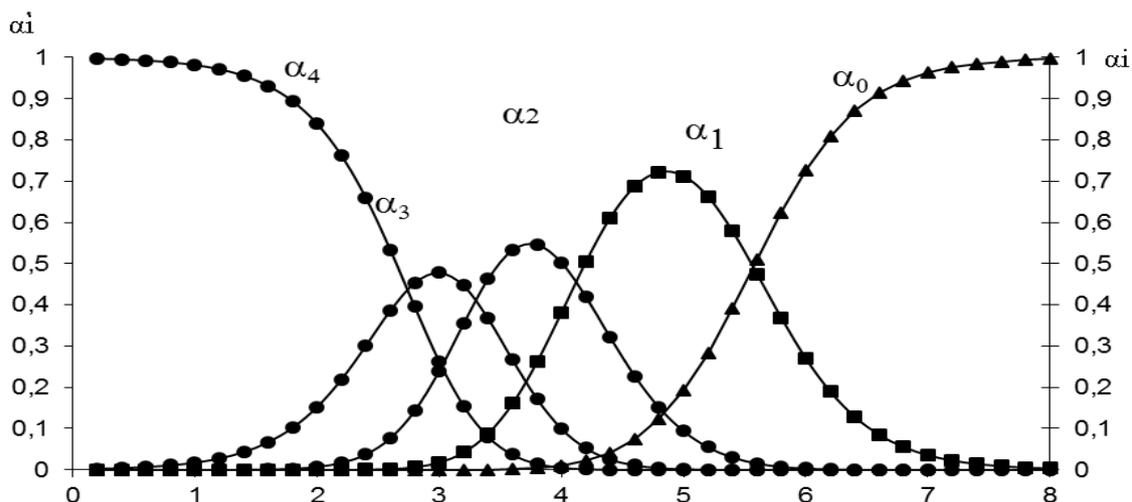
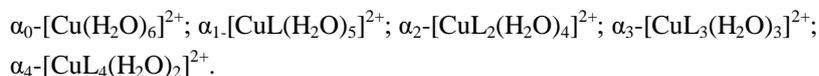


Рис. 3. Кривые распределения хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионных комплексов меди(II) в среде 5 моль/л HCl при 298 К:



На основании уточненных значений ступенчатых констант образования, образующихся в системе $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ —1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион-0.3-моль/л-HCl, были определены области доминирования всех комплексных форм. В качестве примера на рис. 3. приведены кривые распределения комплексов меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом при температуре 298К. Найденные по кривым распределе-

ния величины максимумов и степеней накопления (мольные доли) комплексных форм приведены в табл. 7.

Таблица 7

Максимумы выхода комплексных форм меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 3 моль/л HCl при 298-338K

Соединение	α - max				
	298K	308K	318K	328K	338K
$[\text{CuL}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$	5.6	5.2	4.8	4.6	4.6
$[\text{CuL}_2(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$	4.6	4.4	3.8	3.6	3.4
$[\text{CuL}_3(\text{H}_2\text{O})_3]^{2+}$	3.4	3.4	3.0	2.6	2.6
$[\text{CuL}_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Полученные результаты показывают, что функция распределения от температуры наблюдается в области более высоких значений равновесной концентрации 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона. Анализ диаграммы распределения указывает, что при увеличении температуры величина максимальной доли выхода всех комплексных форм уменьшается (табл. 7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аминджанов А.А., Хасанов Ф.Н., Сафармамадов С.М., Баходуров Ю.Ф. Комплексообразование меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом. – Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016, № 18 (239), с. 95-103.
2. Хасанов Ф.Н., Аминджанов А.А., Сафармамадов С.М., Баходуров Ю.Ф. Комплексообразование меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 7 моль/л HCl при 273-338K. – Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2016, № 1 (21), с. 35-43.
3. Аминджанов А.А., Баходуров Ю.Ф., Хасанов Ф.Н., Бекназарова Н.С. Комплексообразование меди (II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 6 моль/л HCl при 298K. – Доклады АН РТ. 2014, т. 57, № 9-10, с. 771-776.
4. Аминджанов А.А., Манонов К.А., Кабиров Н.Г., Абделрахман Г.А.Х. Комплексообразование меди(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в среде 7 моль/л HCl. – Журнал неорганической химии. 2016, т. 61, № 1, с. 86-91.
5. Аминджанов А.А., Гозиев Э.Д., Кабиров Н.Г., Манонов К.А. Комплексообразование меди(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в среде 6 моль/л HCl. – Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2016, № 1-2 (196), с. 158-165.
6. Мишинкин В.Ю., Грабовский С.А., Кабальнова Н.Н., Муринов Ю.И. Комплексообразование 2,3-диметил-5-гидрокси-6-аминопиримидин-4(3H)-она с ионами меди(II) в неводных растворах. – Журнал общей химии. – М.: Изд-во: Российская академия наук, 2019, т. 89, № 10, с. 1560-1565.
7. Аминджанов А.А. Хасанов Ф.Н., Сафармамадов С.М., Баходуров Ю.Ф. Комплексообразования меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 4 моль/л HCl. Материалы второй Республиканской научно-теоретической конференции Совета молодых ученых и исследователей ТНУ «Таджикский Национальный университет-центр подготовки молодых Специалистов», посвященной 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан 17-18 Мая 2016 г., с. 242-246

Ф.Н.ХАСАНОВ, Ю.Ф.БАХОДУРОВ, Э.Ч.ГОЗИЕВ, Б.К.РАХМАТУЛЛОЕВ

КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ МИСИ (II) БО 1-ФЕНИЛ-2,3-ДИМЕТИЛПИРАЗОЛИН-5-ТИОНОМ ДАР МУҲИТИ 3 МОЛ/Л HCl

Институту илмию татқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Бо усули потенциометрӣ раванди комплексҳосилкунии миси (II) бо 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион(1-Ф-2,3-ДМП-5-Т) дар муҳити 3 мол/л HCl омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки дар системаи Cu(II)-1-Ф-2,3-ДМП-5-Т чор шакли комплексӣ ҳосил мешавад. Собитаҳои умумӣ ва зинагии устувории комплексҳои 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионии Cu (II) вобаста аз ҳарорат муайян карда шуданд. Функсияҳои термодинамикии ҳосилшавии комплексҳо бо усули зариф(коэффитсиент)-и ҳароратӣ ҳисоб карда шуданд. Муайян карда шуд, ки омили ҳарорати дар вобастагии pK_i аз консен-трасияи HCl барои комплекси хлоро-1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионии миси (II) гуногун таъсир мекунад.

Калимаҳои калидӣ: 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион, комплексҳосилшавӣ, миси (II), собитаҳои устуворӣ, функсияҳои термодинамикӣ.

F.N.HASANOV, Yu.F.BAKHODUROV, E.J.GOZIEV, B.K.RAKHMATULLOEV

COMPLEX FORMATION OF COPPER (II) WITH 1-PHENYL-2,3-DIMETHYLPYRAZOLINE-5-THIONE IN A MEDIUM 3 MOL/L HCl

Research Institute of Tajik National University

The article investigated the potentiometric method complexing Cu (II) with 1-phenyl-2,3-dimethylpyrazolin-5-thione (1-F-2,3-DMT-T-5) in the medium of 3 mol / l HCl. It is shown that four complex particles are formed in the Cu (II) -1-F-2,3-DMP-5-T system. General and stepwise stability constants of 1-phenyl-2,3-dimethylpyrazoline Cu (II) complexes were determined depending on temperature. The thermodynamic functions of complex formation are calculated by the temperature coefficient method. It was found that copper (II) complexes with 1-phenyl-2,3-dimethylpyrazoline-5-thione are enthalpically stabilized. It was found that the temperature factor has an indifferent effect on the dependence of pK_i on HCl concentrations for chloro-1-phenyl-2,3-dimethylpyrazoline-5-thionic copper (II) complexes.

Key words: 1-phenyl-2,3-dimethylpyrazoline-5-thione, complexation, copper (II), stability constant, thermodynamic functions.

УДК 669.054:669.071

З.С. НАЗАРОВ, Х. САФИЕВ

**ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ШЛАМОВОГО ПОЛЯ
ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«ТАДЖИКСКАЯ АЛЮМИНИЕВАЯ КОМПАНИЯ»**

ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «ТалКо»

Поступила в редакцию 15.02.2021 г.

Изучены технологические параметры водной обработки отходов шламовых полей ОАО «ТалКо», установлены технологические режимы процессов: температура отмывки 25-40°C, массовое соотношение шлама и воды (Т:Ж)=1:5, длительность процесса водной обработки 30 минут. При этих условиях степень извлечения водорастворимых компонентов отходов достигает 95% и выше, а также установлены оптимальные параметры разложения твёрдого остатка серной кислоты после водной обработки спека с получением полезных компонентов.

Ключевые слова: отмывтый шлам, промышленные отходы, водорастворимая часть, водонерастворимая часть, сернокислотное разложение.

В процессе получения алюминия электролитическим способом, как известно, происходят выбросы больших количеств различных вредных газов в атмосферу – это диоксид углерода, диоксид серы, фтороводород, а также происходят выбросы больших количеств пыли.

В Открытом акционерном обществе «Таджикская алюминиевая компания» (ОАО «ТалКо») очищение вредных выбросов происходит на газоочистных двухступенчатых установках. Первая ступень очистки – происходит улавливание пыли электрофильтрами, вторая ступень очистки – диоксид серы и фтороводород поглощаются орошением растворами кальцинированной соды. По окончании процесса очистки в оборотных растворах газоочистки накапливаются значительные количества сульфата натрия, которые ухудшают

Адрес для корреспонденции: Сафиев Хайдар. 734003. Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Х.Хакимзаде, 17, Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» ГУП «ТалКо». E-mail: inmet.talco@mail.ru, h.safiev@mail.ru

характеристики криолита, получаемого регенерацией, кроме того, системы газоочистки засоряются. Когда в оборотных растворах газоочистки концентрация сульфата натрия превышает более 70 г/л, эти растворы сбрасываются в качестве шламов на шламовые поля. Следовательно, именно большие количества сульфатов натрия в растворах препятствуют вторичному использованию растворов.

После выявления отрицательного влияния высоких концентраций сульфата натрия, авторы работ [1-6] направили усилия на решение вопроса по удалению сульфатов натрия из растворов шламового поля, учитывая природные естественные возможности региона.

Водная обработка отходов шламового поля ОАО «ТАЛКО» проводится с целью извлечения водорастворимых химических соединений состава отходов. Для этого, прежде всего, необходимо было определить химический и минералогический составы отходов.

Далее, с целью установления водорастворимых составляющих компонентов шлама ОАО «ТАЛКО» и степени их вскрытия проводили его водную обработку.

На основании проведённых исследований были определены условия для отмывки шлама – шлам отмывался в течение 40 мин при $t=40^{\circ}\text{C}$, соотношение жидкой фазы (вода) и твёрдой фазы (шлам) составила 5:1. Отмывка осуществлялась в шаровой мельнице, в которую порционно весовым дозатором подавался шлам и вода в соотношении Ж:Т=5:1. Далее отмывтый шлам подавался для флотации во флотационные аппараты. Растворы после обработки полученной пульпы отправлялись в качестве отходов на шламовые поля, а твёрдая часть пульпы направлялась для фильтрации на нутч-фильтр. После процесса фильтрации из шлама отделялась водонерастворимая часть, которая подавалась на сушку при помощи ленточного конвейера, сушка водонерастворимой части осуществлялась при $t=180-200^{\circ}\text{C}$. В исходном сырье и полученных в результате отмывки шлама продуктах были определены химико-минералогические составы (табл. 1).

Таблица 1

Минералогические составы исходного сырья и продуктов, полученных в результате отмывки шлама

№	Наименование компонентов, мас%	Наименование сырья и продукции		
		не отмывтый шлам, мас% (высушенный)	водорастворимая часть, мас% (высушенная)	водонерастворимая часть, мас% (высушенная)
1	Al_2O_3	15.7-17.3	-	26.3-31.4
2	Na_3AlF_6	10.5-13.5	-	23.5-25.0
3	Na_2SO_4	25.4-30.2	58.8- 61.6	0.46-0.6
4	$\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$	10.5-11.6	22.7-24.2	0.2-0.3
5	C	18.2-19.2	-	35.5-38.0
6	Fe_2O_3	0.3-0.6	-	1.6-2.3
7	SiO_2	0.25-0.4	-	0.5-0.7
8	NaF	4.6-5.3	10.5-11.8	0.14- 0.2
9.	Прочие примеси	1.2-1.90	2.0-2.5	1.0-1.5

На основании данных табл.1 можно констатировать, что в не отмытом шламе по сравнению с его водорастворимой и водонерастворимыми частями после отмывки шлама содержание компонентов – оксидов алюминия, железа и кремния, Na_3AlF_6 , а также углерода низкое, которое повышается после отмывки и сушки получаемой продукции, например, в исходном шламе содержание оксидов алюминия составляло 15.7-17.3 мас%, оксида железа – 0.3-0.6 мас%, оксида кремния – 0.25-0.4 мас%, то водонерастворимая часть шлама после отмывки сушки содержала более высокие концентрации указанных оксидов - соответственно, 26.3-31.4; 1.6-2.3 и 0.5-0.7 мас%, то есть их содержание увеличилось почти в 3 раза. Данная тенденция характерна и для углерода, и для Na_3AlF_6 .

Далее после разделения водонерастворимой части шламового поля фильтрацией, которая представляет собой смесь компонентов, в %: Al_2O_3 – 31.4; Na_3AlF_6 – 25.0; Fe_2O_3 – 2.3; С – 38.0; этот остаток подвергался сернокислотному разложению. Результаты данного цикла исследований в обобщённом виде показаны в табл. 2.

По результатам проведённых опытов определены оптимальные режимы переработки водонерастворимой части отходов шламового поля с помощью серной кислоты, такие как концентрация кислоты 20-25%, температура сернокислотного разложения 50-80°C, длительность обработки 40 минут, соотношение растворов к твёрдой фазе в пределах 6:1-8:1.

Таблица 2

Определение влияния различных физико-химических факторов на степень извлечения компонентов водонерастворимой части отходов шламового поля ОАО «ГалКо» при их сернокислотном разложении

Температура обработки, °С	Длительность процесса, мин	Соотношение Ж:Т	Концентрация серной кислоты, %	Степень сульфатизации оксидов, %		
				Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O
100	60	10:1	60	88.1	89.9	84.5
170	60	10:1	60	91.3	96.9	88.2
200	60	10:1	60	93.1	99.6	88.4
180	20	10:1	60	88.5	92.4	78.1
180	40	10:1	60	91.8	98.8	79.5
180	60	10:1	60	92.1	99.7	79.9
180	40	1:1	60	76.2	73.1	71.3
180	40	4:1	60	84.9	84.3	77.5
180	40	5:1	60	88.8	97.4	79.8
180	40	8:1	60	91.8	97.4	79.9
180	40	10:1	60	92.3	99.2	80.0
180	40	10:1	60	77.4	76.6	71.0
150	40	10:1	60	90.7	95.8	79.5
180	40	10:1	70	91.6	99.7	79.4
180	40	10:1	80	91.7	93.1	83.2
180	40	10:1	98	91.9	99.1	88.7

При рассмотренных условиях компоненты остатка извлекаются от 80.1 до 99.9%. Низкое извлечение оксидов алюминия и калия свидетельствует о нерастворимости криолита в разбавленных растворах кислоты.

После разложения твёрдого остатка отходов шламового поля серной кислотой получена пульпа, которая подвергалась фильтрации, где жидкая фаза представляла собой сульфаты алюминия и железа (рис. 1).

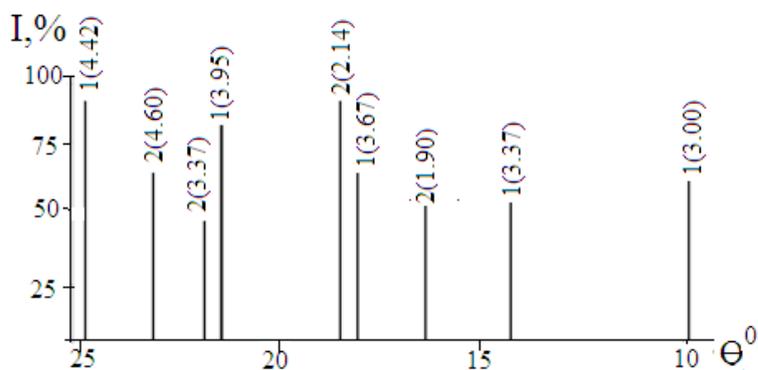


Рис. 1. Штрих-диаграмма высушенных солей жидкой фазы от разложения H₂SO₄ твёрдого остатка от водной обработки отходов шламового поля: 1 - Al₂(SO₄)₃·18H₂O; 2 - Fe₂(SO₄)₃·9H₂O.

Это доказано путём снятия рентгенограммы высушенных солей, полученных упариванием сернокислых растворов в диапазоне температур от 120 до 139°C, упаривание проводили 1.5 ч. Форма нахождения солей алюминия - алуноген с химической формулой Al₂(SO₄)·18H₂O, а солей железа – кокимбит состава Fe₂(SO₄)₃·9H₂O, что подтверждается линиями соответствующих минералов на штрих-диаграмме высушенных солей жидкой фазы (Al₂(SO₄)·18H₂O – алуногена).

После водной обработки отходов и отделения растворов в твёрдой фазе остаются водонерастворимые части отходов шламового поля: С - графит, Na₃AlF₆ - криолит, α-SiO₂ – альфа-кristобалит. Штрих-диаграмма твёрдого остатка представлена на рис. 2.

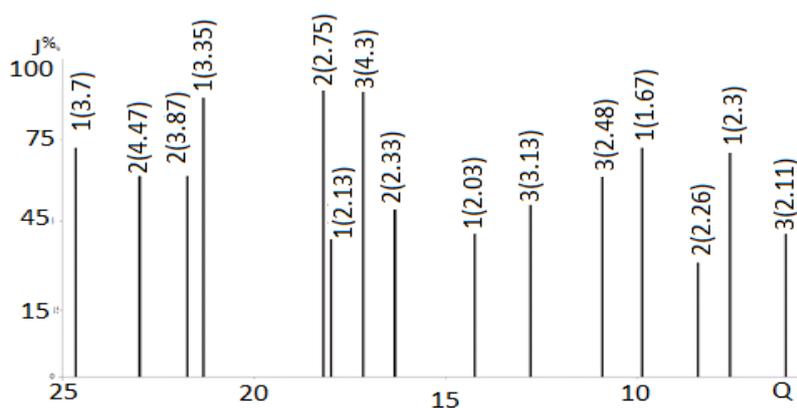


Рис. 2. Штрих-диаграмма твёрдой фазы от сернокислотного разложения отходов шламового поля ОАО «ТалКо»: 1 – С (графит); 2 – Na₃AlF₆ – криолит; 3 – α-SiO₂ – альфа-кristобалит.

В результате проведённых исследований установлены технологические режимы водной обработки отходов шламовых полей: температура отмывки 25-40°C, массовое соотношение шлама и воды (Т:Ж) = 1:5, длительность процесса водной обработки 30 минут.

При этих условиях степень извлечения водорастворимых компонентов отходов достигает 95% и выше, а также установлено разложение твёрдого остатка серной кислотой после водной обработки слёка с получением полезных компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафиев Х.С., Азизов Б.С., Рузиев Д.Р. и др. Десульфатизация раствора шламовых полей алюминиевого производства. – ДАН РТ, 1999, т. 42, № 2, с. 46-49.
2. Азизов Б.С., Абдуллоев М.М., Сафиев Х.С. и др. Конверсия сульфатов, полученных из растворов шламовых полей производства алюминия. – ДАН РТ, 2000, т. 43, № 1, с. 31-35.
3. Мирсаидов У.М., Азизов Б.С., Абдуллоев М.М. и др. Кинетика процесса получения кальцинированной соды. – ДАН РТ, 2000, т. 43, № 1, с. 35-39.
4. Курохтин А.Н., Азизов Б.С., Алиджанов Ф.Н. и др. Комплексная переработка и использование отходов производства алюминия и местного минерального сырья. – Цветные металлы, 2000, № 3, с. 88.
5. Азизов Б.С., Рузиев Д.Р., Лангариева Д.С., Каюмов А. Десульфатизация растворов шламовых полей алюминиевого производства. – Сборник трудов Института предпринимательства и сервиса. – Душанбе, 2001, № 6, с. 133.
6. Соколов В.С., Зинченко З.А., Мирзоев М. Пути утилизации отходов производства алюминия. – ДАН РТ, 1996, т. 39, № 1-2, с. 30-34.

З.С.НАЗАРОВ, Х.САФИЕВ

КОРКАРДИ ПАРТОВҲОИ ҶАМЪИЯТИ САҲОМИИ КУШОДАИ “ШИРКАТИ АЛЮМИНИИ ТОЧИК”

МД «Пажӯҳишигоҳи илмию таҳқиқоти металлургия»-и ҶСК «ШАТ»

Параметрҳои технологии коркарди оби партовҳои ҶСК “Алюминии Тоҷик” омукта шуданд, равандҳои тартиботи технологӣ муқаррар шудаанд: ҳарорати шустан 25-40 °С, таносуби оммаи лой ва об (С:М) =1:5, давомнокии раванд 30 дақиқа. Дар ҷунин шароит дараҷаи ҷудошавии пасмондаи компонентҳои, ки дар об ҳал мешаванд ба 95% ва аз он зиёдтар мешаванд, инчунин муайян шуданд, ки параметрҳои оптималии ҷудошавии боқимондаҳои сахтӣ кислотаи сулфат, ки баъди коркарди оби ва пухтан компонентҳои фойданок ба миён омаданд.

Калимаҳои калидӣ: партови шусташуда, партовҳои истехсолшуда, қисми дар об ҳалшаванда, қисми дар об ҳалнашаванда, таҷзия бо кислотаи сулфат.

Z.S.NAZAROV, H.SAFIEV

**SLUDGE FIELD WASTE RECUCLING
OF THE OPEN JOINT STOCK COMPANY “TAJIK ALUMINUM COMPANY”.**

State Institution «Scientific Research Institute of Metallurgy» JSC «TALCO»

Technological parameters of water waste treatment are studied the technological modes of the processes are established: the washing temperature is 25-40°C, the mass ratio of sludge and water (t.w.) is 1:5, the duration of the water treatment process is 30 minutes at under these conditions, the degree of recovery of water-soluble waste components reaches 95% and higher, and the optimal parameters are also established decomposition of the solid residue by sulfuric acid after water treatment speca with production of useful components.

Key words: washed sludge, Industrial waste, part of the water-soluble , water-insoluble part of the sulfuric acid decomposition.

УДК 550.4 (575.3)

М.М.МАМАДВАФОЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

**МАРГАНЕЦ В ПОРОДАХ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ
КАФАНДАРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

*УП «Геологическая поисково-съёмочная экспедиция» Главного управления геологии
при Правительстве Республики Таджикистан*

Поступила в редакцию 29.08.2020 г.

В статье впервые рассматривается функция распределения вероятностей содержаний марганца, его распространённость, марганец-железные отношения и корреляционные связи и зависимости с петрогенными элементами в породах интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля.

Ключевые слова: марганец, функция распределения, распространённость в породах, марганец-железные отношения, корреляционные связи, петрогенные элементы, породы, интрузивные комплексы, Кафандарское рудное поле.

1. Введение. Основные черты геохимии марганца в главнейших типах магматических горных пород земной коры известны из работ Ф.У.Кларка, В.И.Вернадского, В.М.Гольдшмидта, А.Е.Ферсмана, А.П.Виноградова, Т.А.Халиловой [1], Г.С.Дзоценидзе [2], А.А.Беуса [3], С.Т.Бадалова [4] и других исследователей. Однако сведений о математико-статистической функции распределения в горных породах марганца, марганец-железном отношении, корреляционных связях и зависимостях марганца от петрогенных элементов магматических горных пород отдельных регионов земного шара отсутствует вовсе, или крайне ограничено [5, 6]. Попытка рассмотрения данных вопросов на примере петрохимически разнотипных, разновозрастных и геотектонически разнорежимных пород интрузивных комплексов Центрального Таджикистана (Южный Тянь-Шань), в позиции Кафандарского рудного поля, предпринята в настоящей работе. В её основу положены 261 химический анализ марганца интрузивных пород, из которых 143 анализа

Адрес для корреспонденции: Мамадвафоев Мабатшо Мамадвафоевич. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Мирзо Турсунзаде, 25, УП «Геологическая поисково-съёмочная экспедиция» Главного управления геологии при Правительстве РТ. E-mail: m.mamadvafoev @ gmail.com

опубликовано в работе [7]. Остальные анализы, принадлежащие Е.А.Космынину, В.Г.Нестерову (1971 г.) и В.С.Колесниченко (1987 г.), заимствованы из фондовых источников Главного управления геологии Республики Таджикистан. Геолого-петрографическая характеристика интрузивных комплексов в достаточной мере освещена в работах [7, 8].

2. О функции распределения содержаний марганца в породах. Известно [9-12; и др.], что достоверные количественные данные о распространённости химических элементов в природных объектах могут быть получены, если численные значения их содержаний в анализированных пробах будут строго обработаны методами математической статистики. Учитывая это, мы осуществили проверку гипотез о согласованности эмпирических распределений частот встречаемостей содержаний MnO^* в статистических выборках с гипотетической нормальной функцией [11] в 11 наиболее распространённых, и в разной степени обеспеченных анализами на MnO , типах пород (табл. 1). В результате выявлено, что в 7 из 11 (64%) случаев эмпирические распределения частот содержаний марганца с вероятностью 0.95 не противоречат гипотетической нормальной функции. В четырёх типах пород – кварцевых диоритах, гранодиоритах, аплитовидных лейкогранитах и спессартитах, эмпирические распределения содержаний марганца не согласуются ни с гипотетической нормальной (табл.1), ни с логарифмически нормальной (табл. 2) функциями распределения. В этом случае при выборе оценок параметров эмпирического распределения предпочтение отдано параметрам нормальной функции распределения (табл. 3). Изложенное относится и к другим химическим элементам (табл. 4).

* При определении вида функций распределения содержаний элемента в природных объектах вместо содержаний элемента могут использоваться содержания окислов этих элементов, поскольку последние можно рассматривать как произведение содержания данного элемента на константу, являющуюся частным от деления молекулярного веса окисла на атомный вес элемента. От умножения случайной величины на константу вид распределения не меняется, а будут изменяться лишь параметры распределения [9].

Таблица 1

Результаты проверки гипотез о непротиворечивости эмпирических распределений частот встречаемостей содержаний MnO (масс. %) пород интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля гипотетической нормальной функции распределения

Инверсионный среднекарбонатный диорит-гранодиоритовый комплекс						
Диориты, n = 14						
$\bar{X} \pm \lambda_{5\%}$	S	A	A/ $\sigma_{(A)}$	E	E/ $\sigma_{(E)}$	V, %
0.10±0.01	0.01	-0.64	-0.98	-0.99	-0.76	10
Кварцевые диориты, n = 26						
0.10±0.02	0.04	2.07	4.31	6.89	7.17	40
Гранодиориты, n = 26						
0.07±0.01	0.02	-0.02	-0.04	12.92	13.44	29
Инверсионный позднекарбонатный гранит-адамеллит-лейкогранитовый комплекс						
Граниты-адамеллиты, n = 19						
0.08±0.01	0.03	1.48	2.64	3.00	2.67	38
Аплитовидные лейкограниты, n = 30						
0.04±0.02	0.05	4.57	10.22	20.55	22.98	1.3
Дайковые варьиты позднекарбонатного гранитоидного комплекса						
Керсантиты, n = 17						
0.14±0.03	0.06	1.47	2.47	2.61	2.20	43
Спессартиты, n = 27						
0.13±0.01	0.03	-1.63	-3.47	43.11	45.72	23
Вогезиты, n = 10						
0.12±0.01	0.02	1.12	1.44	0.10	0.07	17
Раннепермский субвулканический порфировый комплекс						
Кварцевые латит-порфиры, n = 14						
0.09±0.02	0.03	0.12	0.18	-1.33	-1.01	33
Кварцевые порфиры, n = 16						
0.04±0.01	0.03	0.40	0.65	-0.56	-0.46	75
Гранит-порфиры, n = 9						
0.05±0.01	0.02	-0.61	-0.75	0.08	0.05	40

Примечание. \bar{X} – среднее арифметическое содержание, %; S – среднее квадратическое (стандартное) отклонение содержаний; A и E – соответственно, асимметрия и эксцесс распределения; $\sigma_{(A)}$ и $\sigma_{(E)}$ – соответственно, стандартные отклонения асимметрии и эксцесса; V – коэффициент вариации содержаний. Полу жирным шрифтом выделены и подчеркнуты случаи отклонения эмпирической функции распределения MnO от гипотетической нормальной функции. Точность среднего арифметического оценена с вероятностью 0.95 [11].

Таблица 2

Результаты проверки гипотез о логарифмически нормальном распределении частот встречаемостей содержаний MnO (масс. %) в породах, в которых гипотеза о нормальном распределении отвергается

Среднекарбонный диорит-гранодиоритовый комплекс						
$\bar{X} \lg \pm \lambda_{5\%}$	Slg	Alg	A/ $\sigma_{(A)}$	Elg	E/ $\sigma_{(E)}$	V,%
Кварцевые диориты (5)						
-1.05±0.09	0.23	-2.15	-4.47	8.05	8.37	37
Гранодиориты (3)						
-1.19±0.11	0.29	-1.84	-3.82	2.29	2.38	46
Позднекарбонный гранит-адамеллит-лейкогранитовый комплекс						
Аплитовидные лейкограниты (7)						
-1.53±0.11	0.29	0.98	2.19	2.94	3.29	47
Спессартиты (9)						
-0.93±0.08	0.21	-1.43	-3.03	4.43	4.70	33

Примечание. $\bar{X} \lg$ – среднее арифметическое логарифмов содержаний, %; Slg – среднее квадратическое (стандартное) отклонение логарифмов содержаний; Alg и Elg – соответственно, асимметрия и эксцесс распределения; $\sigma_{(A)}$ и $\sigma_{(E)}$ – соответственно, стандартные отклонения асимметрии и эксцесса распределения; V – коэффициент вариации логарифмов содержаний. Полужирным шрифтом выделены и подчеркнуты случаи отклонения эмпирических функций распределения MnO от гипотетической логнормальной функции. Точность среднего содержания оценена с вероятностью 0.95 [11].

3. О распространённости Mn в породах интрузивных комплексов. Рассмотрение данных первичного аналитического материала показало, что по результатам анализов отдельных проб содержание MnO в породах интрузивных комплексов варьирует от следовых (<0.01%) до 0.73%, или от 0.008 до 0.56 % Mn. Как видно, градиент содержаний Mn составляет 70. Цифра 0.56% содержания Mn резко отличается от других и характеризует метасоматически изменённый ксенолит монцодиорита в ассимиляционном кварцевом диорите. Осреднённые содержания Mn в отдельных типах пород (табл. 3) варьируют от 0.03 до 0.45%, в 15 раз. В интрузивных же комплексах осреднённые средние содержания Mn изменяются в пределах одного порядка – от 0.05% в инверсионных позднекарбонных гранитоидах, до 0.11% в тафрогенных позднепермских базальтоидах и щелочных базальтоидах.

Таблица 3

Распространённость Mn и Mn / Fe отношение в породах интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля

Название пород	Вес. %		100 Mn	100 Fe	Название пород	Вес. %		100 Mn	100 Fe
	Mn	Fe	Fe	Si		Mn	Fe	Fe	Si
1.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. Инверсионный, C ₂ , диорит-гранодиоритовый комплекс					Дайковые варьиты позднекарбонатовых гранитоидов				
1. Диориты, n = 14	0.08	4.73	1.7	17.1	18. Вогезиты, n = 11	0.09	5.87	1.5	21.2
2. Кварцевые диориты, n = 26	0.08	4.32	1.8	15.0	19. Спессартиты, n = 26	0.10	5.61	1.8	22.8
3. Гранодиориты, n = 26	0.07	3.48	2.0	11.4	20. Керсантиты, n = 17	0.11	5.61	1.9	23.3
4. Гранодиорит-порфиры, n = 6	0.06	2.70	2.2	8.8	21. Минетты, n = 1	0.08	5.78	1.4	22.7
5. Монзониты, n = 1	0.07	4.53	1.5	17.5	<i>Среднее</i>	<i>0.10</i>	<i>5.78</i>	<i>1.7</i>	<i>22.7</i>
6. Кварцевые монзониты, n = 5	0.10	2.90	3.4	14.6	<i>Кларки средних пород</i>	<i>0.12</i>	<i>5.50</i>	<i>2.2</i>	<i>20.0</i>
7. Кварцевые монцодиориты, n = 2	0.08	4.85	1.6	16.8	III. Постинверсионно-орогенный, P ₁ , комплекс порфировой формации				
8. Тоналиты, n = 1	0.08	4.33	1.8	14.5	22. Дацитовые порфиры, n = 1	0.40	3.40	11.8	11.3
9. Кварцевые кератофиры, n = 1	0.008	1.48	0.5	4.8	23. Кварцевые латит-порфиры, n = 14	0.07	3.51	2.0	12.4
<i>Среднее по комплексу</i>	<i>0.08</i>	<i>3.95</i>	<i>2.0</i>	<i>13.4</i>	24. Гранит-порфиры, n = 9	0.04	1.98	2.0	5.9
<i>Кларки средних пород</i>	<i>0.12</i>	<i>5.50</i>	<i>2.2</i>	<i>20.0</i>	25. Кварцевые порфиры, n = 16	0.03	1.86	1.6	5.4
II. Инверсионный, C ₃ , гранитный комплекс					<i>Среднее</i>				
10-13 – граниты; 10. Биотит-роговообманковые, n = 8	0.06	2.94	2.0	9.3	<i>Кларки гранита</i>	<i>0.04</i>	<i>1.83</i>	<i>2.2</i>	<i>5.4</i>
11. Роговообманково- биотитовые, n = 19	0.05	3.29	1.5	10.5	IV. Тафрогенный, P ₂ , комплекс базальтоидов и щелочных базальтоидов				
12. Аплитовидные, n = 30	0.03	1.57	1.9	4.6	26. Лимбургиты, n = 5	0.11	6.52	1.7	35.2
13. Плагииграниты биотит-роговообманковые, n = 1	0.07	5.48	1.3	19.1	27. Диабазы, n = 1	0.11	5.97	1.8	24.9
<i>Среднее по гранитам</i>	<i>0.04</i>	<i>2.39</i>	<i>1.7</i>	<i>7.4</i>	28. Банакиты, n = 1	0.08	5.65	1.4	24.5
<i>Кларки гранитов</i>	<i>0.04</i>	<i>1.83</i>	<i>2.2</i>	<i>5.4</i>	29. Анальцимовые диабазы, n = 1	0.13	7.21	1.8	37.1
14. Сиениты слюдяные, известково-щелочные, n = 1	0.05	4.52	1.1	16.3	30. Эссекситовые порфириты, n = 3	0.12	7.26	1.6	37.2
15. Сиениты роговообманковые, известково-щелочные, n = 1	0.08	4.65	1.7	17.1	31. Эссекситовые габбро, n = 2	0.15	6.45	2.3	29.6
16. Сиенит-порфиры трахитоидные, n = 3	0.06	3.48	1.7	12.8	32. Трахиандезиты, n = 1	0.04	10.92	0.4	40.9
<i>Среднее по сиенитоидам</i>	<i>0.06</i>	<i>3.92</i>	<i>1.5</i>	<i>14.4</i>	33. Камптониты, n = 2	0.24	4.60	5.2	28.5
<i>Кларк сиенита</i>	<i>0.085</i>	<i>3.63</i>	<i>2.2</i>	<i>13.2</i>	34. Мончикиты, n = 4	0.06	5.74	1.0	35.3
17. Шошониты, n = 1	0.08	5.69	1.4	22.1	<i>Среднее</i>	<i>0.11</i>	<i>6.46</i>	<i>1.7</i>	<i>32.5</i>
<i>Среднее по комплексу</i>	<i>0.05</i>	<i>2.56</i>	<i>1.9</i>	<i>7.8</i>	<i>Кларки основных пород</i>	<i>0.12</i>	<i>8.40</i>	<i>1.4</i>	<i>36.5</i>

Таким образом, среднее содержание Mn в интрузивных комплексах варьирует всего лишь в 2.2 раза, что свидетельствует о довольно однородном его распределении в них. Сходное с марганцем распределение в породах интрузивных комплексов имеет железо – его геохимический аналог, что очевидно из рис.1. Близкое с тафrogenными базальтоидами и щелочными базальтоидами среднее содержание Mn устанавливается в инверсионных, позднекарбонновых лампрофирах диоритового ряда (0.10%). Почти одинаковое среднее содержание Mn с постинверсионно-орогенными, раннепермскими субвулканическими гранитоид-порфиоровыми дайками (0.06%) имеют инверсионные, позднекарбонновые породы (0.05%), сложенные различными гранитоидами и метасоматическими сиенитоидами, причём в последних содержание Mn практически такое же, что и в раннепермских гранитоид-порфиоровых породах. В инверсионных, среднекарбонновых гранитоидах повышенной основности и щёлочности содержание Mn изменяется от 0.008% в кварцевых кератофирах, до 0.10% – в кварцевых монзонитах, при среднем содержании по комплексу в целом 0.08%, что близко кларку марганца в породах среднего состава (0.12% [3,12]).

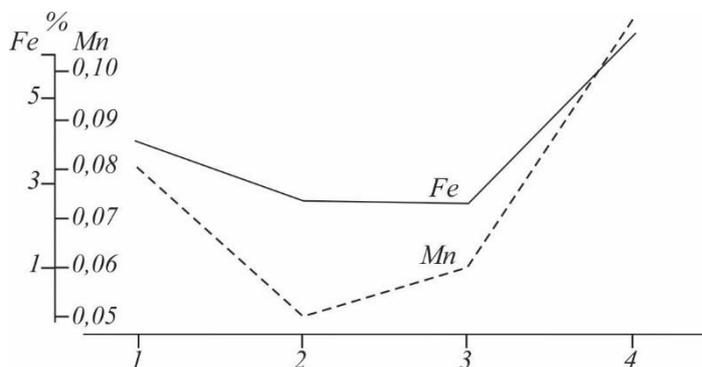


Рис. 1. Сходный вид распределения средних содержаний марганца и железа в интрузивных комплексах (1-4 на абсциссе графики): 1 – среднекарбонный диорит-гранодиоритовый, 2 – позднекарбонный гранитный, 3 – раннепермский гранитоид-порфиоровый, 4 – позднепермский базальтоидно-щёлочно-базальтоидный.

Данные табл. 3 показывают, что во всех интрузивных комплексах породы повышенной щёлочности характеризуются более высокими средними содержаниями марганца, что, по аналогии с титаном [13], допустимо объяснить большей растворимостью марганца в щелочной магме. В целом, среднее содержание марганца в породах интрузивных комплексов находится на кларковом и околоскларковом уровнях (табл. 3). Лишь в среднекарбонных гранитоидах повышенной основности, к карбонатным контактовым зонам которых тяготеют скарново-магнетитовые залежи, оно в 1.5 раза превышает кларка для однотипных пород.

4. О зависимостях Mn от породообразующих элементов. Если расположить интрузивные комплексы в порядке роста в них средних содержаний марганца (табл. 3), то образуется следующий ряд: инверсионный, позднекарбонный (С₃) гранитный (0.05%

Mn) → постинверсионно-орогенный, раннепермский (P₁) гранитоид-порфировый (0.06%) → инверсионный, среднекарбонный (C₂) диорит-гранодиоритовый (0.08) → тафрогенный, позднепермский (P₂) базальтоидно-щелочно-базальтоидный (0.11%). В этой же последовательности возрастает в них показатель 100.Fe / Si, а именно: 7.8 (C₃) → 8.1 (P₁) → 13.4 (C₂) → 32.5 (P₂) (табл. 3). Это очевидно свидетельствует о том, что рост содержаний марганца в породах интрузивных комплексов происходит по мере увеличения их основности (Mg, Ca, Fe) и уменьшения кремнекислотности (SiO₂) и глинозёмистости – Al₂O₃ (рис. 2 - 4). Показатель 100.Mn/Fe в них, как и следовало ожидать, имеет в целом обратную железо-кремнёвому отношению тенденцию: 1.9 (C₃) → 1.8 (P₁) → 2.0 (C₂) → 1.7 (P₂), что очевидно из рис. 5.

Результаты корреляционного анализа (табл. 4) количественно подтверждают вышеизложенные закономерности о том, что Mn в породах интрузивных комплексов проявляет сильную отрицательную зависимость от Si и Na, и, в различной степени, положительную зависимость – от Fe³⁺, Fe²⁺, Mg и Ca. С титаном в кислых породах (кварцевых порфирах P₁) марганец проявляет отрицательную зависимость, а в умеренно-кислых породах (гранодиоритах C₂) – положительную. В некоторых же типах пород статистически значимые зависимости с петрогенными (и другими) элементами марганец не проявляет вовсе или же проявляет весьма редко, что представляется проблематичным.

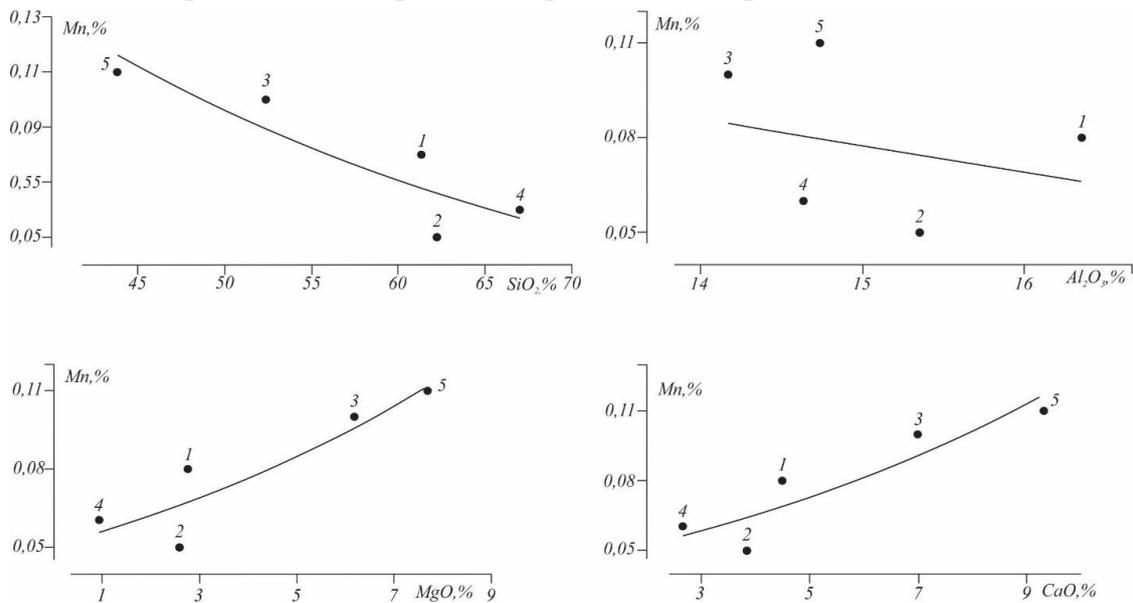


Рис. 2. Отрицательная зависимость Mn от кремнекислотности (SiO₂) и глинозёмистости (Al₂O₃), и положительная – от основности (MgO, CaO) пород интрузивных комплексов (на полях рисунков): 1 – среднекарбонного, 2 – позднекарбонного, 3 – позднекарбонных лампрофиров диоритового ряда, 4 – раннепермского, и 5 – позднепермского.

Таблица 4

Оценки коэффициентов корреляции Mn с петрогенными компонентами интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля*

№ №	Породы, их возраст и количество анализов (n)	Si	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg	Ca	Na	K	P	H ₂ O
1	Диориты, C ₂ (14)	0.06	0.46	0.09	0.49	0.29	-0.04	0.12	0.03	-0.22	0.03	-0.02
2	Кварцевые диориты, C ₂ (26)	-0.11	-0.06	0.02	0.40	-0.15	0.09	-0.17	0.18	0.40	0.69	0.16
3	Гранодиориты, C ₂ (26)	-0.32	0.44	0.12	-0.09	0.66	0.41	0.25	-0.51	0.16	-0.13	-0.34
4	Граниты-адамеллиты, C ₃ (19)	0.28	-0.08	-0.37	-0.36	0.21	-0.12	-0.03	-0.12	-0.12	0.13	0.10
5	Аплитовидные граниты, C ₃ (30)	0.00	-0.11	-0.03	-0.15	-0.20	-0.08	-0.04	-0.09	-0.06	-0.21	-0.09
6	Керсантиты, C ₃ (17)	-0.70	0.37	0.07	0.13	0.70	0.26	0.66	-0.03	0.01	0.36	0.14
7	Спессартиты, C ₃ (27)	-0.27	-0.07	-0.15	-0.10	0.44	0.39	0.38	-0.38	0.13	-0.04	-0.22
8	Вогезиты, C ₃ (10)	-0.74	-0.51	0.51	-0.11	0.27	-0.12	0.01	-0.15	-0.07	-0.31	-0.22
9	Кварцевые латит-порфиры, P ₁ (14)	-0.90	0.20	0.64	0.68	0.67	0.94	0.71	-0.78	-0.40	0.38	-0.36
10	Кварцевые порфиры, P ₁ (16)	0.15	-0.51	-0.15	0.02	0.10	-0.11	-0.08	0.29	-0.41	0.39	-0.20
11	Гранит-порфиры, P ₁ (9)	-0.46	0.32	0.74	0.46	0.01	0.46	0.24	-0.07	-0.47	0.25	0.33

* Примечание. Коэффициенты корреляции рассчитаны между содержаниями окислов элементов. Полу жирным шрифтом выделены и подчеркнуты статистически значимые, на 5%-ном уровне, коэффициенты корреляции.

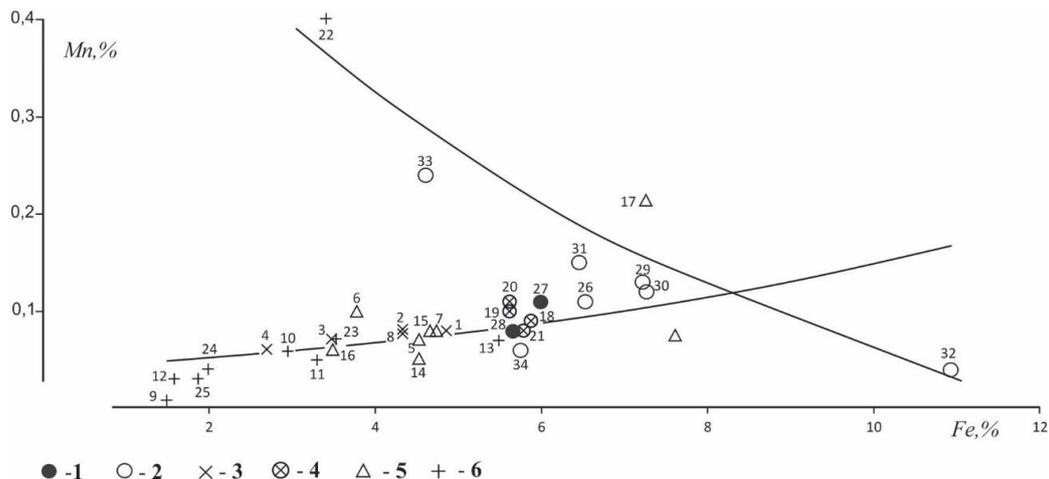


Рис. 3. Прямая (положительная) зависимость Mn от Fe в породах нормальной щёлочности, и обратная (отрицательная) зависимость – в породах повышенной щёлочности (№№ 17, 22, 29, 30, 31, 32, 33 см в табл. 3). Породы состава: Условные обозначения: 1 – диабазы и банакиты P_2 , 2 – щёлочные базальтоиды P_2 , 3 – диорит-гранодиоритовый формационный ряд C_2 , 4 – лампрофиры диорит-сиенитового формационных рядов C_3 , 5 – породы монцонит-сиенитоидного формационных рядов, 6 – граниты C_3 и гранитоид-порфиры P_1 .

Резюмируя вышеизложенное должно быть отмечено, что характер корреляционных взаимоотношений марганца с петрогенными элементами магматических пород свидетельствует, очевидно, об их обусловленности от кислотно-основного взаимодействия в магматических расплавах [14, 15], ведущих к дифференциации элементов в ходе кристаллизации магмы в соответствии с кристаллохимическими принципами В.М.Гольдшмидта [16].

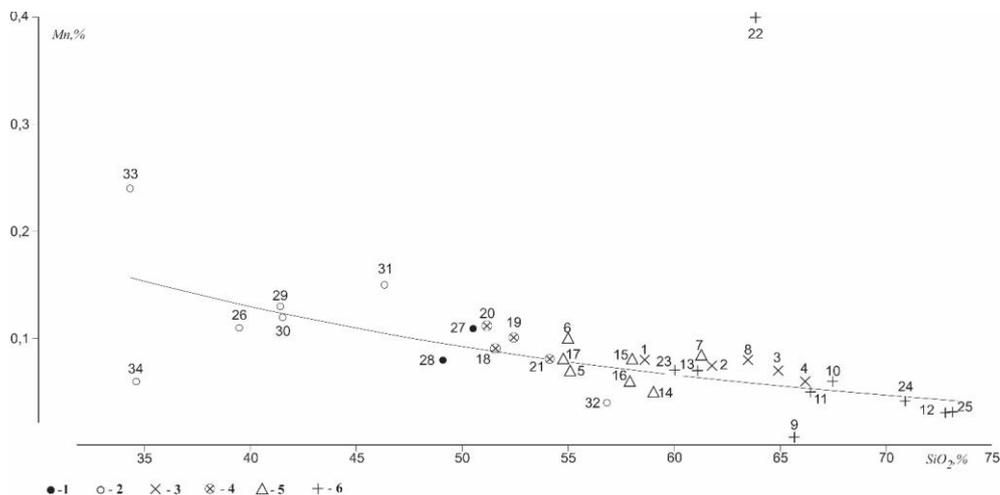


Рис. 4. Обратная, линейная, зависимость марганца от кремнекислотности интрузивных пород: Условные обозначения: 1 – диабазы и банакиты P_2 , 2 – щёлочные базальтоиды P_2 , 3 – диорит-гранодиоритовый формационный ряд C_2 , 4 – лампрофиры диорит-сиенитового формационных рядов C_3 , 5 – породы монцонит-сиенитоидного формационных рядов, 6 – граниты C_3 и гранитоид-порфиры P_1 .

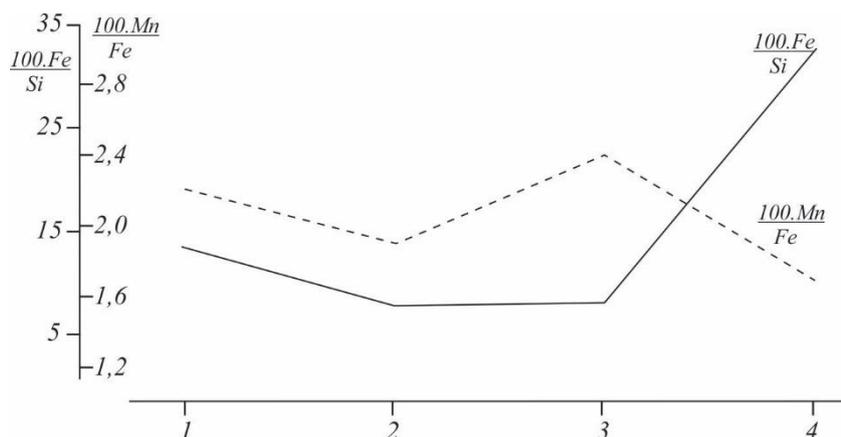


Рис. 5. Распределение $100.Mn / Fe$ и $100.Fe / Si$ отношений в интрузивных комплексах (1 – 4 на оси абсциссы) Кафандарского рудного поля: 1 – среднекарбонный диорит-гранодиоритовый, 2 – позднекарбонный гранитный, 3 – раннепермский гранитоид-порфировый, 4 – позднепермский базальтоидно-щёлочно-базальтоидный.

5. Заключение. Вышеизложенные оригинальные результаты исследования геохимии марганца пород интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля приводят к следующим основным выводам:

1. Распределение частот встречаемостей содержаний марганца в 7 из 11 типах интрузивных горных пород не противоречит гипотетической нормальной функции распределения, а в четырёх из них не согласуется ни с нормальной функцией распределения, ни с логарифмически нормальной;

2. Марганец в интрузивных комплексах распределён сравнительно равномерно, его среднее содержание от раннего комплекса к позднему изменяется не более чем в 2.2 раза;

3. Марганец в большинстве породах интрузивных комплексов находится в кларковых и/или околоскларковых количествах, и лишь в среднекарбонном диорит-гранодиоритовом комплексе, к которому тяготеют скарново-магнетитовые залежи, его среднее содержание в 1.5 раза превышает кларковое для средних пород.

4. Среднее содержание марганца и показатель $100.Fe / Si$ в породах интрузивных комплексов возрастает по мере увеличения основности (Mg, Ca, Fe) и уменьшения кремнекислотности (SiO_2) и глинозёмистости (Al_2O_3) пород. Показатель $100.Mn/Fe$ имеет обратную тенденцию;

5. Марганец в породах интрузивных комплексов находится в сильной отрицательной корреляционной зависимости от Si и Na, и положительной зависимости – от Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg и Ca, что обусловлено, вероятнее всего, процессом кислотно-основного взаимодействия элементов в магматических расплавах, ведущего к их дифференцированному распределению по кристаллическим решёткам петрогенных минералов в соответствии с кристаллохимическими принципами В.М.Гольдшмидта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халилова Т.А. О распространённости марганца в магматических породах Азербайджана (обзор аналитических данных). – Докл. АН АзербСССР, 1954, том X, № 5, с. 327-332.
2. Дзоценидзе Г.С. О роли изоморфного захвата бария и марганца в обогащении ими постмагматических продуктов. – В сб.: Проблемы геохимии. – М.: Наука, 1965, с. 123-127.
3. Беус А.А. Геохимия литосферы. – М.: Недра, 1972, 296 с.
4. Бадалов С.Т. Геохимические свойства главнейших пороодо- и рудообразующих элементов. – Ташкент: Фан, 1978, 168 с.
5. Абрамович И.И., Высокоостровская Е.Б., Дорофеев Э.Ф. Марганец в магматических породах Алтае-Саянской складчатой области. – Геохимия, 1963, № 7, с. 647-651.
6. Абрамович И.И., Высокоостровская Е.Б., Дорофеев Э.Ф. О марганец-железном отношении в магматических горных породах. – Геохимия, 1963₆, № 11, с. 966-1001.
7. Мамадвафоев М.М. Петролого-геохимические особенности интрузивных комплексов некоторых рудных полей Зеравшано-Гиссарской металлогенической зоны и связанное с ними оруденение. – Душанбе: Ирфон, 2017, 237 с.
8. Мамадвафоев М.М., Бахтдавлатов Р.Д., Давлатшоев Д.А. К характеристике интрузивных образований Кафандарского скарново-рудного поля (Восточный Гиссар) и их рудоносности. – Труды Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан. Вып. 2. – Душанбе: Дониш, 2019, с. 53-68.
9. Родионов Д.А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. – М.: Наука, 1964, 102 с.
10. Беус А.А. Геохимические критерии. – В кн.: Теоретические основы поисков и разведки твёрдых полезных ископаемых. Том I. Поиски // Под ред. В.М.Крейтера. – М.: Недра, 1968, с. 127-156.
11. Беус А.А., Григорян С.В., Ойзерман М.Т. и др. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. – М.: Недра, 1965, 120 с.
12. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твёрдых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975, 280 с.
13. Щербина В.В. К геохимии титана. – Геохимия, 1971, № 3, с. 302-309.
14. Коржинский Д.С. Кислотно-основное взаимодействие компонентов в расплавах. – В сб.: Исследование природного и технического минералообразования. – М.: Наука, 1966, с. 5-23.
15. Груза В.В. Кислотно-основная дифференциация элементов в расплавах. – Докл. АН СССР, 1967, том 173, № 5, с. 1177-1180.
16. Goldshmidt V.M. Geochemistry. Oxford, 1954, 730 p.

М.М.МАМАДВАФОЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

МАРГАНЕЦ ДАР ЧИНСҶОИ КОМПЛЕКСҶОИ ИНТРУЗИВИИ МАЙДОНИ МАЪДАНДОРИ КАФАНДАР (ТОЧИКИСТОНИ МАРКАЗӢ)

КВ «Экспедитсияи ҷустуҷуию аксбардории геологи»-и Саридораи геологияи назди

Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола бори аввал функсияи тақсимшавии эҳтимолиятҳои ҷайзнокии манган, паҳннокии он, муттаносибиятҳои манган-оҳан, алоқаҳо ва вобастагӣҳои манган бо

унсурҳои петрогенӣ дар чинсҳои комплексҳои интрузивии майдони маъдандори Кафандар аз назар гузаронида шудааст.

Калимаҳои калидӣ: манган, функцияи тақсимшавӣ, паҳнокии дар чинсҳо, муттаносибиятҳои манган-оҳан, алоқаҳо ва вобастагиҳои коррелясионӣ, унсурҳои петрогенӣ, чинсҳо, комплексҳои интрузивӣ, майдони маъданноки Кафандар.

M.M.MAMADVAFOEV, D.A.DAVLATSHOEV

**MANGANESE IN THE ROCKS OF THE INTRUSIVE COMPLEXES OF THE
KAFANDARA ORE FIELD (CENTRAL TAJIKISTAN)**

*UE "Geological prospecting and survey expedition" of the Main Department
of Geology under the Government of the Republic of Tajikistan*

The article is the first to consider the probability distribution function of manganese content, its abundance, manganese-iron ratios and correlations and dependences with petrogenic elements in the rocks of the intrusive complexes of Kafandara ore field.

Key words: manganese, distribution function, abundance in rocks, manganese-iron relationships, correlations, petrogenic elements, rocks, intrusive complexes, Kafandara ore field.

УДК 551.2+ 550.84/624.131.256 (575.3-191.2)

А.С.НИЁЗОВ, А.К.ХОДЖИЕВ

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЮЖНО-ГИССАРСКОЙ ЗОНЫ КАК
ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РУДОНОСНОЙ ВУЛКАНО-
ПЛУТОНИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ**

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной
академии наук Таджикистана*

Поступила в редакцию 23.12.2020 г.

Южно-Гиссарская геоструктурная зона Гиссаро-Алая развивалась в Туркестанском (О-С₁) и Гиссарском (С₁) палеоокеанах, как краевая активная зона. Начиная с D₂₋₃ происходит сокращение палеотуркестанского палеобассейна, приводящая к прекращению субдукции. В конце палеозоя коллизия континентальных плит продолжается, формируются шарьяжи. На фоне мощного орогенеза происходит внедрение крупных плутонов. Магматизм проявляется мощным излиянием толеитовых базальтов (каратагская серия) и связанным с ними габбро и плагиогранитов (ходжамафрахский комплекс) – первых признаков окончательного формирования континентальной коры зоны. Последующие магматические серии проявились параллельно с поглощением океанической коры, сближением Каракумо-Таримского (Казахстанского) и Таджикского палеоконтинентов, что фиксируется исчезновением карбонатных формаций и появлением флишевых (с олистостромами) образований (муборакская свита). Толеитово-базальтовая и габбро-плагиогранитоидная серии, образующие единую вулканоплутоническую ассоциацию, представляют собой производную островодужной стадии развития Южного Гиссара. Рудоносность ассоциации, ранее оцениваемая без учета сингенетичности серий, в свете новых, плейт-тектонических, исследований представляется комплексной и перспективной.

Ключевые слова: Гиссаро-Алай, Южный Гиссар, геоструктурная зона, магматизм, толеитовые базальты, габбро-плагиогранитоиды, ассоциация, рудоносность.

Южно-Гиссарская зона в виде полосы шириной (на уровне современного среза) до 40 км протягивается в субширотном направлении на 200 км и вдоль границы с Каракумским блоком сиалической коры составляет южную окраину Гиссаро-Алая. На севере

Адрес для корреспонденции: Ниёзов Ансор Сохибович. 734029, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 121, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ; e-mail. aniyozov@bk.ru

она отделяется от Зеравшано-Гиссарской зоны Северо-Гиссарским разломом (с осевой частью Гиссарского хребта), а на юге – Гиссаро-Каратегинским (Гиссаро-Кокшаальским, Южно-Гиссарским) разломом от Каракумского микроконтинента. Характерная особенность зоны выражается в неполноте и сокращенной мощности разреза среднего палеозоя и в чрезвычайно широком развитии позднепалеозойских вулканитов и гранитоидов. Обнаженное в южной части зоны догерцинское основание, в основном сложено в различной степени метаморфизованными (зеленосланцевая и амфиболитовая фации) докембрий–архей-нижнепротерозойскими и условно венд-нижнепалеозойскими (обизарангская свита) осадочно-вулканогенными образованиями: гнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами, мраморами и согласно перекрывается известняками D_2 (S-D?). Карбонатные, кремнисто-карбонатные породы силур-девонского возраста развиты фрагментарно, преимущественно в зонах разрывных нарушений.

Южно-Гиссарская зона считается типичным палеозойским палеоокеаническим бассейном [1, 2]. Океанические реликты – офиолиты, образующие часть Южно-Гиссарского базит-гипербазитового пояса, проходят через территорию Узбекистана и южных склонов Гиссарского хребта на протяжении 150 км. Он характеризуется небольшими линзовидными телами серпентинитов и габброидов, расположенными в зоне Южно-Гиссарского разлома среди вулканогенно-осадочной толщи C_{1-2} . Заложение Гиссарского рифта на первом этапе происходило на континентальной основе. Сутурой Гиссарского рифтогенного океанического бассейна, вероятно, выступает Богаинский разлом. Предполагается, что к началу формирования Гиссарского плутона (C_2), прорывающего породы океанической коры, под офиолитами уже существовала континентальная кора, что еще раз подчеркивает аллохтонность гиссарских офиолитов на краю Таджикского массива. В дальнейшем, рифтинг усилился и достигая больших глубин перешел в океанический. Поэтому в Южно-Гиссарской зоне разновозрастные рифтогенные вулканогенно-осадочные комплексы формировались как на континентальной, так и на океанической коре [3]. Общая мощность осадочно-вулканогенной части офиолитов превышает 2.0 км [4].

Офиолитовый комплекс перекрывается мощными (св. 1.0 км) образованиями энсиматических островных дуг: лавы, туфы и туффиты андезитового, андезитобазальтового и дацитового состава с прослоями известняков и терригенными породами C_2b+m_1 , предполагаемые корни которых выражены в виде средне-основных даек. На севере Южно-Гиссарской зоны в это время (C_1v-C_2) изливались синхронно базальтам СОХ, энсиалические островодужные андезиты, связанные с надвиганием Алайского континентального блока на Гиссарскую океаническую структуру. Островодужный комплекс перекрыт турбидитами – терригенным флишевым комплексом $C_2m_3-C_3k$ с олистростромами – карбонатно-терригенно-молассовой формацией (св. 1.0 км) [5].

Терригенные и туфогенно-терригенные турбидиты как верхняя часть стратиграфического разреза Южно-Гиссарской зоны начали формироваться еще в C_2m_1 и к концу эпохи распространились на всю территорию зоны. Послефлишевый орогенный, обломочно-вулканогенный комплекс, включающий и дацит-риолитовую серию, сложен мощными (до 2.0 км) вулканитами пермской лючобской серии (риодациты, риолиты, дациты, трахиандезидациты), а также разнообразными конгломератами, песчаниками, туфами.

Анализ вертикальных рядов вулканитов показывает, что в короткое время (45–50 млн. лет) происходит эволюция состава вулканитов от океанической (срединно-океанической), островодужной к орогенной. Редуцированность и довольно стремительная эволюция Гиссарского океана еще раз подчеркивает своеобразие геодинамики Южно-Гиссарской зоны. При закрытии океанического бассейна в C_3 , вероятно, в C_3k-g , по завершению флишонакопления возникла Гиссарская океаническая сутура, которая позже в перми была деформирована, а в кайнозое обновлена уже в качестве разлома.

Геодинамические условия развития Южно-Гиссарской зоны обеспечивали особый режим гранитоидного магматизма, проявившийся в период $C-P_1$ -ской ее истории (табл. 1). Уникальная черта гранитоидного магматизма зоны выражается в развитии исключительно вулcano-плутонических ассоциаций, что не характерно для других зон Гиссаро-Алая.

Таблица 1

Последовательность формирования фанерозойских магматических формаций Южно-Гиссарской зоны

Эпоха	Формации	
	вулканогенные (свиты)	плутонические (комплексы)
P_1	Шошонит-латитовая (ангорысайская свита)	Монцитонитовидная субщелочно-гранитовая (курук-джавонинский комплекс)
C_3-P_1	Риодацит-риолитовая (лючобская свита)	Гранит –лейкогранитная, Плюмазитовые редкометалльные граниты (южноварзобский, обизарангский комплексы)
C_{2-3}	Андезитовая серия (шамольская, сиоминская свиты)	Габбро–гранитоидная, Гранодиорит-гранитовая (гиссарский, североварзобский комплекс)
C_{1-2}	Толейтовые базальты, риолиты (каратагская серия)	Габбро-плагиогранитовая (ходжамафрачский комплекс)

Южно-Гиссарская зона имеет большой рудогенерирующий потенциал, связанный с гранитоидным магматизмом. В связи с этим последние изучались рядом исследователей на предмет связи с ними оруденения [6, 7]. Однако, рудоносность толейтово-базальт-риолит-габбро-плагиогранитовой вулcano-плутонической ассоциации в этом плане по следующим причинам осталась слабо выявленной:

1. ранее, то есть до выделения вулcano-плутонической ассоциации вулканогенные фации рассматривались обычно отдельно, в виде свит, горизонтов, без допущения генетической связи с плутонической фацией. Соответственно этому, интрузивные составляющие ассоциации также выделялись в виде разрозненных комплексов.

2. рассматривая отдельно фации единой ассоциации исследователи устанавливали их рудоносность также локально, в пределах и объемах выделенных свит и комплексов [8, 9, 10].

Таким образом, звенья единой ассоциации исследовались как продукты отдельных этапов развития и/или независимых друг от друга магматических событий, что, как показали наши исследования [8, 11], не соответствует наблюдаемой реальности.

Габбро-плагиогранитоидный плутонический комплекс, генетически связанный с вулканитами формации натриевых базальтов-риолитов каратагской свиты C_{1-2} . Серия проявилась в виде основных, средних и кислых разновидностей интрузивных пород, обра-

зующих вместе с натровыми базальтоидами толеитовой серии единую вулканоплутоническую ассоциацию, – производную островодужной стадии развития Южного Гиссара. Габбро-плагиогранитоидная серия включает габбро, диориты, кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты и лейкоплагиограниты, а также жильные тела габбро-пегматоидов, тоналит-лейкоплагиогранит-пегматоидов, плагиогранит-порфиров. Гранитоиды с вмещающими породами имеют интрузивные контакты. Состав габбро-плагиогранитоидной серии характерен островодужным производным (табл.2).

Таблица 2

Средний петрохимический (мас. %) и редкоэлементный (г/т) состав пород габбро-плагиогранитоидной серии Южного Гиссара (по фазам)

Элементы	1 (12)	2 (35)	3 (21)	4 (34)	5 (16)	Элементы	1 (12)	2 (35)	3 (21)	4 (34)	5 (16)
SiO ₂	50.48	58.16	64.50	70.96	73.53	Tl	0.5	0.4	0.4	0.7	0.8
TiO ₂	0.69	0.70	0.50	0.32	0.28	U	0.6	0.8	1.0	1.0	1.1
Al ₂ O ₃	16.68	16.11	15.35	13.77	13.55	Th	2	2	5	5	6
Fe ₂ O ₃	2.02	2.51	1.93	1.18	0.81	Y	17	25	22	24	19
FeO	6.53	5.67	3.70	2.54	1.96	Ga	15	15.8	13.3	13.2	15.7
MnO	0.16	0.15	0.08	0.11	0.04	Hf	1.6	1.7	3	3.4	4.9
MgO	8.06	3.86	2.43	1.07	0.78	Ni	13	4	6	6	3
CaO	10.52	7.21	5.58	3.11	2.90	Co	21	19	7	8	5
Na ₂ O	2.39	2.86	3.14	3.60	3.75	Cr	44	11	57	16	9
K ₂ O	0.52	0.84	1.12	1.43	1.36	V	112	108	91	18	12
P ₂ O ₅	0.11	0.14	0.09	0.09	0.08	La	5.13	7.52	10.08	19.90	23.68
П.п.п	1.47	1.49	1.29	1.69	0.86	Ce	10.91	24.00	22.33	40.00	47.94
Сумма	99.63	99.70	99.71	99.87	99.90	Pr	1.52	3.95	2.88	4.92	6.69
F	600	500	150	254	267	Nd	6.99	19.00	12.57	20.20	24.50
B	22.0	7.8	6.9	7.2	5.6	Sm	1.93	6.00	3.09	4.98	6.52
Li	18.0	9.8	9.5	12.6	10.1	Eu	0.66	1.17	0.71	1.20	1.91
Rb	24	22	36	37	34	Gd	2.26	6.11	3.18	4.69	6.44
Cs	3.6	8.7	2.2	2.7	1.9	Tb	0.45	1.12	0.58	0.83	1.76
Y	16.9	25.0	22.2	23.6	19.4	Dy	3.03	7.62	3.76	5.11	6.17
Ba	69	70	66	154	40	Ho	0.73	1.90	0.87	1.27	1.53
Sr	303	185	183	166	187	Er	2.06	5.23	2.63	4.01	5.70
Zr	72	71	94	100	118	Tm	0.31	0.98	0.42	0.57	0.84
Ta	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	Yb	1.96	5.30	2.65	3.80	5.08
Nb	2.2	1.5	2.7	1.8	3.2	Lu	0.35	0.90	0.41	0.66	1.40

Примечание: 1-5-интрузивные фазы: 1 – габбро, 2 – диориты и кварцевые диориты, 3 – тоналиты, 4 – плагиограниты, 5 – лейкоплагиограниты; в скобках количество анализов.

На классификационной TAS-диаграмме (рис. 1) составы габбро-плагиогранитоидной серии занимают нижнюю часть поля низкощелочных магматитов.

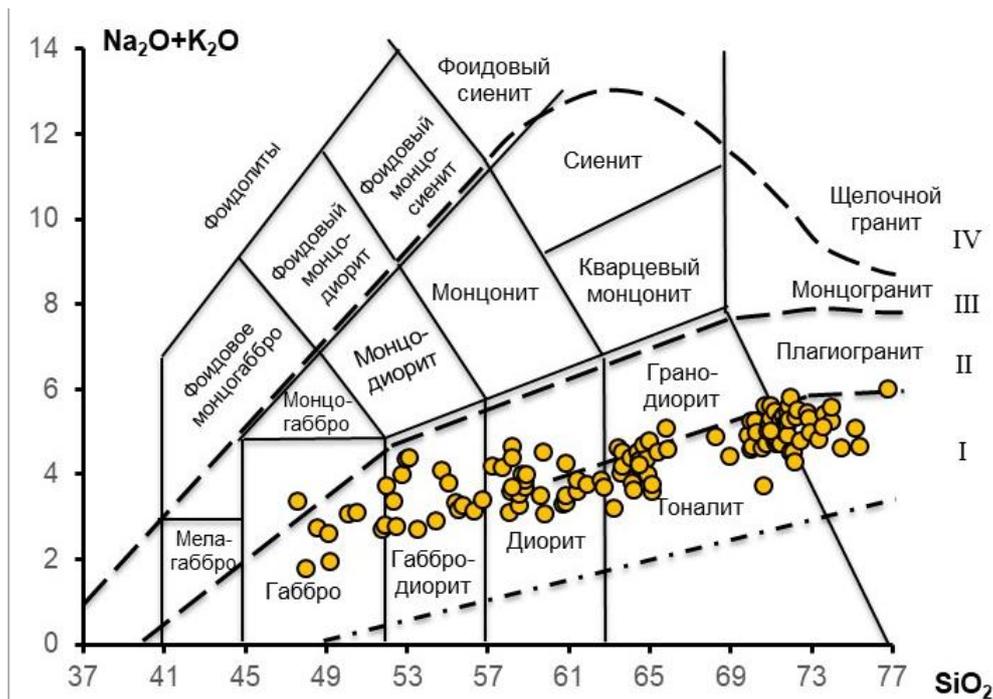


Рис. 1. TAS –диаграмма пород габбро-плагиигранитоидной серии Южногиссарской зоны. 1-5 фазовые дифференциаты габбро-плагиигранитоидной серии: 1 – габбро I фазы, 2 – диориты и кварцевые диориты II фазы, 3 – тоналиты III фазы, 4 – плагииграниты IV фазы и 5 – лейкоплагииграниты V фазы.

На бинарной диаграмме K_2O-SiO_2 точки составов интрузивных пород ранне-среднекарбоневой габбро-плагиигранитоидной серии занимают нижнюю часть поля умеренно-калиевой известково-щелочной серии, ближе к низкокалиевой серии (рис. 2).

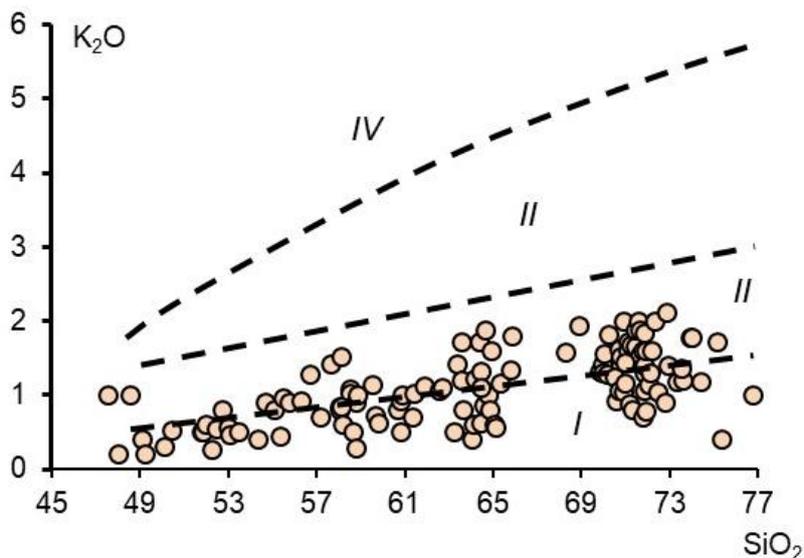


Рис. 2. Составы габбро-плагиигранитоидной серии на K_2O-SiO_2 диаграмме. I-IV–поля низкокалиевой толситовой (I), умереннокалиевой известково-щелочной (II), высококалиевой известково-щелочной (III) и шошонитовой (IV) серии.

Редкоэлементный состав габбро-плагиогранитоидной серии зоны идентичен геохимическому типу плагиогранитов толеитового ряда. Вследствие родства с океаническими примитивными толеитами породы серии унаследовали низкие содержания K, Li, Rb, Cs, Be, Nb, Ta, Pb и повышенные Ni, Co, V, Cr, Cu, Zn, которых несколько больше, чем в аналогичных породах. В генетическом плане габбро-плагиогранитоидная серия зоны соответствует гранитам М-типа – мантийным производным.

На R_1 - R_2 диаграмме ($R_1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$; $R_2=6Ca+2Mg+Al$) (рис. 3) точки составов габбро-плагиогранитоидов располагаются в поле мантийных дифференциатов, подчеркивая их принадлежность к генетическому типу мантийных гранитов М-типа.

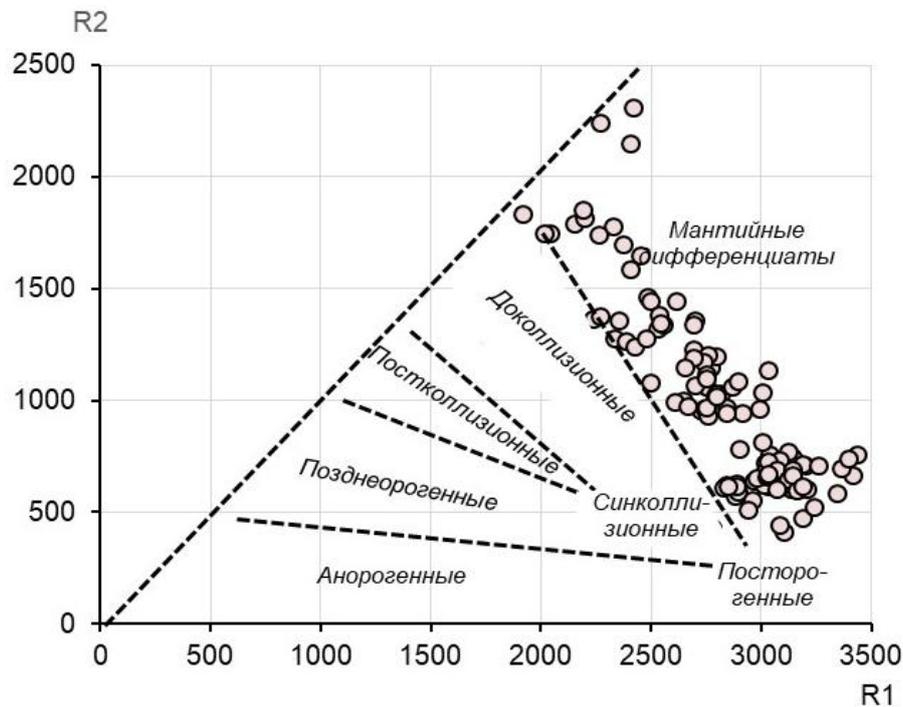


Рис. 3. Мультикатегорная R_1 - R_2 диаграмма для габбро-плагиогранитоидной серии Южно-Гиссарской зоны.

Габбро-плагиогранитоидные серии на дискриминант-диаграммах Rb–Y+Nb; Nb–Y [12] для типизации гранитоидов занимают поле гранитоидов островных дуг (рис. 4).

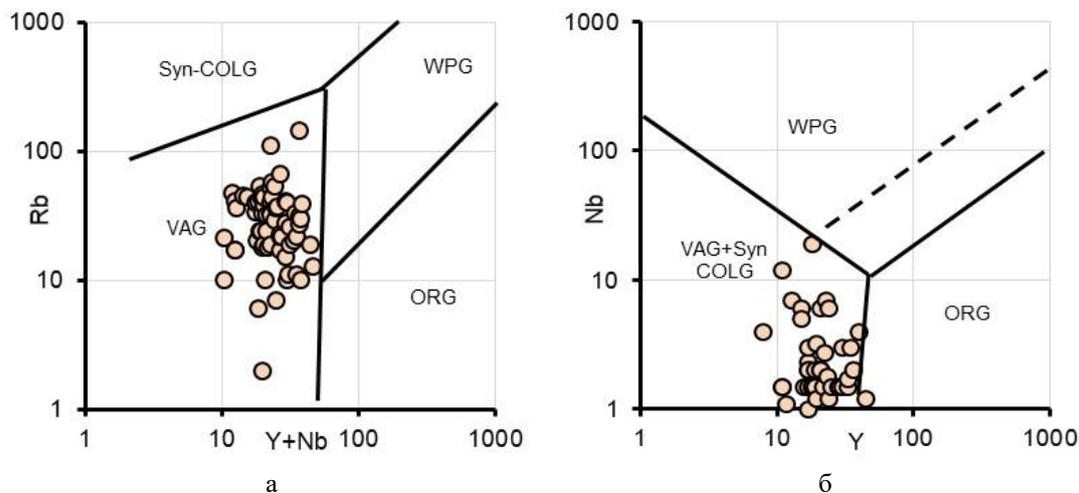


Рис. 4. Положение средних составов пород габбро-плагиогранитоидной серии зоны на диаграммах Rb–(Y+Nb) (а) и Nb–Y(б).

Исходя из выявленных петрогеохимических особенностей, нами допускается, что формирование габбро-плагиогранитоидной серии происходило из базальтовой магмы толеитового состава, образовавшегося при плавлении субдуцируемой океанической коры Гиссарского палеоокеана.

Адекватная идентификация объемов, условий формирования базальт-габбро-плагиогранитоидной, вулканоплутонической ассоциации позволяет комплексно оценить ее рудоносность. С островодужной габбро-плагиогранитоидной серией генетически связано скарново-магнетитовое оруденение. К контактовым зонам массивов и участкам скопления даек габбро-диабазов, диабазовых порфиритов, плагиогранит-порфиритов приурочено золотополиметаллическое оруденение. С плагиогранитами завершающих фаз парагенетически связано оруденение медно-молибденовой и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Оценка связи оруденения с вулканогенными и интрузивными производными ассоциации расширяет область поисков не только в зонах контакта, но и в теле вулканитов и интрузивных фаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буртман В.С. Структурная эволюция палеозойских складчатых систем. Варисциды Тянь-Шаня и палеозоиды Северной Европы. – М.: Наука, 1976, 160 с.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. – М.: Недра, 1990, т. 1, 327 с.; 1990, т. 2, 334 с.
3. Стеблова В.М., Нарижнев В.В. Каменноугольные андезитоиды Южного Гиссара. – Сов. геол., 1991, № 5, с. 63-69.
4. Буртман В.С. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое. – Геотектоника, 2015. № 4, с. 67-85.
5. Черенков И.Н. Верхнепалеозойская флишевая формация Гиссаро-Алая. – Душанбе: Дониш, 1973, 170 с.

6. Петрология и геохимия магматических формаций Памира и Гиссара-Алая. Ред. Баратов Р.Б. – Душанбе: Дониш, 1978, 343 с.
7. Мельниченко А.К., Варзиева Т.Б. Геохимическая типизация и потенциальная рудоносность позднепалеозойских плутонических пород Центрального Таджикистана. Геохимия и потенциальная рудоносность магматических образований Таджикистана. – Душанбе, 2002, с. 114-144. Деп. в НПИЦентре РТ, вып.2, № 81(1515).
8. Баратов Р.Б., Ходжиев А.К., Ниёзов А.С., Мамаджанов Ю. Петрогеохимические особенности и рудоносность островодужной габбро-плагиогранитоидной серии Южно-Гиссарской зоны Южного Тянь-Шаня. Современные вопросы региональной геодинамики и минерагении Памиро-Тянь-Шаня. Материалы респ.науч.конф. – Душанбе: Дониш, 2012, с. 149-164.
9. Мельниченко А.К. Тоналит-плагиогранитовая формация Южного Гиссара (Южный Тянь-Шань). Труды Института геологии АН РТ, 2003, Нов сер., Вып. 2, с. 116-126.
10. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1976, 268 с.
11. Ниёзов А.С., Мамаджанов Ю. Геохимические типы и рудоносность орогенных гранитоидов Южного и Среднего Тянь-Шаня. – М.: ВИНТИ. 1989, 103 с., (№ 2462-B89).
12. Pearce J.A., Harris N. B. W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. – Petrology, 1984, v. 25, № 4, pp. 956-983.

А.С.НИЁЗОВ, А.К.ҲОЧИЕВ

**ТАҲАВВУЛИ ГЕОДИНАМИКИИ МИНТАҚАИ ҲИСОРИ ЧАНУБӢ
ҲАМЧУН ОМИЛИ ТАШАККУЛИ АССОСИАТСИЯИ ВУЛҚОНИЮ
ПЛУТОНИИ МАЪДАНДОР**

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

Минтақаи геоструктурии Ҳисори Чанубии Ҳисору Олой дар укёнуҷҳои қадими Туркистон (О-С₁) ва Ҳисор (С₁) ҳамчун минтақаи фаъоли канорӣ ташаккул ёфтааст. Оғоз аз D₂₋₃ укёнуҷҳои қадими Туркистон қоҳиш ёфта, боиси қатъ шудани субдуксия гардид. Дар анҷоми палеозой бархӯрди плитаҳои континенталӣ идома ёфта, шарҷҳо ба вучуд омаданд. Дар баробари орогенези шадид дар кишри Замин плутонҳои қалон пайдо шуданд. Магматизм бо шоридани шадиди базалтҳои толеитӣ (свитаи Қаротӯғ) ва пайдоиши габбро-плагиогранитҳои бо онҳо алоқаманд (маҷмааи Ҳоҷамафраҷ) зоҳир мешавад, ки ин нишонаҳои аввалини ташаккули кишри континенталии минтақа мебошанд. Серияҳои минбаъдаи магмавӣ дар баробари фурубарии кишри укёнус дар наздикшавии палеоконтиненти Қароқум-Тарим (Қазоқистон) ва палеоконтиненти Тоҷикистон зоҳир шуданд, ки ин ба нестшавии форматсияҳои карбонатӣ ва пайдоиши флишҳо (бо олистостромҳо) (свитаи Муборак) рост меояд. Серияҳои толеитӣ-базалтӣ ва габбро-плагиогранитоидҳо, ки ассотсиатсияи ягонаи вулкано-плутониро ташкил медиҳанд, маҳсули марҳилаи қамонҷазиравии Ҳисори Чанубӣ мебошанд. Маъданҳои ассотсиатсия, ки қаблан ба назардошти хусусияти сингенетикӣ доштани серияи мавсуф баҳо дода мешуд, дар партави таҳқиқоти нави тектоникаи плитавӣ маҷмаавӣ ва умедбахш арзёбӣ қарда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: Ҳисору Олой, Ҳисори Чанубӣ, минтақаи геосохторӣ, магматизм, базалтҳои толеитӣ, габбро-плагиогранитоидҳо, ассотсиатсия, таркиби маъдан.

A.S.NIYOZOV, A.K.KHODZHIEV

**THE GEODYNAMIC EVOLUTION OF THE SOUTH GISSAR ZONE
AS A PREREQUISIT FOR THE DEVELOPMENT OF THE ORE-BEARING
VOLCANO-PLUTONIC ASSOCIATION**

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

The South Gissar geostructural zone of the Gissar-Alai developed in the Turkestan (O₁) and Gissar (C₁) oceans, as a borderland active zone. Starting from D₂₋₃, the paleoturkestan paleobasin are decreases and subduction stops. At the end of the Paleozoic, the collision of continental plates continues, and nappes are formed. Intense orogenesis occurs and large plutons are introduced. Magmatism is manifested by powerful outpouring of tholeiitic basalts (Karatag series) and associated gabbro and plagiogranites (Khodjamafrach complex) - the first signs of the final formation of the continental crust of the zone. Subsequent magmatic series manifested themselves in parallel with the absorption of the oceanic crust, the convergence of the Karakum-Tarim (Kazakhstan) and Tajik paleocontinents, which is recorded by the disappearance of carbonate formations and the appearance of flysch (with olistostromes) formations (Muborak formation). The toleiite-basaltic and gabbro-plagiogranitoid series, which form a single volcano-plutonic association, are a derivative of the island-arc stage of development of South Gissar. The ore content of the association, previously estimated without taking into account the syngeneticity of the series, in the light of new plate tectonic studies, seems to be complex and promising.

Key words: The Gissar-Alai, The South Gissar, geostructural zone, magmatism, tholeiitic basalts, gabbro-plagiogranitoids, association, ore-bearing.

УДК 620.92

Г.Н.ПЕТРОВ, А.С.КОДИРОВ, Х.М.АХМЕДОВ

**К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СРЕДНЕЙ И МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Центр инновационного развития науки и новых технологий

Национальной Академии наук Таджикистана

Поступила в редакцию 17.11.2020 г.

В работе рассмотрен вопрос оптимизации территориального размещения электростанций средней и малой мощности при освоении возобновляемых источников энергии. В качестве критерия оптимизации, минимизирующего общие затраты, используется радиус эффективности электростанции, как функции ее мощности. Показано, что в диапазоне мощности малых электростанций до 2000 кВт, радиус эффективности не превышает 45 км.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гидроэнергия, ежегодные издержки, капиталовложения, критерий эффективности, потери электроэнергии, приведенная стоимость, радиус эффективности электростанции.

Таджикистан обладает огромными запасами гидроэнергии, сосредоточенными не только в крупных, но и в малых реках. Речная сеть практически равномерно покрывает всю территорию страны [1]. Но освоение энергоресурсов малых рек возможно только путем строительства на них малых ГЭС (МГЭС). Такая же ситуация складывается в республике с двумя другими основными возобновляемыми источниками энергии – ветром и солнцем [2-4]. Они также повсеместно распространены на всей территории Таджикистана, но имеют низкую плотность энергии, и возможность их использования ограничивается также строительством электростанций малой мощности.

Поэтому широкомасштабное освоение ВИЭ в Таджикистане – это строительство большого количества электростанций (ЭС) малой мощности. Это объясняется тем, что малые ЭС не требуют крупных капиталовложений, могут возводиться, практически, в те-

Адрес для корреспонденции: Ахмедов Хаким Мунавварович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Рудаки, 33А, Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ.
E-mail: ahmedovhakim48@gmail.com

чение одного сезона, относительно просты в эксплуатации и могут обеспечить быстрый возврат инвестиций [5-7].

Этот вывод хорошо подтверждается современной практикой – уже сегодня, на начальном этапе освоения в республике построено более 300 малых ГЭС.

Но строительство большого количества ЭС требует правильного их территориального размещения [8-9]. Критерием оптимизации при этом будет минимизация общих капиталовложений на строительство ЭС для выработки электроэнергии и на строительство линий электропередач (ЛЭП) [10-11] и эксплуатационных издержек, связанных с потерей электроэнергии в ЛЭП.

С учетом этого, зона влияния одной ГЭС будет ограничиваться расстоянием, стоимость передачи электроэнергии на которое путем строительства ЛЭП с учетом потерь электроэнергии будет дешевле сооружения на его конце новой станции требуемой мощности.

Критерием такого подхода является радиус эффективности электростанции $R_{эфЭС}$. Радиус эффективности электростанции определяется из условия, что в пределах этого радиуса энергообеспечение локального потребителя¹ за счет уже существующей поблизости ЭС будет дешевле строительства новой ЭС на месте потребления.

Цель работы заключается в рассмотрении вопроса оптимизации территориального размещения электростанций средней и малой мощности при освоении возобновляемых источников энергии.

Для расчета $R_{эфЭС}$ рассмотрим эти два варианта подробнее. Затраты на реализацию первого варианта энергообеспечения потребителя включают в себя только стоимость строительства ЭС необходимой мощности N кВт непосредственно на месте потребления:

$$P_{1 \text{ вар}} = P_{ЭС} = P_{ЭС \text{ уд}} * N, \quad (1)$$

где:

$P_{ЭС}$ – общая стоимость строительства ЭС, мощностью N , долл.

$P_{ЭС \text{ уд}}$ - удельная стоимость строительства ЭС, долл/кВт.

Во втором варианте общие затраты будут состоять из стоимости строительства ЛЭП, протяженностью L километров (от уже существующей станции до потребителя) плюс стоимость потерь электроэнергии на ее доставку:

$$P_{2 \text{ вар}} = P_{ЛЭП} + P_{\text{потерь эл}}, \quad (2)$$

где:

¹ К потребителям малых ЭС относятся отдельные населенные пункты, небольшие предприятия, сельскохозяйственные кооперативы и т. п.

$$P_{\text{ЛЭП}} = P_{\text{ЛЭП уд}} * L \quad (3)$$

$P_{\text{ЛЭП}}$ – общая стоимость строительства ЛЭП, длиной L км,

$P_{\text{ЛЭП уд}}$ - удельная стоимость строительства ЛЭП, долл/км.

$$P_{\text{потерь эл}} = \Delta W * t \quad (4)$$

$P_{\text{потерь эл}}$ – общая стоимость потерь электроэнергии в ЛЭП, долл/год,

ΔW – годовые потери электроэнергии в ЛЭП, кВт.ч/год [12],

t – тариф на электроэнергию, долл/кВт.ч,

Потери электроэнергии в ЛЭП для одной фазы трехфазного тока можно определить известным способом [13].

$$\Delta W_{\text{фазы}} = U * I * T, \quad (5)$$

где:

U – среднее напряжение линии за рассчитываемый период, кВ,

I – ток в линии, А,

T – рассматриваемый период времени, час, где напряжение U можно представить в виде:

$$U = I * R_{\text{фазы ЛЭП}}, \quad (6)$$

где:

$R_{\text{фазы ЛЭП}}$ – электрическое сопротивление одной фазы ЛЭП, равное:

$$R_{\text{фазы ЛЭП}} = r_0 * L / F, \quad (7)$$

где:

L – длина линии, км,

r_0 – удельное сопротивление провода, кОм*мм²/км (= Ом*мм²/м),

F – сечение провода, мм².

Подставляя (6) в (5), получим:

$$\Delta W_{\text{фазы}} = I^2 * R_{\text{фазы ЛЭП}} * T, \quad (8)$$

где значение тока I , протекающего по ЛЭП, может быть найдено, как [14]:

$$I = \frac{W_{\text{фазы}}}{U * T}, \quad (9)$$

где:

$W_{\text{фазы}}$ – значение активной составляющей потребляемой одной фазой электроэнергии за рассчитываемый период времени, кВт.ч, равное:

$$W_{\text{фазы}} = W / 3, \quad (10)$$

где:

W – полное (для всех трех фаз) значение активной составляющей потребляемой электроэнергии за рассчитываемый период времени T , кВт.ч.

С учетом формул (5) – (10), учитывая при этом наличие реактивной мощности в сети и неравномерность графика потребления [12-13] будем окончательно иметь:

- для одной фазы ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{фазы}} = \frac{\left(\frac{W}{3}\right)^2 * r_0 (1 + tg\varphi^2) * K_{\phi}^2 * L}{U^2 * T * F}, \quad (11)$$

где:

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности (**0,6**),

K_{ϕ}^2 - коэффициент заполнения графика:

$$K_{\phi}^2 = (1 + 2K_3) / 3K_3$$

K_3 - коэффициент заполнения графика (при отсутствии данных о форме графика нагрузки обычно принимается значение - **0,3**; тогда: $K_{\phi}^2 = 1.78$).

- для всех трех фаз ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{фазы}} = 3 * \frac{\left(\frac{W}{3}\right)^2 * r_0 (1 + tg\varphi^2) * K_{\phi}^2 * L}{U^2 * T * F}. \quad (12)$$

Для расчета сравнительной эффективности двух рассматриваемых вариантов воспользуемся методом приведенной стоимости [15]:

$$\Pi_i = \varepsilon_n * K_i + И_i, \quad (13)$$

где:

Π_i – приведенные затраты в i -ом варианте,

K_i – капиталовложения в i -ом варианте,

$И_i$ - ежегодные издержки в i -ом варианте,

ε_n – нормативный коэффициент эффективности (в энергетике - $\varepsilon_n = 0.12$).

В рассматриваемых нами 2-х вариантах энергоснабжения, к капиталовложениям относятся стоимости строительства ЭС и ЛЭП, а ежегодные издержки – это стоимость годовых потерь электроэнергии² (только во втором варианте).

При такой постановке, расстояние L (протяженность ЛЭП), при котором приведенные стоимости в 1-м и 2-м рассматриваемых нами вариантах равны друг другу, будет равно искомому нами радиусу эффективности ЭС – $R_{\text{эфЭС}}$. Он будет являться решением относительно L , уравнения:

² Все другие эксплуатационные издержки в расчете не рассматриваются, так как они практически одни и те же для обоих вариантов.

$$\varepsilon_n * p_{ЭС уд} * N = \varepsilon_n * p_{ЛЭП уд} * L + 3 * \frac{\left(\frac{W}{3}\right)^2 * r_0(1+tg\varphi^2) * K_{\phi}^2 * L}{U^2 * T * F} * t. \quad (14)$$

Откуда непосредственно будем иметь:

$$R_{эф.ЭС} = L = \frac{\varepsilon_n * p_{ЭС уд} * N}{\varepsilon_n * p_{ЛЭП уд} + 3 * \frac{\left(\frac{W}{3}\right)^2 * r_0(1+tg\varphi^2) * K_{\phi}^2 * L}{U^2 * T * F}}. \quad (15)$$

Если потребитель находится внутри круга радиуса $R_{эф.ЭС}$, в центре которого расположена действующая ЭС достаточной мощности, то целесообразно запитать его от этой, уже существующей ЭС. В противном случае более выгодно построить новую ЭС в непосредственной близости от потребителя.

Расчеты значений $R_{эф.ЭС} = f(N)$ для мощностей ЭС в диапазоне до 2 тыс. кВт приведены в таблице, а их графическое представление на рисунке.

Таблица

Расчет радиуса эффективности ЭС

Показатели	N, мощность ЭС, кВт					
	15	25	100	500	1000	2000
1. Исходные данные						
1.1. Для расчета стоимости строительства ЭС						
$P_{ЭС. уд}$ долл/кВт	3000	3000	3000	3000	3000	3000
$P_{ЭС.}$, долл.	45000	75000	300000	1500000	3000000	6000000
1.2. Для расчета строительства ЛЭП, напряжением 6 кВ						
$p_{ЛЭП. уд}$ долл/кВт	15000	15000	15000	15000	15000	15000
1.3. Для расчета потерь электроэнергии в ЛЭП						
T, число часов использования в год	6000	6000	6000	6000	6000	6000
W, выработка эл. энергии, в год, кВт.ч	90000	150000	600000	3000000	6000000	12000000
U, напряжение, кВ	6	6	6	6	6	6
F, сечение провода, мм ^{2*}	3	3	10	25	50	100
r_0 , Ом·мм ² /м	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
K_{ϕ}^2	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78
tgφ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
t, долл/кВт.ч	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2. Результаты расчета						
$R_{эф.ЭС} = L$, км	2.95	4.79	16.54	32.34	38.58	42.70

* Сечение проводов выбрано в соответствии с фактической плотностью тока.

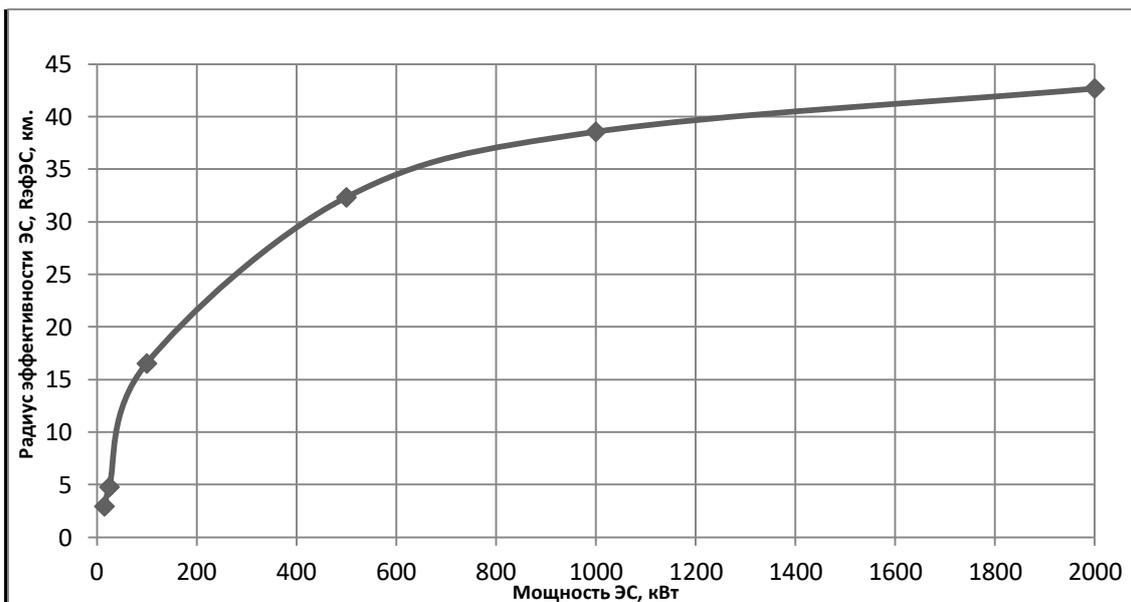


Рис. Зависимость $R_{эфЭС}$ от мощности электростанций.

Можно отметить, что радиус эффективности электростанции $R_{эфЭС}$ является сложной нелинейной функцией многих аргументов и рост мощности ЭС необязательно приведет к его увеличению, и при определенной мощности ЭС функция $R_{эфЭС} = f(N)$ может иметь максимум. Это связано прежде всего с фактическими потерями электроэнергии в ЛЭП, которая растет как с увеличением $R_{эфЭС}$, так и особенно с увеличением мощности ЭС.

Таким образом, в условиях глобального потепления климата использование возобновляемых источников энергии становится все более приоритетным во всем мире, в том числе и в Таджикистане. Но источники ВИЭ имеют, как правило, небольшую мощность и поэтому большое значение имеет их правильное территориальное размещение. Использование радиуса эффективности ЭС для оптимизации размещения малых электростанций позволяет минимизировать капитальные затраты на их возведение и общие эксплуатационные издержки. Проведенные в настоящей работе расчёты показывают, что во всем диапазоне мощностей электростанций, использующих возобновляемые источники энергии – до 2 тыс. кВт, радиус эффективности ЭС не превышает 45 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаева Ф.С., Баканин Г.В. и др. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. – Ленинград: «Недра», 1965, 658 с.
2. Могиленко А.В. Энергоэффективность в энергетических рейтингах: применяемые критерии. – Энергоресурсосбережение и энергоэффективность, 2018, № 5, с.16-22.
3. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С.. Ресурсы ВИЭ в Таджикистане. – Изв. АН РТ. Отд. физ-мат., хим., геол. и техн. наук, 2009, № 3 с. 82-91.

4. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М. Общие подходы и особенности энергосбережения в современном Таджикистане. Материалы круглого стола: «Меры по экономному использованию энергии и энергосбережению» – Душанбе, 20 августа 2009 г., с. 26-38.
5. Стенников В.А., Жарков С.В., Методы оценки эффективности энергоснабжения потребителей. – Энергобезопасность и энергосбережение, 2014, № 5, с. 34-40.
6. Азим Иброхим., Петров Г.Н., Леонидова Н.В. Промышленное использование малой гидроэнергетики в Таджикистане. – Горный журнал. Специальный выпуск. – М.: 2004, с. 40-42.
7. Ахмедов Х.М., Каримов Х.С., Петров Г.Н. Малая гидроэнергетика и возможности использования мини- и микро ГЭС в горных территориях Таджикистана. – Изв. АН РТ. Отд. физ-мат., хим., геол. и техн. наук, 2010, № 1, с. 100-109.
8. Петров Г.Н. Оптимизация размещения гидроузлов в бассейнах рек Таджикистана. Ассоциация энергетиков Таджикистана, Ассоциация выпускников ТТУ-ТПИ, ТТУ им. М.С.Осими. «Энергетический комплекс Таджикистана. Проблемы и перспективы устойчивого развития». Материалы Республиканской научно-практической конференции. Душанбе, 2008, 96 с.
9. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М. Малая гидроэнергетика Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2010, 148 с.
10. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С.. Возможности использования возобновляемых источников энергии в Таджикистане. – Изв. АН РТ. Отд физ-мат., хим., геол. и техн. наук, 2009, № 4, с. 112-124.
11. Regulatory Indicators for Sustainable Energy. A Global Scorecard for Policy Makers. International Bank for Reconstruction and Development (The World Bank), 2017.
12. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004, 280 с.
13. Справочник по проектированию электрических сетей /под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: ЭНАС, 2012, 376 с.
14. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: в 3-х т. Учебник для вузов, т. 1, 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003, 463 с.
15. Бабуринов Б.Л., Файн И.И. Экономическое обоснование гидроэнергостроительства. – М.: Энергия, 1975. 121 с.

Г.Н.ПЕТРОВ, А.С.ҚОДИРОВ, Ҳ.М.АХМЕДОВ

ОИД БА МАСЪАЛАИ МУНОСИБГАРДОНИИ ЧОЙГИРКУНИИ ҲУДУДИИ НЕРҶОҲОИ МИЁНА ВА КАМИҚТИДОР

Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар мақола масъалаи муносибгардонии чойгиркунии ҳудудии нерӯгоҳҳои миёна ва камиқтидор зимни азхудкунии манбаъҳои барқароршавандаи энергия баррасӣ карда шудааст. Ба сифати меъёри муносибгардонӣ, ки хароҷоти умумиро камтарин мегардонад, радиуси самаранокӣ (боздеҳ)-и нерӯгоҳ, ҳамчун функсияи иқтидори он истифода мешавад. Нишон дода шудааст, ки дар фосилаи иқтидори нерӯгоҳҳои камиқтидор то 2000 кВт, радиуси самаранокӣ аз 45 км зиёд намебошад.

Калимаҳои калидӣ: манбаҳои барқароршавандаи энергия, сарфҳои ҳарсола, маблағгузориҳои капиталӣ, меъёри самаранокӣ, нобудшавии электроэнергия, қиммати овардашуда, радиуси самаранокии электростансия.

G.N.PETROV, A.S.KODIROV, Kh.M.AKHMEDOV

**ON THE ISSUE OF OPTIMIZATION OF THE TERRITORIAL DISTRIBUTION
OF POWER PLANTS OF MEDIUM AND LOW POWER**

*Center of Innovative Development of Science and new technologies
of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

The paper considers the issue of optimization of the territorial distribution of power plants of medium and low power in the development of renewable energy sources. The efficiency radius of the power plant as a function of its capacity is used as an optimization criterion to minimize overall costs. Calculations show that in the power range of small power plants up to 2000 kW, the efficiency radius does not exceed 45 km.

Key words: renewable energy sources, hydropower, annual costs, capital investment, efficiency criterion, energy losses, present value, radius of power plant efficiency.

УДК 624.012.45(075.78)

Л.ШАРИПОВ, Д.Н.НИЗОМОВ*, А.Д.РАХМОНЗОДА, И.С.МУМИНОВ, И.Ш.АШУРОВ

КОНСТРУКЦИЯ БЕЗРИГЕЛЬНОГО КАРКАСА ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими,

**Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии*

Национальной академии наук Таджикистана

Поступила в редакцию 13.01.2021 г.

В статье рассмотрены расчет, проектирование и конструирование элементов безригельного каркаса из монолитного железобетона с обычным и смешанным армированием. В качестве композитной арматуры для армирования опорного узла принята АБП – базальт пластиковая арматура. Выполнены конструирование, строительство, статические и динамические испытания этого узла в натуральную величину.

Ключевые слова: каркас безригельный, монолитный железобетон, расчет, композитная арматура, АБП – базальт пластиковая арматура, стык, узел, арматурная сетка, консольная часть плиты, конструирование, сварка.

В годы независимости Республики Таджикистан, благодаря созидательной политики Основателя мира и национального единства – Лидера нации, Президента Республики Таджикистан, уважаемого Эмомали Рахмона, получило значительное развитие строительство жилых и общественных зданий. В связи с этим проблема обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений различных конструктивных решений приобретает особую актуальность.

Безригельный каркас системы КУБ (конструкции унифицированные безригельные), разработанный НПО «МОНОЛИТ» (Россия) в 90-е годы прошлого столетия применялся для строительства жилых зданий в основном для обычных районов. Конструкция безригельного каркаса представляет собой сборно-монолитный безригельный каркас зда-

Адрес для корреспонденции: Л.Шарипов. ТТУ имени М.С. Осими E-mail: sharipov-1946@mail.ru; Низомов Джахонгир Низомович. 734029, Республика Таджикистан, г. Душанбе, Национальная академия наук Таджикистана. E-mail: ties@mail.ru, nizomov-jn@mail.ru

ния, где роль ригелей выполняют плиты перекрытия. Для повышения жесткости системы применяются связи и диафрагмы. С применением сборно-монолитных элементов системы КУБ в городах Куляб и Душанбе Республики Таджикистан были построены несколько экспериментальных 9-и этажных жилых домов. В связи с этим была поставлена задача о проведении экспериментальных исследований с целью определения их сейсмостойкости. Кафедра «Железобетонных конструкций, основания и фундаменты» ТПИ (ныне ТТУ имени академика М.С.Осими), под руководством профессора Я.Ш.Исхакова, проводила натурные динамические испытания 9-и этажного жилого дома. Это испытание проводилось после завершения монтажа основных несущих элементов. Динамические испытания проводились с использованием вибромашины В2 конструкции ЦНИИСК имени В.А.Кучеренко. Результаты этих экспериментальных исследований опубликованы в работах [1, 2]. Конструктивная схема таких зданий при высоте до 5 этажей каркасная, а при более 5 этажей – каркасно-стенная, то есть рамная и рамно-связевая конструктивные системы.

В настоящее время ученые кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТТУ имени академика М.С.Осими проводят экспериментальные и теоретические исследования статической работы и динамической несущей способности элементов конструкций зданий безригельного каркаса из монолитного железобетона. Безригельный каркас из монолитного железобетона, разработанный кафедрой ПГС, состоит из плиты и колонны, соединенных между собой при помощи соединительного металлического элемента.

На рис. 1 приведены модель фрагмента здания безригельного каркаса и узел стыка плиты с колонной в натуральную величину. Двухэтажная модель с металлическими связями (рис. 1а) испытывает действия статической равномерно распределенной нагрузки 5 кН/м^2 . Испытание узла соединения плиты с колонной от действия статической нагрузки 32 кН/м^2 показано на рис.1б. Этот узел выполнен из монолитного железобетона при смешанном армировании с базальт пластиковой арматурой (АБП). Жесткое соединение плиты с колонной, выполняется на сварке стального опорного столика – воротника с рабочей арматурой колонны (рис. 2). Опорный столик состоит из замкнутого уголка прокатного профиля, к которому с четырех сторон приварены рабочие стержни скрытой балки условной плиты-балки, который воспринимает опорный отрицательный изгибающий момент.



Рис. 1. Модель фрагмента двухэтажного здания с металлическими связями – а) и узел стыка плиты-балки с колонной безригельного каркаса в натуральную величину – б).



Рис. 2. Опорный столик – воротник заводского изготовления узла стыка плиты с колонной безригельного каркаса: а) – при обычном армировании стальной арматурой; б) – при смешанном армировании с АБП – базальт пластиковой арматурой и соединения с рабочей арматурой колонны в проектной отметке.

Конструктивная схема многоэтажного здания с безригельным каркасом из монолитного железобетона приведена на рис. 3, где указаны поперечная рама, продольная рама, их грузовые площади, грузовая площадь для колонн.

Выполнены статический расчеты и конструирование арматурных элементов каркаса для различных сеток колонн и временных полезных нагрузок. Результаты расчета рабочей арматуры плиты-балки безригельного каркаса из монолитного железобетона при обычном и смешанном армировании, проценты армирования и данные об опорном столике приведены в табл. 1-4. В табл. 1 приведены площадь поперечного сечения, количество и диаметр рабочей арматуры плиты-балки; в табл. 2 приведены данные о стальном опорном столике; в табл. 3 приведены процент армирования плиты балки и в

табл. 4 приведены размеры опорного столика для различных полезных нагрузок и сетки колонн.

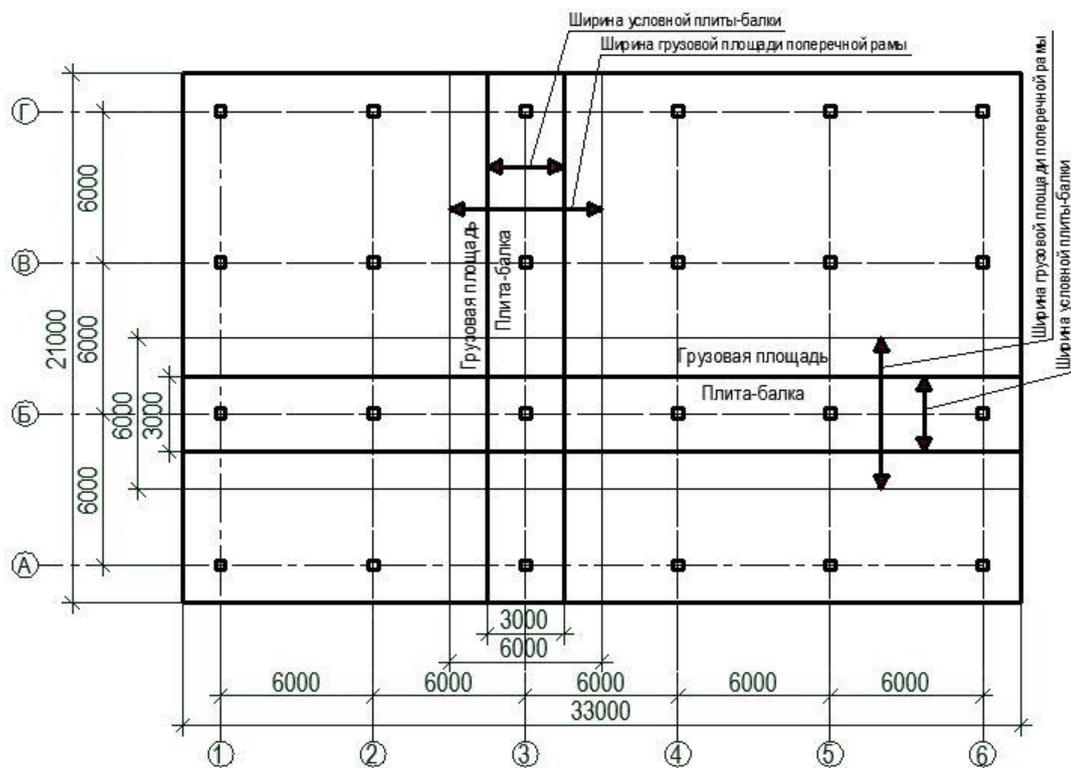


Рис. 3. Конструктивная схема здания с безригельным каркасом из монолитного железобетона с указанием поперечных и продольных рам и грузовые площади для сетки колонн 6х6 м.

Таблица 1

Площадь поперечного сечения, количество и диаметр рабочей арматуры плиты-балки

Временная полезная нагрузка, кН/м ²	Площадь рабочей арматуры плиты - балки, см ² /Ø, n, А500с для скрытой балки + для сетки плиты – балки, при сетке колонн: в числителе для опорного сечения, в знаменателе для пролетного сечения плиты – балки		
	4.8x4.8	5.4x5.4	6.0x6.0
4.00	11.4/4Ø16+10Ø10/ 11.4/4Ø16+10Ø10	15.3/4Ø16+12Ø10/ 15.3/4Ø16+12Ø10	18.5/4Ø18+12Ø10/ 18.5/4Ø18+12Ø10
6.00	12.7/4Ø16+10Ø10/ 12.7/4Ø16+10Ø10	16.4/4Ø16+12Ø10/ 16.4/4Ø16+12Ø10	24.0/4Ø20+12Ø12/ 24.0/4Ø20+12Ø12
8.00	15.3/4Ø16+10Ø10/ 15.3/4Ø16+10Ø10	20.2/4Ø18+12Ø10/ 20.2/4Ø18+12Ø10	26.1/4Ø20+12Ø12/ 24.0/4Ø20+12Ø12
10.00	16.5/4Ø18+10Ø10/ 16.5/4Ø18+10Ø10	25.0/4Ø20+12Ø12/ 25.0/4Ø20+12Ø12	27.2/4Ø20+12Ø12/ 27.2/4Ø20+12Ø12
12.00	19.0/4Ø20+10Ø10/ 17.8/4Ø20+10Ø10	25.8/4Ø20+12Ø12/ 24.6/4Ø20+12Ø12	33.7/4Ø25+12Ø12/ 31.5/4Ø25+12Ø12

Таблица 2

Стальной опорный столик (воротник) заводского изготовления, номер уголка и диаметр опорной рабочей арматуры при комбинированном армировании

Сетка колон, м	Временная полезная нагрузка на междуэтажное перекрытие, кН/м ²				
	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
	Номер уголка, мм/количество и диаметр стальной и АБП – n, Ø, мм				
4.8x4.8	50/2Ø16+2Ø8	50/2Ø16+2Ø8	63/2Ø18+2Ø10	75/2Ø18+2Ø10	100/2Ø22+2Ø12
5.6x5.6	63/2Ø16+2Ø8	75/2Ø18+2Ø10	75/2Ø20+2Ø12	90/2Ø20+2Ø12	100/2Ø25+2Ø12
6.0x6.0	63/2Ø18+2Ø8	75/2Ø20+2Ø10	80/2Ø22+2Ø12	90/2Ø25+2Ø12	100/2Ø28+2Ø14
6.6x6.6	75/2Ø18+2Ø8	75/2Ø20+2Ø10	80/2Ø22+2Ø12	90/2Ø25+2Ø14	100/2Ø28+2Ø14
7.2x7.2	75/2Ø20+2Ø10	80/2Ø22+2Ø12	90/2Ø25+2Ø12	100/2Ø28+2Ø14	100/2Ø28+2Ø14

Таблица 3

Процент армирования плиты-балки

ременная полезная нагрузка, кН/м ²	Расчетное сечение	Процент армирования плиты – балки для сетки колонн, μ, %				
		4.8x4.8	5.4x5.4	6.0x6.0	6.6x6.6	7.2x7.2
4.00	опорное	0.94	0.86	0.82	0.71	0.85
	пролетное	0.59	0.53	0.51	0.44	0.54
6.00	опорное	0.37	0.40	0.5	0.42	0.51
	пролетное	0.38	0.40	0,5	0.42	0.51
8.00	опорное	0.45	0.50	0.54	0.50	0.62
	пролетное	0.45	0.50	0.50	0.50	0.62
10.00	опорное	0.49	0.62	0.57	0.56	0.70
	пролетное	0.50	0.62	0.57	0.56	0.69
12.00	опорное	0.56	0.64	0.70	0.64	0.77
	пролетное	0.53	0.60	0.66	0.64	0.75

Таблица 4

Размеры по контуру стального опорного столика заводского изготовления и его вес при комбинированном армировании

Временная полезная нагрузка на междуэтажное перекрытие, кН/м ²	Размеры опорного стального столика по контуру рабочей арматуры при сетке колонн, м				
	4.8x4.8	5.6x5.6	6.0x6.0	6.6x6.6	7.2x7.2
	2.4x2.4	2.8x2.8	3.0x3.0	3.3x3.3	3.6x3.6
	Вес стального опорного столика заводского изготовления, кг				
4.0	36.88	38.56	50.15	59.35	76.01
6.0	36.86	51.36	64.66	70.58	105.78
8.0	40.56	60.72	83.85	86.01	120.72
10.0	44.96	63.72	102.22	111.47	154.62
12.0	61.53	91.46	131.4	143.01	154.62

Для жесткого соединения плиты с колонной и обеспечения рамной и рамно-связевой (каркасно-стеновой) систем по периметру крайних осей колонн необходимо выпуск плит (плиты-балки) безригельного каркаса на определенное расстояние анкеровки рабочей арматуры скрытой балки. Этот выпуск составляет от оси крайних колонн на 700 – 1800 мм для сетки колонн бхб м.

При выпуске плиты за ось колонны на более 700 мм можно устраивать балконы, лоджии и эркеры. Статические и динамические несущие способности этих плит установлены экспериментальными исследованиями узла стыка плиты с колонной на действие статических и динамических нагрузок

При обычном армировании стальной арматурой к уголкового воротнику приваривают все рабочие стержни, установленные расчетами – обычно четыре стержня (например, 2Ø25A500с+2Ø20A500с), два из которых можно обрывать в сечении с нулевым или минимальным опорным изгибающим моментом.

Готовый опорный столик, состоящий из уголкового воротника и приваренной к ним рабочей стальной арматуры плиты-балки – единственный закладной стальной элемент безригельного каркаса надевают на рабочую арматуру колонны, устанавливают в проектное положение и приваривают к ней. При смешанном армировании АБП – базальт пластиковую арматуру скрытых балок устанавливают по осям колонн в двух взаимно перпендикулярных направлениях и объединяют их армокаркасом и армосетками плиты-балки.

Конструктивная схема здания представляет собой элемент регулярной системы – с одинаковым шагом колонн в обеих направлениях плана и одинаковыми размерами высоты этажей. Поэтому при статическом расчёте многоэтажную систему можно разделить на одно- и двухэтажные рамы с шарнирами по середине колонн этажей. Для статического расчета рам при действии постоянных и временных нагрузок можно использовать табличные коэффициенты, при помощи которых определяют опорные изгибающие моменты.

Расчет прочности элементов безригельного каркаса выполняется с учетом выравненного опорного и пролетного изгибающих моментов. Расчеты многоэтажного здания на сейсмические воздействия выполняются с использованием программного комплекса ЛИРА 9.6R3 – САПР.

Армирование узла стыка плиты с колонной безригельного каркаса из монолитного железобетона при смешанном армировании выполняется аналогично при обычном армировании, с той разницей, что при этом вместо 50 % обычной стальной арматуры по осям колонн в двух взаимно перпендикулярных направлениях устанавливают АБП с эквивалентной площадью сечения. Базальт пластиковая арматура размещается между стержнями стальной арматуры и объединяют в арматурный вязанный пространственный каркас скрытой балки. Создание пространственного каркаса выполняется после установки АБП в проектную отметку и соединения опорного столика с рабочей арматурой колонны.

Выводы

1. Конструкции многоэтажных зданий с безригельным каркасом из монолитного железобетона состоят из трех конструктивных элементов – плиты, опорного столика-

воротника и колонны, которые после бетонирования создают единую пространственную систему, при этом упрощаются опалубочные, арматурные и бетонные работы

2. Опорный столик-воротник заводского изготовления обеспечивает жесткое соединение плиты с колонной, создаёт скрытую балку в составе монолитной плиты и рамную конструктивную систему в двух взаимно- перпендикулярных направлениях здания.

3. Исследование статической и динамической несущей способности узла стыка плиты с колонной безригельного каркаса в натуральную величину показали надежность конструкции, расчетные требования по первой и второй группам предельных состояний обеспечены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исхаков Я.Ш., Шарипов Л.Ш. Натурные испытания отдельных элементов, узла и фрагмента здания в безригельном каркасе «КУБ» для сейсмических районов. - Журнал «Архитектура и строительство Узбекистана», №10, 1990, с. 33-35.
2. Шарипов Л.Ш., Муминов И.С. Синчи беболор аз оханубетонӣ монолитӣ. Ҳисоб ва лоиҳасозӣ ба таъсири борҳои амудӣ. 1. Нақшаҳои конструктивӣ, ҳисоби ва ҳисоби боргузориҳо. КНАУФ. Маводи Конференсияи илмӣ амалии байналхалқӣ “Тачриба, мушкилот ва дурнамои боло бурдани сифати корҳои сохтмонӣ дар заминаи истифодаи тачрибаи пешрафтаи ватанӣ ва байналхалқӣ”. – Душанбе, 2018, с. 262-272.

Л.ШАРИПОВ, Ҷ.Н.НИЗОМОВ*, А.Ҷ.РАҲМОНЗОДА, И.С.МУМИНОВ, И.Ш.АШУРОВ

СОХТИ СИНЧИ БЕБОЛОР АЗ ОҶАНУБЕТОНӢ МОНОЛИТӢ БАРОИ МИНТАҚАҶОИ ЗИЛЗИЛАХАТАРНОК

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

**Институти геология, сохтмони заминҷунбӣ тобовар ва сейсмология*

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар мақола ҳисоб, лоиҳакашӣ ва сохтсозии унсурҳои синчи беболор аз оханубетонӣ монолитӣ бо армиронии муқаррарӣ ва омехтаида баромада шудааст. Ба сифати арматураи композитӣ барои армиронии банди тақягоҳии плита-болор АБП – базалт пластикӣ қабул карда шудааст. Сохтсозӣ, сохтмон ва санчишҳои статикӣ ва динамикии банди пайвасти плита бо сутуни синчи беболор ба намуди аслии он амали гардонида шудааст.

Калимаҳои калидӣ: синчи беболор, оханубетонӣ монолитӣ, ҳисоб, арматураи композитӣ, АБП – арматураи базалт пластикӣ, пайваст, банд (гирех), армосимтӯр, плита овеза, сохтсозӣ, кафшер.

L.SHARIPOV, J.N.NIZOMOV*, A.J.RAHMONZODA, I.S.MUMINOV, I.Sh.ASHUROV

CONSTRUCTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FRAME-FREE FRAME FOR SEISIC AREAS

Tajik technical University named after M.S.Osimi

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

The article deals with the calculation, design and construction of elements of a monolithic reinforced concrete slab with normal and mixed reinforcement. ABP-basaltoplast is used as composite reinforcement for reinforcing tiled supports. The design, construction, and static and dynamic tests of the slab connection point were performed with the unloaded steel column to its original shape

Key words: girder-free frame, monolithic reinforced concrete, calculation, composite reinforcement, ABP - basalt plastic reinforcement, joint, node, reinforcing mesh, cantilever part of the slab, construction, welding.

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ЗИНЧЕНКО З.А.

(01.04.1941 – 07.07.2017)



В этом году химики Таджикистана отмечают 80 лет со дня рождения доктора технических наук Зинаиды Алексеевны Зинченко – прекрасного учёного, профессионала своего дела, одного из организаторов направления обогащения руд в Таджикистане.

Зинченко З.А. принадлежит к плеяде учёных, которые пришли в Институт химии в 60-х годах прошлого века и она внесла большой вклад в развитие химической науки и её исследования имеют важное значение для нашей страны.

Зинченко Зинаида Алексеевна родилась 1 апреля 1941 года в сел. Губден Карабудахкентского района Дагестанской АССР в семье учителей. В 1958 году окончила школу с золотой медалью в г. Хасавюрте. В этом же году поступила в Северо-Кавказский горно-металлургический институт в г. Орджоникидзе СО АССР, который закончила в 1963 году, получив квалификацию горного инженера-технолога по специальности «Обогащение полезных ископаемых». После окончания института была направлена на работу в Таджикистан, на Карамазарский рудник, где работала инженером-исследователем и начальником смены. В 1964 году была переведена на Джижикрутский комбинат, на котором проработала два года в должности начальника смены. В 1966 году поступила в аспирантуру Института химии Академии наук Таджикской ССР. После окончания аспирантуры работала в должности младшего и старшего научного сотрудника, а с 1982 года руководила лабораторией «Обогащения руд» Института химии им. В.И. Никитина Академии наук Таджикской ССР. Многие годы преподавала в Таджикском национальном, Политехническом университетах и в филиале МИСиС г. Душанбе. Кандидатскую диссертацию защитила в Москве в 1975 году на тему: «Исследование флотации сложных сульфидов и окислов сурьмы». Докторскую диссертацию на тему: «Физико-химические основы взаимодействия реагентов направленного действия с рудами, содержащими сурьму и благородные металлы» защитила в Душанбе в

2006 году. Она являлась заслуженным изобретателем, заслуженным работником Республики Таджикистан и лауреатом премии Совета Министров Таджикской ССР.

Под её руководством разработаны схемы обогащения сурьмяных, сурьмяно-ртутных золотосодержащих, фосфоритовых, упорных мышьяксодержащих золотых и др. руд. На Адрасманском ГОКе при обогащении медно-висмутовых и свинцовых руд внедрена технология с применением предложенного в соавторстве реагента «Оксафор-1107». Экономический эффект за время использования реагента составил около 3,3 млн. долларов. Впервые методом ядерного квадрупольного, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), рентгеноэлектронной спектроскопии изучены закономерности сорбции катионов металлов поверхностью минералов, от вида которой изменяется их флотация. Впервые для изучения теории флотации методом ЭПР синтезированы и предложены спин-меченые реагенты, что позволило однозначно определить формы сорбции на поверхности минералов.

З.А. Зинченко являлась одним из ведущих специалистов в области комплексного освоения минеральных ресурсов, обогащения полезных ископаемых.

Под руководством Зинченко З.А. разработан метод селективного извлечения золота из золотосодержащих материалов (чёрных шлихов), продуктов переработки россыпных месторождений золота, основанный на жидкостном низкотемпературном хлорировании материала с использованием смеси хлоридов серы.

З.А. Зинченко разработала технологическую схему флотации свинцовых серебро-содержащих руд с использованием в качестве собирателя «Оксафора-1107». Технология внедрена на Адрасманском ГОКе, а также разработана и внедрена технология обогащения медно-висмутовых руд на Адрасманском ГОКе с использованием «Оксафора-1107».

Зинченко З.А. являлась автором более 150 статей, 2 монографий, 2 учебных пособий, 25 авторских свидетельств и патентов. Под её руководством были защищены 1 докторская и 2 кандидатские диссертации.

Будучи руководителем лаборатории обогащения руд, она бескорыстно отстаивала интересы Института химии им.В.И. Никитина АН РТ. Умело связывала научную работу с практикой. Многие разработки Зинченко З.А. были внедрены на различных предприятиях горнорудной промышленности Таджикистана.

Жизнь и деятельность д.т.н. Зинченко З.А. оставили глубокий след в науке и памяти её учеников и соратников. Её научное наследие, оставленное нам, будет служить химической науке страны.

Долгие годы, работая в Институте химии им.В.И.Никитина, Зинченко З.А. умело сочетала в себе черты большого учёного и мы, её соратники, убедились в том, что она умела убеждать и давала ценные советы по многим направлениям химии.

Для многих из нас она была эталоном служения науке, прекрасным человеком и учёным.

Зинченко З.А., бывая на разных предприятиях страны, давала ценные советы по параметрам технологических процессов.

Она была гордостью нашей науки, жила и трудилась во имя процветания нашей страны.

Светлая память о Зинченко З.А., талантливом учёном навсегда сохранится в сердцах друзей, соратников и учеников, как символ преданности науке.



Обсуждение докторской диссертации Самихова Ш.Р.

Академик НАН Таджикистана У.М.Мирсаидов,
д.т.н. Ш.Р. Самихов

**ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

№2 (183), 2021 г.

НОВЫЕ КНИГИ

УДК 521.633-546.273

ББК 35.20

М-63

У.М.МИРСАИДОВ, А.С.КУРБОНОВ, Ф.А.НАЗАРОВ, М.М.ТАГОЕВ.

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ БОРОСИЛИКАТНЫХ РУД
ТАДЖИКИСТАНА**

– Душанбе: Дониш, 2020, 124 с.

В монографии систематизированы химические основы спекательного метода переработки боросиликатных руд Таджикистана. Описана переработка борного сырья Ак-Архарского месторождения Таджикистана спеканием с натрий- и кальций содержащими реагентами.

Найдены оптимальные параметры проведения процесса переработки сырья и предложены принципиальные технологические схемы процесса спекания борного сырья с реагентами.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, занимающихся вопросами выделения борных продуктов.

Книга печатается по решению Радиационного издательского совета Национальной академии наук Таджикистана.

Институт химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана
Агентство по ядерной и радиационной безопасности НАН Таджикистана

Редакция и корректура – Абдулаева С.Х.

Сдано в набор 01.07.2021 г. Подписано в печать 15.07.2021 г.
Печать офсетная. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times. Усл. печ. л.8. Заказ № ____.
Тираж 300 экз.

*Адрес редколлегии: 734025, Душанбе, пр.Рудаки, 33, каб. 47.
Тел.:2-21-62-64. E-mail: danrt@mail.ru
Издательство «Дониш»: 734029, Душанбе, ул.Айни, 121, корп.2.*
