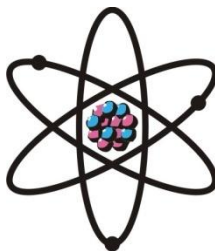


ОТДЕЛЕНИЕ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Журнал основан  
в январе 1952 г.



№ 4 (177)  
2019 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; **Х.М.Ахмедов** – академик, доктор химических наук; **П.Б.Бабаджанов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **И.Н.Ганиев** – академик, доктор химических наук, профессор; **М.И.Илолов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.В.Кобулиев** – член-корреспондент, доктор технических наук, профессор; **Р.М.Марупов** – академик, доктор технических наук, профессор; **У.М.Мирсаидов** – академик, доктор химических наук, профессор; **С.О.Одинаев** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **Н.Р.Раджабов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **Ф.Рахими** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.Х.Рахмонов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **З.Д.Усманов** – академик, доктор физико-математических наук, профессор; **А.Р.Файзиев** – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, профессор; **Д.Х.Халиков** – академик, доктор химических наук, профессор.

СОДЕРЖАНИЕ

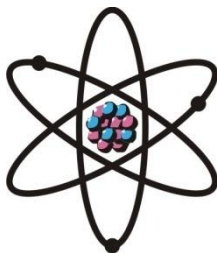
МАТЕМАТИКА

|   |    |
|---|----|
| <b>М.Илолов, Р.Авезов.</b> Об одном классе линейных функциональных уравнений с постоянными коэффициентами.....              | 7  |
| <b>У.Р.Рустамбекова.</b> Устойчивость решений линейной системы дифференциальных уравнений с импульсными воздействиями ..... | 13 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>ИНФОРМАТИКА</b>  |     |
| А.А.Косимов, К.С.Бахтеев. О распознавании автора текстового фрагмента.....  | 18  |
| <b>АСТРОНОМИЯ</b>   |     |
| Г.И.Кохирова, С.П.Литвинов, У.Х.Хамроев, М.Н.Латипов, И.А.Джонмухаммад.<br>Результаты наблюдений болидов в Таджикистане.....  | 26  |
| <b>ФИЗИКА</b>   |     |
| Х.Х.Муминов, Ш.Ф.Мухамедова. О бризерах скалярного нелинейного уравнения Шредингера .....   | 49  |
| Ш.Х.Халифаева, В.А.Маслов, Б.И.Назаров, Ф.Рахими, С.Ф.Абдуллаев. Тяжелые металлы в составе атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана.....  | 63  |
| <b>ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ</b>   |     |
| М.Н.Рахматов, В.А.Маслов, С.Ф.Абдуллаев, У.Мадвалиев. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв согдийской области .....   | 70  |
| <b>НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ</b>   |     |
| Д.О.Давлатов, Ш.Б.Назаров, А.С.Курбонов, У.М.Мирсаидов. Исследование водной обработки спекта при совместной переработке боро- и алюмосиликатной руды с сульфатом натрия .....   | 78  |
| Дж.Х.Джураев, А.С.Курбонов, М.М.Тагоев, А.М.Неъматов, М.Маджидов, У.М.Мирсаидов. Физико-химические основы переработки обожжённого концентрата боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения Таджикистана ортофосфорной кислотой ... | 84  |
| <b>ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ</b>   |     |
| П.Р.Иброхимов, И.Н.Ганиев, Ф.А.Рахимов, З.Р.Обидов. Анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$ , легированного молибденом, в кислой среде .....  | 89  |
| Х.К.Махкамов, С.Халикова, Д.Х.Халиков, М.И.Илолов, Х.М.Ахмедов. О перспективе использования топинамбура в качестве растительного сырья для получения пектиновых полисахаридов .....   | 93  |
| Ш.Д.Отаев, Д.Х.Мирзоев, А.М.Каюмов, У.М.Мирсаидов. Термодинамическая оценка разложения каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана минеральными кислотами .....   | 98  |
| <b>ГЕОХИМИЯ</b>   |     |
| М.М.Мамадвафоев, Д.А.Давлатшоев. О функциях распределения апатита и других аксессуарных и петрогенных минералов пород интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля (Восточный Гиссар).....                                       | 104 |
| <b>МИНЕРАЛОГИЯ</b>  |     |
| Ф.А.Файзиев, С.Б.Ягимов, А.Р.Файзиев. Серебряная минерализация Кансайского рудного поля (Северный Таджикистан).....   | 117 |
| <b>СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА</b>  |     |
| Д.Н.Низомов, А.А.Ходжибоев, О.А.Ходжибоев. Исследование распределения напряжений в многосвязной области методом граничных уравнений .....   | 126 |
| <b>ХРОНИКА</b>  |     |
| М.Илолов, Р.А.Бухоризода. Китайско-Центральноазиатское совместное совещание .....   | 133 |
| <b>ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО</b>   |     |
| Сулаймону Абунасовичу Исокову – 60 лет.....   | 135 |
| <b>ПАМЯТИ УЧЕНОГО</b>   |     |
| Светлой памяти Файза Нормуродова 14.08.1944 – 03.12.2010.....   | 139 |

**ШҮЪБАИ**  
**ИЛМҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,**  
**ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА**

Маҷалла аз моҳи  
январии соли 1952  
нашр мешавад



№ 4 (177)  
с. 2019

**ҲАЙАТИ 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; **Ҳ.М.Аҳмедов** – академик, доктори илми химия; **П.Б.Бобочонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **И.Н.Ғаниев** – академик, доктори илми химия, профессор; **М.И.Илолов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.В.Кобулиев** – узви вобаста, доктори илмҳои техника, профессор; **Р.М.Марупов** – академик, доктори илмҳои техника, профессор; **Ҷ.М.Мирсаидов** – академик, доктори илми химия, профессор; **С.Х.Неъматуллоев** – академик, доктори илмҳои техника; **С.О.Одинаев** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Ф.Раҳимӣ** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.Ҳ.Раҳмонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Н.Р.Рачабов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **З.Ҷ.Усмонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **А.Р.Ғайзиев** – узви вобаста, доктори илмҳои геология ва минералогия, профессор; **Ҷ.Х.Ҳолиқов** – академик, доктори илми химия, профессор.

**МУНДАРИҶА**

**МАТЕМАТИКА**

**М.Илолов, Р.Авезов.** Дар бораи як синфи муодилаҳои хаттии функционалӣ бо коэффитсиентҳои доимӣ ..... 7  
**У.Р.Рустамбекова.** Устувори ҳалли системаи муодилаҳои дифференсиалии хаттӣ зери таъсири импульсия ..... 13

**ИНФОРМАТИКА**

**А.А.Қосимов, К.С.Бахтеев.** Оид ба муайянкунии муаллифи порчаи матн ..... 18

**АСТРОНОМИЯ**

**Г.И.Қохирова, С.П.Литвинов, У.Ҳ.Ҳамроев, М.Н.Латипов, А.И.Ҷонмуҳаммади.** Натиҷаҳои мушоҳидаҳои болиҷҳо дар Тоҷикистон ..... 26

**ФИЗИКА**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Ҳ.Ҳ.Мӯминов, Ш.Ф.Муҳамедова.</b> Оид ба бризерҳои муодилаи скалярии ғайрихаттии Шрёдингер.....  | <b>49</b> |
| <b>Ш.Х.Халифаева, В.А.Маслов, Б.И.Назаров, Ф.Раҳими, С.Ф.Абдуллаев.</b> Металлҳои вазнин дар таркиби аэрозоли атмосфераи қисми Ҷанубӣ-Марказии Тоҷикистон..... | <b>63</b> |

#### **ФИЗИКАИ АТМОСФЕРӢ**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>М.Н.Раҳматов, С.Ф.Абдуллоев, В.А.Маслов, У.Мадвалиев.</b> Баҳодиҳии геохимиявии концентратсияи металлҳои вазнин дар намунаҳои хоки вилояти Суғд..... | <b>70</b> |
|---|-----------|

#### **ХИМИЯИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Д.О.Давлатов, Ш.Б.Назаров, А.С.Қурбонов, У.М.Мирсаидов.</b> Тадқиқи коркарди оби ғудохтаи муштараки маъданҳои силикати бор ва алюминий бо сульфати натрий.....  | <b>78</b> |
| <b>Ҷ.Х.Ҷӯраев, А.С.Қурбонов, М.М.Тағоев, А.М.Неъматов, М.Мачидов, У.М.Мирсаидов.</b> Асосҳои физикӣ ва химиявии коркарди чинҳои боросиликати пухташудаи кони Ак-Архари Тоҷикистон бо кислотаи ортофосфор ..... | <b>84</b> |

#### **ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>П.Р.Иброҳимов, И.Н.Ғаниев, Ф.А.Раҳимов, З.Р.Обидов.</b> Рафтори анодии ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ , ки бо молибден ҷавҳаронида шудааст, дар муҳити кислотагӣ .....                                | <b>89</b> |
| <b>Ҳ.К.Маҳкамов, С.Холиқова, Ҷ.Х.Холиқов, М.И.Илолов, Ҳ.М.Аҳмедов.</b> Оид ба дурнамои истифодаи топинамбур ба сифати ашёи хоми растанигӣ барои ба даст овардани полисахаридҳои пектинӣ..... | <b>93</b> |
| <b>Ш.Д.Отаев, Д.Х.Мирзоев, А.М.Қаюмов, У.М.Мирсаидов.</b> Баҳодиҳии термодинамикии ҷудошавии сафедгили кони Чашма-Санги Тоҷикистон бо кислотаҳои минералӣ .....                              | <b>98</b> |

#### **ГЕОХИМИЯ**

|   |            |
|---|------------|
| <b>М.М.Мамадвафоев, Д.А.Давлатшоев.</b> Оид ба функсияҳои тақсимшавии апатит ва дигар минералҳои актессорӣ ва петрогении чинҳои комплексҳои интрузивии майдони маъданҳои Кафандар (Ҳисори Шарқӣ)..... | <b>104</b> |
|---|------------|

#### **МИНЕРАЛОГИЯ**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Ф.А.Ғайзиев, С.Б.Ятимов, А.Р.Ғайзиев.</b> Минерализатсияи нукра дар майдони маъдани Консой (Тоҷикистони Шимоли) ..... | <b>117</b> |
|--|------------|

#### **МЕХАНИКАИ БИНОКОРӢ**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Д.Н.Низомов, А.А.Ҳочибоев, О.А.Ҳочибоев.</b> Тадқиқоти тақсимшавии шиддатҳо дар ҳудудҳои бисёралоқадор бо методи муодилаҳои канорӣ..... | <b>126</b> |
|--|------------|

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>ХРОНИКА</b> ..... | <b>133</b> |
|----------------------|------------|

#### **ҶАШНИ ОЛИМОН**

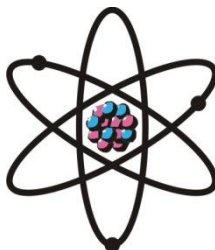
|  |            |
|--|------------|
| <b>Сулаймон Абунасович Исоқов – 60 сол</b> ..... | <b>135</b> |
|--|------------|

#### **ЁДБУДИ ОЛИМ**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Ғайз Нормуродов (14.08.1944 – 03.12.2010)</b> ..... | <b>139</b> |
|--|------------|

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

The journal was established  
in January 1952



*№ 4 (177)*  
*2019*

---

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

**CONTENTS**

**MATHEMATICS**

- M.Iolov, R.Avezov.** On a class of linear functional equations with constant coefficients ..... 7  
**U.R.Rustambekova.** Stability of solutions of a linear system of differential equations with impulse actions..... 13

**INFORMATICS**

- A.A.Kosimov, R.S.Bahteev.** About identification of the author of the text fragment..... 18

**ASTRONOMY**

- G.I.Kokhirova, S.P.Litvinov, U.Kh.Khamroev, M.N.Latipov, A.I.Jonmukhammad.** The results of fireball observations in Tajikistan..... 26

**PHYSICS**

- Kh.Kh.Muminov, Sh.F.Muhamedova.** On the breathers of the scalar nonlinear Schrödinger equation ... 49  
**Sh.Kh.Khalifaeva, V.A.Maslov, B.I.Nazarov, F.Rahimi, S.F.Abdullaev.** Heavy metals in the composition of the atmospheric aerosol of the south-central part of Tajikistan..... 63

## **ATMOSPHERE PHYSICS**

**M.N.Rakhmatov, V.A.Maslov, S.F.Abdullaev, U.Madvaliev.** Geochemical evaluation of heavy metal concentration in soil samples in the Sogdian region ..... **70**

## **INORGANIC CHEMISTRY**

**D.O.Davlatov, Sh.B.Nazarov, A.S.Kurbonov, U.M.Mirsaidov.** Investigation of water treatment of the sinter by joint processing of boron- and aluminosilicate ore with sodium sulphate..... **78**

**J.Kh.Juraev, A.S.Kurbonov, M.M.Tagoev, A.M.Nematov, M.Majidov, U.M.Mirsaidov.** Physical and chemical bases of sintered Tajikistan Ak-Arkhar deposit borosilicate ore processing with orthophosphoric acid ..... **84**

## **PHYSICAL CHEMISTRY**

**P.R.Ibrohimov, I.N.Ganiev, F.A.Rahimov, Z.R.Obidov.** Anode behaviour of Zn0.5Al alloy, doped with molybdenum, in the sour environment..... **89**

**H.K.Makhkamov, S.Khalikova, D.Kh.Khalikov, M.I.Holov, H.M.Akhmedov.** About the prospect of using Jerusalem artichoke as a vegetable raw material for producing pectin polysaccharides..... **93**

**Sh.D.Otaev, D.Kh.Mirzoev, A.M.Kayumov, U.M.Mirsaidov.** Thermodynamic evaluation of the Tajikistan Chashma-Sang deposit kaolin clays decomposition with mineral acids ..... **98**

## **GEOCHEMISTRY**

**M.M.Mamadvafoev, D.A.Davlatshoev.** About the distribution functions of apatite and other auxiliary and petrogenic minerals of intrusive rocks of Kafandara ore field (Eastern Hissar) ..... **104**

## **MINERALOGY**

**F.A.Fayziev, S.B.Yatimov, A.R.Fayziev.** Silver mineralization of Kansai ore field (North Tajikistan).. **117**

## **STRUCTURAL MECHANICS**

**J.N.Nizomov, A.A.Hojiboev, O.A.Hojiboev.** Study of voltage distribution in a multi-connected area by the method of boundary equations ..... **126**

**CHRONICLE** ..... **133**

## **JUBILEE OF SCIENTIST**

**S.A.Ishokov – 60 years old** ..... **135**

## **MEMORY OF SCIENTIST**

**Fayz Normurodov (14.08.1944 – 03.12.2010)** ..... **139**

УДК 511.5

М.ИЛОЛОВ, Р.АВЕЗОВ\*

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ  
С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

*Центр инновационного развития науки и новых технологий*

*АН Республики Таджикистан,*

*\*Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни*

*Поступила в редакцию 25.12.2019 г.*

*В работе найдено явное представление решения одного класса функциональных уравнений с постоянными коэффициентами.*

**Ключевые слова:** линейное функциональное уравнение, метод инвариантов, аналитическое решение.

За последние десятилетия математическая литература существенно обогатилась новыми публикациями по теории функциональных и функционально - дифференциальных уравнений и ее приложений. Вышли в свет монографии [1-3], где подведены некоторые итоги по различным классам таких уравнений. Особенно отметим большую серию работ А.Н. Шарковского и его учеников по нелинейным разностным уравнениям с непрерывным временем вида

$$f(x+1) = F(f(x)), \quad x \in R, \quad (1)$$

где  $F$  – непрерывное отображение интервала  $J \subset R$  в себя. В работах [4,5] выявлены универсальные бифуркационные свойства решений уравнения (1), которые отражают общие закономерности, не зависящие от конкретного вида нелинейности.

В настоящей работе рассматривается класс линейных функциональных уравнений с постоянными коэффициентами вида

$$f(kx) = b(x)f(x) + q(x), \quad (2)$$

---

*Адрес для корреспонденции:* Илолов Мамадшо, Аезов Раджаббек. Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Центр инновационного развития науки и новых технологий АН Республики Таджикистан. E-mail: ilolov.mamadsho@gmail.com

где

$$b(x) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n x^n, \quad q(x) = \sum_{n=0}^{\infty} q_n x^n, \quad (3)$$

$b_0 = \lambda = k^m$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  и ряды (3) сходятся при  $|x| \leq x_0$ .

Решение уравнения (2) будем искать в виде

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} f_n x^n. \quad (4)$$

Подставляя (3), (4) в (2) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $x$  получаем

$$k^n f_n = \sum_{l=0}^n b_{n-l} f_l + q_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

или

$$f_0 = \frac{1}{1-\lambda} q_0, \\ f_n = \frac{1}{k^n - \lambda} \left( \sum_{l=0}^{n-1} b_{n-l} f_l + q_n \right), \quad n = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Если  $\delta < x_0$  и  $M = \max \left\{ \max_{|x| \leq \delta} |b(x)|, \max_{|x| \leq \delta} |q(x)| \right\}$ , то

$$|f_0| \leq \frac{M}{1-\lambda}, \\ |f_n| \leq \frac{1}{k^n - \lambda} \left( \sum_{l=0}^{n-1} \frac{M}{\delta^{n-l}} |f_l| + \frac{M}{\delta^n} \right) = \\ = \frac{M}{\delta^n |k^n - \lambda|} \left( \sum_{l=0}^{n-1} \delta^l |f_l| + 1 \right), \quad n = 1, 2, \dots$$

Поскольку

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{|k^n - \lambda|} = \begin{cases} \frac{1}{|\lambda|}, & \text{если } |k| < 1 \\ 0, & \text{если } |k| > 1, \end{cases}$$

то существует число  $L$  такое, что  $\frac{M}{|k^n - \lambda|} \leq L$  при всех  $k \geq 0$ .



Таким образом

$$|f_0| \leq L,$$

$$|f_n| \leq \frac{L}{\delta^n} \left( \sum_{l=0}^{n-1} \delta^l |f_l| + 1 \right), \quad n = 1, 2, \dots. \quad (7)$$

Докажем, что

$$|f_n| \leq L \left( \frac{1+L}{\delta} \right)^n, \quad n = 0, 1, 2, \dots. \quad (8)$$

В самом деле, при  $n$  оценка (8) очевидна. Если эта оценка справедлива при  $n = 0, 1, 2, \dots, m-1$ , то согласно (7)

$$|f_n| \leq \frac{L}{\delta^n} \left( \sum_{l=0}^{m-1} \delta^l L \left( \frac{1+L}{\delta} \right)^l + 1 \right) = \frac{L}{\delta^m} \left( L \frac{(1+L)^m - 1}{1+L-1} + 1 \right) = L \left( \frac{1+L}{\delta} \right)^m.$$

Из (8) следует, что ряд (4) с коэффициентами (6) сходится при  $|x| < \frac{\delta}{1+L}$  и, таким образом, дает аналитическое решение уравнения (2).

Далее, воспользуемся тем, что всякое решение линейного неоднородного функционального уравнения равно сумме частного решения неоднородного уравнения и общего решения соответствующего однородного уравнения вида

$$h(kx) = b(x)h(x). \quad (9)$$

В монографии [1] установлено, что при  $b_0 = \lambda \neq 0$  общее решение уравнения (9) имеет вид

$$h(x) = \begin{cases} x^{\frac{\ln x}{\ln |k|}} \cdot p(x) w_1 \left( \frac{\ln x}{\ln |x|} \right), & \text{если } x > 1 \\ |x|^{\frac{\ln x}{\ln |k|}} \cdot p(x) w_2 \left( \frac{\ln x}{\ln |x|} \right), & \text{если } x < 0, \end{cases} \quad (10)$$

где  $p(x)$  – некоторая аналитическая в окрестности  $x=0$  функция, а функции  $w_1(x)$ ,  $w_2(x)$  удовлетворяют условиям

$$w_i \left( \frac{\ln x}{\ln |k| + 1} \right) = w_i \left( \frac{\ln x}{\ln |k|} \right), \quad i = 1, 2.$$

Итак, всякое решение неоднородного уравнения (2) при  $\lambda \neq 0, \lambda \neq k^m, m = 0, 1, 2, \dots$ , представимо в виде

$$f(x) = \overline{p(x)} + h(x),$$

где  $h(x)$  удовлетворяет уравнению (9), а  $\overline{p(x)}$  - аналитическая в окрестности  $x = 0$  функция является решением уравнения (2).

Рассмотрим ряд примеров.

**Пример 1.** Пусть неоднородное уравнение (2) имеет вид

$$f(kx) = \lambda f(x) + \sum_{n=0}^q d_n x^n, \quad k \neq \pm 1. \quad (11)$$

При  $\lambda \neq k^m, 0 \leq m \leq q$ , уравнение (11) имеет частное решение

$$\mu(x) = \sum_{n \neq m}^q \frac{dn}{k^{n-\lambda}} x^n. \quad (12)$$

При  $\lambda \neq k^m, 0 \leq m \leq q$ , частное решение при  $x > 0$  имеет вид

$$\mu(x) = \sum_{n=0, n \neq m}^q \frac{dn}{k^{n-\lambda}} x^n + \frac{dn}{\lambda \ln |k|} x^m \ln x. \quad (13)$$

Общее решение уравнения (11), например, при  $k > 0, \lambda > 0$  и  $x > 0$  имеет вид

$$f(x) = \mu(x) + x^{\frac{\ln \lambda}{\ln k}} \omega\left(\frac{\ln x}{\ln k}\right),$$

$$\omega(x+1) = \omega(x).$$

Отметим, что в случае  $\lambda = 1$  в работе [6] найдено решение уравнения

$$f(kx) = f(x) + \sum_{n=0}^{m-1} a_n x^{n+1}, \quad |k| > 1, \quad (14)$$

которое является частным случаем уравнения (11). Частные решения вида (12) и (13) содержат в себе решения уравнения (14).

**Пример 2.** Рассмотрим уравнение вида

$$f(kx) = x^m f(x), \quad k \neq \pm 1. \quad (15)$$

При  $k, m > 0$  и  $x > 0$  получим

$$f(x) = e^{\frac{m}{2 \ln k} (\ln^2 x - \ln k \ln x)} \omega\left(\frac{\ln x}{\ln k}\right),$$

$$\omega(x+1) = \omega(x).$$

**Пример 3.** Найдем решение функционального уравнения

$$f\left(\frac{4x}{3}\right) = f(x) + x + 27x^3. \quad (16)$$

В уравнении (16)  $k = \frac{4}{3} > 1$ . Это означает, что (16) имеет решение. Непосредственный расчет показывает, что

$$f(x) = 3x + 27x^3 + c.$$

**Пример 4.** Рассмотрим уравнение

$$f(2x) = \cos x f(x) - \sin^2 x. \quad (17)$$

Очевидно, что функция  $f(x) = \cos x$  является решением уравнения (17). Полагая

$$h(x) = f(x) - \cos x,$$

получаем уравнение

$$h(2x) = \cos x h(x). \quad (18)$$

Функция  $v(x)$ , с помощью которой уравнение (18) сводится к уравнению  $v(2x) = v(x)$ , должна удовлетворять уравнению

$$v(2x) = \frac{1}{\cos x} v(x). \quad (19)$$

Уравнение (19) имеет решение

$$v(x) = \frac{x}{\sin x}, \quad x \neq k\pi, \quad k = 1, 2, \dots$$

Таким образом общее решение уравнения (18) имеет вид

$$h(x) = \begin{cases} \frac{\sin x}{x} \cdot w_1\left(\frac{\ln x}{\ln 2}\right), & \text{где } x > 0 \\ \frac{\sin x}{|x|} \cdot w_2\left(\frac{\ln |x|}{\ln 2}\right), & \text{где } x < 0, \end{cases}$$

включая и точки  $x = \pm r\pi$ ,  $r = 0, 1, 2, \dots$

$$w_1(\tau + 1) = w_1(\tau),$$

$$w_2(\tau + 1) = w_2(\tau).$$

Далее, решение исходного уравнения (16) примет вид

$$f(x) = h(x) + \cos x.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пелюх Г.П., Шарковский А.Н. Метод инвариантов в теории функциональных уравнений. – Киев, 2013, 257 с.
2. Лихтарников Л.М. Элементарное введение в функциональные уравнения. – Санкт-Петербург: "Дань", 1997, 160 с.
3. Бродский Я.С., Слипенко А.К. Функциональные уравнения. – Киев: "Вища школа", 1983, 95 с.
4. Sharkovsky A.N., Ideal turbulence // Nonlinear Dynamics. – 2006, 441, p. 15-27.
5. Романенко Е.Ю., Шарковский А.Н. Динамические системы и моделирование турбулентности // Укр. Матем журн. – 2007, 59, №2, сс. 217-230.
6. Аvezов Р., Аминов Н. Решение одного класса функциональных уравнений. – В кн.: "Современные проблемы математического образования в высших школах", Душанбе, 2019 (на тадж. яз.)

М.ИЛОЛОВ, Р.АВЕЗОВ\*

### ДАР БОРАИ ЯК СИНФИ МУОДИЛАҲОИ ХАТТИИ ФУНКЦИОНАЛӢ БО КОЭФФИЦИЕНТҲОИ ДОИМӢ

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

*\*Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ*

Дар мақола тасвири ошқори ҳалли як синфи муодилаҳои хаттии функционалӣ оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** муодилаҳои хаттии функционалӣ, методи инвариантҳо, ҳалли аналитикӣ.

M.ILOLOV, R.AVEZOV\*

### ON A CLASS OF LINEAR FUNCTIONAL EQUATIONS WITH CONSTANT COEFFICIENTS

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

*\*S.Ayni Tajik State Pedagogical University*

An explicit representation of the solution of one class of functional equations with constant coefficients is found.

**Key words:** linear functional equation, method of invariants, analytical solution.

УДК 517.9

У.Р.РУСТАМБЕКОВА

**УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИМПУЛЬСНЫМИ  
ВОЗДЕЙСТВИЯМИ**

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

*Поступила в редакцию 24.12.2019 г.*

*В данной статье приведены некоторые достаточные критерии устойчивости решений системы линейных дифференциальных уравнений с импульсными воздействиями.*

**Ключевые слова:** дифференциальное уравнение, асимптотическая устойчивость, импульсные системы, системы разностных уравнений.

**Необходимое и достаточное условие устойчивости линейной системы с импульсными воздействиями.** Рассматривается система линейных дифференциальных уравнений с переменными интегрируемыми коэффициентами

$$\frac{dX(t)}{dt} = A(t)X(t), \quad t \neq t_k \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (1)$$

В моменты  $t \neq t_k$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) на линейную систему действуют импульсные воздействия [2], вызывающие разрывы первого рода

$$X(t_k + 0) - X(t_k - 0) = B_k X(t_k - 0) \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (2)$$

Обозначим через  $N(t, \tau)$  фундаментальную матрицу решений системы (1), нормированную при  $t = \tau$  [3].

---

*Адрес для корреспонденции:* Рустамбекова Умеда Рустамбековна. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10, Таджикский технический университет им. М.С.Осими. E-mail: umeda.ru@mail.ru.

Предполагаем, что точки  $t_k$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) занумерованы в порядке возрастания, то есть  $t_k > t_{k-1}$  при  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  а не имеют точек сгущения, то есть

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} t_k = +\infty, \quad \lim_{k \rightarrow -\infty} t_k = -\infty. \quad (3)$$

Введем обозначения:  $X_k = X(t_k + 0)$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ). Рассматривая лишь значения  $X_k$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ), приходим к следующим простым результатам.

**Теорема 1.** *Для того, чтобы нулевое решение систем линейных дифференциальных уравнений (1) с импульсными воздействиями (2) было устойчиво (асимптотически устойчиво), необходимо и достаточно, чтобы было устойчиво (асимптотически устойчиво) нулевое решение систем разностных уравнений*

$$X_{k+1} = C_k X_k \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

где

$$C_k = (E + B_{k+1})N(t_{k+1} - 0, t_k + 0) \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

**Замечание 1.** Условие теоремы 1 равносильно условию ограниченности произведений

$$\left\| \prod_{k=0}^n C_k \right\| \leq c = \text{const}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

**Теорема 2.** *Для того, чтобы нулевое решение системы линейных дифференциальных уравнений*

$$\frac{dX(t)}{dt} = A_k X(t), \quad t_k \leq t \leq t_{k+1} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

со скачками вида (2) было устойчиво (асимптотически устойчиво), необходимо и достаточно, чтобы было устойчиво (асимптотически устойчиво) нулевое решение системы разностных уравнений

$$X_{k+1} = C_k X_k, \quad C_k = (E + B_k) \exp\{A_k(t_{k+1} - t_k)\}.$$

**Теорема 3.** *Для того, чтобы нулевое решение системы линейных дифференциальных уравнений*

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t), \quad t_k \leq t \leq t_{k+1} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

со скачками вида

$$X(t_k + 0) - X(t_k - 0) = BX(t_k - 0) \quad (6)$$

было устойчиво, необходимо и достаточно, чтобы было устойчиво нулевое решение системы разностных уравнений

$$X_{k+1} = C_k X_k, \quad C_k = (E + B) \exp\{A_k(t_{k+1} - t_k)\}.$$

**Теорема 4.** Для того, чтобы нулевое решение периодической системы

$$\frac{dX(t)}{dt} = A(t)X(t), \quad A(t + 2\pi) \equiv A(t), \quad t \neq t_k,$$

со скачками в точках  $t_k = 2\pi k$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) было устойчиво, необходимо и достаточно, чтобы собственные числа матрицы

$$C = (E + B)N(2\pi - 0, 2\pi + 0)$$

лежали внутри единичного круга, а собственным числам матрицы  $C$ , лежащим на единичной окружности, соответствовали простые элементарные делители.

**Теорема 5.** Для того, чтобы нулевое решение системы (1) со скачками вида (2) было устойчиво, достаточно, чтобы были ограничены произведения

$$P_n = \prod_{k=0}^n C_k, \quad C_k = \|(E + B_{k+1}) \cdot N \cdot (t_{k+1} - 0, t_k + D)\|.$$

**Замечание 2.** Для системы (4) со скачками вида (2) достаточное условие устойчивости примет вид ограниченности произведений

$$P_n = \prod_{k=0}^n C_k, \quad C_k = \|(E + B_k) \exp\{A_k(t_{k+1} - t_k)\}\|. \quad (7)$$

**Теорема 6.** Если выполнены условия

$$\|(E + B_k) \exp\{A_k(t_{k+1} - t_k)\}\| \leq 1,$$

то нулевое решение системы (4) со скачками вида (2) было устойчиво.

**Теорема 7.** Если выполнены неравенства

$$\|\exp\{At\}\| \leq ce^{\gamma t} \quad (t \geq 0), \quad (8)$$

$$\gamma + p \ln c \|(E + B)\| < 0, \quad p = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{t_n - t_0}, \quad (9)$$

то нулевое решение системы (3) со скачками вида (6) асимптотически устойчиво.

**Доказательство.** Из неравенства (9) при достаточно больших значениях  $n$  и достаточно малом  $\varepsilon > 0$  следует неравенство

$$(t_n - t_0)\gamma + \ln C^n \|(E + B)\|^n < -\varepsilon(t_n - t_0),$$

откуда в силу неравенства (8) следует оценка для произведения  $P_n$

$$P_n \leq \exp\left\{\|(E + B)\|^n \cdot C^n \cdot e^{\gamma(t_n - t_0)}\right\} < e^{-\varepsilon(t_n - t_0)}.$$

**Замечание 3.** Пусть  $A$  - диагональная матрица с вещественными элементами. Тогда можно записать неравенство

$$\|\exp\{At\}\| \leq \exp\{\gamma t\},$$

где  $\gamma$  - наибольшее собственное число матрицы  $A$  и достаточное условие устойчивости (9) примет вид

$$\gamma + p \ln \|(E + B)\| < 0, \quad p = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{t_n - t_0}. \quad (10)$$

**Замечание 4.** В приведенных выше признаках устойчивости можно применять любое определение нормы матрицы. Используя евклидову норму матрицы, получим, что  $\|(E + B)\| = \alpha$ , где  $\alpha^2$  - наибольшее собственное число матрицы  $(E + B^*)(E + B)$ .

Если обозначить через  $\lambda_j(A)$  - собственные диагональные матрицы  $A$ , то достаточный признак устойчивости (10) примет вид неравенства

$$\gamma + p \ln \alpha < 0, \quad (11)$$

где  $\gamma = \max_j \lambda_j(A)$ ,  $\alpha^2 = \max_j \lambda_j((E + B^*)(E + B))$ .

**Пример 1.** Рассмотрим систему (5) со скачками (6), где

$$A = \begin{pmatrix} 10^{-6} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} \beta & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Условие асимптотической устойчивости имеет вид

$$\gamma \geq 10^{-6} \ln(1 + \beta), \quad \gamma \equiv p^{-1} \equiv \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{t_n - t_0}{n}.$$

**Пример 2.** Рассмотрим систему вида (5) со скачками (6) при

$$A = \begin{pmatrix} -\delta & 0 \\ \varepsilon & -\delta \end{pmatrix}, \quad B = \alpha \begin{pmatrix} \delta & 1 \\ -\delta^2 & \delta \end{pmatrix}, \quad h = t_{k+1} - t_k > 0.$$



Необходимый и достаточный признак устойчивости приводит к неравенству

$$1 + 0,5 + \sqrt{a + 0,25a^2} < e^{\delta h}, \quad a = \alpha \varepsilon h.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Халанай А., Векслер Д. Качественная теория импульсных систем. – М.: Мир, 1971, 309 с.
2. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963, 968 с.
3. Валеев К.Г. Расщепление спектра матриц. – Киев: Вища шк., 1986, 272 с.

У.Р.РУСТАМБЕКОВА

### УСТУВОРИИ ҲАЛЛИ СИСТЕМАИ МУОДИЛАҶОИ ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ХАТӢ ЗЕРИ ТАЪСИРИ ИМПУЛСИЯ

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

Дар мақола баъзе критерияҳои кифоягии устувории ҳалли системаи муодилаҳои дифференсиалии хатӣ зери таъсири импульсия оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** муодилаи дифференсиалӣ, устувории асимптотӣ, системаи импульсивӣ, системаи муодилаи фарқӣ.

U.R.RUSTAMBEKOVA

### STABILITY OF SOLUTIONS OF A LINEAR SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH IMPULSE ACTIONS

*M.Osimi Tajik Technical University*

This article deals with some sufficient criteria for the stability of solutions of systems of linear differential equations with impulse effects.

**Key words:** differential equation, asymptotic stability, systems of impulse, systems of differential equations.

УДК 81'322::811.222.8::519.25

А.А.КОСИМОВ, К.С.БАХТЕЕВ\*

## О РАСПОЗНАВАНИИ АВТОРА ТЕКСТОВОГО ФРАГМЕНТА

*Худжандский политехнический институт*

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

*\*Российско-Таджикский (Славянский) университет*

*Поступила в редакцию 22.07.2019 г.*

*На примере модельной коллекции таджикских литературных произведений изучается задача о возможности определения авторства фрагмента текста минимального размера, извлеченного из коллекции.*

**Ключевые слова:** текст, фрагмент, ближайший сосед, идентификация.

В настоящей статье, используя  $\Upsilon$ -классификатор [1, 2] и цифровой текстовый портрет, предложенный в [3] и характеризующий распределение частотности длин предложений, измеряемых количеством содержащихся в них слов, мы занимаемся идентификацией авторов произведений. Существенным моментом в сравнении с нашим предыдущим исследованием [4] является изучение вопроса о минимально допустимом размере текстового фрагмента, для которого ещё удастся получить удовлетворительный результат решения рассматриваемой задачи. Отметим, что ранее аналогичный вопрос изучался для других цифровых портретов, именно, для символьных (буквенных) униграмм, биграмм и триграмм с учетом пробела [5].

Модельная коллекция текстов, на которой основывается наше исследование, та же самая, что и в [4].

**Обработка коллекционного материала** происходила в 4 этапа.

*Этап 1* состоял из выбора двух произведений различных авторов, каковыми оказались “Рустам ва Сӯҳроб” А.Фирдауси и “Дохунда” С.Айни. Из каждого произведения извлекались по 9 случайных выборок текстовых фрагментов, размеры которых в словах и символах показаны в табл.1.

---

*Адрес для корреспонденции:* Бахтеев Камилль Саидович. 734000, г. Душанбе, ул. М. Турсунзаде, 30, Российско-Таджикский (Славянский) университет. E-mail: kamilb@mail.ru

Таблица 1

Информация о размерах фрагментов в словах и символах

| Номер фрагмента | 1     | 2     | 3     | 4    | 5    | 6    | 7   | 8   | 9   |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Число слов      | 7000  | 3500  | 1700  | 900  | 450  | 250  | 130 | 60  | 20  |
| Число символов  | 40000 | 20000 | 10000 | 5000 | 2500 | 1200 | 600 | 300 | 100 |

Как видно из таблицы, размеры фрагментов уменьшаются от номера к номеру.

**Замечание.** Формальное деление числа символов на соответствующее ему число слов не будет означать среднюю длину слова, исчисляемую количеством букв, поскольку к символам помимо букв относятся также знаки препинания и арифметические операции, цифры, обозначения типа “№”, “@”, “\$” и т.п.

*Этап 2.* Для каждого фрагмента выбранных произведений строится цифровой портрет, который определяется распределением частотности длин предложений, содержащихся в рассматриваемом фрагменте.

Цифровой портрет представляется в табличном виде:

$$\begin{aligned} N &: 1 \quad 2 \quad \dots \quad m \\ P &: p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_m, \end{aligned} \quad (1)$$

где первая строка – список длин предложений, исчисляемых количеством слов;  $m$  – максимальная длина предложения среди произведений модельной коллекции (как отмечено в [4], такая длина встретилась в романе “Дохунда” и оказалась равной 178 словам, следовательно, здесь и во всем дальнейшем  $m = 178$ ); вторая строка – частоты  $p_i$  встречаемости в пределах фрагмента предложений длины  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), причём

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1.$$

*Этап 3.* Вычисления расстояний  $\rho(v_1, v_2)$  между цифровыми портретами 9 фрагментов  $v_1$  и 12 произведениями  $v_2$  рассматриваемой коллекции текстов. Соответствующие вычисления производились по формуле

$$p(v_1, v_2) = \sqrt{m/2} \max_s |p_k^{(1)} - p_k^{(2)}|, \quad (1)$$

где  $p_i^{(1)}$  и  $p_k^{(2)}$  – частоты встречаемости во фрагментах  $v_1$  и в произведениях  $v_2$  предложений длиной  $i$  ( $i = 1, \dots, m$ ) и  $s=1, \dots, m$ .

*Этап 4.* Определение автора текстового фрагмента производится методом ближайшего соседа, см., например, [6]. Суть метода заключается в том, что классифицируемый фрагмент  $v_1$  объявляется принадлежащим тому автору, чьё произведение  $v_2$  в срав-

нении с другими произведениями оказывается наиболее “сходным” с фрагментом. Иными словами, рассматриваемые объекты являются ближайшими соседями и расстояния между их цифровыми портретами минимальны в сравнении с прочими расстояниями.

**Полученные результаты** сведены в две группы таблиц соответственно с номерами 2.1, 2.2, 2.3 и 3.1, 3.2, 3.3. В ячейках таблиц представлены расстояния от 12 произведений модельной коллекции текстов до 9 фрагментов из романа С.Айни “Дохунда” (в 1-й группе) и до 9 фрагментов из поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯҳроб” (во 2-й группе).

В этих таблицах используются те же сокращения для имен авторов и названий произведений, что и в статье [4], именно: А.Фирдоуси “Бежан ва Манижа” (АФ, Б&М, 14799) и “Рустам ва Сӯҳроб” (АФ, Р&С, 16355); Дж.Руми “Маснави Маънавӣ, Дафтари 1” (ЧР, ММ1, 48713) и “Маснави Маънавӣ, Дафтари 2 ” (ЧР, ММ2, 41661); А.Суруш “Дафтари 1” (АС, Д1, 7890) и “Дафтари 2” (АС, Д2, 9322); С.Айни “Одина” (СА, О, 25446), “Аҳмади Девбанд” (СА, АД, 7480), “Дохунда” (СА, Д, 71134) и “Марги судхӯр” (СА, МС, 48801); С.Турсун “Нисфирӯзӣ ” (СТ, Н, 9936) и “Повести Камони Рустам” (СТ, ПКР, 4041). Для авторов и их произведений приняты обозначения, указываемые в скобках: первые две буквы – это инициалы авторов, вторые – сокращенные шифры текстов, третьи – число слов в произведениях.

В последующих таблицах первые 2 колонки указывают авторов и их произведения, а 9 других колонок - значения расстояний фрагментов различных длин до соответствующих произведений, вычисленных по формуле (1). Отметим также, что в названиях таблиц используются фразы о фрагментах, извлеченных из “начала”, “середины” и “окончания” произведений, тем самым в определенном смысле подчеркивается случайный характер выбора фрагментов из текстов произведений.

Таблица 2.1

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами, извлеченными из **“начала”** романа С. Айни “Дохунда”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 3.3783                        | 4.9715 | 6.7872 | 6.9954 | 7.1174 | 7.1174 | 7.0964 | 7.0964 | 9.0921 |
|                     | Б&М | 3.4286                        | 5.0218 | 6.8375 | 7.0457 | 7.1677 | 7.1677 | 6.9105 | 6.9105 | 9.0923 |
| ЧР                  | ММ1 | 3.7737                        | 5.3669 | 7.1825 | 7.3907 | 7.5127 | 7.5127 | 7.2551 | 6.9441 | 9.2609 |
|                     | ММ2 | 3.9322                        | 5.5254 | 7.3411 | 7.5493 | 7.6713 | 7.6713 | 7.3256 | 7.0731 | 9.3478 |
| АС                  | Д1  | 1.6159                        | 3.2091 | 5.0495 | 5.6676 | 5.4033 | 5.9929 | 5.9929 | 5.9929 | 8.0034 |
|                     | Д2  | 1.6925                        | 3.2655 | 5.1699 | 5.7881 | 5.5237 | 6.1133 | 6.1133 | 6.1133 | 8.0427 |
| СТ                  | Н   | 2.2554                        | 3.8487 | 5.7194 | 6.3374 | 6.0731 | 6.6627 | 6.6627 | 6.6627 | 8.6085 |
|                     | ПКР | 2.1139                        | 3.6101 | 5.5036 | 6.1217 | 5.8573 | 6.4471 | 6.4471 | 6.4471 | 8.5379 |
| СА                  | О   | 1.8822                        | 0.9487 | 1.8043 | 2.4224 | 2.1581 | 2.7477 | 2.9876 | 3.3602 | 5.6145 |
|                     | АД  | 1.0943                        | 2.0211 | 3.1963 | 3.5291 | 3.5265 | 3.8711 | 4.3428 | 3.8543 | 6.9466 |
|                     | Д   | 1.0951                        | 0.9983 | 2.6248 | 3.2429 | 2.9785 | 3.5682 | 3.5682 | 3.5682 | 5.9816 |
|                     | МС  | 1.1901                        | 1.3745 | 2.6615 | 3.2386 | 2.9917 | 3.5639 | 3.8691 | 3.5639 | 6.3826 |

Из таблицы следует, что все фрагменты из “Дохунда” размерами от 20000 и вплоть до 100 символов имеют своим ближайшим соседом роман “Одина” (соответ-

вующие такой ситуации ячейки закрашены) и лишь самый большой фрагмент (в 40000 символов) подтверждает, что он заимствован из самого “Дохунда”. Отметим, все романы С.Айни также являются ближайшими соседями к рассматриваемым фрагментам.

Таблица 2.2

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами, извлеченными из “*середины*” романа С.Айни “Дохунда”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 4.0421                        | 3.9059 | 4.8551 | 5.2593 | 5.3341 | 4.8101 | 4.4169 | 7.9547 | 7.9547 |
|                     | Б&М | 4.0924                        | 3.9563 | 4.8591 | 5.2633 | 5.3382 | 4.8141 | 4.4211 | 7.9587 | 7.9587 |
| ЧР                  | ММ1 | 4.4374                        | 4.3013 | 5.0532 | 5.4575 | 5.5473 | 4.9459 | 4.5529 | 8.0906 | 8.0906 |
|                     | ММ2 | 4.5961                        | 4.4599 | 5.2117 | 5.6161 | 5.7059 | 5.1421 | 4.7491 | 8.2867 | 8.2867 |
| АС                  | Д1  | 2.4126                        | 2.2341 | 3.2282 | 3.6326 | 3.7074 | 3.1833 | 2.7902 | 6.3281 | 6.3281 |
|                     | Д2  | 2.5229                        | 2.3443 | 3.3385 | 3.7428 | 3.8177 | 3.2936 | 2.9005 | 6.4383 | 6.4383 |
| СТ                  | Н   | 2.9931                        | 2.8144 | 3.8087 | 4.2131 | 4.2879 | 3.7638 | 3.3707 | 6.9084 | 6.9084 |
|                     | ПКР | 2.8855                        | 2.5889 | 3.4821 | 3.8511 | 3.9261 | 3.4019 | 3.0088 | 6.5465 | 6.5465 |
| СА                  | О   | 1.0901                        | 1.3311 | 0.8312 | 1.2726 | 1.1678 | 2.5293 | 3.3155 | 3.8195 | 3.8195 |
|                     | АД  | 1.0011                        | 0.9379 | 1.4863 | 2.3843 | 2.2794 | 1.2381 | 2.4173 | 4.2576 | 4.2576 |
|                     | Д   | 0.2542                        | 0.5841 | 0.7267 | 1.3751 | 1.2702 | 1.7772 | 2.5633 | 3.8264 | 3.8264 |
|                     | МС  | 0.4261                        | 0.6716 | 0.8598 | 1.7709 | 1.6661 | 1.5033 | 2.2895 | 3.8991 | 3.8991 |

И в этом случае (фрагменты взяты из *середины*) основной результат аналогичен предыдущему: все фрагменты из “Дохунда” являются ближайшими соседями произведений С.Айни и никого другого, см. закрашенные ячейки.

Таблица 2.3

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами из “*окончания*” романа С. Айни “Дохунда”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 4.7589                        | 4.5362 | 4.7926 | 4.5627 | 4.4791 | 4.1811 | 4.3751 | 5.5892 | 7.9477 |
|                     | Б&М | 4.8092                        | 4.6254 | 4.8789 | 4.6932 | 4.5689 | 4.1851 | 4.3753 | 5.5071 | 7.8655 |
| ЧР                  | ММ1 | 5.1811                        | 5.0052 | 5.2587 | 5.0729 | 5.0141 | 4.3171 | 4.5439 | 4.7694 | 7.1279 |
|                     | ММ2 | 5.3187                        | 5.1428 | 5.3963 | 5.2106 | 5.1147 | 4.5131 | 4.6308 | 4.7171 | 7.0755 |
| АС                  | Д1  | 3.0187                        | 2.8223 | 3.0769 | 2.9433 | 3.0137 | 2.5544 | 3.2864 | 2.0492 | 4.4077 |
|                     | Д2  | 3.1077                        | 2.9318 | 3.1853 | 3.0041 | 3.1341 | 2.6647 | 3.3258 | 2.2036 | 4.2854 |
| СТ                  | Н   | 3.6932                        | 3.5173 | 3.7708 | 3.6222 | 3.6836 | 3.1348 | 3.8915 | 1.5331 | 3.9898 |
|                     | ПКР | 3.5259                        | 3.3573 | 3.6278 | 3.4129 | 3.5202 | 2.9746 | 3.8209 | 1.7486 | 4.1071 |
| СА                  | О   | 0.5874                        | 1.0162 | 1.0039 | 0.7948 | 0.9653 | 1.7235 | 2.6669 | 5.0254 | 7.3839 |
|                     | АД  | 1.6258                        | 1.4884 | 1.5808 | 1.3033 | 1.9484 | 1.7994 | 2.2296 | 4.2521 | 6.6105 |
|                     | Д   | 0.7024                        | 0.5651 | 0.6566 | 0.7606 | 0.9338 | 0.9594 | 1.9028 | 4.2613 | 6.6198 |
|                     | МС  | 1.1033                        | 0.9658 | 1.0388 | 0.7064 | 1.3155 | 1.1665 | 2.0086 | 4.3671 | 6.7256 |

Для фрагментов из “*конца*” романа “Дохунда” (размерами не менее 600 символов) основной результат – тот же, что и в 2-х предыдущих случаях: ближайшими для них соседями служат только произведения С.Айни. Интересно, что 2 самых маленьких фрагмента (в 300 и 100 символов) оказались ближайшими соседями произведения С.Турсуна “Нисфирӯзи”, см. соответствующие ячейки.

Таблица 3.1

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами, извлеченными из “начала” поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯҳроб”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 0.2446                        | 0.2731 | 0.3562 | 0.6964 | 1.0645 | 1.5623 | 1.6398 | 2.5832 | 2.3376 |
|                     | Б&М | 0.4305                        | 0.3892 | 0.4319 | 0.6153 | 0.8806 | 1.7033 | 1.4559 | 2.3993 | 2.5235 |
| ЧР                  | ММ1 | 0.9901                        | 1.0436 | 0.8228 | 0.7992 | 0.8037 | 1.7378 | 1.1974 | 2.1408 | 2.4899 |
|                     | ММ2 | 1.1172                        | 1.1709 | 0.9501 | 0.9614 | 0.9311 | 1.6598 | 1.2309 | 2.1128 | 2.3611 |
| АС                  | Д1  | 4.0087                        | 4.0623 | 3.8414 | 3.8825 | 3.8224 | 4.2462 | 4.1241 | 4.1241 | 5.0263 |
|                     | Д2  | 4.0895                        | 4.1431 | 3.9223 | 3.9395 | 3.9032 | 4.3271 | 4.2854 | 4.2854 | 5.1791 |
| СТ                  | Н   | 4.5136                        | 4.5672 | 4.3463 | 4.1863 | 4.3273 | 4.7511 | 4.3043 | 3.9898 | 5.6702 |
|                     | ПКР | 4.2691                        | 4.3228 | 4.1019 | 3.9419 | 4.0829 | 4.5067 | 4.0598 | 3.9578 | 5.3268 |
| СА                  | О   | 5.2231                        | 5.3725 | 5.4883 | 5.7978 | 6.0394 | 5.7729 | 6.2695 | 6.2695 | 6.6863 |
|                     | АД  | 3.8487                        | 3.9701 | 3.9471 | 4.2565 | 4.4981 | 4.2317 | 4.7282 | 4.7282 | 5.5797 |
|                     | Д   | 4.3117                        | 4.4612 | 4.5771 | 4.8865 | 5.1281 | 4.8617 | 5.3582 | 5.3582 | 5.8658 |
|                     | МС  | 4.2165                        | 4.3661 | 4.4818 | 4.7913 | 5.0329 | 4.7665 | 5.2631 | 5.2631 | 5.8701 |

В этой (табл. 3.1) и двух следующих таблицах (табл. 3.2, 3.3) 9 фрагментов выбираются из поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯҳроб”. Закрашенные ячейки показывают, что для 5 фрагментов из 6 ближайшим соседом является именно “Рустам ва Сӯҳроб” и лишь для одного – “Бежан ва Манижа”. Кроме того, три других фрагмента (размерами в 2500, 600 и 300) оказались ближайшими соседями с поэмами Дж.Руми “Маснави Маънавӣ, Дафтари 1” и “Маснави Маънавӣ, Дафтари 2”.

Таблица 3.2

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами, извлеченными из “середины” поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯҳроб”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 0.3255                        | 0.5782 | 0.7907 | 0.6964 | 1.1081 | 1.8881 | 1.2893 | 2.3376 | 3.0772 |
|                     | Б&М | 0.3047                        | 0.5357 | 0.6607 | 0.8725 | 1.0259 | 1.7041 | 1.4753 | 2.5235 | 3.2611 |
| ЧР                  | ММ1 | 0.9739                        | 0.8091 | 0.7627 | 0.8391 | 0.6793 | 1.4456 | 1.7241 | 2.4899 | 3.5196 |
|                     | ММ2 | 1.1011                        | 0.9363 | 0.8899 | 0.7901 | 0.7263 | 1.4177 | 1.8513 | 2.3611 | 3.5476 |
| АС                  | Д1  | 3.9925                        | 3.8278 | 3.7813 | 3.6814 | 3.7762 | 3.7762 | 4.7428 | 4.7428 | 5.4129 |
|                     | Д2  | 4.0734                        | 3.9086 | 3.8622 | 3.8527 | 3.9706 | 3.9706 | 4.8236 | 4.8236 | 5.5345 |
| СТ                  | Н   | 4.4974                        | 4.3327 | 4.2862 | 4.1863 | 3.8326 | 3.7581 | 5.2477 | 5.2477 | 6.0731 |
|                     | ПКР | 4.2531                        | 4.0882 | 4.0418 | 3.9419 | 3.5881 | 3.5137 | 5.0032 | 5.0032 | 5.7501 |
| СА                  | О   | 4.9925                        | 5.1048 | 5.3831 | 5.4634 | 5.5813 | 5.1967 | 5.6381 | 6.6863 | 6.6863 |
|                     | АД  | 3.6281                        | 3.7565 | 4.0347 | 4.1151 | 4.2331 | 4.0901 | 4.5315 | 5.5797 | 5.5797 |
|                     | Д   | 4.0812                        | 4.1877 | 4.4659 | 4.5462 | 4.6642 | 4.3762 | 4.8176 | 5.8658 | 5.8658 |
|                     | МС  | 3.9866                        | 4.1152 | 4.3933 | 4.4737 | 4.5916 | 4.3805 | 4.8219 | 5.8701 | 5.8701 |

Как явствует из этой таблицы, для 7 фрагментов, взятых из “середины” поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯҳроб”, 4 оказались ближайшими соседями для самой поэмы, а 3 – ближайшими соседями для “Бежан ва Манижа”. Кроме того, ещё 2 фрагмента (размерами в 2500 и 1200) оказались ближайшими соседями с поэмами Дж.Руми “Маснави Маънавӣ, Дафтари 1” и “Маснави Маънавӣ, Дафтари 2”.

Таблица 3.3

Расстояния между цифровыми портретами произведений из коллекции текстов и фрагментами, извлеченными из “окончания” поэмы А. Фирдауси “Рустам ва Сӯхроб”

| Авторы<br>(произв.) |     | Длины фрагментов (в символах) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|-----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |     | 40000                         | 20000  | 10000  | 5000   | 2500   | 1200   | 600    | 300    | 100    |
| АФ                  | Р&С | 0.1697                        | 0.3001 | 0.6383 | 0.6929 | 0.7327 | 2.5832 | 0.8071 | 2.6795 | 8.6943 |
|                     | Б&М | 0.3536                        | 0.4833 | 0.8242 | 0.6367 | 0.8725 | 2.3993 | 0.6911 | 2.8205 | 8.7274 |
| ЧР                  | ММ1 | 1.0127                        | 0.7868 | 0.7906 | 1.1345 | 1.7241 | 2.1408 | 1.7241 | 2.8551 | 9.1419 |
|                     | ММ2 | 1.1399                        | 0.9141 | 0.8552 | 1.2617 | 1.8513 | 2.1128 | 1.8513 | 2.7771 | 9.2124 |
| АС                  | Д1  | 4.0314                        | 3.8054 | 3.7466 | 4.1531 | 4.7428 | 4.7428 | 4.7428 | 4.7428 | 7.6941 |
|                     | Д2  | 4.1122                        | 3.8863 | 3.8275 | 4.2341 | 4.8236 | 4.8236 | 4.8236 | 4.8236 | 7.6671 |
| СТ                  | Н   | 4.5362                        | 4.3103 | 4.2515 | 4.6581 | 5.2477 | 5.2477 | 5.2477 | 5.2477 | 8.1859 |
|                     | ПКР | 4.2918                        | 4.0659 | 4.0071 | 4.4136 | 5.0032 | 5.0032 | 5.0032 | 5.0032 | 8.2392 |
| СА                  | О   | 5.2333                        | 5.3321 | 5.5663 | 5.6861 | 5.5681 | 5.7978 | 5.2213 | 4.3129 | 4.8744 |
|                     | АД  | 3.7071                        | 3.8157 | 4.1216 | 4.1727 | 4.0548 | 4.2565 | 3.6801 | 2.9355 | 6.2296 |
|                     | Д   | 4.3221                        | 4.4208 | 4.6551 | 4.7847 | 4.6668 | 4.8865 | 4.3101 | 3.8711 | 5.3493 |
|                     | МС  | 4.2268                        | 4.3257 | 4.5598 | 4.6412 | 4.5555 | 4.7913 | 4.2148 | 3.4692 | 5.7558 |

Закрашенные ячейки этой таблицы показывают, что из 7 фрагментов, взятых из “конца” поэмы А.Фирдауси “Рустам ва Сӯхроб”, 5 оказались ближайшими соседями для самой поэмы, а 2 – ближайшими соседями для “Бежан ва Манижа”. Кроме того, всего лишь 1 фрагмент (размером в 1200) оказался ближайшим соседом поэмы Дж.Руми “Маснави Маънави, Дафтари 2”. Особый интерес представляет собой “выброс”, который указывает на то, что фрагмент размером в 100 символов из “конца” поэмы “Рустам ва Сӯхроб” выступает в качестве ближайшего соседа романа С.Айни “Одина”.

### Заключение

Итак, результаты, представленные в таблицах, показывают, что ближайшими соседями по отношению к выбранным фрагментам являются, в основном, произведения именно того автора, из произведения которого извлекались сами фрагменты. В иной интерпретации это значит, что методом ближайшего соседа путем вычисления расстояний по формуле (1) представляется возможным установить авторство достаточно малого кусочка литературного произведения, причём для прозаических произведений (в сравнении с поэтическими) более успешно.

Для художественных текстов можно предложить оценку эффективности применяемого метода, опираясь на вполне естественную гипотезу, согласно которой фрагмент, извлекаемый из какого-либо произведения, должен быть “однородным” с любыми произведениями одного и того же автора. На языке “расстояний” этому соответствует утверждение о том, что ближайшими соседями искомого фрагмента являются, прежде всего, произведения его автора.

Для прозаического произведения по данным табл. 2.1 и 2.2 метод ближайшего соседа безошибочно определяет автора фрагментов размерами не менее 100 символов, а по данным табл. 2.3 – вплоть до 600 символов.

Для поэтического произведения по данным табл. 3.1 метод ближайшего соседа безошибочно определяет автора 6 фрагментов из 9 и для 3-х фрагментов размерами 2500, 600 и 300 допускает ошибку.

По данным табл. 3.2 метод безошибочно определяет автора 7 фрагментов из 9 и для 2-х фрагментов размерами 2500 и 1200 допускает ошибку.

По данным табл. 3.3 метод ближайшего соседа безошибочно определяет автора 6 фрагментов из 9 и для 2-х фрагментов размерами 1200 и 100 допускает ошибку.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Усманов З.Д. Классификатор дискретных случайных величин. – Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2017, т.60, № 7-8, с. 291-300.
2. Усманов З.Д. Алгоритм настройки кластеризатора дискретных случайных величин. – Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2017, т.60, № 9, с. 392-397.
3. Усманов З.Д. Об одном цифровом портрете текста и его приложении. – Политехнический вестник, 2019, 3 (47). Серия: интеллект, инновации, инвестиции.
4. Косимов А.А., Бахтеев К.С. Применение специфичного цифрового портрета для идентификации авторов произведений. – Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук, 2019, № 3(176), с. 7-11.
5. Косимов А.А. О минимальном объеме текста, необходимого для распознавания его автора. – Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2017, т. 60, № 9, с. 398-401.
6. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам. с.141, [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.ccas.ru/voron>

А.А.ҚОСИМОВ, К.С.БАХТЕЕВ\*

## ОИД БА МУАЙЯНКУНИИ МУАЛЛИФИ ПОРЧАИ МАТН

*Донишқадаи политехники*

*Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ дар ш. Хучанд,*

*\*Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон*

Дар мисоли маҷмӯи коллексияҳои асарҳои адабиёти тоҷик, масъалаи оид ба имконияти муайян кардани муаллифи андозаи ҳадди ақали порчаи матн, ки аз ин коллексия гирифта шудааст, омӯхта мешавад.

**Калимаҳои калидӣ:** матн, порча, ҳамсоии наздик, муайянкунӣ.



A.A.KOSIMOV, R.S.BAHTEEV\*

**ABOUT IDENTIFICATION OF THE AUTHOR OF THE TEXT FRAGMENT**

*Khujand's Polytechnic Institute of the M.S.Osimi Tajik Technical University,*

*\*Russian-Tajik (Slavonic) University*

Using the model collection of Tajik literary works, we study the problem of the possibility of determining the authorship of a fragment of text of a minimum size extracted from the collection.

**Key words:** text, fragment, nearest neighbor, identification.

УДК 523.532

Г.И.КОХИРОВА, С.П.ЛИТВИНОВ, У.Х.ХАМРОЕВ, М.Н.ЛАТИПОВ,  
И.А.ДЖОНМУХАММАД

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ БОЛИДОВ В ТАДЖИКИСТАНЕ**

*Институт астрофизики АН Республики Таджикистан*

*Поступила в редакцию 18.12.2019 г.*

*Представлены результаты астрометрической и фотометрической обработки 28 болидов. Из них 11 болидов сфотографировано во время наблюдений в 2017-2018 гг. и 17 болидов зарегистрировано в 2006-2013 гг. Определены атмосферные траектории, скорости, радианты, орбиты, блеск и кривые блеска метеороидов, а также их принадлежность к известным потокам.*

**Ключевые слова:** метеорный поток, болид, атмосферная траектория, радиант, орбита, блеск.

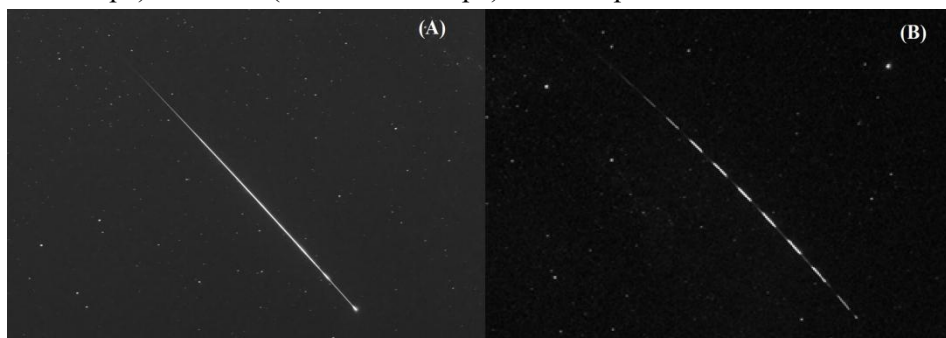
**Введение.** С целью изучения болидообразующих метеороидов в Институте астрофизики АН РТ в 2006 г. начаты систематические фотографические наблюдения болидов с помощью камер, снабженных объективами типа «рыбий глаз», позволяющих регистрировать объекты ярче -4 звездной величины, называемых болидами. Мониторинг был базисный и проводился в двух пунктах – в Гиссарской астрономической обсерватории (ГисАО) и в Международной астрономической обсерватории Санглох (МАОС) [1]. В 2008 г. в Таджикистане впервые создана болидная сеть из пяти наблюдательных станций, расположенных в ГисАО, МАОС, Курган-Тюбе, Раште и Ховалинге [2]. Наблюдательные станции были снабжены болидными камерами с объективами Цейсс Дистагон ( $f/3.5$ ,  $f=30$  мм,  $D/f=1:3.5$ ), имеющие поле зрения  $180^\circ$ , и цифровыми камерами “Nikon D2X” и “Nikon D300” также с объективами «рыбий глаз» ( $f=10.5$  мм,  $D/f=1:2.8$ ), в наблюдениях использовалась листовая пленка Ilford чувствительностью 125 ед. и 400 ед. Для обработки наблюдательного материала адаптирована и внедрена новая методика. Астрометрическая обработка изображений болидов на ее основе позволяет определять положение деталей изображения объекта с точностью около 1 минуты дуги, причем с одинаковой точностью по всему полю зрения камеры, что является достаточно хорошим результатом для негативов такого масштаба [3,4]. Метод фотометрической обработки, разработанный в [5], основан на том, что зависимость диаметров изображений звезд от их яркости достаточно хорошо определена для звезд с зенитными расстояниями в интервале  $0 < z < 70^\circ$ . В этом интервале

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

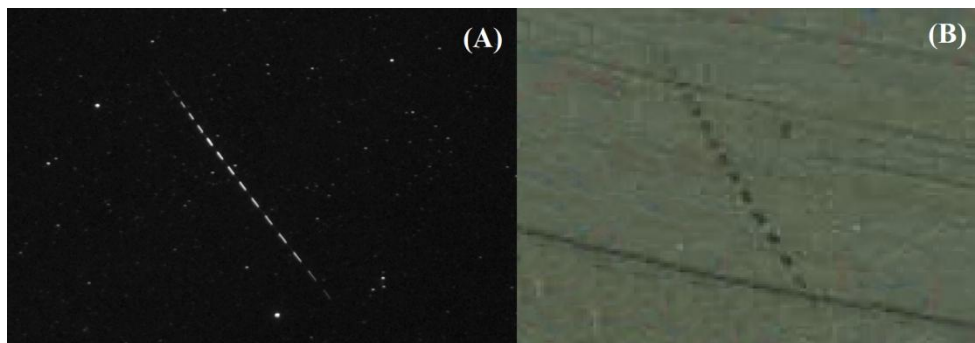
точность фотометрической обработки может принимать значения от  $\pm 0.1$  до  $\pm 0.2$  звездных величин. Следовательно, для фотометрической обработки болидных снимков можно использовать измеренные диаметры изображений звезд.

В рамках сети выполнены систематические болидные наблюдения в большом объеме, включая и цифровой мониторинг [6,7]. В результате астрометрической и фотометрической обработки многостанционных фотографий 181 болида, зарегистрированных в 2006-2013 гг., получены данные об атмосферных траекториях, скоростях, координатах радиантов, орбитах в межпланетном пространстве, кривых блеска, фотометрических массах, согласно *PE* критерию [8] – плотностях и природе происхождения метеороидов, породивших болиды, а также определена принадлежность болидов к известным болидным и метеорным потокам. Все параметры опубликованы в виде Каталога [9].

**Наблюдательный материал и обработка.** Болидные наблюдения в период активности избранных метеорных потоков были продолжены в 2017–2018 гг. с двух наблюдательных пунктов – в ГисАО и МАОС. Среди сфотографированных за этот период болидов для обработки отобраны 11 с приемлемыми геометрическими условиями регистрации. Кроме того, в архиве выявлено 17 болидов, сфотографированных в 2006-2013 гг., обработка которых по разным причинам не была сделана вовремя. Таким образом, для измерений и вычислений имелись многостанционные изображения 28 болидов. На рис. 1 приведен снимок болида TN100818, принадлежащего потоку Персеид, сфотографированного цифровыми камерами в ГисАО и МАОС 10 августа 2018 г. На рис. 2 приведено изображение болида TN141218, принадлежащего потоку Геминид, сфотографированного в МАОС (цифровая камера) и ГисАО (болидная камера) 14 декабря 2018 г.



**Рис.1.** Изображение болида TN100818, принадлежащего потоку Персеид, сфотографированного цифровыми камерами в ГисАО (А) и МАОС (В) 10 августа 2017 г.



**Рис.2.** Изображение болида TN141218, принадлежащего потоку Геминид, сфотографированного в МАОС (цифровая камера) и ГисАО (болидная камера) 14 декабря 2018 г.

Фотографии болидов измерялись на измерительной машине Цейсс Аскорекод. Цифровые изображения измерялись на ПК с помощью компьютерной программы измерений на Аскорекоде “Fishscan”, созданной И. Боровичкой [10]. Вычисление траекторий, скоростей, радиантов, орбит болидов выполнялось по методикам, приведенным в [11,12]. В результате астрометрической и фотометрической обработки 28 болидов вычислены атмосферные траектории, координаты геоцентрических радиантов, скорости, орбитальные элементы болидов, определены кривые блеска и особенности свечения, а также внеатмосферные массы метеороидов, породивших эти болиды. Определена принадлежность болидов к известным метеорным потокам, найдено, что из 28 болидов 10 принадлежат к метеорному потоку Персеиды. Все вычисленные величины приведены вместе с их стандартными отклонениями, являющимися показателями точности определения позиции болида в атмосфере и во всех последующих данных. Относительно большие ошибки, имеющиеся в редких случаях при определении радиантов и элементов орбит, связаны либо с неудовлетворительной редукцией (плохая погода, малое количество опорных звезд), либо из-за малой величины угла схождения.

**Результаты.** В табл. 1 и отдельно для болидов Персеид в табл. 4 приведены параметры атмосферных траекторий болидов. Здесь:

TN – Tajik network, дд – день, мм – месяц, гг – две последние цифры года;

Количество станций, включенных в обработку и типы камер;

Дата наблюдений по мировому времени;

$L_{\odot}$  – долгота солнца на эпоху 2000.0;

$v_B, v_E$  – скорости (км/с) в начале и конце видимой траектории;

$h_B, h_E$  – высоты (км) начала и конца видимой траектории над уровнем моря;

$\lambda_B, \varphi_B, \lambda_E, \varphi_E$  – географические долготы и широты (град.) вертикальной проекции начальной и конечной точек траектории болида на поверхность геоид;

$l$  – общая длина видимой траектории (км);

$t$  – общая длительность болида (сек);

$M_{max}$  – максимальная звездная величина болида;

$m_{\infty}$  – доатмосферная фотометрическая масса метеороида (кг);

$m_E$  – конечная фотометрическая масса метеороида (кг), причем принималось  $m_E=0$ , если значение составляет менее 1 г;

$PE$  – эмпирический критерий конечных высот болидов;

тип болидов согласно классификации Ceplecha, McCrosky [8] и принадлежность болида к метеорному/болидному потоку или спорадическому фону.

Стандартные отклонения, приведенные в табл.1 и 4, показывают, что в среднем геометрическая точность вычислений высот болидов составляет несколько метров, долгот и широт - тысячную долю градуса, координаты болида – не более 0.05 градуса.

В табл. 2 и для Персеид в табл. 5 приведены результаты определения координат радиантов и гелиоцентрических орбит:

$\alpha_R, \delta_R$  – прямое восхождение и склонение (град.) видимого радианта болида на момент наблюдения;

$\cos Z_R$  – косинус зенитного расстояния (град.) видимого радианта;

$Q_P$  – угол схождения (град.) между двумя плоскостями;

$\alpha_g, \delta_g$  – прямое восхождение и склонение (град.) геоцентрического радианта болида (то есть видимого радианта, исправленного за зенитное притяжение и вращение Земли) на эпоху 2000.0;  $v_\infty$  – внеатмосферная скорость (км/с);  $v_g$  – геоцентрическая скорость (км/с);  $v_h$  – гелиоцентрическая скорость (км/с); и элементы орбиты, все угловые элементы которой приведены на эпоху 2000.0:  $a$  – большая полуось (а.е.);  $e$  – эксцентриситет;  $q$  – пригелийное расстояние (а.е.);  $Q$  – афелийное расстояние (а.е.);  $\omega$  – аргумент перигелия (град.);  $\Omega$  – долгота восходящего угла (град.);  $i$  – наклонение (град.).

Стандартные отклонения величин, приведенные в табл. 2 и 5, отвечают тем же параметрам, что и ошибки определения величин табл. 1 и 4.

Наблюдаемые кривые блеска для каждого болида приведены в табл. 3 и отдельно для Персеид в табл. 6. Здесь в первом столбце дана длительность  $t$  (с), во втором – наблюдаемые высоты  $H$  (км), в третьем – наблюдаемая скорость  $v$  (км/с), в четвертом – абсолютный блеск болида  $M$  в звездных величинах. В заголовке каждой таблицы указан номер болида, а также приведены первоначальные масса и скорость, зенитное расстояние, количество измеренных брейков, принадлежность к метеорному/болидному потоку или спорадическому фону. Отметим, что для некоторых болидов невозможно было уверенно определить замедление их скорости вдоль траектории, то есть торможение. Это связано с тем, что болидные камеры не особенно пригодны для исследования скоростей очень быстрых метеоров, поскольку частота оборотов обтюратора относительно низка (12-15 перерывов в секунду), а также с тем, что в некоторых случаях мы полагались на три или четыре перерыва обтюратора на следах болидов. Поэтому для таких болидов вычислены только значения средних скоростей и было принято, что эти значения равны доатмосферным скоростям.

**Заключение.** В работе представлены новые динамические и физические данные 28 болидов, сфотографированных в разные годы болидной сетью Таджикистана, а также во время базисных наблюдений из двух обсерваторий Института астрофизики АН РТ. Исследования на основе анализа и интерпретации наблюдательного материала будут продолжены. Ожидается получение новых результатов по физике и динамике крупнородообразующих тел, вторгающихся в земную атмосферу. В частности, для болидов TN300910 и TN051010 уже выявлена связь с астероидами. TN300910 относится к метеорному потоку  $\lambda$ -Цигнид и связан с астероидами 2003QZ30 и 2011SE97. TN051010 принадлежит к потоку Северные Писциды и связан с астероидами 1995FF, 1996SK и 2011SJ16. В дальнейшем предполагается более детальное изучение этих связей.

Полученные результаты являются дополнением к Каталогу [8], в совокупности наши данные заметно пополнят мировой банк данных и необходимы для решения современных проблем астрономии, связанных с исследованием метеороидной обстановки в околоземном космическом пространстве, а также для выявления генетических связей между малыми телами Солнечной системы.

Таблица 1

## Параметры атмосферных траекторий болидов

| N                        | TN250806      | TN260806              | TN110607        | TN180907                | TN131009B           |
|--------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| К-во станций, тип камеры | 2ст. БК       | 2ст. БК               | 2ст. БК         | 2ст. БК                 | 1ст. БК<br>2ст. ПЗС |
| Год/мес                  | 2006/08       | 2006/08               | 2007/06         | 2007/09                 | 2009/10             |
| День                     | 25.970        | 26.875                | 11.817          | 18.816                  | 13.612              |
| $L^{\circ}_{\odot}$      | 332.52±0.00   | 153.49±0.03           | 79.72±0.00      | 175.41±0.00             | 200.26±0.00         |
| $v_{\infty}$ , км/с      | 42.35±0.04    | 24.44±0.34            | 32.01±0.38      | 26.00±0.19              | 13.36±0.07          |
| $h_B$ , км               | 71.89±0.02    | 72.11±0.03            | 87.58±0.03      | 80.83±0.01              | 67.75±0.67          |
| $\lambda^{\circ}_B$      | 66.56±0.00    | 68.52±0.00            | 69.47±0.00      | 68.44±0.00              | 69.40±0.01          |
| $\varphi^{\circ}_B$      | 37.58±0.00    | 37.28±0.00            | 36.61±0.00      | 37.56±0.00              | 37.54±0.00          |
| $v_E$ , км/с             | 42.13±0.01    | 16.37±0.11            | 20.87±0.01      | 24.90±0.28              | 11.82±0.01          |
| $h_E$ , км               | 52.71±0.02    | 37.30±0.02            | 41.33±0.03      | 65.90±0.01              | 55.61±1.28          |
| $\lambda^{\circ}_E$      | 66.73±0.00    | 68.67±0.00            | 69.43±0.00      | 68.46±0.00              | 69.27±0.01          |
| $\varphi^{\circ}_E$      | 37.75±0.00    | 37.50±0.00            | 36.58±0.00      | 37.66±0.00              | 37.81±0.01          |
| $l$ , км                 | 21.76         | 52.79                 | 47.83           | 15.99                   | 35.03               |
| $t$ , с                  | 0.41          | 2.05                  | 1.48            | 0.58                    | 2.62                |
| $M_{\max}$               | -7.04         | -5.97                 | -5.24           | -4.12                   | -5.54               |
| $m_{\infty}$ , кг        | 0.028         | 0.201                 | 0.029           | 0.011                   | 0.426               |
| $m_E$ , кг               | 0.000         | 0.00                  | 0.000           | 0.000                   | 0.000               |
| PE                       | -4.04         | -3.88                 | -3.83           | -5.09                   | -5.12               |
| Тип                      | I             | I                     | I               | II                      | II                  |
| Метеорный поток          | Спорадический | $\alpha$ Каприкарниды | Июньские Лириды | $\Phi - \beta$ Аквариды | Спорадический       |

Продолжение таблицы 1

| N                        | TN300910            | TN041010B        | TN051010C        | TN241010            | TN311010B     |
|--------------------------|---------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------|
| К-во станций, тип камеры | 2ст. БК             | 2ст. БК          | 2ст. БК          | 1ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК       |
| Год/мес                  | 2010/09             | 2010/10          | 2010/10          | 2010/10             | 2010/10       |
| День                     | 30.972              | 4.952            | 10.977           | 24.832              | 31.652        |
| $L^{\circ}_O$            | 186.82±0.00         | 191.46±0.00      | 192.46±0.00      | 211.15±0.00         | 217.96±0.00   |
| $v_{oc}$ , км/с          | 16.54±0.29          | 62.49±0.07       | 27.22±0.00       | 66.39±0.12          | 27.63±0.06    |
| $h_B$ , км               | 74.07±0.04          | 105.47±0.01      | 79.32±0.01       | 92.58±0.02          | 85.47±0.01    |
| $\lambda^{\circ}_B$      | 68.75±0.00          | 69.62±0.00       | 68.42±0.00       | 70.95±0.00          | 69.95±0.00    |
| $\varphi^{\circ}_B$      | 38.32±0.00          | 38.33±0.00       | 37.68±0.00       | 37.04±0.00          | 38.85±0.00    |
| $v_E$ , км/с             | 13.94±0.02          | 62.27±0.01       | 26.17±0.77       | 65.94±0.00          | 27.43±0.07    |
| $h_E$ , км               | 57.78±0.02          | 88.33±0.01       | 64.00±0.01       | 82.49±0.02          | 80.28±0.01    |
| $\lambda^{\circ}_E$      | 68.98±0.00          | 69.51±0.00       | 68.66±0.00       | 70.80±0.00          | 69.98±0.00    |
| $\varphi^{\circ}_E$      | 38.30±0.00          | 38.33±0.00       | 37.72±0.00       | 37.06±0.00          | 38.82±0.00    |
| $l$ , км                 | 49.36               | 16.41            | 26.84            | 16.42               | 7.04          |
| $t$ , с                  | 3.28                | 0.25             | 0.98             | 0.25                | 0.25          |
| $M_{max}$                | -4.68               | -4.90            | -5.65            | -6.11               | -4.28         |
| $m_{oc}$ , кг            | 0.365               | 0.001            | 0.048            | 0.002               | 0.005         |
| $m_E$ , кг               | 0.001               | 0.000            | 0.000            | 0.00                | 0.000         |
| PE                       | -5.04               | -5.55            | -4.97            | -5.02               | -5.69         |
| Тип                      | II                  | IIIА             | II               | II                  | IIIА          |
| Метеорный поток          | $\lambda$ – Цигниды | $\theta$ Гемниды | Северные Писциды | Ориониды            | Спорадический |

Продолжение таблицы 1

| N                        | TN281110            | TN310711B               | TN260911         | TN010718           | TN090818      |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------|
| К-во станций, тип камеры | 1ст. БК<br>1ст. ПЗС | 3ст. БК<br>1ст. ПЗС     | 3ст. БК          | 2ст. БК            | 2ст. БК       |
| Год/мес                  | 2010/11             | 2011/07                 | 2011/09          | 2018/07            | 2018/08       |
| День                     | 28.692              | 31.916                  | 26.923           | 1.721              | 9.8778        |
| $L^{\circ}_{\odot}$      | 66.21±0.00          | 128.19±0.00             | 183.31±0.00      | 99.58±0.00         | 136.98±0.00   |
| $v_{\infty}$ , км/с      | 13.44±0.36          | 41.34±0.05              | 59.44±0.25       | 21.98±0.45         | 13.05±0.05    |
| $h_B$ , км               | 74.36±0.03          | 84.70±0.41              | 107.09±1.20      | 71.97±0.02         | 53.86±0.10    |
| $\lambda^{\circ}_B$      | 68.92±0.00          | 68.87±0.01              | 67.04±0.09       | 68.72±0.00         | 69.16±0.00    |
| $\varphi^{\circ}_B$      | 38.20±0.00          | 38.13±0.00              | 37.41±0.07       | 38.36±0.00         | 37.76±0.00    |
| $v_E$ , км/с             | 12.26±0.00          | 41.17±1.11              | 57.78±0.01       | 14.56±0.01         | 8.30±0.02     |
| $h_E$ , км               | 64.77±0.03          | 78.13±0.49              | 86.41±1.20       | 44.91±0.02         | 37.03±0.10    |
| $\lambda^{\circ}_E$      | 69.02±0.00          | 68.88±0.01              | 67.03±0.09       | 68.73±0.00         | 69.26±0.00    |
| $\varphi^{\circ}_E$      | 38.30±0.00          | 38.21±0.00              | 37.39±0.07       | 38.22±0.00         | 37.75±0.00    |
| $l$ , км                 | 16.47               | 15.30                   | 20.54            | 20.75              | 27.40         |
| $t$ , с                  | 1.15                | 0.33                    | 0.33             | 0.91               | 2.22          |
| $M_{\max}$               |                     | -5.11                   | -6.32            | -5.33              | -5.23         |
| $m_{\infty}$ , кг        |                     | 0.004                   | 0.001            | 0.056              | 0.513         |
| $m_E$ , кг               |                     | 0.00                    | 0.00             | 0.000              | 0.004         |
| PE                       |                     | -5.11                   | -5.58            | -4.36              | -4.41         |
| Тип                      |                     | II                      | IIIА             | I                  | I             |
| Метеорный поток          | Спорадический       | Южные $\delta$ Аквариды | $\beta$ Персеиды | Июльские Дракониды | Спорадический |



Продолжение таблицы 1

| N                            | TN141218A           | TN141218B           | TN141218C   |
|------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| К-во станций,<br>тип камеры  | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК     |
| Год/мес                      | 2018/12             | 2018/12             | 2018/12     |
| День                         | 14.824              | 14.835              | 14.871      |
| $L^{\circ}_{\text{O}}$       | 262.51±0.00         | 262.53±0.00         | 262.55±0.00 |
| $v_{\infty}$ , км/с          | 36.17±0.46          | 40.24±0.05          | 35.35±0.51  |
| $h_{\text{B}}$ , км          | 88.86±0.04          | 92.72±0.28          | 70.31±0.01  |
| $\lambda^{\circ}_{\text{B}}$ | 69.33±0.00          | 68.66±0.01          | 67.05±0.00  |
| $\varphi^{\circ}_{\text{B}}$ | 37.97±0.00          | 38.57±0.00          | 38.43±0.00  |
| $v_{\text{E}}$ , км/с        | 30.89±0.01          | 39.87±0.01          | 29.87±0.00  |
| $h_{\text{E}}$ , км          | 57.53±0.02          | 75.51±0.49          | 33.79±0.01  |
| $\lambda^{\circ}_{\text{E}}$ | 69.19±0.00          | 68.63±0.01          | 66.99±0.00  |
| $\varphi^{\circ}_{\text{E}}$ | 37.99±0.00          | 38.65±0.01          | 38.48±0.00  |
| $l$ , км                     | 33.42               | 19.73               | 31.29       |
| $t$ , с                      | 0.91                | 0.49                | 0.90        |
| $M_{\text{max}}$             | -5.25               | -4.77               | -6.58       |
| $m_{\infty}$ , кг            | 0.017               | 0.005               | 0.057       |
| $m_{\text{E}}$ , кг          | 0.000               | 0.000               | 0.000       |
| PE                           | -4.54               | -5.18               | -3.41       |
| Тип                          | I                   | II                  | I           |
| Метеорный поток              | Геминиды            | Моноцеротиды        | Геминиды    |

Таблица 2

## Радянты и гелиоцентрические орбиты болидов

| N                   | TN250806      | TN260806              | TN110607        | TN180907                   | TN131009B     |
|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|---------------|
| $\alpha^{\circ}_R$  | 0.26±0.35     | 336.78±0.04           | 281.79±0.46     | 355.23±0.10                | 334.53±0.19   |
| $\delta^{\circ}_R$  | -6.83±0.34    | -7.49±0.04            | 44.55±0.33      | 9.30±0.10                  | -28.75±0.55   |
| $\cos Z_R$          | 0.616         | 0.656                 | 0.961           | 0.883                      | 0.342         |
| $Q^{\circ}_P$       | 10            | 61                    | 11              | 48                         | 63            |
| $\alpha^{\circ}_g$  | 359.31±0.35   | 334.74±0.06           | 281.53±0.48     | 354.18±0.10                | 343.88±0.48   |
| $\delta^{\circ}_g$  | -7.67±0.35    | -10.21±0.10           | 44.92±0.34      | 7.84±0.10                  | -50.84±0.85   |
| $v_{\infty}$ , км/с | 42.35±0.04    | 24.44±0.34            | 32.01±0.38      | 26.00±0.19                 | 13.36±0.07    |
| $v_{gs}$ , км/с     | 41.05±0.04    | 21.91±0.38            | 29.92±0.40      | 23.53±0.21                 | 7.15±0.13     |
| $v_{hs}$ , км/с     | 40.17±0.17    | 37.12±0.21            | 37.46±0.30      | 37.39±0.13                 | 34.98±0.13    |
| a, а.е.             | 6.26±0.61     | 2.35±0.10             | 2.58±0.17       | 2.41±0.06                  | 1.60±0.03     |
| e                   | 0.98±0.00     | 0.75±0.01             | 0.64±0.02       | 0.78±0.01                  | 0.39±0.01     |
| q, а.е.             | 0.11±0.00     | 0.58±0.00             | 0.93±0.00       | 0.54±0.00                  | 0.98±0.00     |
| Q, а.е.             | 12.41±1.23    | 4.12±0.20             | 4.22±0.33       | 4.28±0.13                  | 2.22±0.05     |
| $\omega^{\circ}$    | 142.56±0.80   | 269.65±0.17           | 218.44±0.97     | 273.82±0.21                | 20.08±0.27    |
| $\Omega^{\circ}$    | 332.52±0.00   | 153.49±0.03           | 80.41±0.00      | 175.41±0.00                | 20.26±0.00    |
| $i^{\circ}$         | 20.33±0.99    | 0.19±0.06             | 49.76±0.51      | 7.72±0.12                  | 7.58±0.13     |
| Метеорный поток     | Спорадический | $\alpha$ Каприкарниды | Июньские Лириды | $\varphi - \beta$ Аквариды | Спорадический |

Продолжение таблицы 2

| N                   | TN300910            | TN041010B         | TN051010C        | TN241010    | TN311010B     |
|---------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------|---------------|
| $\alpha^{\circ}_R$  | 350.91±0.07         | 100.84±0.34       | 18.28±0.04       | 98.15±0.52  | 284.48±0.41   |
| $\delta^{\circ}_R$  | 15.50±0.04          | 31.32±0.29        | 12.76±0.04       | 16.65±0.49  | 64.32±0.18    |
| $\cos Z_R$          | 0.326               | 0.866             | 0.559            | 0.616       | 0.731         |
| $Q^{\circ}_P$       | 17                  | 27                | 54               | 19          | 84            |
| $\alpha^{\circ}_g$  | 341.12±0.47         | 100.77±0.34       | 15.62±0.04       | 98.30±0.52  | 297.13±0.42   |
| $\delta^{\circ}_g$  | 8.22±0.37           | 31.33±0.29        | 10.97±0.04       | 16.50±0.50  | 63.85±0.18    |
| $v_{\infty}$ , KM/c | 16.54±0.29          | 62.49±0.07        | 27.22±0.07       | 66.39±0.12  | 27.63±0.06    |
| $v_g$ , KM/c        | 12.70±0.39          | 61.31±0.08        | 25.18±0.08       | 65.15±0.12  | 25.45±0.06    |
| $v_h$ , KM/c        | 36.43±0.17          | 32.20±0.09        | 37.23±0.05       | 40.04±0.22  | 40.81±0.07    |
| a, a.e.             | 1.99±0.05           | 1.20±0.01         | 2.29±0.02        | 4.90±0.47   | 7.28±0.36     |
| e                   | 0.57±0.01           | 0.19±0.01         | 0.80±0.00        | 0.89±0.01   | 0.86±0.01     |
| q, a.e.             | 0.85±0.01           | 0.98±0.01         | 0.46±0.00        | 0.55±0.01   | 0.99±0.00     |
| Q, a.e.             | 3.14±0.11           | 1.43±0.02         | 4.11±0.04        | 9.25±0.94   | 13.57±0.73    |
| $\omega^{\circ}$    | 233.74±0.65         | 212.20±3.11       | 282.18±0.09      | 87.07±1.15  | 183.58±0.25   |
| $\Omega^{\circ}$    | 186.82±0.00         | 191.46±0.00       | 192.46±0.00      | 31.15±0.00  | 217.96±0.00   |
| $i^{\circ}$         | 5.48±0.21           | 164.11±0.55       | 3.69±0.04        | 165.57±1.04 | 38.45±0.10    |
| Метеорный поток     | $\lambda$ – Цигниды | $\theta$ Гемениды | Северные Писциды | Ориониды    | Спорадический |

Продолжение таблицы 2

| N                   | TN281110      | TN310711B               | TN260911         | TN010718           | TN090818      |
|---------------------|---------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------|
| $\alpha^{\circ}_R$  | 353.44±0.11   | 341.54±0.10             | 45.80±0.09       | 244.64±0.27        | 281.61±0.53   |
| $\delta^{\circ}_R$  | -8.47±0.10    | -15.98±0.38             | 46.45±0.05       | 68.69±0.10         | 27.16±0.47    |
| $\cos Z_R$          | 0.567         | 0.588                   | 0.990            | 0.866              | 0.620         |
| $Q^{\circ}_P$       | 53            | 22                      | 20               | 63                 | 8             |
| $\alpha^{\circ}_g$  | 343.07±0.89   | 340.88±0.11             | 45.27±0.09       | 240.86±0.33        | 265.45±0.66   |
| $\delta^{\circ}_g$  | -21.93±1.22   | -17.06±0.39             | 46.54±0.05       | 70.92±0.15         | 17.82±0.58    |
| $v_{\infty}$ , KM/c | 13.44±0.36    | 41.34±0.05              | 59.44±0.25       | 21.98±0.45         | 13.05±0.05    |
| $v_g$ , KM/c        | 7.88±0.63     | 39.86±0.05              | 58.39±0.26       | 18.96±0.53         | 7.33±0.10     |
| $v_h$ , KM/c        | 37.89±0.64    | 37.27±0.10              | 43.20±0.22       | 37.02±0.34         | 34.32±0.08    |
| a, a.e.             | 2.45±0.33     | 2.47±0.05               | -9.18±1.84       | 2.37±0.16          | 1.55±0.01     |
| e                   | 0.59±0.05     | 0.96±0.00               | 1.05±0.01        | 0.57±0.03          | 0.36±0.01     |
| q, a.e.             | 0.98±0.00     | 0.09±0.00               | 0.49±0.00        | 1.01±0.00          | 0.99±0.00     |
| Q, a.e.             | 3.91±0.65     | 4.85±0.10               | -18.85±3.68      | 3.72±0.32          | 2.11±0.03     |
| $\omega^{\circ}$    | 0.997±0.60    | 148.75±0.65             | 269.49±0.67      | 168.64±0.33        | 203.08±0.55   |
| $\Omega^{\circ}$    | 66.21±0.00    | 308.19±0.00             | 183.31±0.00      | 99.58±0.00         | 136.98±0.00   |
| $i^{\circ}$         | 2.80±0.02     | 27.62±0.82              | 112.88±0.25      | 30.23±0.63         | 8.13±0.16     |
| Метеорный поток     | Спорадический | Южные $\delta$ Аквариды | $\beta$ Персеиды | Июльские Дракониды | Спорадический |

Продолжение таблицы 2

| N                   | TN141218A   | TN141218B   | TN141218C   |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| $\alpha^{\circ}_R$  | 113.66±0.07 | 102.01±0.46 | 113.83±0.61 |
| $\delta^{\circ}_R$  | 32.03±0.07  | 10.96±0.48  | 30.36±0.52  |
| $\cos Z_R$          | 0.934       | 0.877       | 0.983       |
| $Q^{\circ}_P$       | 61          | 23          | 7           |
| $\alpha^{\circ}_g$  | 113.59±0.07 | 101.63±0.46 | 113.35±0.62 |
| $\delta^{\circ}_g$  | 31.95±0.08  | 10.42±0.49  | 30.20±0.54  |
| $v_{\infty}$ , км/с | 36.17±0.46  | 40.24±0.05  | 35.35±0.51  |
| $v_g$ , км/с        | 34.28±0.49  | 38.61±0.06  | 33.49±0.54  |
| $v_h$ , км/с        | 33.96±0.30  | 40.86±0.22  | 33.41±0.41  |
| a, а.е.             | 1.37±0.04   | 6.68±0.91   | 1.29±0.05   |
| e                   | 0.89±0.01   | 0.97±0.00   | 0.89±0.01   |
| q, а.е.             | 0.14±0.00   | 0.22±0.01   | 0.14±0.01   |
| Q, а.е.             | 2.59±0.09   | 13.13±1.82  | 2.44±0.10   |
| $\omega^{\circ}$    | 323.93±0.17 | 125.93±1.11 | 324.89±0.99 |
| $\Omega^{\circ}$    | 262.51±0.00 | 82.53±0.00  | 262.55±0.00 |
| $i^{\circ}$         | 22.49±0.61  | 25.16±0.90  | 18.20±1.24  |
| Метеорный поток     | Геминиды    | Моноцероиды | Геминиды    |

Таблица 3

## Наблюдаемые кривые блеска болидов

| t, с  | H, км | v, км/с | M, mag | t, с  | H, км | v, км/с | M, mag |
|---|-------|---------|--------|---|-------|---------|--------|
| №TN250806   |       |         |        | 1.89  | 39.39 | 24.13   | -5.07  |
| $m_{\infty} = 0.029$ кг, $v_{\infty} = 43.9$ км/с, $\cos Z_R = 0.616$ |       |         |        | 1.97  | 38.49 | 24.13   | -4.47  |
| 0.00  | 69.22 | 42.36   | -5.82  | 2.05  | 37.62 | 24.13   | -4.17  |
| 0.08  | 67.09 | 42.36   | -6.76  | №TN110607   |       |         |        |
| 0.16  | 64.96 | 42.36   | -7.04  | $m_{\infty} = 0.045$ кг, $v_{\infty} = 33.6$ км/с, $\cos Z_R = 0.934$ |       |         |        |
| 0.25  | 62.84 | 42.36   | -6.98  | 0.00  | 86.21 | 32.01   | -3.57  |
| 0.33  | 60.73 | 42.36   | -6.77  | 0.08  | 83.41 | 32.01   | -3.72  |
| 0.41  | 58.63 | 42.36   | -6.60  | 0.16  | 80.71 | 32.01   | -3.81  |
| №TN260806   |       |         |        | 0.25  | 78.01 | 32.01   | -3.89  |
| $m_{\infty} = 0.201$ кг, $v_{\infty} = 24.4$ км/с, $\cos Z_R = 0.656$ |       |         |        | 0.33  | 75.18 | 32.01   | -4.00  |
| 0.00  | 69.97 | 24.13   | -4.61  | 0.41  | 72.51 | 32.01   | -4.12  |
| 0.08  | 68.42 | 24.13   | -4.77  | 0.49  | 69.92 | 32.01   | -4.24  |
| 0.16  | 66.89 | 24.13   | -4.85  | 0.57  | 67.17 | 32.01   | -4.26  |
| 0.25  | 65.36 | 24.13   | -4.45  | 0.66  | 64.55 | 32.01   | -4.46  |
| 0.33  | 63.86 | 24.13   | -4.56  | 0.74  | 61.95 | 32.01   | -4.69  |
| 0.41  | 62.39 | 24.13   | -5.08  | 0.82  | 59.40 | 32.01   | -4.83  |
| 0.49  | 60.92 | 24.13   | -5.41  | 0.90  | 56.78 | 32.01   | -4.92  |
| 0.57  | 59.46 | 24.13   | -5.42  | 0.99  | 54.16 | 32.01   | -5.03  |
| 0.66  | 58.01 | 24.13   | -5.67  | 1.07  | 51.86 | 32.01   | -5.13  |
| 0.74  | 56.57 | 24.13   | -5.63  | 1.15  | 49.45 | 32.01   | -5.19  |
| 0.82  | 55.14 | 24.13   | -5.97  | 1.23  | 47.26 | 32.01   | -5.24  |
| 0.90  | 53.74 | 24.13   | -5.91  | 1.31  | 45.08 | 32.01   | -4.13  |
| 0.99  | 52.37 | 24.13   | -5.92  | 1.40  | 43.24 | 32.01   | -3.92  |
| 1.07  | 51.02 | 24.13   | -5.92  | 1.48  | 41.60 | 32.01   | -3.48  |
| 1.15  | 49.70 | 24.13   | -5.84  | №TN180907   |       |         |        |
| 1.23  | 48.40 | 24.13   | -5.82  | $m_{\infty} = 0.009$ кг, $v_{\infty} = 26.2$ км/с, $\cos Z_R = 0.875$ |       |         |        |
| 1.31  | 47.12 | 24.13   | -5.79  | 0.00  | 79.94 | 26.05   | -3.72  |
| 1.40  | 45.93 | 24.13   | -5.79  | 0.08  | 77.93 | 26.05   | -4.02  |
| 1.48  | 44.77 | 24.13   | -5.77  | 0.16  | 75.99 | 26.05   | -4.07  |
| 1.56  | 43.65 | 24.13   | -5.77  | 0.25  | 74.10 | 26.05   | -4.12  |
| 1.64  | 42.56 | 24.13   | -5.69  | 0.33  | 72.22 | 26.05   | -3.96  |
| 1.72  | 41.48 | 24.13   | -5.65  | 0.41  | 70.37 | 26.05   | -3.75  |
| 1.81  | 40.43 | 24.13   | -5.35  | 0.49  | 68.57 | 26.05   | -3.71  |

Продолжение Таблицы 3

| t, с  | H, км | v, км/с | M, mag | t, с  | H, км | v, км/с | M, mag |
|---|-------|---------|--------|---|-------|---------|--------|
| 0.58  | 66.77 | 26.05   | -3.65  | 2.54  | 55.90 | 13.36   | -3.86  |
| №TN131009B  |       |         |        | 2.62  | 55.56 | 13.36   | -3.53  |
| m <sub>∞</sub> =0.426 кг, v <sub>∞</sub> =13.4 км/с, cosZ <sub>R</sub> =0.342 |       |         |        | №TN300910   |       |         |        |
| 0.00  | 67.63 | 13.36   | -3.60  | m <sub>∞</sub> =0.365 кг, v <sub>∞</sub> =16.5 км/с, cosZ <sub>R</sub> =0.326 |       |         |        |
| 0.08  | 67.21 | 13.36   | -3.76  | 0.00  | 73.81 | 16.25   | -3.57  |
| 0.16  | 66.82 | 13.36   | -4.58  | 0.08  | 73.32 | 16.23   | -3.68  |
| 0.25  | 66.41 | 13.36   | -4.37  | 0.16  | 72.95 | 16.20   | -3.78  |
| 0.33  | 66.03 | 13.36   | -4.02  | 0.25  | 72.50 | 16.17   | -3.90  |
| 0.41  | 65.63 | 13.36   | -3.51  | 0.33  | 72.07 | 16.15   | -4.00  |
| 0.49  | 65.21 | 13.36   | -4.36  | 0.41  | 71.57 | 16.12   | -4.05  |
| 0.57  | 64.80 | 13.36   | -5.03  | 0.49  | 71.15 | 16.08   | -4.03  |
| 0.66  | 64.43 | 13.36   | -4.21  | 0.57  | 70.72 | 16.05   | -4.05  |
| 0.74  | 64.01 | 13.36   | -4.22  | 0.66  | 70.27 | 16.01   | -4.03  |
| 0.82  | 63.62 | 13.36   | -4.46  | 0.74  | 69.87 | 15.97   | -4.05  |
| 0.90  | 63.24 | 13.36   | -3.93  | 0.82  | 69.46 | 15.93   | -4.09  |
| 0.98  | 62.84 | 13.36   | -4.60  | 0.90  | 68.96 | 15.88   | -4.09  |
| 1.07  | 62.43 | 13.36   | -4.41  | 0.99  | 68.57 | 15.83   | -4.12  |
| 1.15  | 62.01 | 13.36   | -3.51  | 1.07  | 68.15 | 15.77   | -4.15  |
| 1.23  | 61.61 | 13.36   | -3.41  | 1.15  | 67.71 | 15.71   | -4.17  |
| 1.31  | 61.23 | 13.36   | -3.40  | 1.23  | 67.29 | 15.65   | -4.16  |
| 1.39  | 60.85 | 13.36   | -3.39  | 1.31  | 66.86 | 15.58   | -4.19  |
| 1.48  | 60.48 | 13.36   | -3.38  | 1.40  | 66.43 | 15.51   | -4.20  |
| 1.56  | 60.12 | 13.36   | -3.38  | 1.48  | 66.01 | 15.43   | -4.22  |
| 1.64  | 59.77 | 13.36   | -5.54  | 1.56  | 65.61 | 15.34   | -4.21  |
| 1.72  | 59.42 | 13.36   | -5.26  | 1.64  | 65.19 | 15.25   | -4.23  |
| 1.80  | 59.05 | 13.36   | -4.99  | 1.72  | 64.77 | 15.15   | -4.30  |
| 1.89  | 58.68 | 13.36   | -5.05  | 1.81  | 64.45 | 15.04   | -4.32  |
| 1.97  | 58.33 | 13.36   | -5.36  | 1.89  | 63.95 | 14.92   | -4.36  |
| 2.05  | 57.97 | 13.36   | -4.09  | 1.97  | 63.62 | 14.79   | -4.36  |
| 2.13  | 57.60 | 13.36   | -5.30  | 2.05  | 63.11 | 14.66   | -4.39  |
| 2.21  | 57.26 | 13.36   | -4.95  | 2.13  | 62.73 | 14.51   | -4.42  |
| 2.29  | 56.92 | 13.36   | -4.22  | 2.22  | 62.32 | 14.35   | -4.49  |
| 2.38  | 56.57 | 13.36   | -5.26  | 2.30  | 61.93 | 14.18   | -4.51  |
| 2.46  | 56.23 | 13.36   | -3.55  | 2.38  | 61.55 | 14.00   | -4.68  |

Продолжение Таблицы 3

| t, с  | H, км  | v, км/с | M, mag | t, с  | H, км  | v, км/с | M, mag |
|---|--------|---------|--------|---|--------|---------|--------|
| 2.96  | 59.25  | 12.25   | -4.11  | 0.00  | 85.32  | 27.63   | -3.59  |
| 3.04  | 58.88  | 11.91   | -4.06  | 0.08  | 83.64  | 27.63   | -4.17  |
| 3.12  | 58.53  | 11.55   | -4.01  | 0.16  | 81.97  | 27.63   | -4.28  |
| 3.20  | 58.17  | 11.16   | -3.93  | 0.25  | 80.31  | 27.63   | -3.68  |
| 3.28  | 57.80  | 10.75   | -3.82  | №TN310711B  |        |         |        |
| №TN041010B  |        |         |        | $m_{\infty}=0.004$ кг, $v_{\infty}=41.3$ км/с, $\cos Z_R=0.588$ |        |         |        |
| $m_{\infty}=0.001$ кг, $v_{\infty}=62.5$ км/с, $\cos Z_R=0.866$ |        |         |        | 0.00  | 86.90  | 41.35   | -4.77  |
| 0.00  | 104.56 | 62.49   | -4.10  | 0.08  | 84.93  | 41.35   | -5.11  |
| 0.08  | 100.09 | 62.49   | -4.90  | 0.16  | 82.96  | 41.35   | -5.06  |
| 0.16  | 95.64  | 62.49   | -4.76  | 0.25  | 81.00  | 41.35   | -4.97  |
| 0.25  | 91.20  | 62.49   | -4.04  | 0.33  | 79.04  | 41.35   | -4.20  |
| №TN051010C  |        |         |        | №TN260911   |        |         |        |
| $m_{\infty}=0.050$ кг, $v_{\infty}=27.2$ км/с, $\cos Z_R=0.559$ |        |         |        | $m_{\infty}=0.001$ кг, $v_{\infty}=59.4$ км/с, $\cos Z_R=0.990$ |        |         |        |
| 0.00  | 78.97  | 27.22   | -4.36  | 0.00  | 105.63 | 58.76   | -4.55  |
| 0.08  | 77.70  | 27.03   | -4.27  | 0.08  | 100.80 | 58.76   | -4.55  |
| 0.16  | 76.45  | 26.99   | -4.25  | 0.16  | 96.02  | 58.76   | -4.93  |
| 0.25  | 75.20  | 26.94   | -4.44  | 0.25  | 91.28  | 58.76   | -6.32  |
| 0.33  | 73.96  | 26.88   | -4.65  | 0.33  | 86.57  | 58.76   | -5.91  |
| 0.41  | 72.71  | 26.82   | -4.67  | №TN010718   |        |         |        |
| 0.49  | 71.48  | 26.74   | -5.65  | $m_{\infty}=0.056$ кг, $v_{\infty}=21.9$ км/с, $\cos Z_R=0.866$ |        |         |        |
| 0.57  | 70.25  | 26.65   | -5.34  | 0.00  | 62.20  | 21.97   | -4.07  |
| 0.66  | 69.03  | 26.55   | -5.20  | 0.08  | 60.41  | 21.97   | -4.08  |
| 0.74  | 67.81  | 26.43   | -5.12  | 0.16  | 58.64  | 21.97   | -4.26  |
| 0.82  | 66.59  | 26.29   | -5.12  | 0.25  | 56.91  | 21.97   | -4.43  |
| 0.90  | 65.39  | 26.24   | -5.07  | 0.33  | 55.22  | 21.97   | -4.46  |
| 0.98  | 64.18  | 25.96   | -5.02  | 0.41  | 53.57  | 21.97   | -4.78  |
| №TN241010   |        |         |        | 0.49  | 51.97  | 21.97   | -5.10  |
| $m_{\infty}=0.002$ кг, $v_{\infty}=66.4$ км/с, $\cos Z_R=0.616$ |        |         |        | 0.58  | 50.40  | 21.97   | -5.20  |
| 0.00  | 92.55  | 66.39   | -5.51  | 0.66  | 48.92  | 21.97   | -5.33  |
| 0.08  | 89.18  | 66.39   | -5.80  | 0.74  | 47.54  | 21.97   | -4.93  |
| 0.16  | 85.83  | 66.39   | -6.11  | 0.82  | 46.32  | 21.97   | -4.66  |
| 0.25  | 82.50  | 66.39   | -6.01  | 0.90  | 45.28  | 21.97   | -4.10  |
| №TN311010B  |        |         |        | №TN090818   |        |         |        |
| $m_{\infty}=0.002$ кг, $v_{\infty}=27.6$ км/с, $\cos Z_R=0.616$ |        |         |        | $m_{\infty}=0.513$ кг, $v_{\infty}=13.1$ км/с, $\cos Z_R=0.620$ |        |         |        |



Продолжение Таблицы 3

| t, с  | H, км | v, км/с | M, mag | t, с  | H, км | v, км/с | M, mag |
|---|-------|---------|--------|---|-------|---------|--------|
| 0.00  | 53.51 | 13.00   | -3.69  | 0.25  | 79.13 | 36.15   | -4.84  |
| 0.08  | 52.88 | 13.00   | -3.71  | 0.33  | 76.35 | 36.12   | -5.23  |
| 0.16  | 52.19 | 12.99   | -3.88  | 0.41  | 73.58 | 36.08   | -5.25  |
| 0.25  | 51.55 | 12.97   | -3.91  | 0.49  | 70.92 | 35.97   | -5.24  |
| 0.33  | 50.92 | 12.96   | -3.98  | 0.57  | 67.92 | 35.75   | -5.18  |
| 0.41  | 50.27 | 12.94   | -4.04  | 0.66  | 65.21 | 35.28   | -4.66  |
| 0.49  | 49.60 | 12.92   | -4.13  | 0.74  | 62.64 | 34.26   | -4.39  |
| 0.57  | 48.95 | 12.90   | -4.13  | 0.82  | 60.11 | 32.07   | -4.35  |
| 0.66  | 48.30 | 12.87   | -4.22  | 0.91  | 57.74 | 27.37   | -3.90  |
| 0.74  | 47.66 | 12.84   | -4.39  | №TN141218B  |       |         |        |
| 0.82  | 46.99 | 12.80   | -4.54  | $m_{\infty}=0.005$ кг, $v_{\infty}=40.2$ км/с, $\cos Z_R=0.877$ |       |         |        |
| 0.90  | 46.35 | 12.76   | -4.60  | 0.00  | 92.28 | 40.24   | -4.13  |
| 0.98  | 45.72 | 12.71   | -5.17  | 0.08  | 89.39 | 40.24   | -4.38  |
| 1.07  | 45.09 | 12.64   | -5.23  | 0.16  | 86.50 | 40.24   | -4.61  |
| 1.15  | 44.44 | 12.57   | -5.20  | 0.25  | 83.62 | 40.24   | -4.61  |
| 1.23  | 43.83 | 12.48   | -4.97  | 0.33  | 80.76 | 40.24   | -4.66  |
| 1.31  | 43.20 | 12.38   | -4.90  | 0.41  | 77.90 | 40.24   | -4.40  |
| 1.39  | 42.60 | 12.26   | -4.63  | 0.49  | 75.05 | 40.24   | -4.77  |
| 1.48  | 41.96 | 12.12   | -5.02  | №TN141218C  |       |         |        |
| 1.56  | 41.37 | 11.95   | -4.91  | $m_{\infty}=0.056$ кг, $v_{\infty}=35.4$ км/с, $\cos Z_R=0.983$ |       |         |        |
| 1.64  | 40.78 | 11.75   | -4.62  | 0.00  | 69.21 | 35.35   | -4.56  |
| 1.72  | 40.16 | 11.52   | -4.10  | 0.08  | 66.19 | 35.15   | -5.19  |
| 1.80  | 39.68 | 11.24   | -3.93  | 0.16  | 63.31 | 35.07   | -5.71  |
| 1.89  | 39.04 | 10.92   | -3.75  | 0.25  | 60.50 | 34.95   | -5.99  |
| 1.97  | 38.50 | 10.54   | -3.72  | 0.33  | 57.74 | 34.79   | -5.47  |
| 2.04  | 37.97 | 10.08   | -3.64  | 0.41  | 55.03 | 34.57   | -5.23  |
| 2.13  | 37.49 | 09.55   | -3.64  | 0.49  | 52.33 | 34.27   | -5.72  |
| 2.22  | 37.07 | 08.92   | -4.01  | 0.57  | 49.71 | 33.84   | -6.53  |
| №TN141218A  |       |         |        | 0.66  | 47.14 | 33.24   | -6.58  |
| $m_{\infty}=0.017$ кг, $v_{\infty}=36.8$ км/с, $\cos Z_R=0.934$ |       |         |        | 0.74  | 44.59 | 32.35   | -6.15  |
| 0.00  | 87.41 | 36.16   | -3.91  | 0.82  | 42.05 | 31.01   | -5.85  |
| 0.08  | 84.69 | 36.16   | -4.23  | 0.90  | 39.65 | 29.03   | -5.90  |
| 0.16  | 81.82 | 36.16   | -4.58  |   |       |         |        |

Таблица 4

## Параметры атмосферных траекторий болидов Персеид

| N                        | TN130807A   | TN130807B   | TN130807C   | TN310711A           | TN110817            |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|
| К-во станций, тип камеры | 2ст. БК     | 2ст. БК     | 2ст. БК     | 2ст. БК<br>2ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС |
| Год/мес                  | 2007/08     | 2007/08     | 2007/08     | 2011/07             | 2017/08             |
| День                     | 13.872      | 13.913      | 13.916      | 31.816              | 11.878              |
| $L^{\circ}_O$            | 140.63±0.00 | 140.67±0.00 | 140.67±0.00 | 128.10±0.00         | 139.13±0.00         |
| $v_{\infty}$ , км/с      | 60.37±0.01  | 60.25±0.06  | 58.91±0.24  | 59.81±0.07          | 59.68±0.12          |
| $h_B$ , км               | 87.66±0.03  | 94.36±0.01  | 102.05±0.02 | 96.20±0.09          | 91.69±0.55          |
| $\lambda^{\circ}_B$      | 66.55±0.00  | 67.97±0.00  | 68.84±0.00  | 70.54±0.00          | 68.39±0.01          |
| $\varphi^{\circ}_B$      | 37.61±0.00  | 38.19±0.00  | 38.61±0.00  | 38.27±0.00          | 38.81±0.01          |
| $v_E$ , км/с             | 60.31±0.31  | 60.07±0.70  | 57.98±0.02  | 59.55±0.01          | 59.28±0.70          |
| $h_E$ , км               | 77.15±0.03  | 86.33±0.01  | 90.26±0.02  | 80.24±0.03          | 79.68±0.65          |
| $\lambda^{\circ}_E$      | 66.46±0.00  | 67.92±0.00  | 68.80±0.00  | 70.38±0.00          | 68.30±0.01          |
| $\varphi^{\circ}_E$      | 37.54±0.00  | 38.15±0.00  | 38.57±0.00  | 38.14±0.00          | 38.73±0.01          |
| $l$ , км                 | 26.26       | 14.95       | 14.52       | 24.24               | 16.69               |
| $t$ , с                  | 0.41        | 0.25        | 0.25        | 0.33                | 0.25                |
| $M_{\max}$               | -6.31       | -5.19       | -5.74       | -6.02               | -5.64               |
| $m_{\infty}$ , кг        | 0.005       | 0.001       | 0.002       | 0.003               | 0.002               |
| $m_E$ , кг               | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00                | 0.00                |
| PE                       | -4.91       | -5.08       | -5.89       | -4.97               | -4.94               |
| Тип                      | II          | II          | IIIВ        | II                  | II                  |
| Метеорный поток          | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды            | Персеиды            |

Продолжение Таблицы 4

| N                        | TN120817A           | TN120817B           | TN120817C           | TN100818A           | TN100818B           |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| К-во станций, тип камеры | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС | 2ст. БК<br>1ст. ПЗС |
| Год/мес                  | 2017/08             | 2017/08             | 2017/08             | 2018/08             | 2018/08             |
| День                     | 12.791              | 12.871              | 12.901              | 10.757              | 10.884              |
| $L^{\circ}_{\text{O}}$   | 140.00±0.00         | 140.08±0.00         | 140.11±0.00         | 137.78±0.00         | 137.93±0.00         |
| $v_{\infty}$ , км/с      | 60.05±0.14          | 59.42±0.05          | 60.11±0.08          | 60.70±0.06          | 59.34±0.36          |
| $h_B$ , км               | 89.33±0.06          | 96.48±0.31          | 96.66±0.01          | 104.13±0.09         | 107.63±0.05         |
| $\lambda^{\circ}_B$      | 66.68±0.00          | 68.54±0.00          | 68.80±0.00          | 69.07±0.00          | 68.49±0.00          |
| $\varphi^{\circ}_B$      | 38.87±0.00          | 38.60±0.00          | 38.71±0.00          | 38.41±0.00          | 38.51±0.00          |
| $v_E$ , км/с             | 58.92±0.45          | 55.29±0.01          | 59.62±0.64          | 59.82±0.00          | 58.83±0.88          |
| $h_E$ , км               | 78.80±0.06          | 80.22±0.32          | 79.60±0.01          | 91.25±0.11          | 72.47±0.05          |
| $\lambda^{\circ}_E$      | 66.54±0.00          | 68.43±0.00          | 68.53±0.00          | 68.86±0.00          | 68.25±0.00          |
| $\varphi^{\circ}_E$      | 38.74±0.00          | 38.49±0.00          | 38.47±0.00          | 38.14±0.00          | 38.31±0.00          |
| $l$ , км                 | 26.96               | 20.87               | 22.07               | 37.46               | 46.74               |
| $t$ , с                  | 0.41                | 0.33                | 0.33                | 0.58                | 0.74                |
| $M_{\text{max}}$         | -6.33               | -6.29               | -6.83               | -5.26               | -6.00               |
| $m_{\infty}$ , кг        | 0.003               | 0.004               | 0.005               | 0.002               | 0.006               |
| $m_E$ , кг               | 0.000               | 0.000               | 0.000               | 0.000               | 0.000               |
| PE                       | -4.71               | -5.51               | -5.23               | -5.45               | -4.74               |
| Тип                      | II                  | IIIА                | II                  | IIIА                | II                  |
| Метеорный поток          | Персеиды            | Персеиды            | Персеиды            | Персеиды            | Персеиды            |

Таблица 5

## Радянты и орбиты болидов Персеид

| N                   | TN130807A   | TN130807B   | TN130807C   | TN310711A   | TN110817    |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $\alpha^{\circ}_R$  | 46.01 ±0.44 | 46.58 ±0.11 | 46.75 ±0.49 | 30.12 ±0.13 | 48.28±0.52  |
| $\delta^{\circ}_R$  | 57.26±0.24  | 57.71±0.06  | 59.35±0.25  | 54.81±0.16  | 58.01±0.15  |
| $\cos Z_R$          | 0.718       | 0.810       | 0.811       | 0.616       | 0.723       |
| $Q^{\circ}_P$       | 11          | 20          | 48          | 61          | 18          |
| $\alpha^{\circ}_g$  | 46.51±0.45  | 46.74±0.11  | 46.90±0.50  | 30.82±0.13  | 48.76±0.53  |
| $\delta^{\circ}_g$  | 57.51±0.24  | 58.00±0.06  | 59.66±0.25  | 54.96±0.16  | 58.31±0.15  |
| $v_{\infty}$ , KM/c | 60.37±0.01  | 60.25±0.07  | 58.91±0.24  | 59.81±0.07  | 59.68±0.12  |
| $v_g$ , KM/c        | 59.15±0.01  | 59.07±0.07  | 57.72±0.24  | 58.56±0.07  | 58.46±0.13  |
| $v_h$ , KM/c        | 40.97±0.11  | 41.12±0.07  | 40.72±0.24  | 41.11±0.10  | 40.93±0.13  |
| a, a.e.             | 12.24±1.58  | 14.73±1.33  | 9.53±2.03   | 15.27±2.17  | 11.76±1.69  |
| e                   | 0.92±0.01   | 0.93±0.01   | 0.90±0.02   | 0.94±0.01   | 0.92±0.01   |
| q, a.e.             | 0.96±0.00   | 0.96±0.00   | 0.96±0.00   | 0.96±0.00   | 0.93±0.00   |
| Q, a.e.             | 23.51±3.16  | 28.50±2.66  | 18.09±4.07  | 29.58±4.34  | 22.59±3.38  |
| $\omega^{\circ}$    | 154.12±0.73 | 153.85±0.19 | 152.33±0.84 | 152.61±0.25 | 146.78±0.85 |
| $\Omega^{\circ}$    | 140.63±0.00 | 140.67±0.00 | 140.67±0.00 | 128.10±0.00 | 139.13±0.00 |
| $i^{\circ}$         | 113.82±0.31 | 113.16±0.09 | 110.13±0.36 | 111.85±0.21 | 112.17±0.21 |
| Метеорный погон     | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    |

Продолжение Таблицы 5

| N                   | TN120817A   | TN120817B   | TN120817C   | TN100818A   | TN100818B   |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $\alpha_R^o$        | 46.38±0.62  | 45.86±0.06  | 47.89±0.22  | 44.93±0.07  | 43.85±0.06  |
| $\delta_R^o$        | 57.58±0.33  | 59.58±0.02  | 58.15±0.11  | 57.17±0.01  | 58.05±0.00  |
| $\cos Z_R$          | 0.500       | 0.720       | 0.773       | 0.342       | 0.749       |
| $Q_P^o$             | 6           | 29          | 38          | 32          | 27          |
| $\alpha_g^o$        | 47.42±0.62  | 46.35±0.06  | 48.17±0.22  | 46.17±0.08  | 44.24±0.06  |
| $\delta_g^o$        | 57.61±0.33  | 59.86±0.02  | 58.44±0.12  | 56.99±0.01  | 58.33±0.00  |
| $v_{\infty}$ , км/с | 60.05±0.15  | 59.42±0.05  | 60.11±0.08  | 60.70±0.06  | 59.34±0.36  |
| $v_g$ , км/с        | 58.82±0.15  | 58.20±0.05  | 58.91±0.09  | 59.49±0.06  | 58.12±0.37  |
| $v_h$ , км/с        | 40.79±0.21  | 41.33±0.04  | 41.25±0.09  | 41.38±0.06  | 40.79±0.32  |
| a, a.e.             | 10.19±1.99  | 20.44±1.70  | 17.96±2.81  | 23.15±2.87  | 10.28±3.15  |
| e                   | 0.91±0.02   | 0.95±0.00   | 0.95±0.01   | 0.96±0.01   | 0.91±0.03   |
| q, a.e.             | 0.95±0.00   | 0.96±0.00   | 0.95±0.00   | 0.94±0.00   | 0.95±0.00   |
| Q, a.e.             | 19.43±3.99  | 39.93±3.40  | 34.97±5.62  | 45.36±5.75  | 19.60±6.29  |
| $\omega^o$          | 150.86±1.05 | 152.65±0.10 | 150.40±0.37 | 148.96±0.15 | 150.89±0.55 |
| $\Omega^o$          | 140.00±0.00 | 140.08±0.00 | 140.11±0.00 | 137.78±0.00 | 137.93±0.00 |
| $i^o$               | 113.44±0.45 | 110.06±0.04 | 112.51±0.16 | 114.05±0.04 | 111.25±0.25 |
| Метеорный поток     | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    | Персеиды    |

Таблица 6

## Наблюдаемые кривые блеска болидов Персеид

| t, с  | H, км  | v, км/с | M, mag | t, с  | H, км  | v, км/с | M, mag |
|---|--------|---------|--------|---|--------|---------|--------|
| №TN130807A  |        |         |        | 0.33  | 82.08  | 59.67   | -5.12  |
| $m_{\infty}=0.005$ кг, $v_{\infty}=60.4$ км/с, $\cos Z_R=0.718$ |        |         |        | 0.41  | 79.71  | 57.60   | -6.33  |
| 0.00  | 93.89  | 60.37   | -5.39  | №TN120817B  |        |         |        |
| 0.08  | 90.41  | 60.37   | -6.11  | $m_{\infty}=0.004$ кг, $v_{\infty}=59.4$ км/с, $\cos Z_R=0.720$ |        |         |        |
| 0.16  | 86.94  | 60.37   | -6.01  | 0.00  | 99.31  | 59.42   | -5.47  |
| 0.25  | 83.48  | 60.37   | -6.27  | 0.08  | 95.78  | 59.42   | -5.47  |
| 0.33  | 80.02  | 60.37   | -6.31  | 0.16  | 92.26  | 59.42   | -5.95  |
| 0.41  | 76.56  | 60.37   | -6.01  | 0.25  | 88.76  | 59.42   | -6.29  |
| №TN130807B  |        |         |        | 0.33  | 85.25  | 59.42   | -6.01  |
| $m_{\infty}=0.001$ кг, $v_{\infty}=60.3$ км/с, $\cos Z_R=0.810$ |        |         |        | №TN120817C  |        |         |        |
| 0.00  | 94.23  | 60.25   | -4.59  | $m_{\infty}=0.005$ кг, $v_{\infty}=60.1$ км/с, $\cos Z_R=0.773$ |        |         |        |
| 0.08  | 90.21  | 60.25   | -4.19  | 0.00  | 95.82  | 60.10   | -5.64  |
| 0.16  | 86.22  | 60.25   | -5.14  | 0.08  | 91.99  | 60.10   | -5.54  |
| 0.25  | 82.23  | 60.25   | -5.19  | 0.16  | 88.17  | 60.10   | -5.97  |
| №TN130807C  |        |         |        | 0.25  | 84.35  | 60.10   | -6.83  |
| $m_{\infty}=0.002$ кг, $v_{\infty}=58.9$ км/с, $\cos Z_R=0.811$ |        |         |        | 0.33  | 80.57  | 60.10   | -6.46  |
| 0.00  | 102.03 | 58.91   | -4.87  | №TN100818A  |        |         |        |
| 0.08  | 98.07  | 58.91   | -5.74  | $m_{\infty}=0.002$ кг, $v_{\infty}=60.7$ км/с, $\cos Z_R=0.342$ |        |         |        |
| 0.16  | 94.12  | 58.91   | -5.72  | 0.00  | 103.28 | 60.70   | -3.60  |
| 0.25  | 90.26  | 58.91   | -4.96  | 0.08  | 101.56 | 60.55   | -4.00  |
| №TN310711A  |        |         |        | 0.16  | 99.85  | 60.50   | -4.39  |
| $m_{\infty}=0.003$ кг, $v_{\infty}=59.8$ км/с, $\cos Z_R=0.616$ |        |         |        | 0.25  | 98.14  | 60.44   | -4.86  |
| 0.00  | 93.87  | 59.81   | -5.14  | 0.33  | 96.44  | 60.34   | -4.46  |
| 0.08  | 90.85  | 59.81   | -5.19  | 0.41  | 94.75  | 60.21   | -5.26  |
| 0.16  | 87.85  | 59.81   | -5.27  | 0.50  | 93.05  | 60.03   | -4.81  |
| 0.25  | 84.86  | 59.81   | -6.02  | 0.58  | 91.37  | 59.78   | -3.66  |
| 0.33  | 81.89  | 59.81   | -5.48  | №TN100818B  |        |         |        |
| №TN110817   |        |         |        | $m_{\infty}=0.006$ кг, $v_{\infty}=59.3$ км/с, $\cos Z_R=0.749$ |        |         |        |
| $m_{\infty}=0.002$ кг, $v_{\infty}=59.7$ км/с, $\cos Z_R=0.723$ |        |         |        | 0.00  | 105.62 | 59.34   | -5.01  |
| 0.00  | 90.64  | 59.68   | -4.37  | 0.08  | 102.04 | 59.34   | -5.17  |
| 0.08  | 87.12  | 59.68   | -5.24  | 0.16  | 98.36  | 59.33   | -5.31  |
| 0.16  | 83.62  | 59.68   | -5.51  | 0.25  | 94.75  | 59.33   | -5.55  |
| 0.25  | 80.15  | 59.68   | -5.64  | 0.33  | 91.04  | 59.33   | -5.71  |
| №TN120817A  |        |         |        | 0.41  | 87.36  | 59.32   | -5.88  |
| $m_{\infty}=0.004$ кг, $v_{\infty}=60.2$ км/с, $\cos Z_R=0.5$   |        |         |        | 0.49  | 83.77  | 59.30   | -5.97  |
| 0.00  | 91.74  | 60.05   | -4.48  | 0.58  | 80.16  | 59.27   | -5.96  |
| 0.08  | 89.33  | 60.05   | -4.87  | 0.66  | 76.47  | 59.21   | -5.66  |
| 0.16  | 86.89  | 60.04   | -5.92  | 0.74  | 72.86  | 59.12   | -6.00  |
| 0.25  | 84.49  | 59.99   | -6.13  |   |        |         |        |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И. Фотографические наблюдения болидов в Таджикистане. – ДАН РТ, 2007, т. 50, № 1, с. 27-36.
2. Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И. Фотографические болидные сети. – Известия АН РТ. Отделение физ-мат, хим., геол. и техн. наук, 2009с, № 2 (135), с.46-55.
3. Borovička J., Spurný P., and Kecklikova J. A new positional astrometric method for all-sky cameras. – Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 1995, v.112, pp.173-178.

4. Babadzhанov P.B., Kokhirova G.I., Borovicka J., Spurny P. Photographic observations of fireballs in Tajikistan. – Solar System Res, 2009, v. 43, No. 4, pp. 353-363.
5. Ceplecha Z. Geometric, dynamic, orbital and photometric data on meteoroids from photographic fireball networks. – Bull. Astron. Inst.Czechosl., 1987, v. 38, № 4, pp. 222-234.
6. Кохи́рова Г.И., Бабаджанов П.Б., Хамроев У.Х. Болидная сеть Таджикистана и результаты фотографических наблюдений. – Астрон. Вестник, 2015, т.49, № 4, с.312-320. (Kokhirova G. I., Babadzhанov P.B., Khamroev U.Kh. Tajikistan fireball network and results of photographic observations). – Solar System Research, 2015, v. 49, № 4, pp. 275-283.
7. Кохи́рова Г.И., Бабаджанов П.Б., Хамроев У.Х. Результаты фотографических наблюдений болидной сети в Таджикистане. – В: Сборник трудов международной конф. "V Бредихинские чтения", 12-16 мая 2014 г, Заволжск, РФ, под ред.: М.Е. Сачкова, А.П. Карташовой, В.В. Емельяненко. – М.: изд. Янус-К, 2015b, с. 116-131.
8. Ceplecha Z., McCrosky R.E. J. Fireball end heights-A diagnostic for the structure of meteoric material. – J.Geophys.Res., 1976, v.81, № 35, pp. 6257-6275.
9. Кохи́рова Г.И., Бабаджанов П.Б. Траектории, радианты, орбиты, кривые блеска болидов, сфотографированных болидной сетью Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2018, 154 с.
10. Kokhirova G.I., Borovicka J. Observations of the 2009 Leonid activity by the Tajikistan fireball network. – Astron. and Astrophys., 2011b, v. 533, pp. A115-A120.
11. Бабаджанов П.Б., Крамер Е.Н. Методика и некоторые результаты фотографических исследований метеоров. Ионосфера и метеоры. 5 раздел программы МГГ, № 12/Отв.ред. В.В. Федынский. – М.: Изд-во АН СССР, 1963, 144 с. (Результаты исследований по программе МГГ).
12. Катасев Л.А. Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. – Л.: Гидрометеиздат, 1966, 336 с.

Г.И.ҚОҲИРОВА, С.П.ЛИТВИНОВ, У.Ҳ.ҲАМРОЕВ, М.Н.ЛАТИПОВ,  
А.И.ҶОНМУҲАММАДИ

## НАТИҶАҶОИ МУШОҶИДАҶОИ БОЛИДҶО ДАР ТОҶИКИСТОН

### *Институти астрофизикаи АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Натиҷаҳои коркарди астрометрӣ ва фотометрии 28 болид оварда шудаанд. Аз онҳо 11 болид дар вақти мушоҳидаҳои болиди дар солҳои 2017-2018 ва 17 болид дар солҳои 2006-2013 ба қайд гирифта шудаанд. Траекторияҳои атмосферӣ, суръатҳо, радиантҳо, мадорҳо, дурахшонӣ, ва қачии дурахшонӣ инчунин таалуқи онҳо ба селҳои маълум муайян карда шуд.

**Калимаҳои калидӣ:** сели метеорӣ, болид, траекторияи атмосферӣ, радиант, мадор, дурахшонӣ.

G.I.KOKHIROVA, S.P.LITVINOV, U.KH.KHAMROEV, M.N.LATIPOV,  
A.I.JONMUKHAMMADI

## **THE RESULTS OF FIREBALL OBSERVATIONS IN TAJIKISTAN**

*Institute of Astrophysics of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

The results of astrometric and photometric reduction of 28 fireballs are presented. From them 11 fireballs were photographed during observations in 2017-2018 and 17 fireballs were registered in 2006-2013. The atmospheric trajectories, velocities, radiants, orbits, brightness and light curves of meteoroids were determined, as well as a belonging to known meteor showers was established.

**Key words:** meteor shower, fireball, atmospheric trajectory, radiant, orbit, brightness.



УДК 538.9, 517.9

Х.Х.МУМИНОВ, Ш.Ф.МУХАМЕДОВА

**О БРИЗЕРАХ СКАЛЯРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ  
ШРЕДИНГЕРА**

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

*Поступила в редакцию 18.03.2019 г.*

*Методами численного моделирования проведен анализ эволюции многосолитонного решения скалярного нелинейного уравнения Шредингера с убывающими граничными условиями. Наблюдается формирование устойчивого двухсолитонного решения, проявляющего бризерную динамику при ненулевой скорости движения.*

**Ключевые слова:** бризер, скалярное нелинейное уравнение Шредингера, убывающие граничные условия.

Скалярное нелинейное уравнение Шредингера (СНУШ) является нелинейной моделью математической физики, моделирующей взаимодействие конечного числа волн и волновых пакетов. Оно является вполне интегрируемым как на классическом, так и на квантовом уровнях [1]

$$i \psi_t + \psi_{xx} + u(x, t)\psi = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) является очень популярной моделью, которая находит широкие приложения как в физике конденсированного состояния для описания нелинейных возмущений в бозе-эйнштейновском конденсате, так и в различных областях нелинейной оптики и в физике плазмы.

В данной работе мы рассмотрим СНУШ с убывающими граничными условиями следующего вида

$$i \varphi_t - \varphi_{xx} - \lambda |\varphi|^2 \varphi = 0. \quad (2)$$

---

*Адрес для корреспонденции:* Муминов Хикмат Халимович, Мухамедова Шоира Файзуллоевна, 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: muminov.khikmat@mail.ru, shoirra74@mail.ru.

Это уравнение хорошо известно, оно описывает бозе-конденсат с притяжением, его солитонное решение было найдено методом обратной задачи рассеяния [2]. Решения в виде белл-солитонов хорошо известны и исследованы. Они находят широкие приложения в различных областях нелинейной физики. Вместе с тем практически ничего неизвестно о бризерных решениях данного уравнения. Попробуем ответить на этот вопрос, решая это уравнение с использованием конечнозонного метода интегрирования Кричевера, Захарова, Шабата [3]. Многосолитонное решение уравнения (2), убывающее при  $|x| \rightarrow \infty$ , получается в следующем виде

$$\varphi = \gamma_1 \psi_1 + \gamma_2 \psi_2, \quad (3)$$

где

$$\psi_1 = \frac{A_1 e^{iW_1(x,t)-P_1(x,t)} + A_2 \sinh(P_2(x,t) + h_1) e^{iW_1(x,t)}}{A_3 \cosh(P_2(x,t) - P_1(x,t) + h_2) + A_4 \cosh(P_2(x,t) + P_1(x,t) + h_3) +$$

$$\overline{A_5 \cos(W_2(x,t) - W_1(x,t) + h_4)'}}$$

$$\psi_2 = \frac{A_6 e^{iW_1(x,t)-P_1(x,t)} + A_7 \sinh(P_2(x,t) + h_5)}{A_3 \cosh(P_2(x,t) - P_1(x,t) + h_2) + A_4 \cosh(P_2(x,t) + P_1(x,t) + h_3) +$$

$$\overline{A_5 \cos(W_2(x,t) - W_1(x,t) + h_4)'}}$$

$$W_1(x,t) = \alpha_1 x + (\alpha_1^2 - \beta_1^2)t, \quad W_2(x,t) = \alpha_2 x + (\alpha_2^2 - \beta_2^2)t,$$

$$P_1(x,t) = \beta_1(x + 2\alpha_1 t), \quad P_2(x,t) = \beta_2(x + 2\alpha_2 t),$$

$$h_1 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\kappa_{21}}{\kappa_{11} \kappa_{22} C_{22}} \right|, \quad h_2 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{C_{11} \kappa_{11}}{\kappa_{22} C_{22}} \right|,$$

$$h_3 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{(C_{12} C_{21} - C_{11} C_{22}) |\kappa_{12}|^2 \kappa_{21} \kappa_{22}}{|\overline{\kappa_{12}}|^2} \right|,$$

$$h_4 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{C_{12} \kappa_{12}}{\kappa_{21} C_{21}} \right|, \quad h_5 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\overline{\kappa_{12}}}{\kappa_{21} \kappa_{11} C_{11}} \right|,$$

$$\kappa_1 = \alpha_1 + i\beta_1, \kappa_2 = \alpha_2 + i\beta_2, \kappa_{ij} = \kappa_i - \bar{\kappa}_j, \bar{\kappa}_{ij} = \bar{\kappa}_i - \kappa_j,$$

$$A_1 = \frac{C_{12}}{2}, A_2 = \left( \frac{\bar{\kappa}_{21} C_{22}}{\kappa_{12} \kappa_{21}} \right)^{1/2}, A_3 = \left( \frac{C_{11} C_{22}}{\kappa_{11} \kappa_{22}} \right)^{1/2},$$

$$A_4 = \left[ \frac{(C_{12} C_{21} - C_{11} C_{22}) |\kappa_{12}|^2}{|\bar{\kappa}_{12}|^2 \kappa_{11} \kappa_{22}} \right]^{1/2},$$

$$A_5 = - \left( \frac{C_{12} C_{21}}{\kappa_{21} \kappa_{21}} \right)^{\frac{1}{2}}, A_6 = \frac{1}{2} C_{21}, A_7 = \left( \frac{\bar{\kappa}_{12} C_{11}}{\kappa_{12} \kappa_{21}} \right).$$

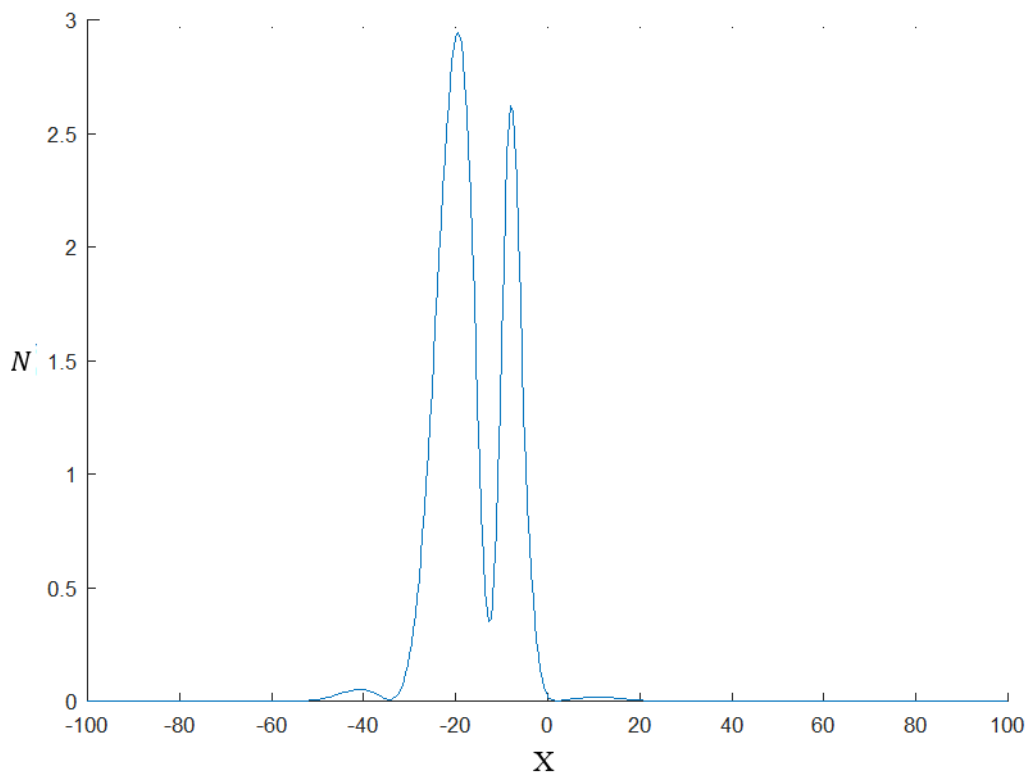
Интеграл числа частиц  $N$  и гамильтониан  $H$  уравнения (2) определяются следующим образом:

$$N = \int |\psi|^2 dx, H = \int (|\psi_x|^2 - (\lambda |\phi|^2)^2) dx. \quad (4)$$

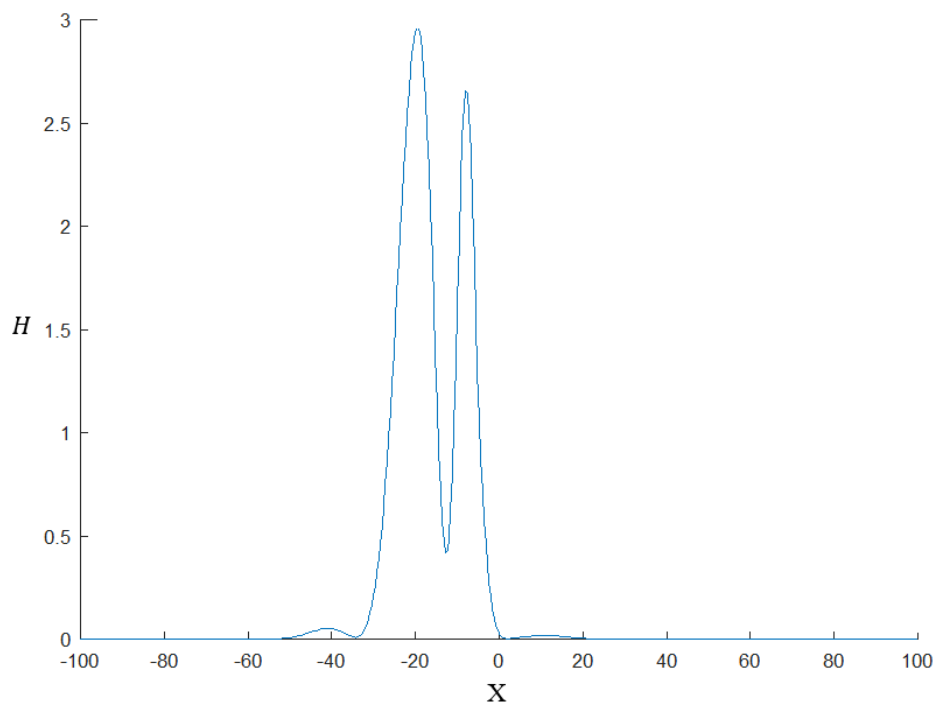
Следует отметить, что двухсолитонные решения (3) скалярного нелинейного уравнения Шредингера с убывающими граничными условиями (2) до сих пор не были достаточно тщательно изучены, не рассматривались вопросы их устойчивости, практически не проводился анализ динамики этих солитонов.

Для проведения анализа эволюции решения (3) скалярного НУШ с убывающими граничными условиями (2) на основе теории разностных схем (см. напр. [4]) разработан комплекс компьютерных программ численного моделирования. Использовалась явная трехслойная разностная схема явного типа, так называемая схема “leap-frog” с условием устойчивости  $\tau \leq \frac{h^2}{4}$ , где  $\tau$  – шаг по времени,  $h$  – шаг по координате. Интеграл энергии в тестовых вычислениях сохранялся с относительной точностью  $\Delta E/E \approx 10^{-3} - 10^{-4}$ , а интеграл числа частиц  $\Delta N/N \approx 10^{-4} - 10^{-5}$ .

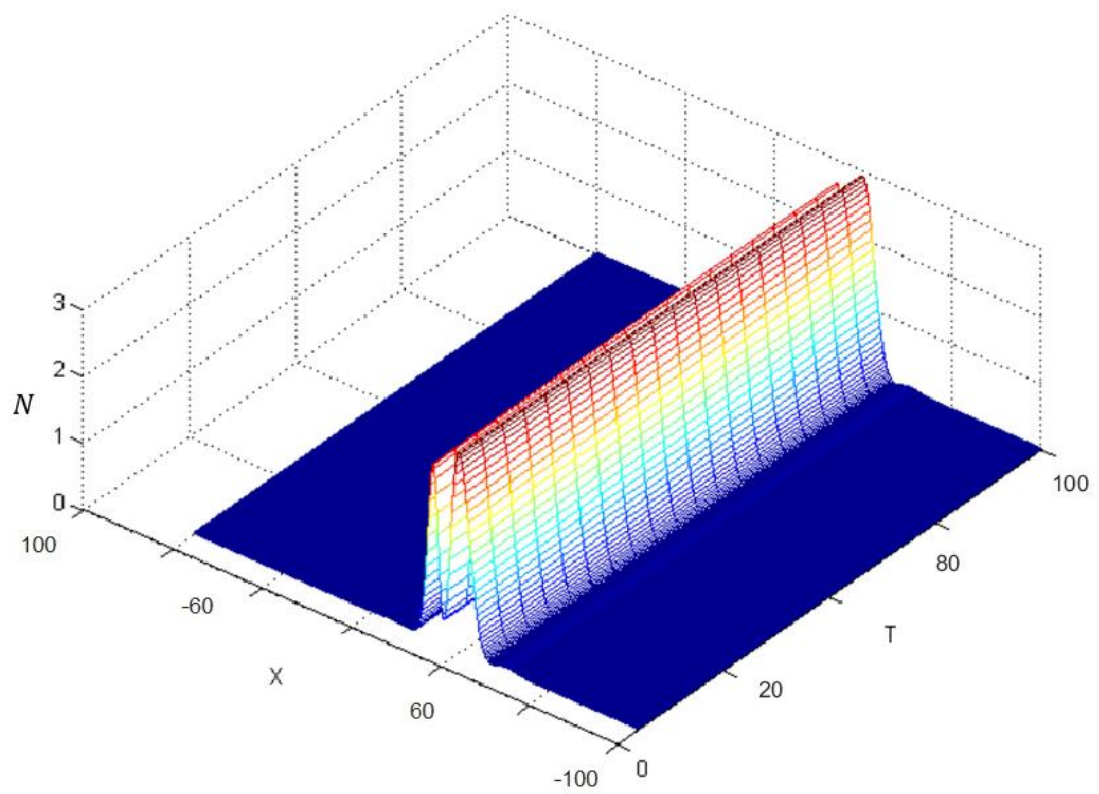
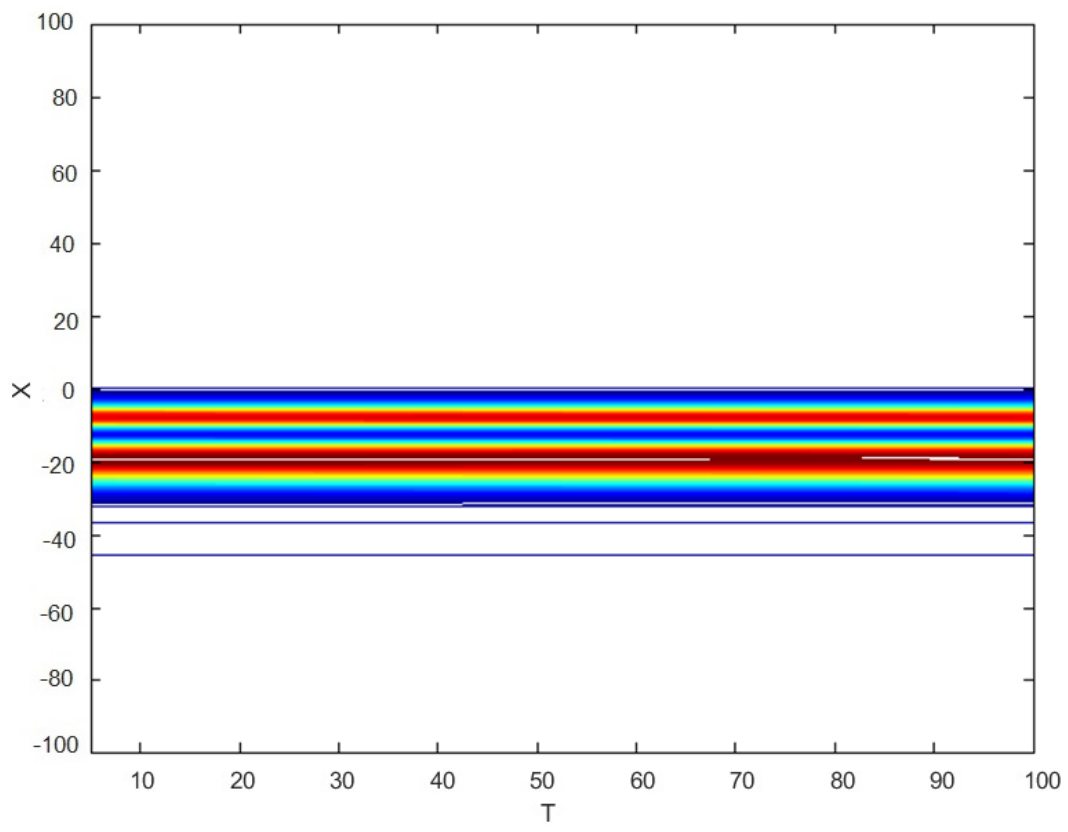
Численное моделирование и анализ эволюции многосолитонного решения (3) проводились в широком интервале изменения параметров  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \lambda, \gamma_1$  и  $\gamma_2$  и демонстрировали устойчивость солитона, при сохранении его формы, на значительных временах численного интегрирования. Результаты наиболее корректных численных экспериментов при значениях параметров  $b = 1, \alpha_1 = 0.29, \alpha_2 = 1, \beta_1 = 0.096, \beta_2 = 0.1, \gamma_1 = 1.2, \gamma_2 = 1.2, \lambda = 1, k_1 = 0.05$  на интервале  $[-100, 100]$  до времен  $t=80$  приведены при нулевой скорости на рис. 1-4.



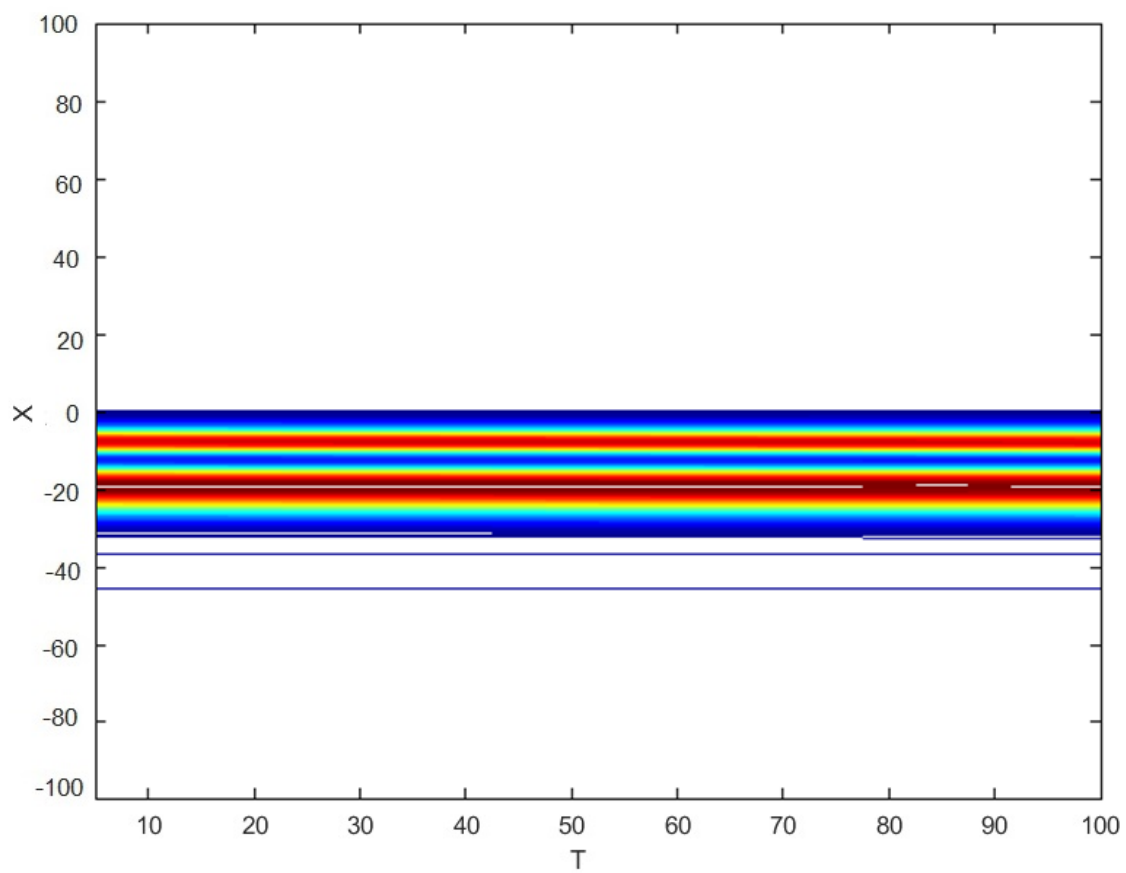
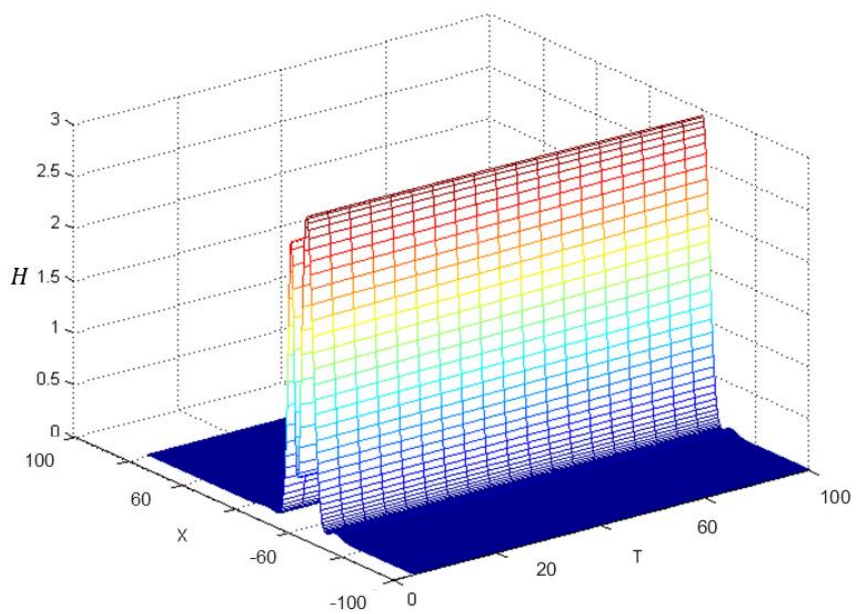
**Рис. 1.** График плотности числа частиц при  $t=0$ .



**Рис. 2.** График плотности энергии солитона при  $t=0$ .



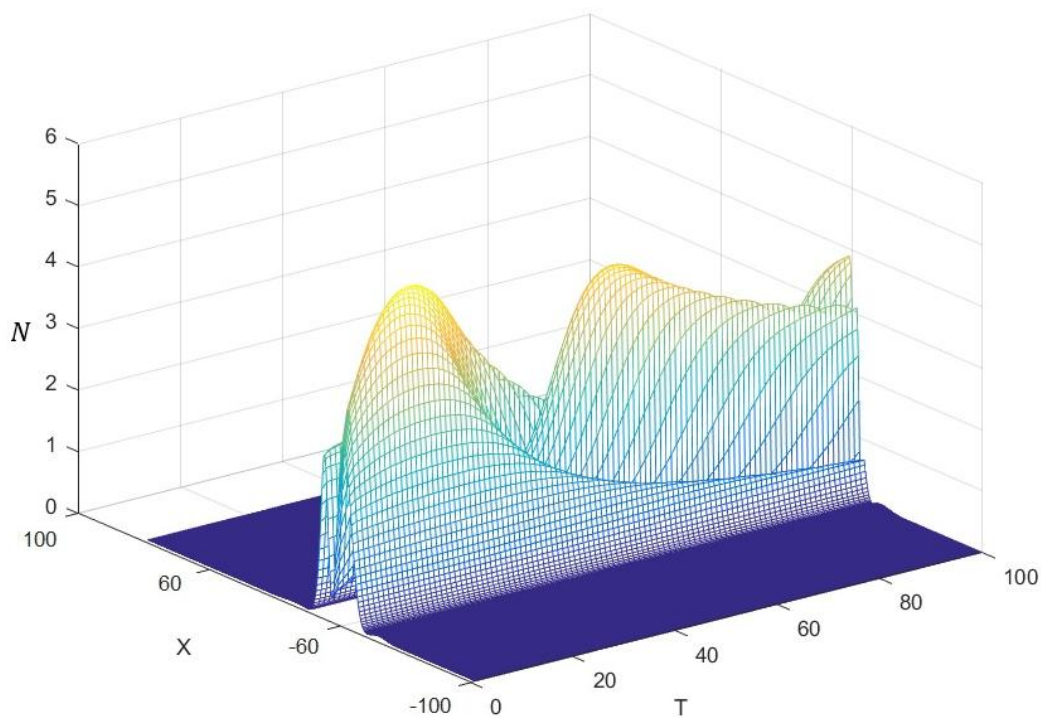
**Рис. 3.** График эволюции плотности числа частиц солитона.



**Рис. 4.** График эволюции плотности энергии солитона.

Таким образом, численное моделирование двухсолитонного решения (3) при нулевой скорости поступательного движения его центра масс демонстрирует отсутствие бризерной динамики, то есть солитон представляет собой два связанных стационарных, неподвижных «горба».

Второй этап моделирования заключался в численном моделировании решения (3) при ненулевой скорости его движения. Как показывает серия численных экспериментов, картина эволюции многосолитонного решения в этом случае отличается кардинальным образом. Мы выбирали интервал изменения скорости движения центра масс многосолитонного решения в пределах от 0 до 0.5 с шагом 0.01. На графиках ниже приведены наиболее характерные результаты численного моделирования, имеющее место при  $v=0.12$  (рис. 5-8).



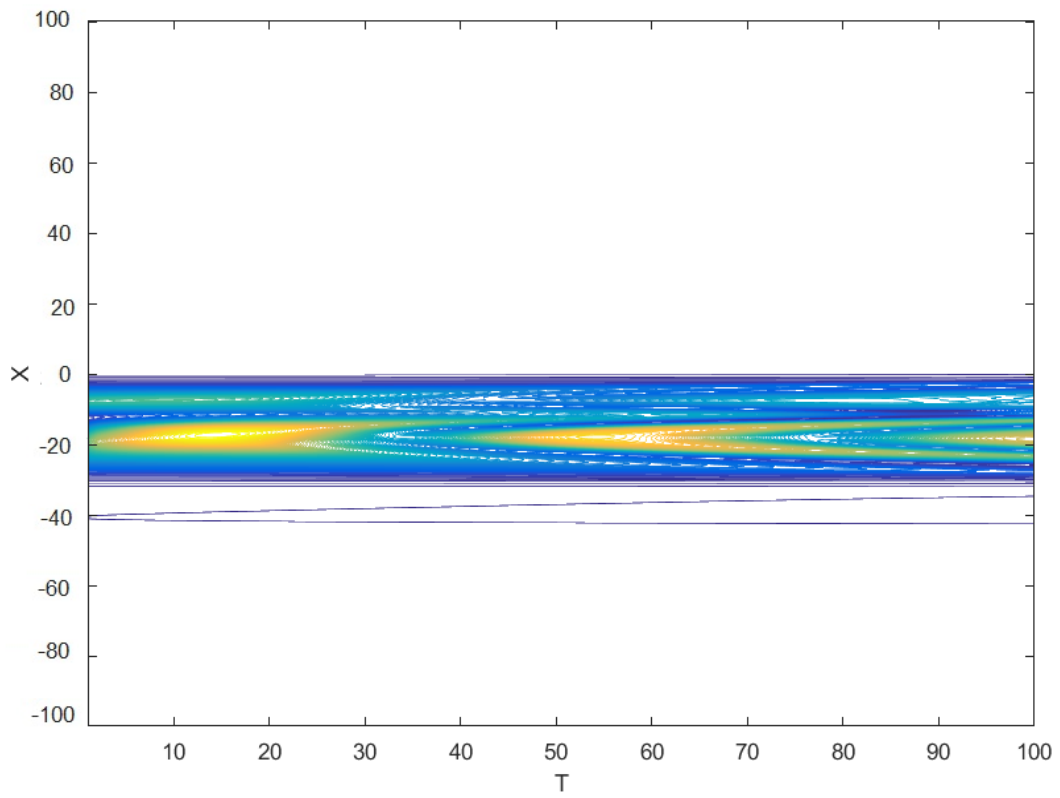
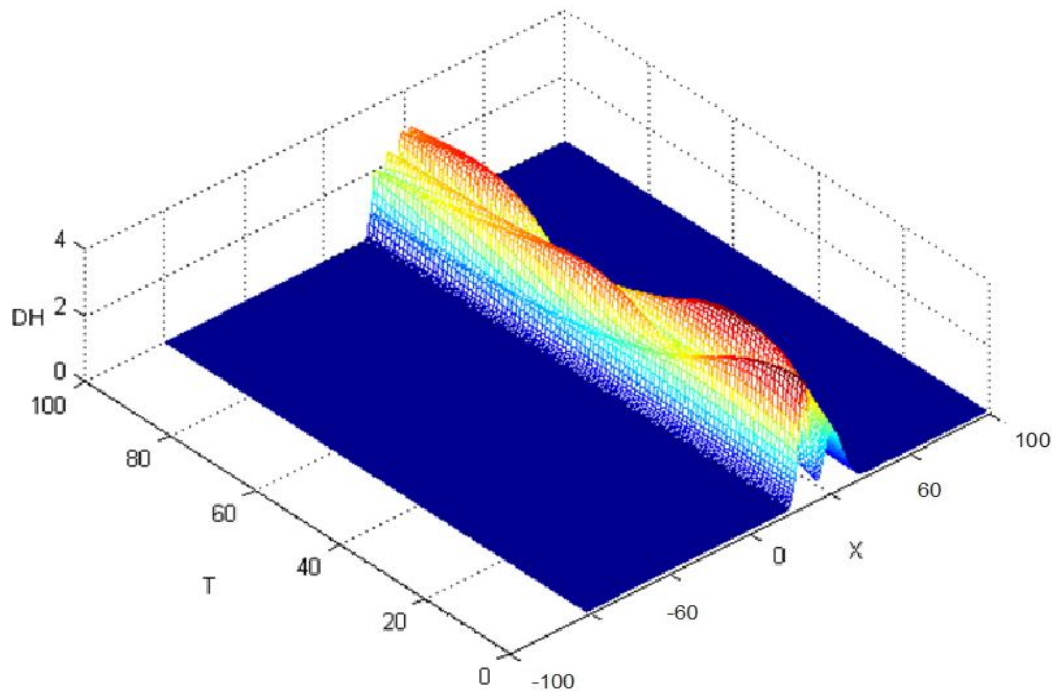
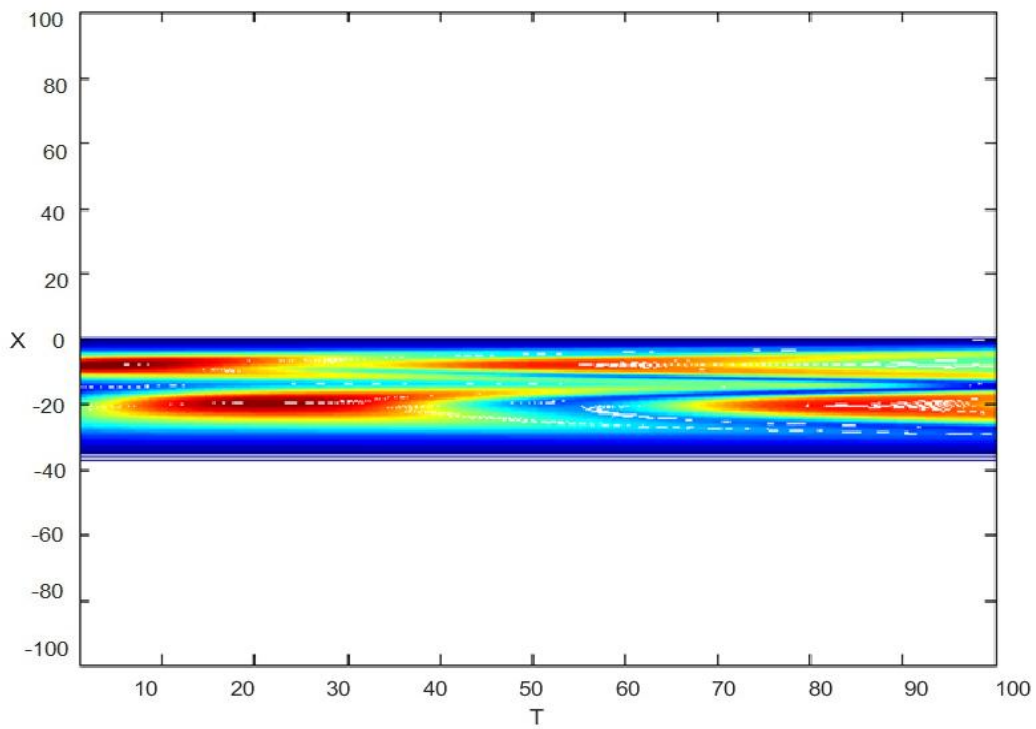


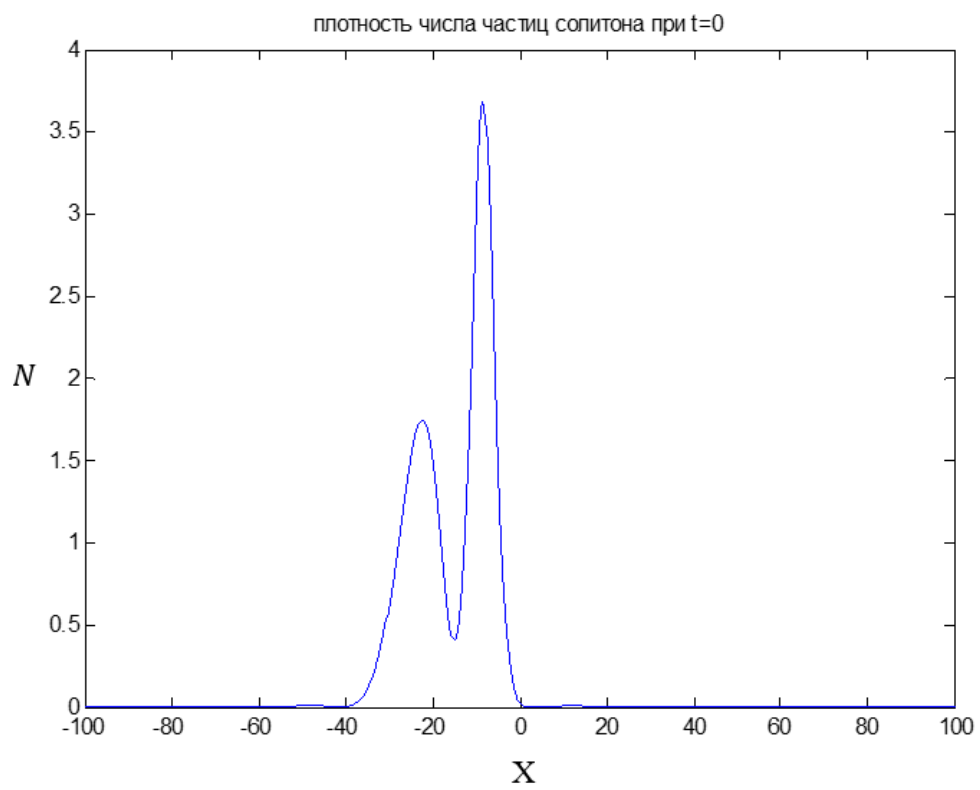
Рис. 5. График эволюции плотности числа частиц солитона ( $v=0.12$ ).

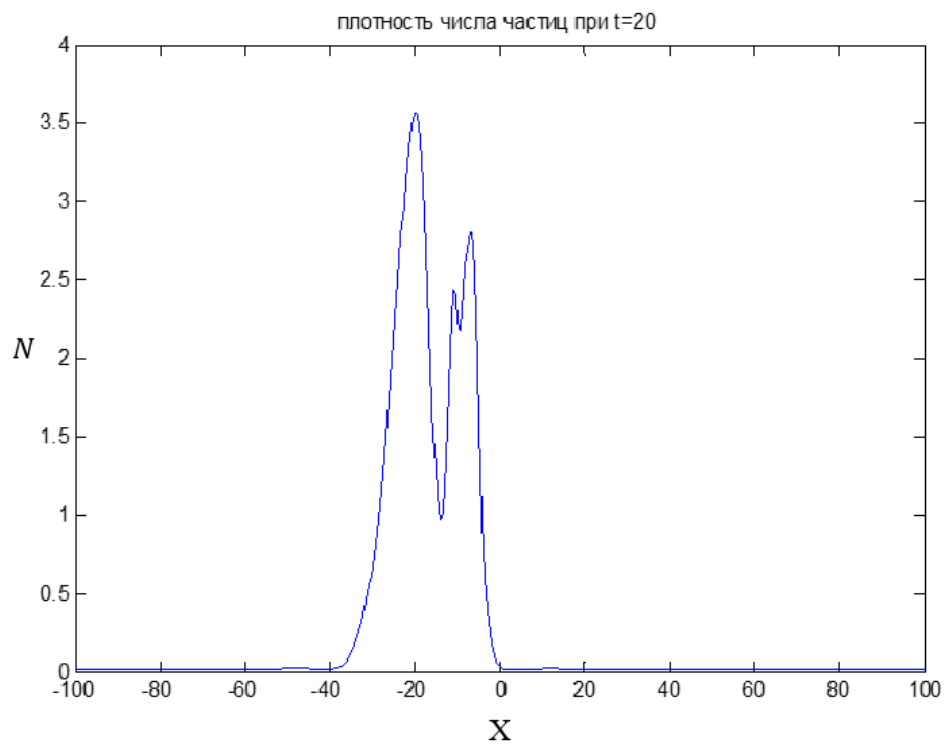
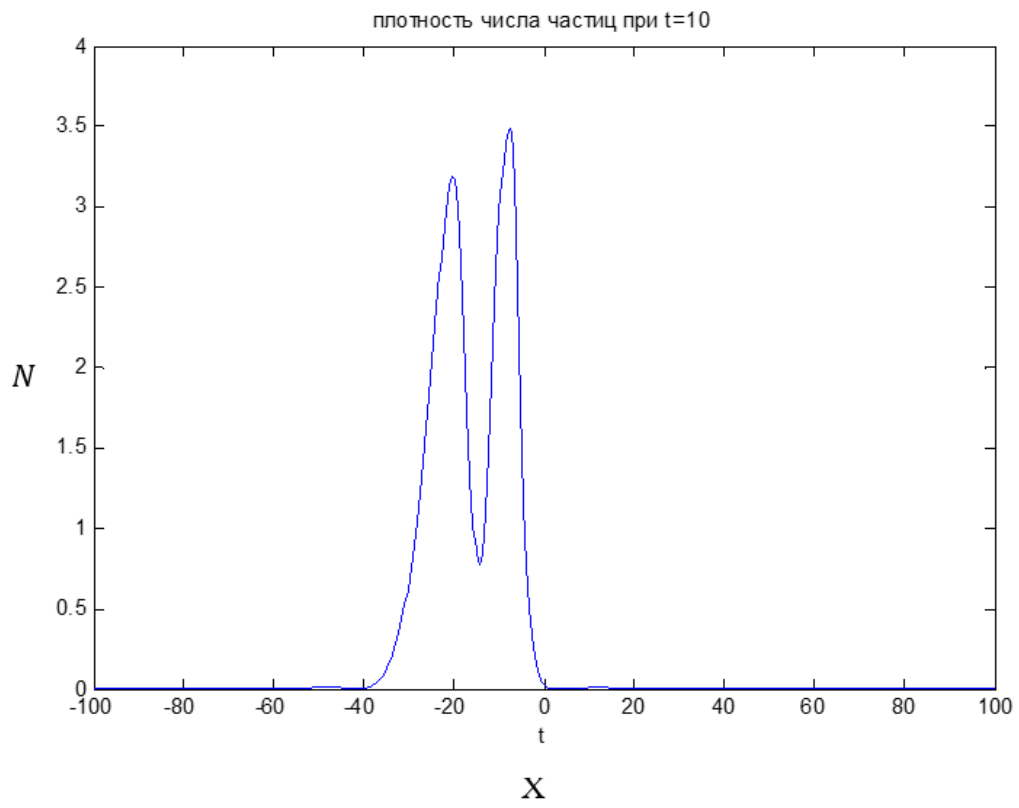






**Рис. 6.** График эволюции плотности энергии солитона ( $\nu=0.12$ ).





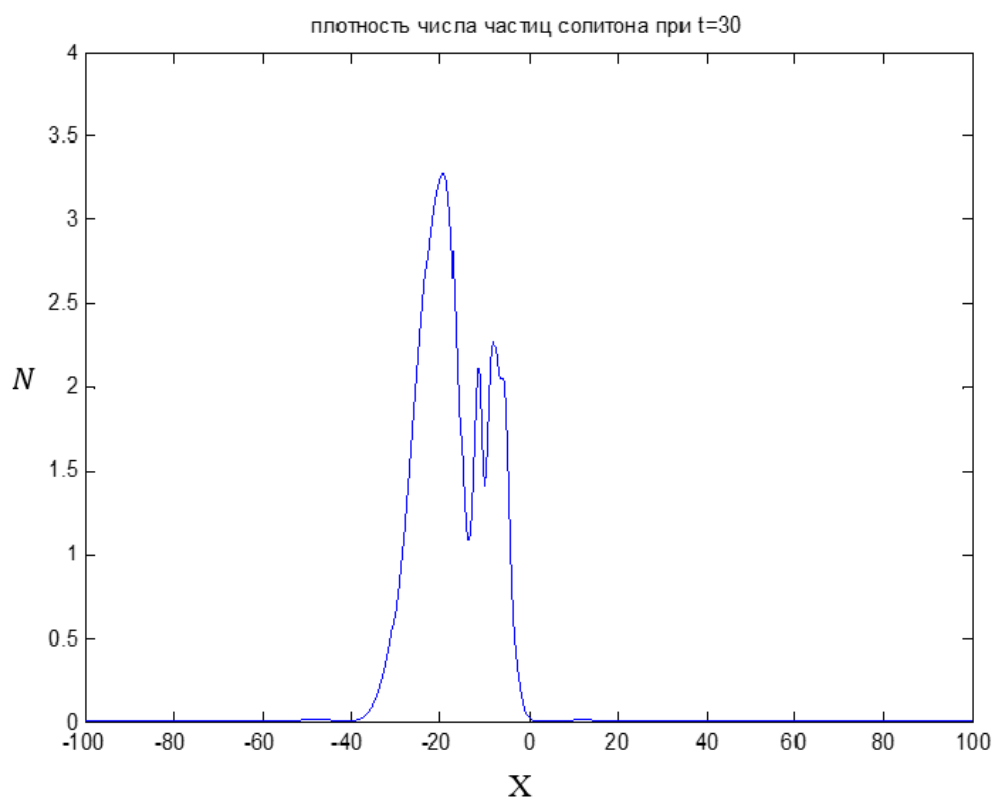
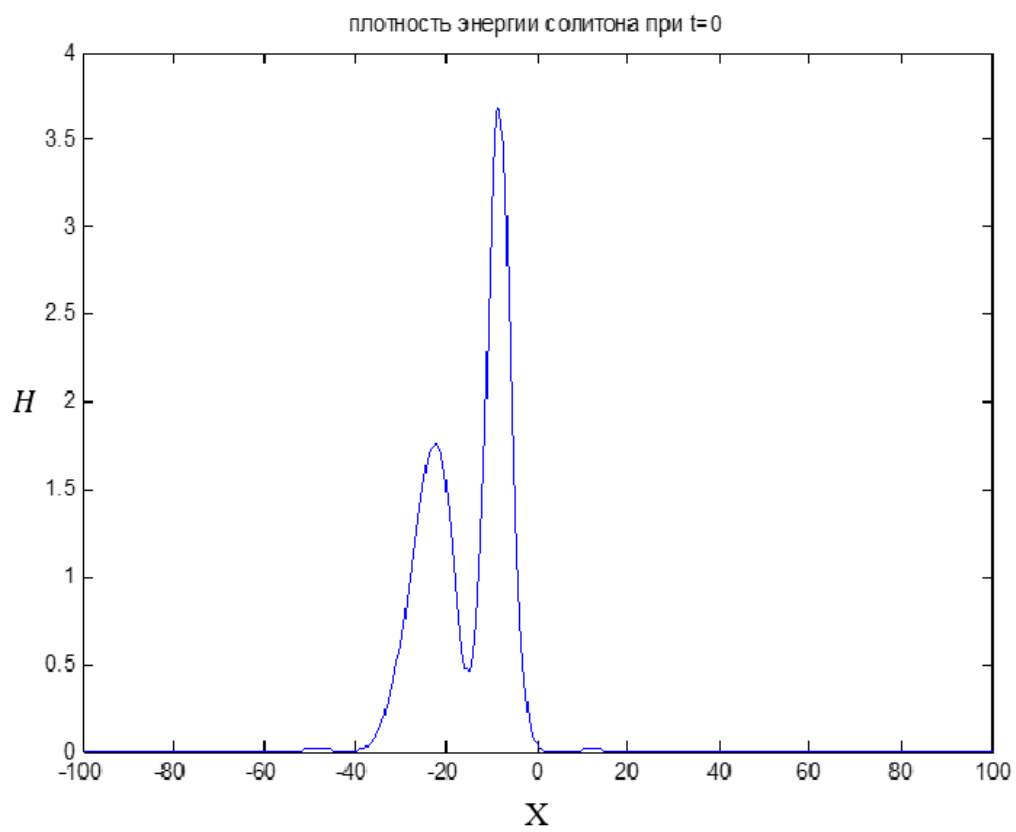
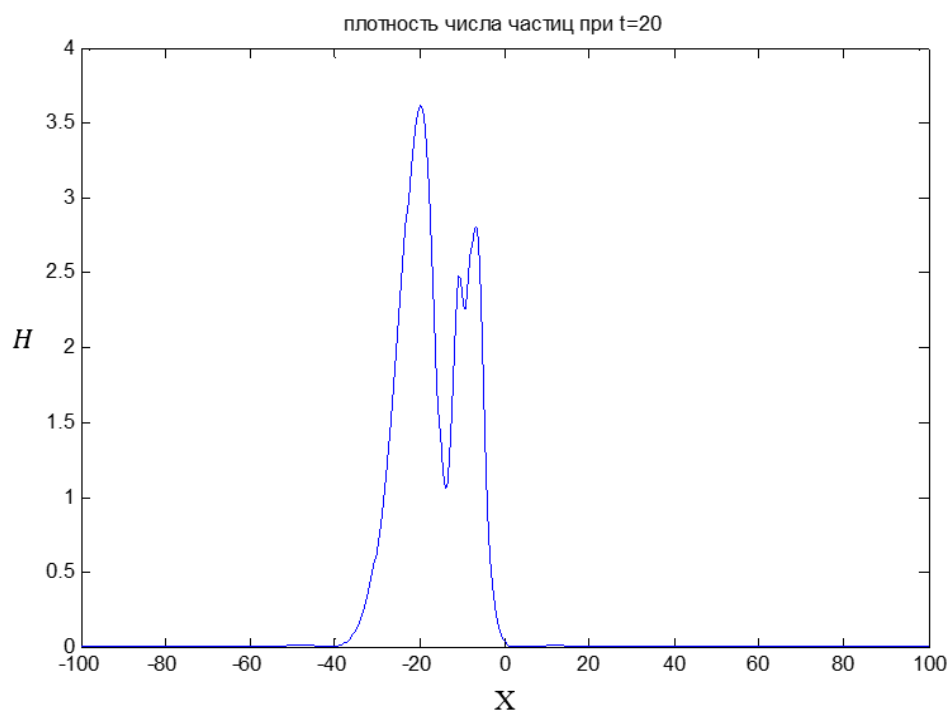
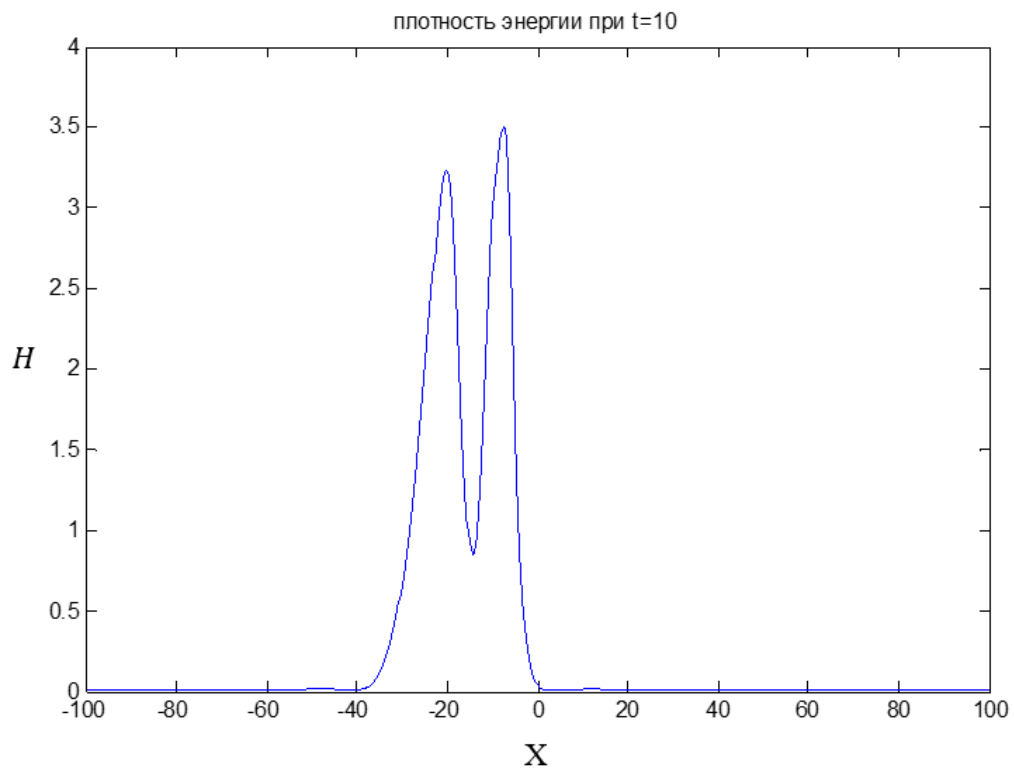
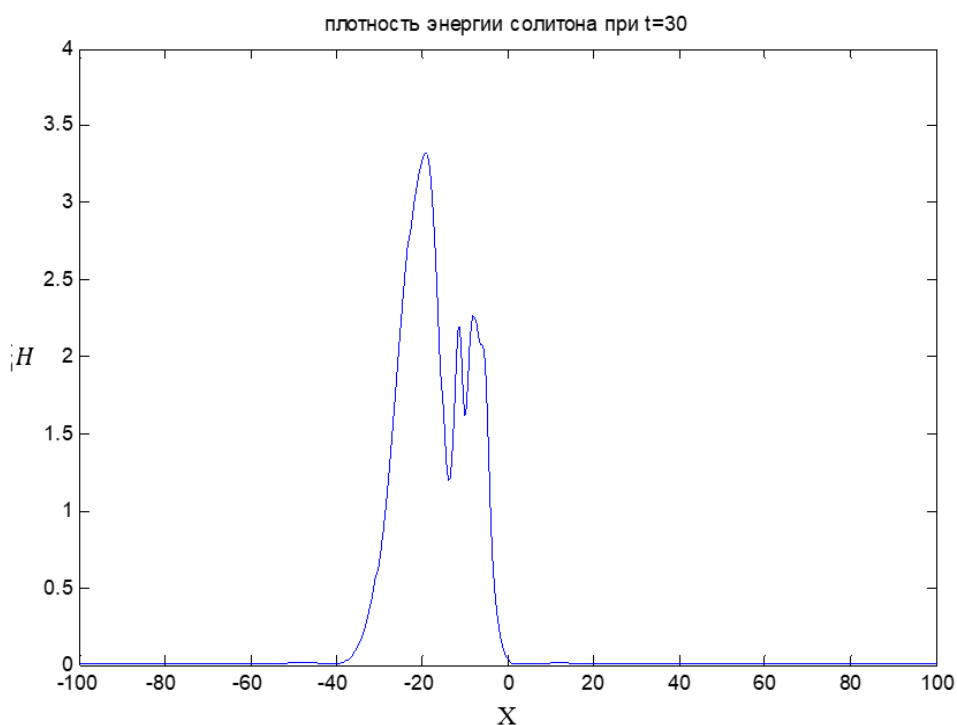


Рис. 7. Графики плотности числа частиц солитона при разных моментах времени  $t$  ( $v=0.12$ ).







**Рис. 8.** Графики плотности энергии солитона при разных моментах времени  $t$  ( $v=0.12$ ).

Таким образом, проведенный цикл численных экспериментов показывает, что двухсолитонное решение (2) скалярного нелинейного уравнения Шредингера с убывающими граничными условиями (1), построенное алгебро-геометрическим методом, демонстрирует устойчивость в численных экспериментах, а динамика внутренних степеней свободы носит характер бризерного типа [5], хотя и проявляется исключительно при наличии ненулевой скорости солитона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровин Б.А., Маланюк Т.М., Кричевер И.М., Маханьков В.Г. Точные решения нестационарного уравнения Шредингера с самосогласованными потенциалами. – ЭЧАЯ, 1988, т. 19, в. 3, с. 579.
2. Makhankov V.G., Fedyanin V.K. – Phys. Rep., 1984, v.104, pp. 1-86.
3. Захаров В.Е., Манаков С.В., Новиков С.П., Питаевский Л.П. Теория солитонов: Метод обратной задачи. – М., Наука, 1980, 320 с.
4. Маханьков В.Г. Солитоны и численный эксперимент. – ЭЧАЯ, 1983, т.14, в.1, с. 123-180.
5. Akhmediev N., Ankiewicz A. Dissipative Solitons. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

Ҳ.Ҳ.МУМИНОВ, Ш.Ф.МУҲАМЕДОВА  
**ОИД БА БРИЗЕРҲОИ МУОДИЛАИ СКАЛЯРИИ ҒАЙРИХАТТИИ  
ШРЁДИНГЕР**

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

Тавассути усули амсиласозии ададӣ таҳлили эволютсияи ҳалли бисёрсолитонии муодилаи скалярии ғайрихатти Шрёдингер бо шартҳои сарҳадии таназзулбанда гузаронида шудааст. Ташаккули ҳалли устувори ду-солитона мушоҳида мегардад, ки ҳангоми суръати ғайрисифрии ҳаракаташ динамикаи бризериро зоҳир менамояд.

**Калимаҳои калидӣ:** бризер, муодилаи скалярии ғайрихатти Шрёдингер, шартҳои сарҳадии таназзулбанда.

Kh.Kh.MUMINOV, Sh.F.MUHAMEDOVA  
**ON THE BREATHERS OF THE SCALAR NONLINEAR SCHRÖDINGER  
EQUATION**

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

By use of numerical simulation methods, the evolution of the multisoliton solution of the scalar nonlinear Schrödinger equation with vanishing boundary conditions is analyzed. The formation of a stable two-soliton solution is observed, which demonstrates breather dynamics at a non-zero velocity of motion.

**Key words:** breather, scalar nonlinear Schrödinger equation, vanishing boundary conditions.

УДК 551.521.3, 551.583

Ш.Х.ХАЛИФАЕВА\*, В.А.МАСЛОВ\*, Б.И.НАЗАРОВ\*, Ф.РАХИМИ, С.Ф.АБДУЛЛАЕВ\*

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СОСТАВЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ  
ЮГО-ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТАДЖИКИСТАНА**

*Президиум АН Республики Таджикистан,*

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

*Поступила в редакцию 09.12.2019 г.*

*Рассматривается содержание тяжелых металлов в пробах атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана, приводится статистика содержания тяжелых металлов в составе пылевого аэрозоля. Приведены межгодовые вариации содержания As, Pb и Zn в составе атмосферного аэрозоля, создана карта мест сбора проб, построены обратные траектории для вышеуказанных тяжелых металлов.*

**Ключевые слова:** атмосферный аэрозоль, тяжелые металлы, обратная траектория.

Загрязняющие вещества могут быстрее и на относительно большие расстояния переноситься с атмосферным аэрозолем, чем с другими средами, такими как вода, почва и биота [1]. Тем не менее, лишь в немногих исследованиях четко оценены экологические последствия такого переноса, оставляя этот фундаментальный транспортный механизм недостаточно изученным. Среди загрязняющих атмосферу веществ тяжелые металлы (включая мышьяк, свинец, кадмий, цинк) и их соединения отличаются своей распространенностью, высокой токсичностью, многие из них способны накапливаться в живых организмах. Они широко используются на различных промышленных предприятиях, поэтому, несмотря на меры по очистке, содержание соединений тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое. Тяжелые металлы также попадают в окружающую среду с бытовыми сточными водами, с дымом и пылью промышленных предприятий [2]. Некоторые тяжелые металлы, такие как железо, медь, цинк, молибден участвуют в биологических процессах и в определенных количествах, как микроэлементы, необходи-

---

*Адрес для корреспонденции: Абдуллаев Сабур Фузайлович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт им.С.У.Умарова АН РТ.  
E-mail: sabur.f.abdullaev@gmail.com*

мы для функционирования растений, животных и человека. Но их соединения могут оказывать плохое воздействие на организм человека, накапливаясь в тканях и вызывая ряд заболеваний. Токсичные свинец и ртуть не играют полезной роли в биологических процессах. Некоторые элементы, такие, как ванадий или кадмий, могут быть иногда полезны, но обычно оказывают токсическое воздействие на живые организмы [3]. Выявление источников поступления тяжелых металлов в окружающую среду является важным фактором для понимания процессов миграции и аккумуляции этих металлов [4].

Целью исследования является изучение содержания тяжелых металлов в пробах атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана, включая статистический анализ и межгодовую вариацию содержания ТМ.

В табл. 1 и 2 представлены статистические данные по содержанию тяжелых металлов в пробах атмосферного аэрозоля юго-центральной части Таджикистана. Из таблиц видно, что самое высокое содержание свинца весной 2014 г., мышьяка летом 2010 г., цинка осенью 2013 г. – наблюдались в Айвадже. Стоит подчеркнуть, что эти металлы относятся к первому классу опасности. Обнаружена сильная миграция в атмосфере элементов V, Cr, Co, Cu и соединения TiO<sub>2</sub>. Малое содержание в аэрозоле таких элементов как Ni, MnO<sub>2</sub>, свидетельствуют о слабой миграции этих элементов с атмосферной пылью.

Таблица 1

Статистика содержания тяжелых металлов первого и второго классов опасности в атмосферном аэрозоле юго-центральной части Таджикистана

| Параметр                           | Элементы 1-го класса опасности |                     |                           | Элементы 2-го класса опасности |                    |                     |                    |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                                    | Zn                             | As                  | Pb                        | Cr                             | Ni                 | Co                  | Cu                 |
| <C>                                | 167.45                         | 25.3                | 35.41                     | 97.91                          | 31.4               | 18                  | 128.24             |
| C <sub>max</sub>                   | 2490                           | 195                 | 232.07                    | 111.74                         | 69.82              | 278.86              | 1908               |
| C <sub>min</sub>                   | 7.51                           | 2.63                | 4.8                       | 6.64                           | 11.6               | 1.96                | 31.3               |
| σ                                  | 272.72                         | 36.41               | 35.91                     | 13.77                          | 10.53              | 4.1                 | 365.2              |
| V                                  | 1.63                           | 1.44                | 1.01                      | 0.14                           | 0.34               | 0.23                | 2.85               |
| S <sub>n</sub>                     | 3.1                            | 0.41                | 0.41                      | 0.16                           | 0.12               | 0.05                | 4.15               |
| I                                  | 3.9                            | 2.68                | 9.16                      | 3.3                            | 0.85               | 2.61                | 1.45               |
| t <sub>c</sub>                     | 2.73                           | 2.73                | 2.73                      | 2.73                           | 2.73               | 2.73                | 2.73               |
| δ                                  | 79.4                           | 10.6                | 10.45                     | 44.01                          | 3.06               | 1.19                | 106.3              |
| C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub> | 331.47                         | 74.11               | 48.44                     | 16.83                          | 6.02               | 142.3               | 60.96              |
| <C>/C <sub>min</sub>               | 22.3                           | 9.60                | 7.39                      | 14.75                          | 2.71               | 9.2                 | 4.1                |
| C <sub>max</sub>                   | 2490                           | 195                 | <u>232.26</u>             | 111.74                         | 69.82              | 278.86              | 1908               |
|                                    | 15.10.13<br>Айвадж             | 13.07.10<br>Айвадж  | <u>26.04.14</u><br>Айвадж | 23.07.10<br>Айвадж             | 16.09.09<br>Айвадж | 03.07.19<br>Душанбе | 25.08.10<br>Айвадж |
| C <sub>min</sub>                   | 7.5                            | 2.63                | 4.8                       | 6.64                           | 11.6               | 1.96                | 31.3               |
|                                    | 03.07.19<br>Душанбе            | 03.07.19<br>Душанбе | 25.09.09<br>Айвадж        | 21.05.11<br>Айвадж             | 03.08.15<br>Айвадж | 06.05.11<br>Айвадж  | 06.05.11<br>Айвадж |

**Примечание (здесь и далее):** <C> – среднее содержание элементов в пробе атмосферного аэрозоля ррт (мг/кг), C<sub>max</sub> – максимальное содержание элементов в пробе (ррт), C<sub>min</sub> – минимальное содержание элементов в пробе, ррт; σ – среднеквадратичное отклонение; S<sub>n</sub> – погрешность; I – интегральный индекс загрязнения; C<sub>max</sub>/C<sub>min</sub> – отношение максимальной концентрации к фоновой (в качестве фонового значения принято минимальное содержание элементов), t<sub>c</sub> – критерий Стьюдента, δ – доверительный интервал.



Таблица 2

Статистика содержания тяжелых металлов третьего класса опасности  
в аэрозоле юго-центральной части Таджикистана.

| Параметр                           | Элементы 3-го класса опасности |                     |                      |                     |                                    |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|
|                                    | V                              | MnO                 | TiO <sub>2</sub> (%) | Sr                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) |
| <C>                                | 70.57                          | 621.4               | 0.68                 | 192.75              | 4.24                               |
| C <sub>max</sub>                   | 163.7                          | 1040                | 4.91                 | 416                 | 64.34                              |
| C <sub>min</sub>                   | 3                              | 0.91                | 0.25                 | 94.4                | 2.3                                |
| σ                                  | 24.01                          | 160.2               | 3.37                 | 113.94              | 7.41                               |
| V                                  | 0.34                           | 0.26                | 4.94                 | 0.6                 | 1.74                               |
| Sn                                 | 0.27                           | 1.82                | 0.04                 | 1.3                 | 0.08                               |
| I                                  | 7.14                           | 8.85                | 0.87                 | 0.44                | 0.3                                |
| t <sub>c</sub>                     | 2.73                           | 2.73                | 2.73                 | 2.73                | 2.73                               |
| δ                                  | 7                              | 46.63               | 0.98                 | 33.17               | 2.16                               |
| C <sub>max</sub> /C <sub>min</sub> | 54.57                          | 1155.56             | 19.77                | 4.41                | 28                                 |
| <C>/C <sub>min</sub>               | 23.52                          | 690.45              | 2.75                 | 2.04                | 1.85                               |
| C <sub>max</sub>                   | 163.7                          | 1040                | 4.91                 | 416                 | 64.35                              |
|                                    | 12.08.19<br>Душанбе            | 03.10.07<br>Душанбе | 20.08.2009<br>Айвадж | 01.06.10<br>Айвадж  | 03.07.19<br>Душанбе                |
| C <sub>min</sub>                   | 3                              | 0.9                 | 0.24                 | 94.4                | 2.3                                |
|                                    | 19.03.10<br>Айвадж             | 03.07.19<br>Душанбе | 03.08.15<br>Айвадж   | 12.08.19<br>Душанбе | 03.08.15<br>Айвадж                 |

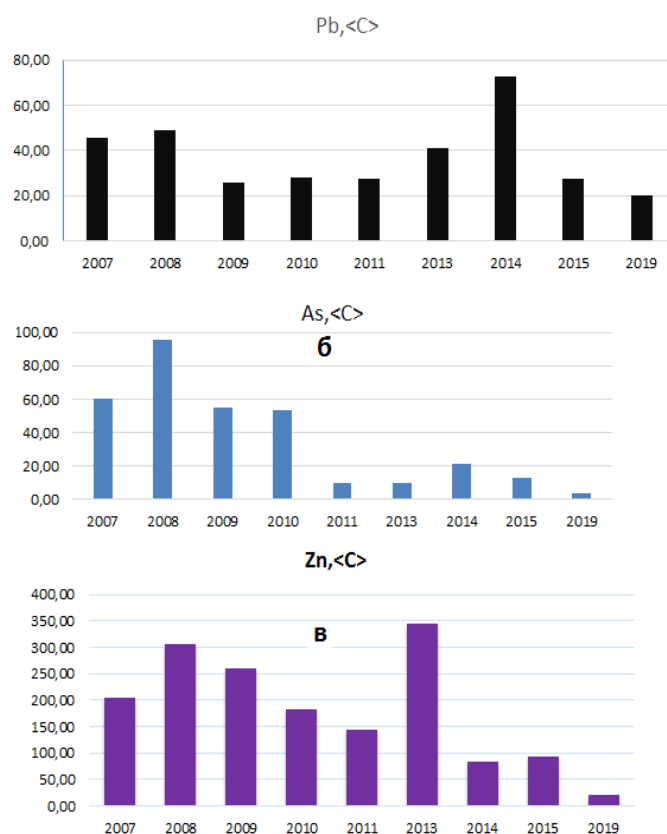


Рис. 1. Межгодовая вариация содержания As, Pb и Zn в атмосферном аэрозоле юго-центральной части Таджикистана

На рис. 1 представлены межгодовые вариации содержания As, Pb и Zn в атмосферном аэрозоле юго-центральной части Таджикистана: самая высокая концентрация мышьяка (рис.1б) обнаружена в 2008 г., а свинца – в 2014 году. Самая высокая концентрация цинка наблюдалась в 2013 году. Концентрации этих металлов в 2019 году были наименьшими, что, возможно, связано с общими механизмами и источниками выброса этих тяжелых металлов.

На рис. 2 приведена карта мест сбора проб, 88 проб пылевого аэрозоля были собраны в г. Душанбе и пустыне Айвадж в период пылевых вторжений. Самые высокие концентрации As (195 ppm), Pb (232 ppm) и Zn (2490 ppm) в разные годы наблюдались в Айвадже.

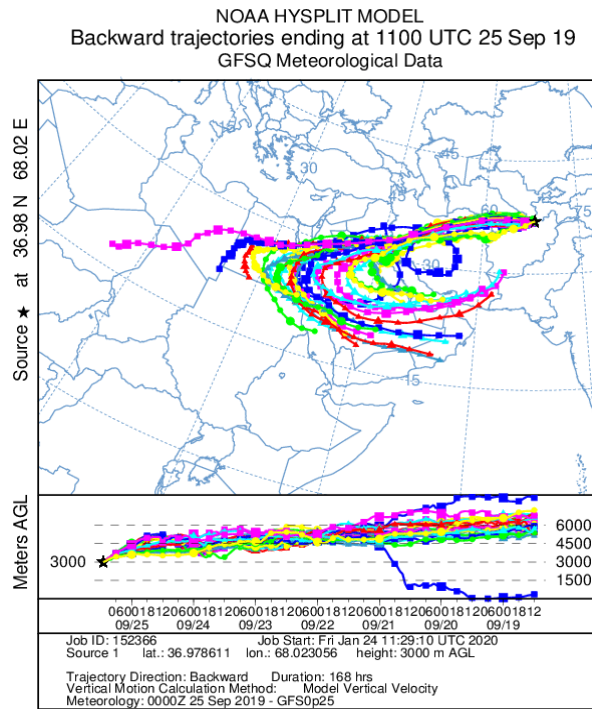


Рис. 2. Карта мест сбора проб пылевого аэрозоля.

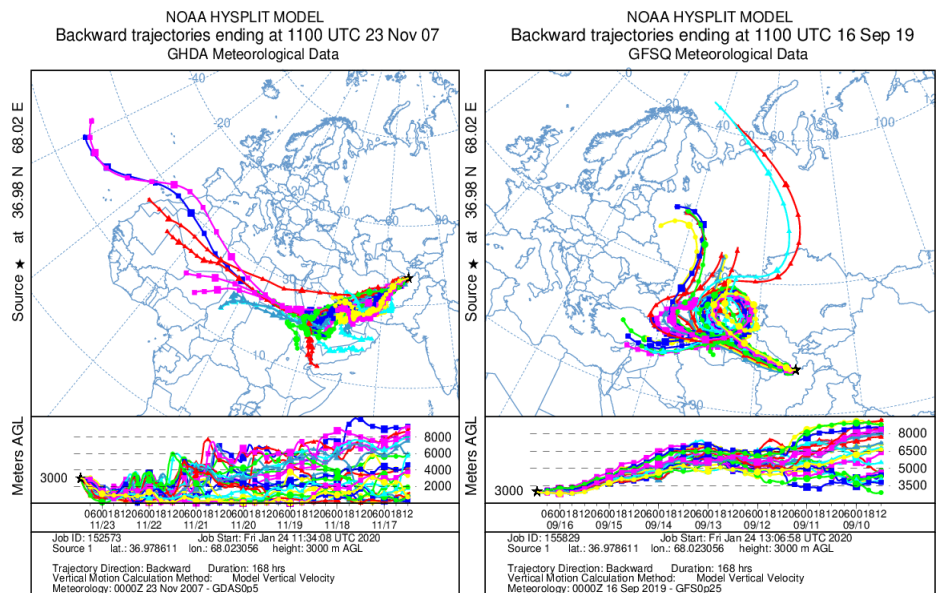
Для выяснения места расположения источников образования пыли, в которой высока концентрация тяжелых металлов, была использована модель HYSPLIT, разработанная лабораторией ресурсов воздуха НУОА (США): <http://ready.arl.noaa.gov>, и построены траектории движения воздушных масс на высоте 3000 метров за 168 часов, предшествующих моменту сбора проб (рис. 3). Высота 3000 метров соответствует максимальной концентрации аэрозоля, определенной с помощью лидара в Душанбе. Продолжительность сбора проб не превышала 7 суток.

На рис. 3 и 4 представлены обратные траектории воздушных масс, рассчитанные по модели HYSPLIT для указанного ансамбля траектории. По этим траекториям можно судить о переносе загрязняющих веществ в частности ТМ. Закрученность траекторий воздушных потоков характерна для атмосферных течений в период пылевых вторжений. Особый интерес представляют те потоки, которые проходят очень низко над поверхностью почвы, которые и могут осуществить выдувание пыли в более высокие слои воздуха.

ха. Траектории проходят над пустынными областями. При переносе свинца Иран, Пакистан, Турция, при переносе цинка – это пустыня Сахара, Саудовская Аравия, Иран, Пакистан, при переносе мышьяка – это территории пустынь Центральной Азии. Можно предположить, что основная доля переносимого аэрозоля поднята в воздух именно на этой территории.



**Рис. 3.** Обратная траектория воздушных масс, пришедших за неделю до сбора пробы аэрозоля с максимальным содержанием свинца (Айвадж, 25.09.09).



**Рис. 4.** Обратные траектории воздушных масс с высоким содержанием цинка (Айвадж, 23.11.07) и мышьяка (Айвадж, 16.09.09) в составе проб атмосферного аэрозоля.

**Выводы:** Высокие значения Pb, Zn и As связаны в основном с осаждением аэрозольных частиц, поступающих в исследуемый район в результате дальнего переноса от многочисленных источников. Проведенные исследования позволяют установить предположительные места выброса ТМ в атмосферу. Мониторинг среднегодовых концентраций элементов оставляет пока не отвеченными вопросы о причинах наблюдаемой неравномерности выпадений. Статистический анализ дает представление о широте разброса измеряемых концентраций элементов и степени различия загрязненности воздуха на юге и в центре Таджикистана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Csavina J., Field J., Gao S.A. Review on the Importance of Metals and Metalloids in Atmospheric Dust and Aerosol from Mining Operations. – Science Total Environment, 2012, № 4, p. 58-73.
2. Чертко Н.К. Биологическая функция химических элементов. – Минск, 2012, 172 с.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросфер. – Пенза, 2004, 325 с.
4. Абдуллаев С.Ф. Динамика распределения тяжелых металлов и радиоактивных изотопов в образцах почвы и пылевого аэрозоля юга Таджикистана. – Оптика атмосферы и океана. 2014, т. 27, № 03, с. 207-214.

Ш.Х.ХАЛИФАЕВА\*, В.А.МАСЛОВ\*, Б.И.НАЗАРОВ\*, Ф.РАХИМИ, С.Ф.АБДУЛЛАЕВ\*

#### МЕТАЛЛҲОИ ВАЗНИН ДАР ТАРКИБИ АЭРОЗОЛИ АТМОСФЕРАИ ҚИСМИ ЧАНУБӢ- МАРКАЗИИ ТОҶИКИСТОН

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

Таркиби металлҳои вазнин дар аэрозоли атмосфераи қисми чанубу-маркази Тоҷикистон омӯхта шуда, омори таркиби металлҳои вазнин дар намунаҳои аэрозоли он оварда шудааст. Тағйироти байнисолонавии As, Pb, ва Zn дар таркиби аэрозоли атмосфера нишон дода шуда, харитаи қойҳои чамоварии намунаҳо ва траекторияи баръакс барои металлҳои вазнин оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** аэрозоли атмосфера, металлҳои вазнин, траекторияи баръакс.

Sh.Kh.KHALIFAEVA\*, V.A.MASLOV\*, B.I.NAZAROV\*, F.RAHIMI, S.F.ABDULLAEV\*

**HEAVY METALS IN THE COMPOSITION OF THE ATMOSPHERIC  
AEROSOL OF THE SOUTH-CENTRAL PART OF TAJIKISTAN**

*Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,*

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

The content of heavy metals in the composition of atmospheric aerosol in the south-central part of Tajikistan is considered and statistics on the content of heavy metals in dust aerosol samples are presented. The interannual variation in the contents of As, Pb, and Zn in the composition of atmospheric aerosol is presented; a map of the places of sampling and back trajectories for the heavy metals are created.

**Key words:** atmospheric aerosol, heavy metals, back trajectory.

УДК 551.521.3,583

М.Н.РАХМАТОВ\*, В.А.МАСЛОВ, С.Ф.АБДУЛЛАЕВ,  
У.МАДВАЛИЕВ

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

\* *Худжандский государственный университет им. академика Б.Гафурова,  
Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан*  
*Поступила в редакцию 26.11.2019 г.*

*На основе экспериментальных данных определен геохимический индекс ( $I_{geo}$ ) загрязнения (ГИЗ) почв Северного Таджикистана, что позволило оценить степень загрязненности почв тяжелыми металлами (ТМ). Экологическая интерпретация ГИЗ показала, что почва на территории вокруг Дегмайского хвостохранилища сильно загрязнена особо опасными металлами: свинцом ( $I_{geo}=3.28$ , сильно загрязненная), мышьяком ( $I_{geo}=3$ ) и цинком ( $I_{geo}=4.34$ , экстремально сильно загрязненная). Высоким уровнем загрязнения мышьяком ( $I_{geo}=3.77$ , весьма неблагоприятное состояние) характеризуется также Спитаменский район. Загрязнение почвы другими ТМ умеренное ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ), либо еще более слабое ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ).*

**Ключевые слова:** геохимический индекс загрязнения, тяжелые металлы, цинк, свинец, мышьяк, особо опасные элементы, Согдийская область.

В условиях высокой антропогенной нагрузки на биосферу и усиления воздействия на почву от человеческой деятельности, очень важна правильная оценка экологического состояния окружающей среды.

При химической антропогенной деградации почв происходит загрязнение нефтепродуктами, пестицидами, удобрениями, тяжелыми металлами, радионуклидами [1-4]. Причиной этому являются горные разработки, промышленные выбросы, сбросы дренажных и сточных вод, избыточное внесение минеральных удобрений и пестицидов [1-3].

---

*Адрес для корреспонденции:* Абдуллаев Сабур Фузайлович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/1, Физико-технический институт АН РТ. E-mail: [sabur.f.abdullaev@gmail.com](mailto:sabur.f.abdullaev@gmail.com)

Вопросы оценки экологического состояния почв и проблема загрязнения от тяжелых металлов (ТМ) являются очень актуальными для экологически неблагополучных регионов, таких как Согдийская область. Цель настоящей работы является оценка состояния почв северных районов Таджикистана с помощью геохимического индекса загрязнения.

### **Геоэкологическая характеристика территории исследований**

Площадь Согдийской области составляет 25400 кв. км, где проживает около 2.5 млн. человек. Согдийская область разделена на 14 сельских районов, 9 городов, 22 поселка городского типа и 93 джамоата. Область находится между ( $39^{\circ} 04'$  и  $41^{\circ} 08'$  с. ш. и  $69^{\circ} 25'$  и  $70^{\circ} 34'$  в. д.) и граничит с Узбекистаном и Кыргызстаном. С севера расположены Кураминский хребет и горы Моголтау, с юга – Туркестанский хребет и Зеравшанские горы. Самые низкие точки Таджикистана расположены на северо-западе, юго-западе и на самом севере Согдийской области – в Ферганской долине (рис. 1).

Пробы почвы отбирались по стандартной методике, разработанной в 2006 г. по программе ICP-Forests под эгидой Конвенции по трансграничному загрязнению воздуха на большие расстояния ЕЭК ООН [5-11] в период 2013 – 2019 гг.

Химический анализ проб проводился в лаборатории физики атмосферы методом рентгенофлуоресцентного анализа [12,13] по стандартной методике [14-17]. Измерялось содержание в пробах тяжелых металлов, относящихся к I-III классам опасности по степени воздействия на организм человека согласно ГОСТу 17319-2019 «Реактивы. Методы определения примеси тяжелых металлов».

Пробы почв регулярно отбирались в десяти районах области.

1. Айнинский район – расположен в долине реки Зеравшан. В районе имеются месторождения сурьмы, ртути, угля, минеральных красок. Анзобский горно-обогатительный комбинат и угольная шахта расположены на северном склоне Гиссарского хребта, являясь источниками загрязнения атмосферного воздуха. В поселке действует горно-обогатительный комбинат, занимающийся добычей свинцовой руды и переработкой свинцово-серебряного концентрата.

2. Шахристан – ( $39^{\circ} 46'$  с. ш.  $68^{\circ} 49'$  в. д.) расположен в 102 км юго-западнее г. Худжанда. Шахристанский район на западе граничит с Зааминским районом Джизакской области Республики Узбекистан.

3. Деваштичский район – (село Верхний Далян –  $39^{\circ} 57'$  с.ш.,  $69^{\circ} 08'$  в.д.) расположен в 64 км юго-западнее города Худжанда.

4. Истаравшан – ( $39^{\circ} 54'$  с.ш.,  $69^{\circ} 03'$  в.д.) расположен в 90 км юго-западнее г. Худжанда.

5. Зафарабад – ( $40^{\circ} 09'$  с.ш.,  $68^{\circ} 48'$  в.д.) расположен в 106 км западнее г. Худжанда. Зафарабадский район расположен между Туркестанским хребтом и Ферганской долиной. На севере, западе и юго-западе граничит с Сырдарьинской и Джизакской областями Узбекистана.

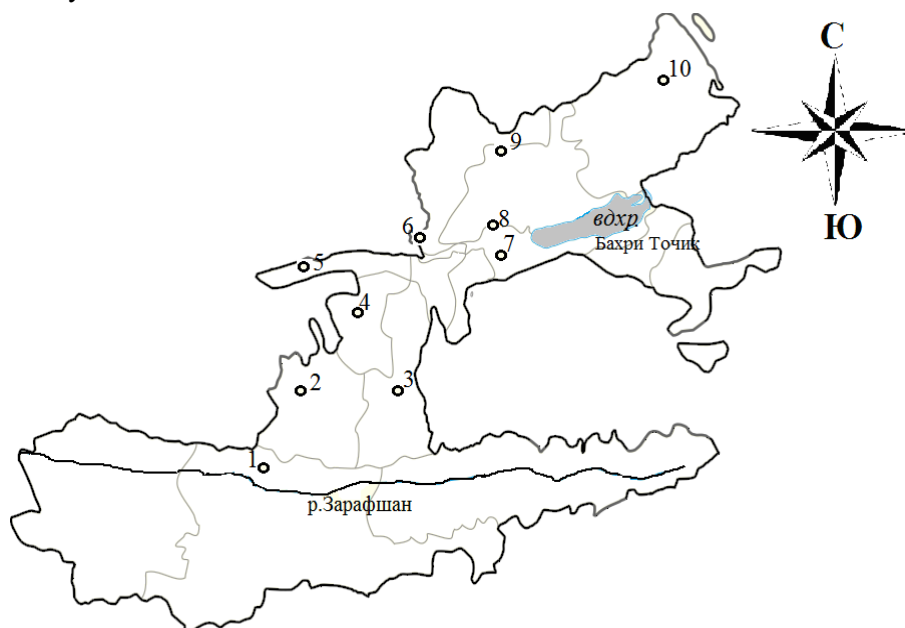
6. Спитаменский район – ( $40^{\circ}08'$  с.ш.,  $69^{\circ}22'$  в. д.) расположен в 28 км юго-западнее г. Худжанда.

7. Отдельно рассматривались также пробы почв, отобранные на территории Дегмайского радиоактивного хвостохранилища. Оно расположено в Гафуровском (ранее Ходжентском) районе, на расстоянии 1,5 км от ближайшего населенного пункта и на расстоянии 10 км от г. Худжанд на высоте 485 м. над ур. м. Общая площадь его – более 90 га, в нем содержится более 20 млн. т. отходов переработки урановых руд, а также 5,7 млн. т. отходов переработки руд, содержащих ванадий.

8. Худжанд – ( $40^{\circ}17'$  с.ш.,  $69^{\circ}37'$  в.д.) расположен на территории Ферганской долины между отрогами Туркестанского хребта на юге и горами Моголтау на севере, на берегу реки Сырдарья ниже Кайраккумского водохранилища, в 35 км от узбекского Бекабада. Город расположен в 200 км к северо-востоку от Душанбе.

9. Истиклол – ( $40^{\circ}34'$  с. ш.,  $69^{\circ}38'$  в. д.) находится рядом с богатым месторождением полиметаллических руд и хвостохранилищ переработки урановых руд. Истиклол расположен вдоль горы Курама, входящей в систему Тянь-Шаня, находящейся в 34 км к северу от г. Худжанда.

10. Аштский район – ( $40^{\circ}39'$  с.ш.,  $70^{\circ}22'$  в. д.) расположен в 107 км северо-восточнее г. Худжанд.



**Рис.1.** Карта Согдийской области.

1. Айни, 2. Шахристан, 3. Деваштич, 4. Истаравшан, 5. Зафарабад,  
6. Спитамен, 7. Дегмай, 8. г. Худжанд, 9.г. Истиклол, 10. Ашт).



## Результаты и их обсуждение

В течение 2013-2019 гг. в различных районах Согдийской области собрано и изучено 144 пробы почв. Экспериментальная установка и методика эксперимента описаны в статье [18].

Существуют различные комплексные критерии оценки загрязнения почв тяжелыми металлами: предельно допустимые концентрации вещества (ПДК), коэффициент концентрации химического вещества, суммарный показатель загрязнения, содержание органических и неорганических веществ различных классов опасностей, интегрированный индекс загрязнения и другие величины. Одним из наиболее часто применяемых параметров качества экологического состояния окружающей среды является геохимический индекс загрязнения (ГИЗ) или индекс геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ), дающий количественную оценку загрязнения почв, который разработан в Европе и нашел широкое применение при геохимических исследованиях почв во всем мире [19-21]. В нашей работе при исследовании проб почв определялась концентрация тяжелых металлов в пробах почв и вычислялся ГИЗ с последующим определением классов загрязнения для районов Согдийской области.

Для расчета используется концентрация ТМ в мелкой фракции (менее 1 мм) почв  $C_n$  и региональная фоновая концентрация металла  $B_n$ , которую определяют по данным специальных исследований, ГИЗ рассчитывается по формуле:

$$I_{geo} = \log_2(C_n/1.5*B_n),$$

Выделяют 6 классов ГИЗ для почв [19] (см. табл.)

Таблица

Классы ГИЗ ( $I_{geo}$ ) для качества почв [19]

| класс | значение $I_{geo}$   | качество почвы                             |
|-------|----------------------|--|
| 0     | $I_{geo} \leq 0$     | практически незагрязненная                 |
| 1     | $0 < I_{geo} \leq 1$ | от незагрязненных до умеренно загрязненных |
| 2     | $1 < I_{geo} \leq 2$ | умеренно загрязненная                      |
| 3     | $2 < I_{geo} \leq 3$ | от умеренно до сильно загрязненных         |
| 4     | $3 < I_{geo} \leq 4$ | сильно загрязненная                        |
| 5     | $4 < I_{geo} \leq 5$ | экстремально сильно загрязненная           |
| 6     | $I_{geo} \geq 5$     | крайне сильно загрязненная                 |

Приведенные в таблице сведения способствуют выделению наиболее загрязненных районов.

**1-й уровень** характеризует слабо загрязненные почвы.

**2-й уровень** загрязнения отражает умеренную техногенную нагрузку. Она соответствует зоне экологического риска и характеризуется загрязнением донных отложений ТМ на уровне 2 и 3  $I_{geo}$  классов;

**3-й уровень** – высокая техногенная нагрузка, соответствует зоне экологического кризиса.

**4-й уровень** – крайне высокая техногенная нагрузка, соответствующая зоне экологического бедствия и характеризуется экстремально сильно загрязнение почв на уровне –  $I_{geo}$  класса.

Проведенные нами исследования (табл., рис.2. и рис.3.) показали, что основное внимание следует уделять изучению загрязнения почв элементами первого класса опасности (Pb, Zn и As).

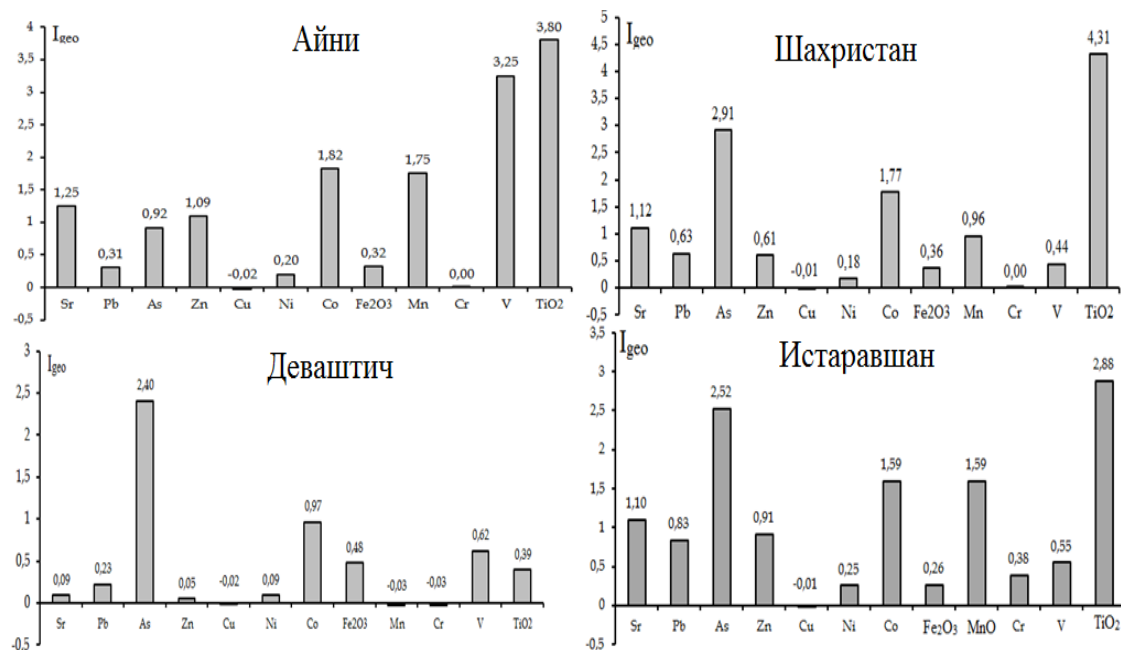


Рис.2. Геохимическая оценка содержания ТМ в пробах почв.

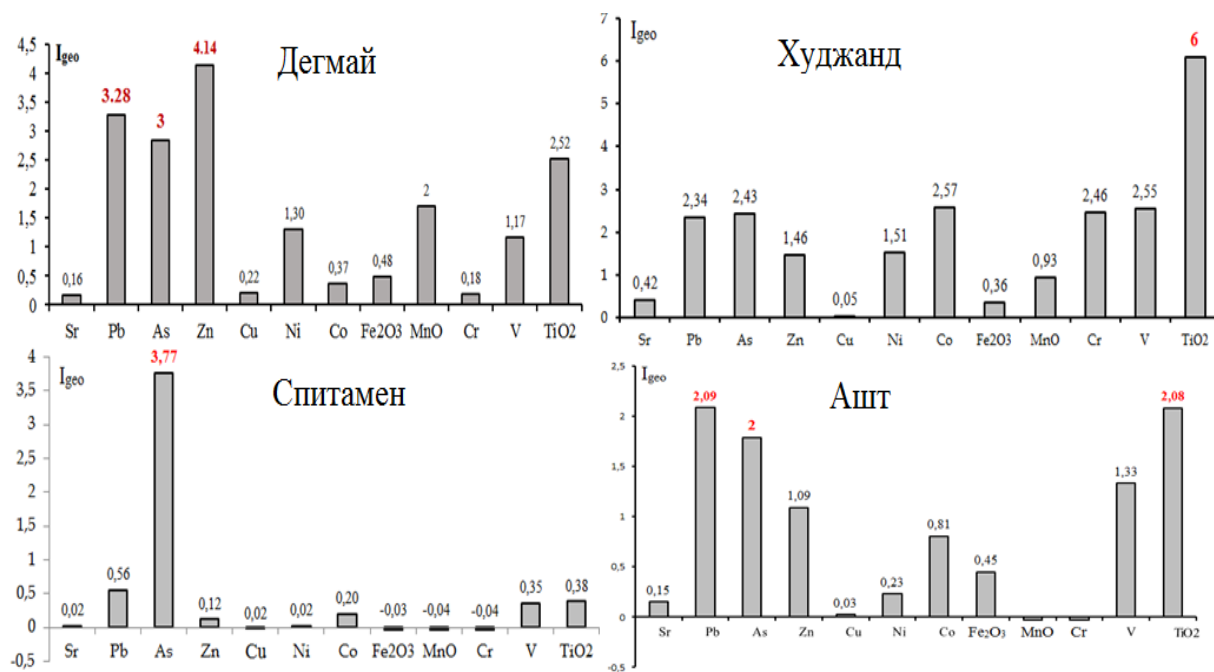


Рис. 3. Геохимическая оценка содержания ТМ в почвах Северного Таджикистана.

Выводы: Анализ полученных значений геохимического индекса ( $I_{geo}$ ) позволил оценить загрязнение почв районов Северного Таджикистана ТМ. Расчет ГИЗ и выявление классов загрязненности показывает, что территория вокруг Дегмайского хвостохранилища является наиболее сильно загрязненной металлами первого класса опасности: свинцом ( $I_{geo}=3.28$ , сильное загрязнение), мышьяком ( $I_{geo}=3$ ) и цинком ( $I_{geo}=4.34$ , экстремально сильное загрязнение). Высоким уровнем загрязнения мышьяком ( $I_{geo}=3.77$ , весьма неблагоприятное состояние) характеризуется также Спитаменский район. Почва Деваштичского района по геохимической оценке сильно загрязнена мышьяком. Уровень загрязнения почвы другими тяжелыми металлами умеренный ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ), либо еще более слабый ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ) (см. рис.1,2). Проведенное исследование показало, что геохимический индекс загрязнения является эффективным критерием степени загрязненности почв тяжелыми металлами. Однако для полноты картины экологического состояния почв области необходима более широкая база репрезентативных данных по составу почв, то есть более детальные данные из как можно большего числа населенных пунктов всех районов области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автухович И.Е., Гобран Ж.Р. Химический состав почв ЛОД в связи с техногенным загрязнением. – Известия ТСХА, 2003, вып. 4, с.15-25.
2. Когут Л.П. Экологическая оценка миграционных процессов в почвах южно-таежных экосистем в условиях различной антропогенной нагрузки: Автореф. дисс: к.б.н., 2014, 20 с.
3. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. – М.: РГАУ-МСХА, 2013, 183 с.
4. Сагит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990, 335 с.
5. ICP Forests II. Crown condition assessments. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessments, monitoring and analysis of the effect of air pollution on forests. Part II. Visual assessment of crown condition. [http://www.icpforests.org/N8f/Chapt2\\_comp106.N8f](http://www.icpforests.org/N8f/Chapt2_comp106.N8f). 2006, 61 p.
6. Krogstad T. Methods for soil analysis (In Norwegian). NLH report no. 6. Institutt for Jordfag, 1992, 32 pp. Ås- NLH, ISSN 0803-1304.
7. Lacatusu, R. Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals. In: Heineke, H.J., Eckelmann, W., Thomasson, A.J. et al. (Eds). ESB Research Report no. 4: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources. EUR 17729 EN. 546 p. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1998, pp. 393-402.
8. Lawesson J., Eilertsen O., Diekmann M. et al. A concept for vegetation studies and monitoring in the Nordic countries. - In: Tema Nord, 2000, 517, pp. 1-125.
9. Naturvardsverket Bakgrundshalter i mark. Rapport 4640. Stockholm.
10. Okland T. (1996). Vegetation-environment relationships of boreal spruce forest in ten monitoring reference areas in Norway.- Sommerfeltia, 1997, v.22, pp. 1-349.
11. Oksanen J., Minchin P.R. Instability of ordination results under changes in input data order: explanations and remedies. J. Veg. Sci., 1997, v.8, pp. 447-454.
12. Блохин М. А. Методы рентгеноспектральных исследований / М. А. Блохин. – М.: ГИТА, 1959, 386 с.
13. Eugene P. Bertin. Introduction to X-Ray Spectrometric Analysis. Plenum Press, New York - London, 1978, 485 p.

14. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1989, 62 с.
15. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. - Свидетельство Госстандарта РФ № 2420/53-2002.
16. Свидетельство Госстандарта РФ №2420/62-2001. – (МУК утв. 16.05.03, № 4.1. 1354-03).
17. Ширкин Л. А. Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды. – г.Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009, 60 с.
18. Рахматов М.Н., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Расулзода Х.Х. Элементный состав атмосферного аэрозоля и почв Северного Таджикистана - Учёные записки ХГУ, 2018, № 3(46), с.56-62.
19. Ван Мансвелт Я.Д. Мюллер Д. Биогеохимические основы экологического нормирования. - Аграрная наука, 1994, т. 4, № 22, с. 5.
20. Forstner U., Muler G. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments geochemical background, man's influence and environmental impact. - Geojournal, 1981, pp. 417–432.
21. Müller G. Schwermetalle in den sediment des Rheins-Veränderungen seit Uruschan, 1979, № 79, pp. 329-352.

М.Н.РАҲМАТОВ\*, С.Ф.АБДУЛЛОЕВ, В.А.МАСЛОВ, У.МАДВАЛИЕВ

## **БАҲОДИҶИИ ГЕОХИМИЯВИИ КОНСЕНТРАТСИЯИ МЕТАЛҲОИ ВАЗНИН ДАР НАМУНАҲОИ ХОКИ ВИЛОЯТИ СУҒД**

*\*Донишгоҳи Давлатии Хуҷанд ба номи академик Б. Фафуров,  
Институти физикаю техникаи ба номи академик С.У.Умарови  
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар асоси натиҷаҳои маълумотҳои таҷрибавӣ, дар шимоли Тоҷикистон индекси геохимиявии ифлосшавӣ гузаронида шуд. Таҳлили арзишҳои ба даст омада тавассути индекси геохимиявӣ ( $I_{geo}$ ) имкон дод дараҷаи ифлосшавии хок бо металҳои вазнин арзёбӣ карда шавад. Ҳисоб кардани индекси геохимиявии ифлосшавӣ ва тафсири муҳити зист аз рӯи нишондиҳандаҳо маълум гашт, ки дар атрофи партовгоҳи радиоактивии Дехмӯй барои металҳои махсусан хатарнок аз он ҷумла барои сурб, дараҷаи хатарнокии геохимиявиаш ба ( $I_{geo} = 3.28$ ) баробар аст, олула шудааст. Инчунин барои арсен ( $I_{geo} = 3$ ) ва руҳ ( $I_{geo} = 4.34$ , бениҳоят баланд захролуд шудааст). Минтақаи ноҳияи Спитамен бо сатҳи баланди ифлосшавии бо арсен, ки дараҷаи олулашавиаш ба ( $I_{geo} = 3.77$ ) баробар аст олула шудааст. Қисми боқимондаи металҳои вазнин дар хок дарёфтшуда мӯътадил ифлос шудааст ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ) ё ба миқдори миёна захролуд шудаанд ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ).

**Калимаҳои калидӣ:** Индекси геохимиявии ифлосшавӣ, металҳои вазнин, руҳ, сурб, арсен, унсурҳои махсусан хавфнок, вилояти Суғд.

M.N.RAKHMATOV\*, V.A.MASLOV, S.F.ABDULLAEV, U.MADVALIEV

## GEOCHEMICAL EVALUATION OF HEAVY METAL CONCENTRATION IN SOIL SAMPLES IN THE SOGDIAN REGION

*\*Khujand State University named after academician B.Gafurov,  
S.U.Umarov Physical-Technical Institute,  
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

Based on experimental data, the geochemical index ( $I_{geo}$ ) of pollution of soils in northern Tajikistan was determined. This made it possible to assess the degree of soil contamination with heavy metals. An environmental interpretation of the geochemical pollution index showed that the soil in the territory of the Degmay tailing dump is heavily contaminated with especially hazardous metals: lead ( $I_{geo} = 3.28$ , highly polluted). For arsenic ( $I_{geo} = 3$ ) and zinc ( $I_{geo} = 4.34$ , extremely heavily contaminated). Spitamen region is characterized by a high level of arsenic pollution ( $I_{geo} = 3.77$ , a class of very unfavorable conditions). The remaining HM soil is moderately contaminated ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ) or at a level to moderately contaminated ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ).

**Key words:** geochemical pollution index, heavy metals, zinc, lead, arsenic, especially dangerous elements, Sogd region.

УДК 521.633

Д.О.ДАВЛАТОВ, Ш.Б.НАЗАРОВ, А.С.КУРБОНОВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОЙ ОБРАБОТКИ СПЁКА  
ПРИ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ БОРО- И АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ  
РУДЫ С СУЛЬФАТОМ НАТРИЯ**

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

*Поступила в редакцию 16.12.2019 Г.*

*В статье приведены результаты исследования водной обработки спёка, полученного при совместной переработке данбуритового сырья Ак-Архарского месторождения и нефелиновых сиенитов Турпи с сульфатом натрия. Изучено влияние различных физико-химических факторов на процесс вскрытия водорастворимых составляющих спёка. Установлены оптимальные условия проведения водной обработки спёка, обеспечивающие максимальное извлечение компонентов в раствор.*

**Ключевые слова:** водная обработка, спёк, боросиликатная руда, нефелиновые сиениты, сульфат натрия, переработка.

Важным местным сырьевым ресурсом для Республики Таджикистан являются борсодержащие руды Ак-Архарского месторождения на Памире и нефелиновые сиениты месторождения Турпи в Раштском районе. Эти виды сырья, несмотря на пониженное содержание бора и алюминия, содержат полезные компоненты и позволяют, в зависимости от выбора метода переработки, получать попутно с глинозёмом и борсодержащими соединениями также соду, поташ, цемент, серную кислоту, полевошпатовые материалы для фарфорового производства, железоокисные пигменты, удобрения, коагулянты для очистки воды, жидкое стекло и др. Поэтому промышленное освоение этих руд при выборе рациональной технологии переработки является вполне целесообразным и даже выгодным, если переработку вести комплексно.

Целью данной работы является исследование процесса водной обработки спёка при совместной переработке боро- и алюмосиликатной руды с сульфатом натрия, изуче-

---

*Адрес для корреспонденции:* Назаров Шамс Бароталиевич. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: shams\_63@list.ru

ние влияния различных физико-химических факторов на процесс вскрытия водорастворимых составляющих спекса и установление оптимальных технологических условий проведения водной обработки спекса, обеспечивающих максимальное извлечение компонентов в раствор.

Боросиликатные руды месторождения Ак-Архар имеют сложный химический состав (в %):  $B_2O_3$  – 10.4;  $SiO_2$  – 59.8;  $Al_2O_3$  – 1.27;  $Fe_2O_3$  – 2.2;  $FeO$  – 1.39;  $CaO$  – 19.6;  $MgO$  – 0.75;  $TiO_2$  – 0.15;  $MnO$  – 0.29;  $K_2O$  – 0.1;  $Na_2O$  – 0.03;  $P_2O_5$  – 0.11; примеси – 3.91 Основными порообразующими минералами боросиликатной руды месторождения Ак-Архар являются: данбурит ( $CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), датолит ( $2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ ), пироксены ( $CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$ ), гранат ( $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), в меньшей мере присутствует гидроборатит ( $CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$  или  $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$ ). Пустая порода представлена глинистыми минералами: монтмориллонит ( $[Na, Ca]_{0.33}(Al, Mg, Fe)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ ), гидрослюда ( $(Na)Al_2 \cdot (AlSi_3) \cdot O_{10}[(OH)_2 \cdot H_2O]$ ), гипс ( $CaSO_4 \cdot nH_2O$ ) и кварц ( $SiO_2$ ).

Нефелиновые сиениты Турпи имеют следующий состав, в %:  $Al_2O_3$  – 22.4;  $Fe_2O_3$  – 6.4;  $Na_2O$  – 6.5;  $K_2O$  – 6.6;  $CaO$  – 2.5;  $SiO_2$  – 53.0. Минералогический состав нефелиновых сиенитов и количественное содержание минералов в руде следующее, %:

нефелин ( $(Na, K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) – 20.5; альбит ( $Na[AlSi_3O_8]$ ) – 4.1; микроклин ( $K[AlSi_3O_8]$  – 64.7); биотит ( $K(Fe, Mg)_3 [OH]_2[(Al, Fe)Si_3O_{10}]$ ) – 6.4 и кальцит ( $CaCO_3$ ) – 2.0.

Исследуемый спекс получали при совместной термической обработке Ак-Архарской борной руды и нефелиновых сиенитов Турпи при оптимальных условиях проведения процесса спекания: температура спекания  $900^\circ C$ , продолжительность спекания – 40 мин, массовое соотношение борная руда : нефелин : сульфат натрия = 1:1:3.5 и крупность частиц исходных руд – 0.16 мм и менее. Процесс спекания осуществляли в платиновых тиглях в муфельной печи.

По окончании процесса спекс выгружали из тигля и помещали в реактор, снабжённый магнитной мешалкой и соединённый с термостатом. Туда же добавляли дистиллированную воду из расчета массового соотношения жидкой к твердой фазе (Ж:Т) = от 5 до 12. Далее, в зависимости от выбранных условий водной обработки, изучали влияние различных физико-химических факторов на процесс разложения спекса и извлечение в раствор водорастворимых соединений. Полученную пульпу подвергали фильтрационному разделению на твердую и жидкую фазы и в каждой из них определяли содержание химических соединений гравиметрическим, титриметрическим и пламенно-фотометрическим методами анализа. Также, для исследования химического и минералогического состава твердой фазы пульпы применяли дериватометрический и рентгенофазовый методы анализа.

Результаты анализов показали, что при водной обработке спекса в жидкую фазу переходит непрореагировавший с компонентами сырья сульфат натрия. Проведённые анализы и расчёты показали, что 92-95% сульфата натрия, применённого в процессе совме-

стного спекания сырьевых материалов, при водной обработке спёка переходит в раствор, то есть не претерпевает химических превращений, что позволяет повторно его использовать в технологическом цикле. Это намного уменьшает массу потока сырьевых материалов в технологическом процессе и является выгодным с экономической точки зрения. Что касается соединений бора, алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия, входящих в состав руды, то они остаются в спёке в составе новой силикатной структуры и не переходят при водной обработке из состава спёка в водный раствор.

Для подтверждения того, что основная масса сульфата натрия из спёка переходит в жидкую фазу, полученную пульпу от водной обработки спёка фильтровали, разделяли твёрдую и жидкую фазы и раствор упаривали до сухого остатка. Остаток сушили в муфельной печи при 450°C и подвергали рентгенографическому исследованию. На рис.1 показана рентгенограмма твёрдого остатка жидкой фазы, которая соответствует безводной соли сульфата натрия.

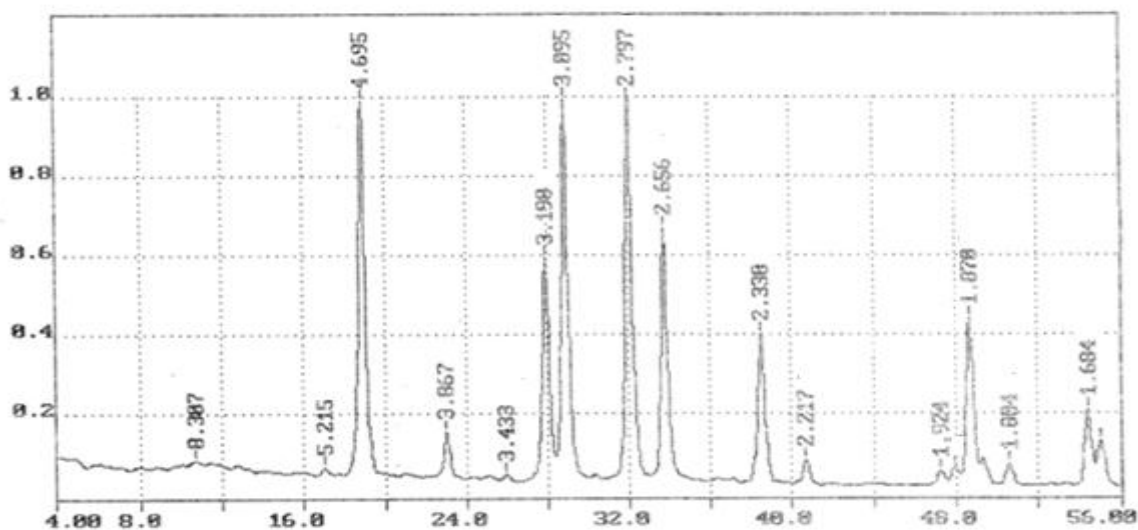


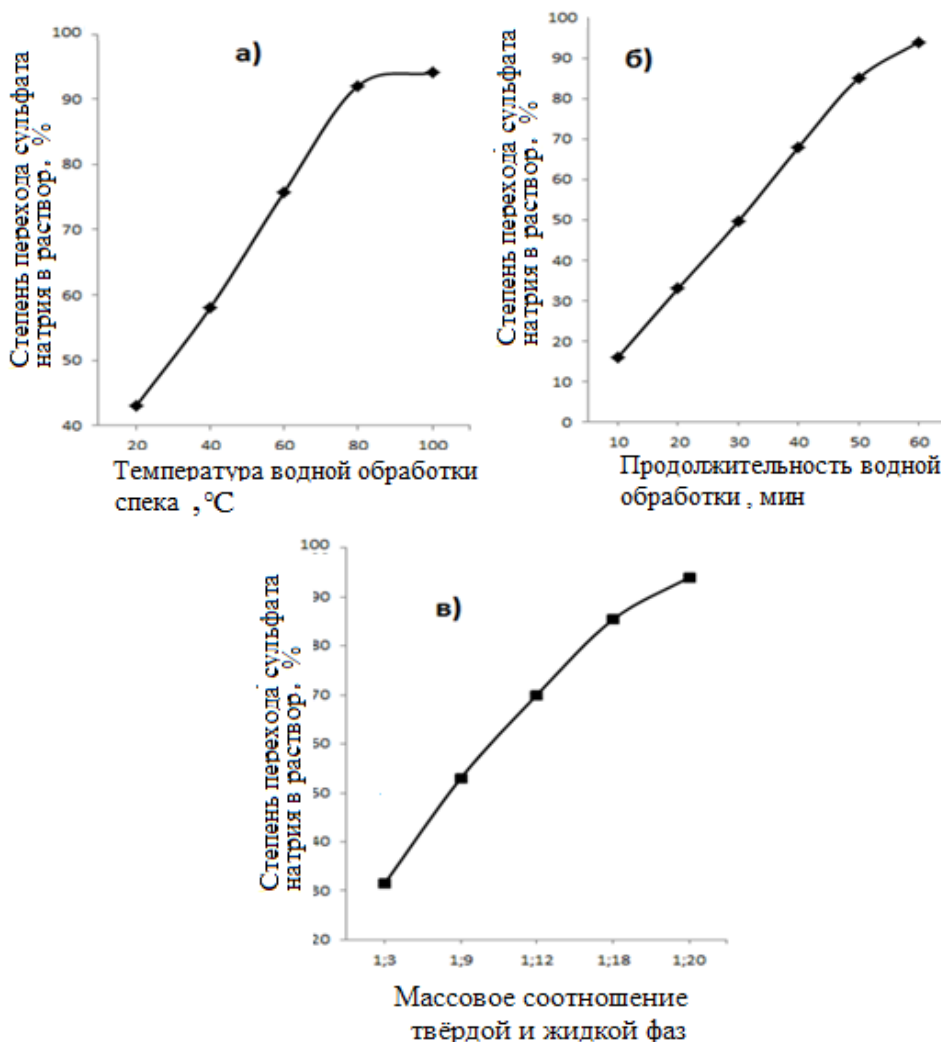
Рис. 1. Рентгенограмма безводного сульфата натрия.

Другая же часть сульфата натрия (5-8%), взаимодействующая с силикатами руд, претерпевает химические изменения и тем самым разрушает структуру упорных минералов, таких, как альбит, микроклин, данбурит и др. При введении в состав расплава оксидов типа  $Me_2O$  или  $MeO$  или их солей (например, сульфат натрия) отношение  $Si:O$  в расплаве увеличивается, а мостиковые связи  $Si-O-Si$  (силоксановая связь) заменяются связями  $Si-O-Me$ . В данном случае металлами являются натрий и кальций (из состава данбуритового сырья), находившиеся в данном концентрате в количестве 0.1 и 17% соответственно.

На рис. 2а показано влияние температуры процесса водной обработки спёка. Незменными параметрами являлись: отношение жидкой и твердой фазы пульпы, равное 1:12, крупность частиц спёка – 0.16 мм и менее, продолжительность выщелачивания - 60



мин. С повышением температуры степень извлечения сульфата натрия увеличивается. При росте температуры водной обработки спека от 20 до 80°C наблюдается постепенное увеличение перехода сульфата натрия в раствор от 42.5 до 91.8%. Максимальное извлечение сульфата натрия (94.1%) происходит при температуре водной обработки 100°C.



**Рис. 2.** Зависимость степени перехода сульфата натрия в жидкую фазу при водной обработке спека от различных физико-химических факторов: а) температура водной обработки спека; б) продолжительность процесса водной обработки; в) массовое соотношение твёрдой и жидкой фаз пульпы.

Влияние продолжительности процесса водной обработки спека на переход сульфата натрия из состава твердой массы в раствор представлено на рис. 2б. Степень перехода сульфата натрия из состава спека в водную фазу постоянно увеличивается. При увеличении длительности процесса водной обработки спека от 10 до 60 мин степень перехода сульфата натрия в жидкую фазу повышается от 15.2 до 94.2%. Это свидетельствует о том, что не все молекулы сульфата натрия в составе спека находятся в свободном состоянии, а расположены в молекулярных структурах натриевых, калиевых и кальциевых силикатах

бора, алюминия, железа, магния и др. Освобождение внедрённых молекул сульфата натрия из пор силикатных структур происходит с трудом при определённой затрате тепловой энергии и длительном интервале времени водной обработки спёка. В итоге, для полного перехода сульфата натрия в раствор требуется 1-часовая водная обработка спёка кипячением при температуре 100°C.

На переход сульфата натрия в раствор из состава спёка большое значение имеет массовое соотношение твёрдой и жидкой фаз пульпы, то есть спёка к воде. Влияние массового соотношения жидкой и твёрдой фазы на извлечение сульфата натрия исследовали в интервале 1:1 до 1:20. На рис. 2в представлены данные по переходу сульфата натрия в водную фазу в зависимости от массового соотношения жидкой и твёрдой фазы. В интервале Ж:Т от 1:6 до 1:20 наблюдается постепенное извлечение  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в жидкую фазу, где степень перехода соли в раствор составляет от 31 до 94%.

Оптимальным соотношением Ж:Т является: 1:15÷20, при котором сульфат натрия из состава спёка высвобождается и переходит полностью в раствор. Степень извлечения сульфата натрия при этом достигает 92-96%, в то время как извлечение соли при соотношении Ж:Т = 1:12 составляет лишь 70%. Неизменными факторами при изучении влияния Ж:Т являлись: температура обработки – 100°C; длительность процесса – 60 мин, крупность частиц спёка – 2.5 мм и менее.

Опыты по исследованию влияния крупности частиц спёка на извлечение его водорастворимых составляющих компонентов показали, что размер частиц в области 0.16-1.3 мм особенно не влияет на степень извлечения компонентов, и значение степени извлечения находится выше уровня 92-96% (таблица).

При крупности частиц выше 1.5-2.0 мм наблюдается умеренное понижение степени перехода  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в раствор, составившее 7-11%.

Таблица

Влияние крупности частиц на степень перехода сульфата натрия из состава спёка в жидкую фазу

| Крупность частиц спёка | Степень перехода сульфата натрия из состава спёка в жидкую фазу, % |
|------------------------|--|
| 0.16 мм и менее        | 94.0   |
| 0.55 и менее           | 93.4   |
| 0.8 и менее            | 92.2   |
| 1.5 мм и менее         | 87.1   |
| 2.0 мм и менее         | 83.7   |

Таким образом, оптимальными условиями проведения процесса водной обработки спёка можно считать: температура обработки – 90-100°C; продолжительность процесса – 55-60 мин; массовое соотношение жидкой и твердой фаз – 1:15÷1:20; крупность частиц спёка – 1 см – 2.5 мм и менее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров Ш.Б., Сафиев Х.С., Мирсаидов У.М. Селективные методы разложения высококремнистых алюминиевых руд минеральными кислотами. – Душанбе: Дониш, 2008, 237 с.
2. Мирсаидов У.М., Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э. Комплексная переработка аргиллитов и каолиновых глин Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2016, 92 с.
3. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д. Кислотное разложение боросиликатных руд. – Душанбе: Дониш, 2015, 90 с.
4. Курбонов А.С., Маматов Э.Д., Машаллах Сулаймони Б.А., Мирсаидов У.М. Разложение исходного данбурита азотной кислотой. – ДАН РТ, 2010, т. 52, № 12, с. 865-869.

Д.О.ДАВЛАТОВ, Ш.Б.НАЗАРОВ, А.С.ҚУРБОНОВ, У.М.МИРСАИДОВ  
**ТАДҚИҚИ КОРКАРДИ ОБИИ ГУДОХТАИ МУШТАРАКИ МАЪДАНҲОИ  
СИЛИКАТИИ БОР ВА АЛЮМИНИЙ БО СУЛФАТИ НАТРИЙ**

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

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти коркарди обии гудохтаи муштараки ашёи данбуритии қони Ак-Архар ва нефелинҳои сиенитии Турпи бо сульфати натрий оварда шудаанд. Таъсири гуногуни омилҳои физикавӣ-химиявӣ ба раванди ҳалшавии компонентҳои таркиби гудохта, омӯхта шудаанд. Шароитҳои муносиби гузаронидани коркарди обии гудохтаи маъданҳо, ки истихроҷи максималии компонентҳоро ба маҳлул таъмин менамоянд, муайян карда шудаанд.

**Калимаҳои калидӣ:** коркарди обӣ, гудохта, маъдани боросиликати, нефелинҳои сиенитӣ, сульфати натрий, коркард.

D.O.DAVLATOV, Sh.B.NAZAROV, A.S.KURBONOV, U.M.MIRSAIDOV  
**INVESTIGATION OF WATER TREATMENT OF THE SINTER BY JOINT  
PROCESSING OF BORON- AND ALUMOSILICATE ORE WITH SODIUM  
SULPHATE**

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

In this article presents the results of a study of the water treatment of a sinter during the joint processing of the daburite raw material of the Ak-Arkhar deposit and nephelinesyenites of Turpy deposit with sodium sulfate. The influence of various physicochemical factors on the process of dissecting water-soluble constituents of the sinter has been studied. The optimal conditions for conducting water treatment of the sinter are established, which ensure the maximum extraction of components into the solution.

**Key words:** water treatment, sinter, boron-silicate ore, nephelinesyenite, sodium sulfate, processing.

УДК 546.621

ДЖ.Х.ДЖУРАЕВ, А.С.КУРБОНОВ, М.М.ТАГОЕВ, А.М.НЕЪМАТОВ\*, М.МАДЖИДОВ,  
У.М.МИРСАИДОВ\*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОБОЖЖЁННОГО  
КОНЦЕНТРАТА БОРОСИЛИКАТНОЙ РУДЫ АК-АРХАРСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАДЖИКИСТАНА ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ**

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

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

*Поступила в редакцию 4.11.2019 г.*

*Представлены результаты разложения концентрата боросиликатной руды Ак-Архарского месторождения Таджикистана фосфорной кислотой. Найдены оптимальные параметры переработки руды.*

**Ключевые слова:** боросиликатное сырьё, переработка, боро-фосфорное удобрение, ортофосфорная кислота, разложение, извлечение.

Существуют различные способы переработки боросиликатной руды: кислотные, спекательные, хлорные, щелочные и др. методами [1-7]. В литературе не обсуждены вопросы разложения борных руд фосфорной кислотой.

В настоящей работе приведены результаты исследования процесса разложения обожжённого концентрата боросиликатной руды ортофосфорной кислотой. Поскольку концентрат боросиликатной руды в своём составе имеет значительное количество СаО (23,6%) и В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> (17,1%), целесообразна её переработка с ортофосфорной кислотой для получения комплексных боро-фосфорных удобрений. Состав концентрата борной руды приведён в работе [2].

Перед разложением борное сырьё подвергали термической обработке при 900-1000°С в течение 60 мин.

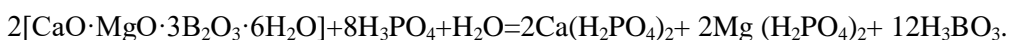
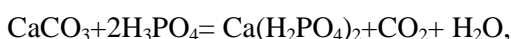
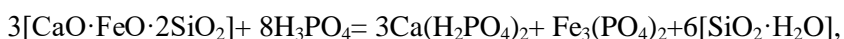
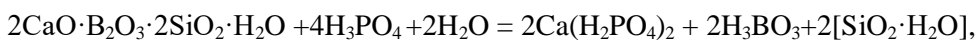
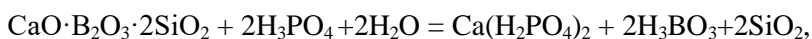
Методом РФА установлено, что основными рудообразующими минералами боросиликатных руд месторождения Ак-Архар являются: данбурит – СаО·В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, датолит

---

*Адрес для корреспонденции:* Курбанов Амиршо Сохибназарович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ, E-mail: amirsho\_77@mail.ru.

–  $2\text{CaO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ , пироксены –  $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot 2\text{SiO}_2$ , гранат –  $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$ , кальцит –  $\text{CaCO}_3$  и в меньшей мере присутствует гидроборацит –  $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 3\text{V}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (или  $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Пустая порода представлена гипсом –  $\text{CaSO}_4\cdot n\text{H}_2\text{O}$ , глинистыми минералами (гидрослюда –  $(\text{Na})\text{Al}_2(\text{AlSi}_3)\cdot\text{O}_{10}[(\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{O}]$ ), монтмориллонитом –  $(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\cdot n\text{H}_2\text{O}$  и кварцем –  $\text{SiO}_2$ .

При разложении минералов, входящих в состав боросиликатных руд, фосфорной кислотой протекают следующие реакции:



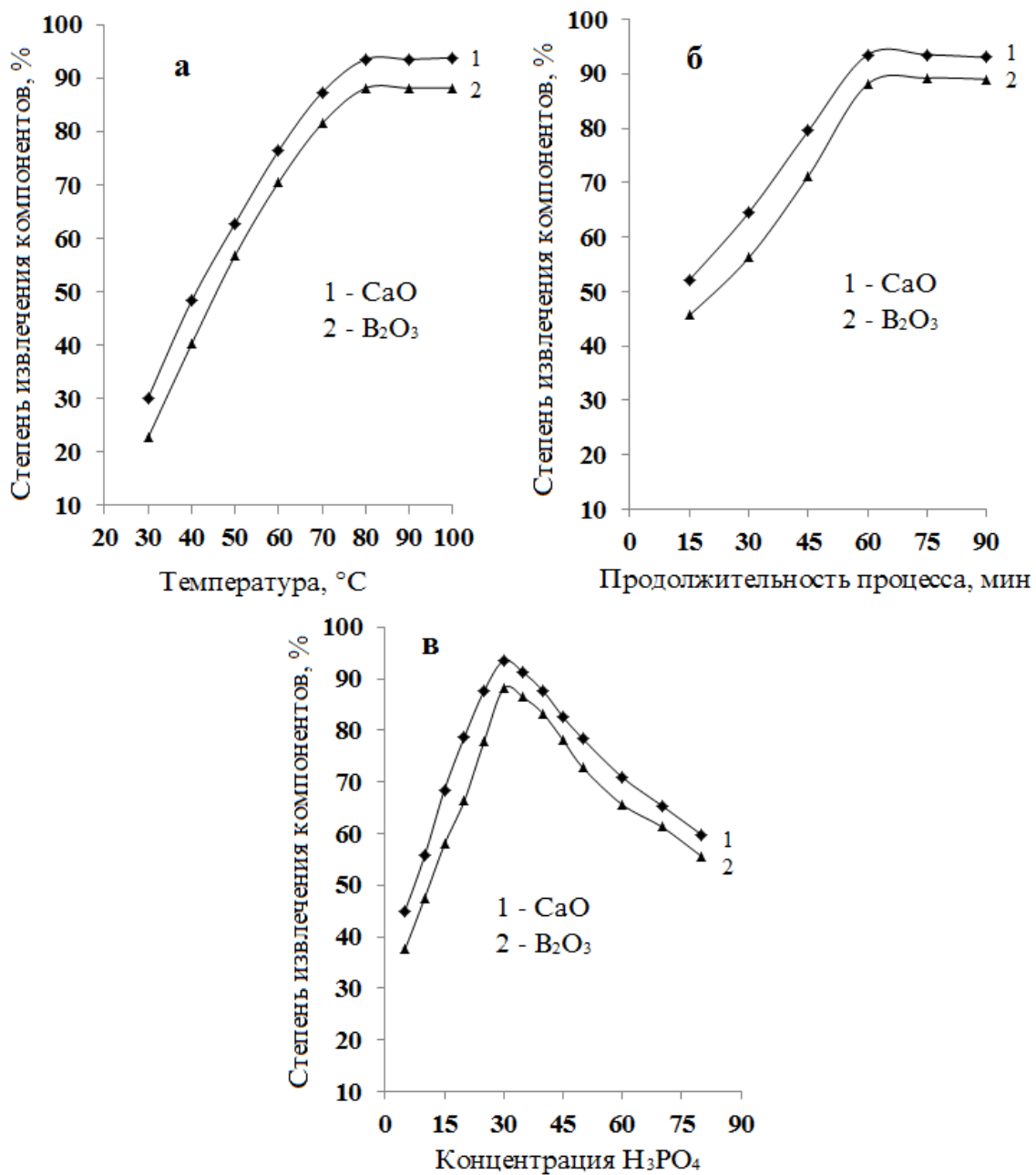
Термодинамический анализ указанных реакций, протекающих при различных температурах, показывает на снижение энергии Гиббса, что свидетельствует о вероятности протекания указанных процессов.

Результаты исследования влияния различных физико-химических факторов на процесс фосфорнокислотного разложения боросиликатной руды приведены на рис.1.

*Влияние температуры.* Изучение влияния температуры на ход реакции в пределах от 20 до 100°C (рис.1а) показало, что боросиликатное сырьё начинает вскрываться уже при температуре 20-25°C. Руду обрабатывали 24-27% ортофосфорной кислотой в течение 60 мин. С ростом температуры степень извлечения компонентов в раствор возрастает и при 100°C составляет (в %):  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 88.05 и  $\text{CaO}$  – 93.4.

*Влияние длительности процесса.* Изучение зависимости степени извлечения компонентов при разложении данбурита от продолжительности процесса при 80°C и концентрации кислоты 24-27% показало, что уже при продолжительности процесса 15 мин с момента взаимодействия  $\text{H}_3\text{PO}_4$  с концентратом боросиликатной руды вскрываемость достигает (в %):  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 35.4 и  $\text{CaO}$  – 51,8 (рис.1б). При увеличении времени кислотной обработки сырья до 60 мин степень извлечения оксидов бора и кальция достигает максимального значения (в %):  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 88.05; и  $\text{CaO}$  – 93.2. Дальнейшее увеличение длительности процесса не привело к увеличению степени извлечения оксидов.

*Влияние концентрации ортофосфорной кислоты.* Результаты исследования влияния концентрации ортофосфорной кислоты и её дозировки показывают, что увеличение концентрации от 5 до 80% существенно изменяет степень вскрытия руды. Выявлено, что оптимальной концентрацией кислоты, вводимой в реакцию, является ~28%, при этом степень извлечения достигает максимального значения (в %):  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 87.9 и  $\text{CaO}$  – 92.8 (рис.1в). Дальнейшее увеличение концентрации ортофосфорной кислоты не приводит к существенному изменению степени извлечения компонентов.



**Рис. 1.** Зависимости степени извлечения оксидов B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CaO из состава концентрата обожжённого данбурита от: а) температуры; б) продолжительности процесса; в) концентрации H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (размер частиц < 0.1 мм; температура – 80°C; продолжительность процесса – 60 мин).

По результатам проведённых исследований по фосфорнокислотному разложению концентрата боросиликатной руды можно рекомендовать следующие условия: продолжительность процесса кислотной обработки – 60 мин; продолжительность процесса обжига – 60 мин; температура обжига – 950-980°C; температура кислотного разложения – 80°C;

110-120% стехиометрическое количество ортофосфорной кислоты и концентрация кислоты – 24-27 мас%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев К.В., Плышевский Ю.С. Технология неорганических соединений бора. – Л.: Химия, 1983, 208 с.
2. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д. Кислотное разложение боросиликатных руд. – Душанбе: Дониш, 2015, 97 с.
3. Ашууров Н.А., Маматов Э.Д., Курбанов А.С., Ятимов П., Мирсаидов У.М. Сернокислотное разложение данбурита. – ДАН РТ, 2008, т. 51, № 6, с. 432-435.
4. Курбанов А.С., Маматов Э.Д., Машаллах Сулеймани Б.А., Мирсаидов У.М. Разложение исходного данбурита азотной кислотой. – ДАН РТ, 2010, т.52, № 12, с. 865-869.
5. Назаров Ф.А., Курбонов А.С., Джураев Дж.Д., Давлатов Д.О., Назаров Ш.Б., Мирсаидов У.М. Спекательный способ переработки концентрата борсодержащей руды Таджикистана в присутствии едкого натрия. – ДАН РТ, 2017, т. 60, № 5-6, с. 242-246.
6. Курбонов А.С., Баротов А.М., Назаров Ф.А., Мирсаидов У.М. Разложение концентрата боросиликатной руды методом спекания с хлоридом кальция. – ДАН РТ, 2016, т. 59, № 1-2, с. 53-57.
7. Худоёров Д.Н., Баротов А.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д., Мирсаидов У.М. Переработка боросиликатных руд с гидроксидом натрия. – Известия АН Республики Таджикистан, Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. Наук, 2015, № 2, с. 12.

Ҷ.Х.ҶҮРАЕВ, А.С.ҚУРБОНОВ, М.М.ТАҒОЕВ, А.М.НЕЪМАТОВ\*, М.МАЧИДОВ,  
У.М.МИРСАИДОВ\*

#### АСОСҲОИ ФИЗИКӢ ВА ХИМИЯВИИ КОРКАРДИ ЧИНСҲОИ БОРОСИЛИКАТИИ ПУХТАШУДАИ КОНИ АК-АРҲАРИ ТОҶИКИСТОН БО КИСЛОТАИ ОРТОФОСФОР

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

*\*Агентии амнияти ядрои ва радитсионии Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Натиҷаҳои таҷзияи концентрати чинси боросиликати кони Ак-Арқари Тоҷикистон бо кислотаи ортофосфат оварда шуданд ва шароитҳои мусоидатгарини коркарди маъданҳои ёфт шуданд.

**Калимаҳои калидӣ:** ашёи хоми боросиликатӣ, коркард, нуриҳои бор-фосфорӣ, кислотаи фосфорӣ, таҷзия, истихроҷ.

J.Kh.JURAEV, A.S.KURBONOV, M.M.TAGOEV, A.M.NEMATOV\*, M.MAJIDOV,  
U.M.MIRSAIDOV\*

**PHYSICAL AND CHEMICAL BASES OF SINTERED TAJIKISTAN  
AK-ARKHAR DEPOSIT BOROSILICATE ORE PROCESSING WITH  
ORTHOPHOSPHORIC ACID**

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

The results of orthophosphoric acid decomposition of borosilicate ore concentrate of the Tajikistan Ak-Arkhar deposit are presented and the optimal parameters of ore processing have been found.

**Key words:** borosilicate feedstock, processing, borophosphoric fertilizer, phosphoric acid, decomposition, extraction.



УДК 669.76+542.943

П.Р.ИБРОХИМОВ, И.Н.ГАНИЕВ, Ф.А.РАХИМОВ, З.Р.ОБИДОВ

**АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА  $Zn_{0.5}Al$ ,  
ЛЕГИРОВАННОГО МОЛИБДЕНОМ, В КИСЛОЙ СРЕДЕ**

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

*Поступила в редакцию 20.11.2019 г.*

*В работе представлены результаты потенциодинамического исследования анодного поведения сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного молибденом, в кислой среде. Показано, что легирование цинк-алюминиевого сплава молибденом способствует уменьшению скорости коррозии исходного сплава в 1.5-2.0 раза.*

**Ключевые слова:** сплав  $Zn_{0.5}Al$ , молибден, потенциостатический метод, электролит HCl, потенциал коррозии, скорость коррозии.

В настоящее время для защиты от коррозии изделий из стали и чугуна применяются металлические покрытия на основе цинка, наносимые на поверхность изделий различными методами [1].

При изучении анодного поведения сплавов широко используются электрохимические методы, особенно потенциодинамические [2]. Поскольку, используя потенциодинамические режимы исследования, можно оценить в поведении анодного сплава роль электродного потенциала в пассивном состоянии. Обусловлено, что важнейшей анодной характеристикой сплава является зависимость кинетики растворения от потенциала, где можно применять для выбора способа защиты и повышения устойчивости анодного сплава в эксплуатационных заданных условиях.

Таким образом, авторами [3-8] разработаны новые защитные цинк-алюминиевые покрытия с некоторыми элементами периодической таблицы. Имеются сведения об анодном поведении данных сплавов в кислых, нейтральных и щелочных средах [4, 5]. Установлена эффективность их легирования третьими компонентами [7, 8].

---

*Адрес для корреспонденции: Иброхимов Пайрав Рустамович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru*

В научной литературе и в сети интернета нами не обнаружены сведения, относящиеся к влиянию молибдена на анодное поведение эвтектидного сплава Zn0.5Al. Исходя из этого, в качестве легирующего компонента сплава Zn0.5Al был выбран молибден.

Образцы сплава для исследования были получены из цинка марки ХЧ (гранулированный), алюминий марки А7 и его лигатуры с молибденом (2% Мо) в тиглях из оксида алюминия в шахтной печи электрического сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 650...750°С. Химический анализ компонентов состава исследуемых сплавов контролировался микрорентгеноспектральным анализом на приборе SEM серии AIS 2100 (Южно-Корейского производства). Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали стержни диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Боковые части образцов покрывались коррозионностойким лаком. Рабочей поверхностью служил торец электрода.

Электрохимические исследования тройных сплавов проводили потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с, в кислых средах 0.001н, 0.01н и 0.1н электролита HCl. Электродом сравнения служил хлорсеребряный, вспомогательным – платиновый. Подробно методика электрохимического исследования сплавов описана в работах [9, 10].

Результаты исследования представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Изменения потенциала свободной коррозии ( $-E_{\text{св.корр.}}$ , В) сплава Zn0.5Al, легированного молибденом, во времени, в кислой среде

| Среда HCl | Добавки Мо в сплаве, мас.% | Время выдержки образцов, минут |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|----------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |                            | 1/3                            | 2/3   | 1     | 5     | 15    | 30    | 45    | 60    |
| 0.001н    | -                          | 1.066                          | 1.064 | 1.058 | 1.049 | 1.045 | 1.045 | 1.045 | 1.045 |
|           | 0.01                       | 1.072                          | 1.071 | 1.069 | 1.061 | 1.057 | 1.057 | 1.057 | 1.057 |
|           | 0.05                       | 1.084                          | 1.082 | 1.079 | 1.073 | 1.064 | 1.064 | 1.064 | 1.064 |
|           | 0.1                        | 1.100                          | 1.098 | 1.098 | 1.083 | 1.079 | 1.079 | 1.079 | 1.079 |
|           | 0.5                        | 1.124                          | 1.124 | 1.123 | 1.112 | 1.093 | 1.093 | 1.093 | 1.093 |
|           | 1.0                        | 1.137                          | 1.135 | 1.132 | 1.114 | 1.108 | 1.108 | 1.108 | 1.108 |
| 0.01н     | -                          | 1.123                          | 1.122 | 1.117 | 1.115 | 1.110 | 1.110 | 1.110 | 1.110 |
|           | 0.01                       | 1.146                          | 1.144 | 1.141 | 1.136 | 1.124 | 1.124 | 1.124 | 1.124 |
|           | 0.05                       | 1.155                          | 1.154 | 1.152 | 1.147 | 1.133 | 1.133 | 1.133 | 1.133 |
|           | 0.1                        | 1.168                          | 1.167 | 1.165 | 1.155 | 1.147 | 1.147 | 1.147 | 1.147 |
|           | 0.5                        | 1.191                          | 1.191 | 1.189 | 1.173 | 1.165 | 1.165 | 1.165 | 1.165 |
|           | 1.0                        | 1.203                          | 1.200 | 1.197 | 1.186 | 1.174 | 1.174 | 1.174 | 1.174 |
| 0.1н      | -                          | 1.211                          | 1.210 | 1.209 | 1.201 | 1.190 | 1.190 | 1.190 | 1.190 |
|           | 0.01                       | 1.220                          | 1.218 | 1.217 | 1.214 | 1.204 | 1.204 | 1.204 | 1.204 |
|           | 0.05                       | 1.231                          | 1.231 | 1.230 | 1.223 | 1.211 | 1.211 | 1.211 | 1.211 |
|           | 0.1                        | 1.235                          | 1.233 | 1.233 | 1.221 | 1.215 | 1.215 | 1.215 | 1.215 |
|           | 0.5                        | 1.252                          | 1.251 | 1.250 | 1.241 | 1.237 | 1.237 | 1.237 | 1.237 |
|           | 1.0                        | 1.267                          | 1.264 | 1.261 | 1.254 | 1.244 | 1.244 | 1.244 | 1.244 |

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава Zn0.5Al,  
легированного молибденом, в кислой среде

| Среда<br>HCl | Содержание<br>Mo в сплаве,<br>мас.% | Электрохимические потенциалы, В<br>(х.с.э.) |                     |                    |                    | Скорость коррозии      |                      |
|--------------|-------------------------------------|---|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
|              |                                     | -E <sub>св.корр.</sub>                      | -E <sub>корр.</sub> | -E <sub>п.о.</sub> | -E <sub>реп.</sub> | $i_{корр.} \cdot 10^2$ | $K \cdot 10^3$       |
|              |                                     |   |                     |                    |                    | А/М <sup>2</sup>       | г/М <sup>2</sup> · ч |
| 0.001н       | -                                   | 1.045                                       | 1.051               | 0.912              | 0.921              | 0.136                  | 1.65                 |
|              | 0.01                                | 1.057                                       | 1.060               | 0.928              | 0.933              | 0.068                  | 0.83                 |
|              | 0.05                                | 1.064                                       | 1.065               | 0.935              | 0.942              | 0.074                  | 0.90                 |
|              | 0.1                                 | 1.079                                       | 1.083               | 0.952              | 0.965              | 0.090                  | 1.10                 |
|              | 0.5                                 | 1.093                                       | 1.096               | 0.968              | 0.973              | 0.105                  | 1.28                 |
|              | 1.0                                 | 1.108                                       | 1.114               | 0.975              | 0.988              | 0.118                  | 1.44                 |
| 0.01н        | -                                   | 1.110                                       | 1.118               | 0.980              | 0.995              | 0.154                  | 1.87                 |
|              | 0.01                                | 1.124                                       | 1.133               | 0.992              | 1.002              | 0.076                  | 0.93                 |
|              | 0.05                                | 1.133                                       | 1.135               | 1.005              | 1.011              | 0.087                  | 1.06                 |
|              | 0.1                                 | 1.147                                       | 1.153               | 1.010              | 1.023              | 0.103                  | 1.25                 |
|              | 0.5                                 | 1.165                                       | 1.174               | 1.018              | 1.027              | 0.112                  | 1.36                 |
|              | 1.0                                 | 1.174                                       | 1.175               | 1.026              | 1.033              | 0.124                  | 1.51                 |
| 0.1н         | -                                   | 1.190                                       | 1.195               | 1.030              | 1.036              | 0.178                  | 2.17                 |
|              | 0.01                                | 1.204                                       | 1.210               | 1.040              | 1.045              | 0.089                  | 1.09                 |
|              | 0.05                                | 1.211                                       | 1.215               | 1.045              | 1.057              | 0.096                  | 1.17                 |
|              | 0.1                                 | 1.215                                       | 1.215               | 1.053              | 1.064              | 0.120                  | 1.46                 |
|              | 0.5                                 | 1.237                                       | 1.240               | 1.068              | 1.078              | 0.137                  | 1.67                 |
|              | 1.0                                 | 1.244                                       | 1.248               | 1.075              | 1.082              | 0.151                  | 1.84                 |

Как видно, со временем потенциал свободной коррозии ( $-E_{св.корр.}$ , В) сплавов смещается в положительную область. Потенциал  $E_{св.корр.}$  исходного сплава Zn0.5Al по мере роста добавки молибдена и концентрации хлорид-иона в электролите HCl смещается в область отрицательных значений (табл. 1). Введение в сплав Zn0.5Al молибдена в пределах изученной концентрации способствует смещению потенциалов коррозии ( $-E_{корр.}$ , В), питтингообразования ( $-E_{п.о.}$ , В) и репассивации ( $-E_{реп.}$ , В) в область отрицательных значений (табл. 2). Следует отметить, что динамика изменения коррозионно-электрохимических потенциалов благоприятно влияет на изменения коррозионной стойкости сплавов в целом.

В целом легирование сплава Zn0.5Al молибденом различной концентрации придаёт сплаву (защитного покрытия) большей анодной устойчивости в кислой среде, вследствие их природы (термодинамическая устойчивость) или эффективного торможения той или иной стадии анодного процесса (например, торможения анодного процесса из-за наступления пассивного состояния). Следовательно, введение в сплав Zn0.5Al молибдена (0.01-0.1 мас.%) способствует уменьшению скорости коррозии исходного сплава в 1.5-2.0 раза (табл. 2). Составы данных сплавов считаются оптимальными, в плане разработки анодных сплавных покрытий и протекторов для защиты металлических конструкций и изделий из стали и чугуна от коррозии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кечин В.А., Люблинский Е.Я. Цинковые сплавы. – М.: Металлургия, 1986, 247 с.
2. Obidov Z.R., Ganiev I.N. – Russian Journal of Applied Chemistry, 2012, v. 85, № 11, pp. 81-1784.
3. Амини Р.Н., Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Ганиева Н.И. Анодное поведение сплава Zn55Al, легированного бериллием, в среде электролита NaCl. – ДАН РТ, 2010, т. 53, № 2, с. 131-134.
4. Amini R.N., Irani M.B., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Galfan I and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys. – Oriental Journal of Chemistry, 2014, v. 30, № 3, pp. 969-973.
5. Обидов З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn55Al, легированного бериллием и магнием. – Журнал прикладной химии, 2015, т. 88, № 9, с. 1306-1312.
6. Obidov Z.R. Thermophysical properties and thermodynamic functions of the beryllium, magnesium and praseodymium alloyed Zn-55Al alloy. – High Temperature, 2017, v. 55, № 1, pp. 150-153.
7. Обидов З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn5Al, легированного бериллием и магнием. – Известия СПбГТИ (ТУ), 2015, № 32(58), с. 52-55.
8. Obidov Z.R. Anodic behavior and oxidation of strontium-doped Zn5Al and Zn55Al alloys. – Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2012, v. 48, № 3, pp. 352-355.
9. Обидов З.Р., Ганиев И.Н. Физикохимия цинк-алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами. – Душанбе: ООО «Андалеб-Р», 2015, 334 с.
10. Колотыркина Я.М. Металл и коррозия. – М.: Металлургия, 1985, 88 с.

П.Р.ИБРОҲИМОВ, И.Н.ГАНИЕВ, Ф.А.РАҲИМОВ, З.Р.ОБИДОВ

### РАФТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ Zn0.5Al, КИ БО МОЛИБДЕН ЧАВҲАРОНИДА ШУДААСТ, ДАР МУҲИТИ КИСЛОТАГӢ

*Институту химияи ба номи В.И.Никитини  
Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқоти потенсиодинамикии рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо молибден чавҳаронида шудааст, дар муҳити кислотагӣ пешниҳод шудааст. Нишон дода шудааст, ки чавҳаронии хӯлаи руҳ-алюминий бо молибден қобилияти 1.5-2 маротиба кам намудани суръати коррозияи хӯлаи аввалияро зоҳир менамояд.

**Калимаҳои калидӣ:** хӯлаи Zn0.5Al, молибден, усули потенсиостатикӣ, электролити HCl, потенсиали коррозия, суръати коррозия.

P.R.IBROHIMOV, I.N.GANIEV, F.A.RAHIMOV, Z.R.OBIDOV

### ANODE BEHAVIOUR OF Zn0.5Al ALLOY, DOPED WITH MOLYBDENUM, IN THE SOUR ENVIRONMENT

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

In paper results potentiodynamical researches of anode behaviour of Zn0.5Al alloy, doped with molybdenum, in the sour environment are presented. It is shown, that doped zinc-aluminium alloy molybdenum promotes reduction of corrosion rate of an alloy initial at 1.5-2 times.

**Key words:** Zn0.5Al alloy, molybdenum, potentiostatically method, HCl electrolyte, corrosion potential, corrosion rate.

УДК 544.476:661.183.123.2

Х.К.МАХКАМОВ, С.ХАЛИКОВА, Д.Х.ХАЛИКОВ, М.И.ИЛОЛОВ\*, Х.М.АХМЕДОВ\*

**О ПЕРСПЕКТИВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПИНАМБУРА В КАЧЕСТВЕ  
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕКТИНОВЫХ  
ПОЛИСАХАРИДОВ**

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

*\*Центр инновационного развития науки и новых технологий*

*АН Республики Таджикистан*

*Поступила в редакцию 19.12.2019 г.*

*Проведено сравнительное изучение процесса гидролиз-экстракции пектиновых полисахаридов клубней топинамбура (ТНБ) сорта "Сарват" без (БЭИ) и после экстракции (ПЭИ) инулина. Продукты гидролиза разделили на фракции микрогель (МГ), пектиновые вещества (ПВ) и олигосахариды (ОС) по ранее разработанной методике. Показан низкий выход основных фракций пектиновых полисахаридов -МГ и ПВ, при высоком содержании ОС. Установлено увеличение выходов МГ и ПВ в условиях БЭИ по сравнению ПЭИ. Низкий выход и малое содержание в них остатков галактуроновой кислоты (ГК) при высокой степени их метоксилирования позволяет сделать заключение о низких перспективах использования ТНБ в качестве растительного сырья для получения пектиновых полисахаридов.*

**Ключевые слова:** топинамбур, пектиновые вещества, микрогель, гидролиз-экстракция, олигосахариды.

Среди разнообразия нетрадиционных видов сырья одним из перспективных источников пектиновых полисахаридов, обусловленных дешевизной и характеризующих полноценным биохимическим составом, является ТНБ [1].

Пищевая ценность клубней ТНБ обусловлена высоким содержанием физиологически функциональных макро- и микронутриентов, таких как инулин, пектиновые вещества, пищевые волокна и минеральные элементы. Целью настоящей работы является сравнительное изучение гидролиз-экстракции пектиновых полисахаридов клубней ТНБ

---

*Адрес для корреспонденции:* Халиков Джурабой Халикович, 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ E-mail: dkhalikov@rambler.ru

без (БЭИ) и после экстракции (ПЭИ) инулина, оптимизации способа получения и идентификации, получаемых продуктов реакции.

Высушенный и измельченный порошок клубней ТНБ в количестве 200 г экстрагировали горячим 80% этиловым спиртом, в течение 30 минут. Затем давали им набухать в дистиллированной воде не менее двух суток, образовавшуюся массу отделяли от маточного раствора центрифугированием и определяли степень набухания ( $S_{\text{ТНБ}}$ ) исходного сырья ( $m_{\text{наб}} m_{\text{ТНБ}}=854$  г;  $S_{\text{ТНБ}}=3.27$  г/г). Набухшую массу трижды промывали дистиллированной водой и после центрифугирования часть из них использовали для выделения инулина, а другую часть для гидролиз-экстракции пектиновых полисахаридов (БЭИ). По первому способу навеска (500 г) набухшего ТНБ (или 117.1 г сухого растительного материала) в одном литре дистиллированной воды была использована для экстракции инулина, которую проводили при температуре 75°C и pH равной 6.5 в течение 30 мин. Набухшая масса ТНБ, после освобождения от инулина была использована для выделения пектиновых полисахаридов (ПЭИ) в условиях статического режима (СР). Последующее отделение экстракта, его осветление, концентрирование и выделение из раствора проводили по методике [1]. Инулин из очищенного раствора гидролизата выделяли путем осаждения трёхкратным объемом спирта. Выход инулина 15.7 г или 13.4% от массы высушенного растительного сырья. Оставшееся сухое вещество в маточном растворе после выделения инулина составляла 15.1г. или 12.9%. Последующее разделение целевых продуктов на фракции МГ, ПВ и ОС и анализ в них остатков ГК и их степени этерификации (СЭ) проводили по известной методике [2-3]. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица

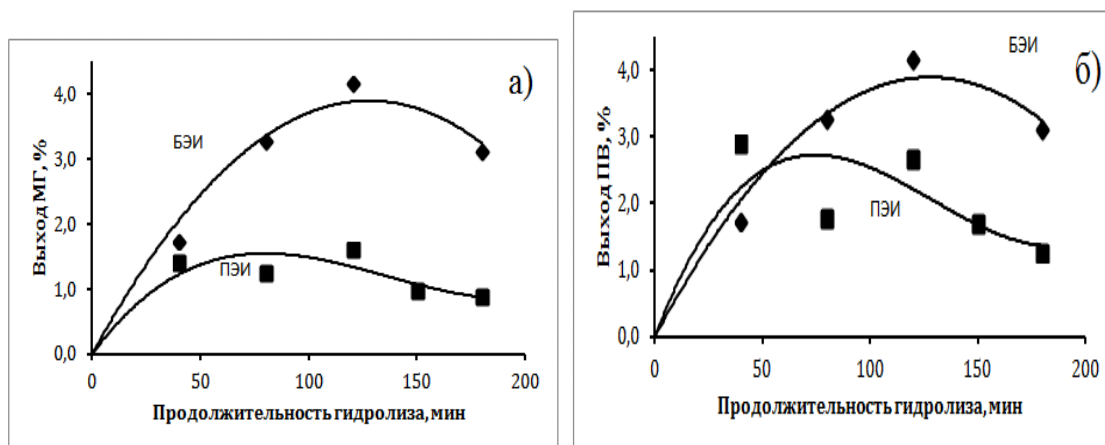
Кинетика выхода компонентов распада протопектина ТНБ в условии БЭИ\*

| Время гидр, мин | Выход, % |       |        |        |       |        |        |       |       |
|-----------------|----------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
|                 | pH       | W(МГ) | ГК(МГ) | СЭ(МГ) | W(ПВ) | ГК(ПВ) | СЭ(ПВ) | W(ОС) | W(ОК) |
| 0               | 1.20     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0     | 0     |
| 15              | 1.54     | 3.19  | 7.93   | 67.71  | 2.12  | 16.37  | 50.00  | 81.10 | 13.59 |
| 30              | 1.95     | 4.24  | 20.19  | 55.80  | 1.50  | 35.26  | 51.50  | 84.21 | 10.06 |
| 40              | 1.92     | 1.45  | 16.70  | -      | 3.26  | 22.20  | -      | 80.00 | 15.29 |
| 50              | 1.95     | 3.08  | 25.75  | 52.00  | 2.65  | 26.61  | 61.90  | -     | 9.16  |
| 75              | 2.09     | 4.61  | 30.87  | 50.45  | 2.38  | 45.65  | 59.20  | -     | 7.04  |
| 80              | 2.11     | 3.30  | 14.50  | -      | 3.00  | -      | -      | 78.50 | 15.20 |
| 120             | 2.01     | 4.17  | 16.80  | 54.20  | 5.98  | -      | 51.20  | 78.50 | 11.35 |
| 150             | 1.33     | 0.89  | 10.53  | 54.72  | 4.20  | 39.01  | 48.12  | 76.00 | 18.91 |
| 180             | 1.34     | 1.88  | 5.84   | 58.51  | 4.93  | 37.36  | 49.49  | 75.00 | 18.19 |

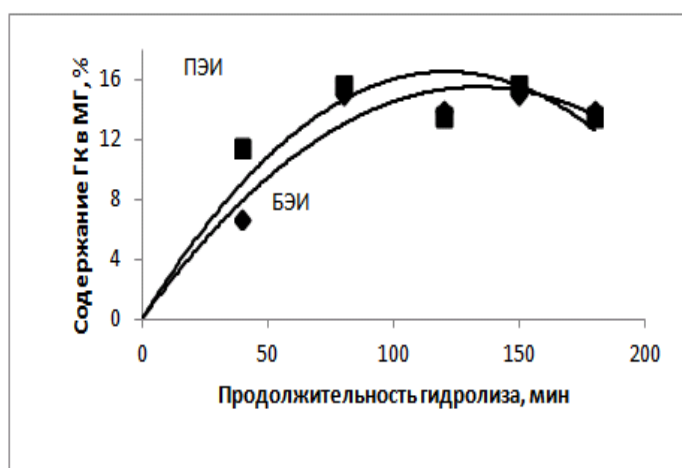
\*рНо=1.2; m(сырьё)=20 г; T°C=85; режим – СР; клубни ТНБ сорта "Сарват", выращенные на опытном участке Института химии им. В.И.Никитина АН РТ, а также предоставленные к.х.н., доцентом Технологического университета Таджикистана М.Исмаиловой.

Из данных таблицы видно, что в условиях БЭИ выход основных продуктов реакции МГ, ПВ и содержание в них остатков ГК при прочих равных условиях значительно ниже, а выход ОС больше по сравнению с компонентами других растительных материа-

лов. В то же время их количество ГК в ПВ больше, чем МГ ТНБ и достигает почти 50% рубежа. Степень этерификации ГК во фракциях МГ и ПВ достигает почти 60%-ой величины, что дает основание их отнести к высокоэтерифицированным пектинам. На рис. 1 продемонстрированы выходы МГ при проведении реакции гидролиз-экстракции ТНБ в условиях БЭИ и ПЭИ. Из рис. 1 следует, что измеряемый параметр более, чем в два раза превышает в условиях БЭИ по сравнению гидролиз-экстракции в режиме ПЭИ. При этом абсолютная величина выходов МГ в обоих случаях значительно меньше, чем в других растительных объектах, используемых для выделения пектиновых полисахаридов. Аналогичным образом ведут себя кривые выхода ПВ (рис. 2). Значительную долю выхода компонентов гидролиз-экстракции ТНБ в условиях БЭИ составляют ОС (более 80%), являющиеся, по-видимому, низкомолекулярными продуктами распада пектиновых полисахаридов и инулина, которые резко снижаются (до 20 и менее %) при переходе в режиме ПЭИ.



**Рис. 1.** Кинетика выхода МГ (а) и ПВ (б) в условиях БЭИ и ПЭИ (рН=2; m(сырьё)=20 г; Т°С=70; режим – СР; Выходы продуктов реакции здесь и в последующих рисунках рассчитаны по отношению к исходному высушенному сырью).



**Рис. 2.** Содержание остатков ГК в МГ ТНБ в условиях БЭИ и ПЭИ.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при проведении гидролиз-экстракции ТНБ в условиях БЭИ выход продуктов реакции МГ и ПВ увеличивается за счёт присутствия инулина.

Однако, анализ содержания ГК в компонентах реакции показывает почти, в пределах ошибки опытов, сравнимые значения этих величин (рис. 2), что означает отсутствие продуктов распада инулина в МГ, полученного в условиях БЭИ.

Таким образом, в условиях без экстракции инулина, выход основных компонентов протопектина ТНБ – микрогеля и пектиновых веществ – значительно больше, чем с экстракцией инулина. Закономерности гидролиз-экстракции протопектина ТНБ существенно не отличаются от других сырьевых ресурсов, а невысокий выход основных компонентов реакции МГ и ПВ дает основание считать использование топинамбура в качестве растительного сырья для получения пектиновых полисахаридов, не перспективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Манукян Л.С., Кочикян В.Т., Андреасян Н.А., Афян К.Б., Балаян А.М. Выделение инулина из различного растительного сырья. – Биолог. журн. Армении, 2014, № 4, с.72-75.
2. Халиков Д.Х., Горшкова Р.М., Халикова С., Авлоев Х.Х., Мухиддинов З.К. Распад протопектинов при кислотном гидролизе растительных материалов. – ДАН РТ, 2007, т. 50, № 4, с. 340-343.
3. Халиков Д.Х., Горшкова Р.М., Махкамов Х.К., Мухиддинов З.К. Кинетика кислотного гидролиза протопектина корзинки подсолнечника. – Химический журнал Казахстана, 2015, № 2, с. 195-202.

Х.К.МАХКАМОВ, С.ХОЛИҚОВА, Ч.Х.ХОЛИҚОВ, М.И.ИЛОЛОВ\*, Х.М.АҲМЕДОВ\*

### ОИД БА ДУРНАМОИ ИСТИФОДАИ ТОПИНАМБУР БА СИФАТИ АШЁИ ХОМИ РАСТАНИГЀ БАРОИ БА ДАСТ ОВАРДАНИ ПОЛИСАХАРИДҲОИ ПЕКТИНЀ

*Институти химияи ба номи В.И.Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон,*

*\*Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави*

*Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Таҳлили муқоисавии гузариши гидролиз -экстраксияи полисахаридҳои пектини лундаи топинамбури (ТНБ) наъви "Сарват" бе- (ПЭ) ва баъди экстраксияи (БЭ) инулин гузаронида шуд. Маводҳои гидролиз ба фраксияҳои микрогел (МГ) моддаҳои пектинӣ (МП) ва олигосахаридҳо (ОС) аз рӯи методикаи пештар тадқиқшуда ҷудо карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки барориши фраксияҳои асоси полисахаридҳои пектинӣ МГ ва МП бисёр кам буда, зиёда аз 80% -и протопектинҳои топинамбура ба ОС мубаддал мегарданд. Дар ин ҳолат баромади нисбатан баланди МГ ва МП дар шароити ПЭ инулин нисбатан ба БЭ тасдиқ карда шудааст. Баромади ками полисахаридҳои пектинӣ дар фраксияи асосӣ МГ, МП ва паст будани боқимондаи кислотаи галактуронат (КГ) дар таркиби онҳо имкон



медихад, ки хулосаи на он қадар баланд истифодабарии ТНБ ба сифати маводи растанигӣ назаррас бошад.

**Калимаҳои калидӣ:** топинамбур, маводҳои пектинӣ, микрогель, гидролиз-экстракция, олигосахаридҳо.

H.K.MAKHKAMOB, S.KHALIKOVA, D.Kh.KHALIKOV, M.I.ILOLOV\*,  
H.M.AKHMEDOV\*

**ABOUT THE PROSPECT OF USING JERUSALEM ARTICHOKE AS  
A VEGETABLE RAW MATERIAL FOR PRODUCING PECTIN  
POLYSACCHARIDES**

*V.I.Nikitin Institute of Chemistry Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,  
\*Center for Innovative Development of Science and New Technologies,  
Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

A comparative study of the hydrolysis extraction of pectin polysaccharides of Jerusalem artichoketubers (TNB) of the “Sarvat” cultivar without (BEI) and after extraction (PEI) of inulin was carried out. Products of hydrolysis were divided into fractions: microgel (MG), the pectin aceous substances (PS) and oligosaccharides (OS) according earlier developed methods. Low yields of the main fractions of pectin polysaccharides — microgel and pectin substances (MG and PV), with a high content of oligosaccharides (OS) were shown. An increase in the yields of MG and PV under the conditions of BEI was established compared to PEI. The low yield of general fractions (MG and PC), small among in residues the galacturonic acid (GA) at high degree of their metossilazionethat allows to conclude regarding low perspective of using of TNB as a vegetable source for receiving pectin aceous polysaccharides.

**Key words:** Jerusalem artichoke, pectin substances, microgel, hydrolysis-extraction, oligosaccharides.

УДК 544

Ш.Д.ОТАЕВ, Д.Х.МИРЗОЕВ, А.М.КАЮМОВ, У.М.МИРСАИДОВ

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗЛОЖЕНИЯ КАОЛИНОВЫХ  
ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧАШМА-САНГ ТАДЖИКИСТАНА  
МИНЕРАЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ**

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

*Поступила в редакцию 30.10.2019 г.*

*Приведены результаты термодинамической оценки разложения минералов каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана при различных температурах при разложении серной и азотной кислотами. Показаны изменения энергии Гиббса от температуры и вероятности протекания процессов при взаимодействии минералов каолиновых глин с указанными кислотами.*

**Ключевые слова:** каолиновая глина, термодинамическая оценка, серная кислота, азотная кислота, энергия Гиббса.

Для разложения алюмосиликатных руд доступными являются серная и азотная кислоты, так как уже на начальной стадии процесса в раствор переходят основные полезные компоненты.

В литературе [1-3] описано разложение каолиновых глин минеральными кислотами и показана перспективность кислотного разложения алюмосиликатных руд.

В настоящей работе дана термодинамическая оценка кислотного разложения каолиновых глин серной и азотной кислотами. При изучении процесса разложения минералов, составляющих каолиновые глины, необходим термодинамический анализ возможности протекания процесса с участием  $H_2SO_4$  и  $HNO_3$ .

Как известно, каолиновые глины месторождения Чашма-Санг состоят из следующих минералов: каолинит ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), гематит ( $Fe_2O_3$ ), гётит ( $FeO(OH)$ ), кварц ( $SiO_2$ ), монтмориллонит ( $(OH)_4Si_8Al_4O_{20} \cdot nH_2O$ ), иллит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ), гидраргиллит ( $Al(OH)_3$ ), гидрослюда ( $3NaAl_2 [AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ).

**Адрес для корреспонденции:** Мирзоев Давлатмурод Хайруллоевич, 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии АН РТ. E-mail: davlatmurod.mirzoev.71@mail.ru

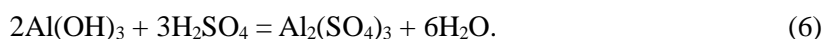
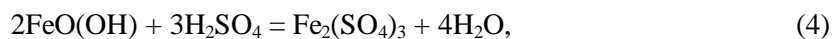
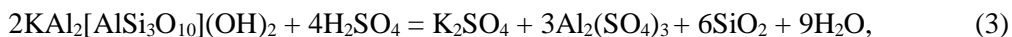
Для термодинамической оценки минералов, слагающих каолиновые глины, предварительно найдены значения термодинамических функций, известных в литературе, которые приведены в табл.1 [4].

Таблица 1

Величины термодинамических функций минералов каолиновых глин и продуктов с серной кислотой

| №   | Вещество                               | $\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль | $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·град |
|-----|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1.  | $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O_{кр}$ | -4098.6                       | 203                               |
| 2.  | $NaAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2_{кр}$      | -5932                         | 284.5                             |
| 3.  | $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2_{кр}$       | -5982                         | 306.4                             |
| 4.  | $FeO(OH)_{кр}$                         | -558                          | 60.3                              |
| 5.  | $Fe_2O_3_{кр}$                         | -822                          | 87.4                              |
| 6.  | $Al(OH)_3_{кр}$                        | -1315                         | 70.1                              |
| 7.  | $H_2SO_4_{ж}$                          | -814.2                        | 157                               |
| 8.  | $Al_2(SO_4)_3_{кр}$                    | -3442                         | 239.2                             |
| 9.  | $SiO_2_{кр}$                           | -910.9                        | 42                                |
| 10. | $H_2O_{ж}$                             | -286                          | 70                                |
| 11. | $Na_2SO_4_{кр}$                        | -1391.8                       | 135.8                             |
| 12. | $K_2SO_4_{кр}$                         | -1415.5                       | 219.8                             |
| 13. | $Fe_2(SO_4)_3_{кр}$                    | -2580.2                       | 282.8                             |

С серной кислотой возможно протекание следующих реакций:



Конечно возможны другие варианты протекания процессов кислотного разложения указанных минералов с получением различных конечных продуктов.

Термодинамические характеристики рассматриваемых реакций приведены в табл. 2. Для выполнения расчётов использованы термодинамические характеристики веществ [4]. При этом зависимость изменения теплот образования от температуры, а также теплоты фазовых переходов не учитывались.

Таблица 2

Термодинамические характеристики рассматриваемых реакций с участием серной кислоты (схемы (1)-(6))

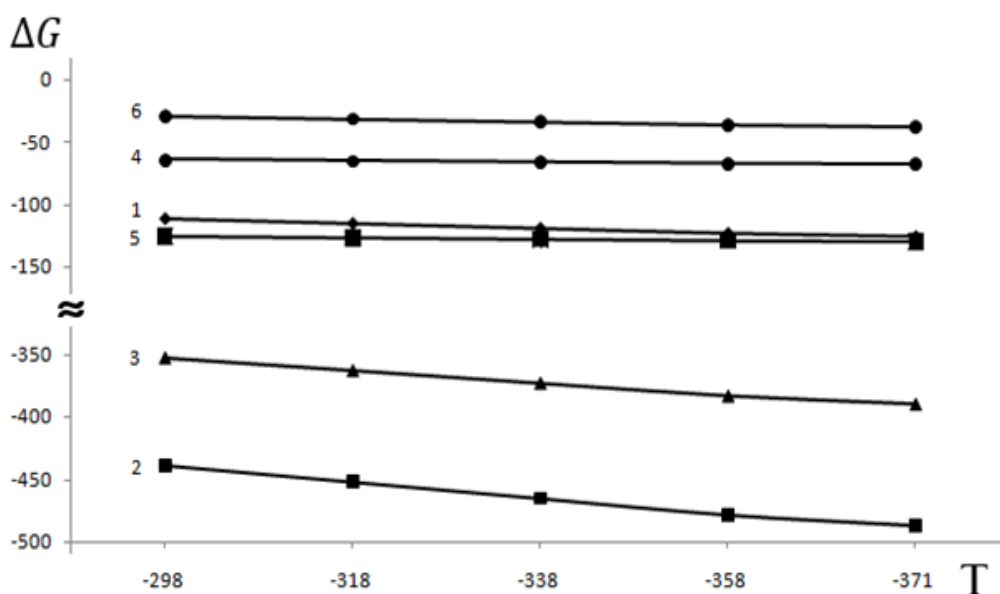
| № схемы | $\Delta H_{298}^0$ ,<br>кДж/моль | $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·град | $\Delta G_{298}^0$ ,<br>кДж/моль |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| (1)     | -152.6                           | -0.8                              | -125.36                          |
| (2)     | -3778.4                          | 328.4                             | -3876.26                         |
| (3)     | -3702.1                          | 368.6                             | -3811.94                         |
| (4)     | -165.6                           | 28.8                              | -157.01                          |
| (5)     | -173.6                           | 65.6                              | -154.05                          |
| (6)     | -85.4                            | 48                                | -99.704                          |

Расчётные значения изменения энергии Гиббса представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Таблица 3

Значения энергии Гиббса ( $\Delta G$ , кДж/моль) при различных температурах

| № схемы | $\Delta G_{298}^0$ | $\Delta G_{318}^0$ | $\Delta G_{338}^0$ | $\Delta G_{358}^0$ | $\Delta G_{371}^0$ |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (1)     | -152.36            | -152.345           | -152.329           | -152.313           | -152.303           |
| (2)     | -3876.263          | -3882.83           | -3889.399          | -3895.96           | -3900.24           |
| (3)     | -3811.94           | -3819.314          | -3826.68           | -3834.06           | -3838.85           |
| (4)     | -157.01            | -156.44            | -155.86            | -155.29            | -154.91            |
| (5)     | -154.05            | -152.74            | -151.42            | -150.11            | -149.26            |
| (6)     | -99.704            | -100.664           | -101.62            | -102.584           | -103.208           |



**Рис.1.** Зависимости изменения  $\Delta G$  от температуры разложения минералов, содержащихся в каолиновых глинах, при разложении серной кислотой: 1 – каолинит, 2 – гидрослюда, 3 – иллит, 4 – гётит, 5 – гематит, 6 – гидраргиллит.

Как видно из табл. 3 и рис. 1, одинаковый характер значений  $\Delta G$  наблюдается для минерала гидраргиллита, незначительные изменения наблюдаются для минералов каоли-

нит, гематит и гётит. Для минералов гидрослюды и иллита наблюдается уменьшение энергии Гиббса при повышении температуры.

Анализ изменения энергии Гиббса от температуры для алюминийсодержащих минералов показал, что термодинамически предпочтительными являются реакции (2) и (3).

Результаты термодинамической оценки разложения каолиновых глин азотной кислотой представлены в табл. 4-6 и на рис. 2.

Предварительно найдены термодинамические функции минералов каолиновых глин и азотной кислоты (табл. 4).

Таблица 4

Величины термодинамических функций минералов каолиновых глин и продуктов с азотной кислотой

| №   | Вещество   | $\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль | $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·град |
|-----|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1.  | $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{\text{кр}}$ | -4098.6                       | 203                               |
| 2.  | $\text{NaAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2_{\text{кр}}$             | -5932                         | 284.5                             |
| 3.  | $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2_{\text{кр}}$              | -5982                         | 306.4                             |
| 4.  | $\text{FeO}(\text{OH})_{\text{кр}}$  | -558                          | 60.3                              |
| 5.  | $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{кр}}$  | -822                          | 87.4                              |
| 6.  | $\text{Al}(\text{NO}_3)_3_{\text{кр}}$   | -1151.9                       | 140.4                             |
| 7.  | $\text{HNO}_3_{\text{ж}}$  | -204.6                        | 155.6                             |
| 8.  | $\text{Al}(\text{OH})_3_{\text{кр}}$   | -1315                         | 70.1                              |
| 9.  | $\text{SiO}_2_{\text{кр}}$   | -910.9                        | 42                                |
| 10. | $\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$  | -286                          | 70                                |
| 11. | $\text{NaNO}_3_{\text{кр}}$  | -447.8                        | 206.12                            |
| 12. | $\text{KNO}_3_{\text{кр}}$   | -459.65                       | 284.12                            |
| 13. | $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3_{\text{кр}}$   | -728.4                        | 132.6                             |

При разложении минералов каолиновых глин азотной кислотой возможны следующие реакции:

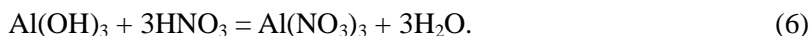
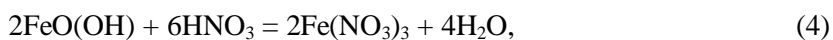
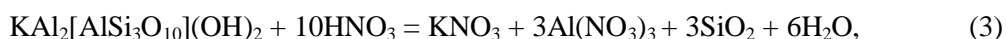
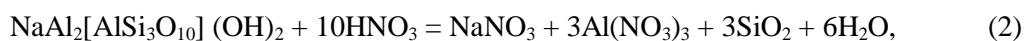
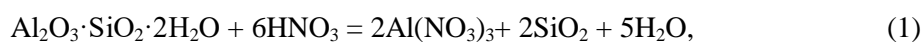


Таблица 5

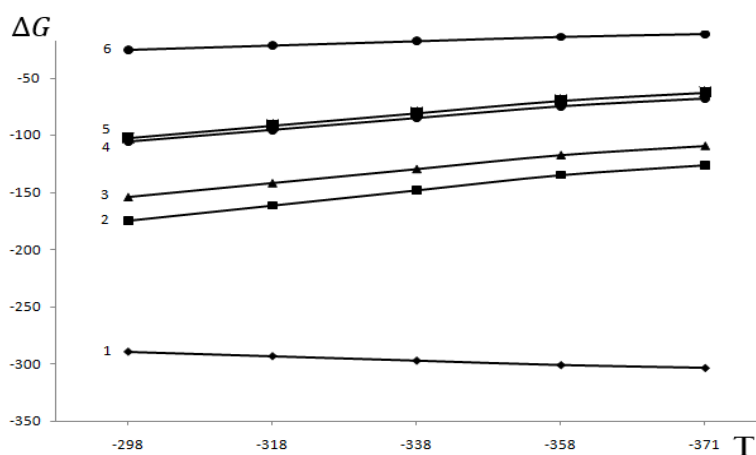
Термодинамические характеристики рассматриваемых реакций  
с участием азотной кислоты (схемы (7)-(12))

| № схемы | $\Delta H_{298}^0$ ,<br>кДж/моль | $\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль·град | $\Delta G_{298}^0$ ,<br>кДж/моль |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| (1)     | -229.4                           | 200.6                             | -289.178                         |
| (2)     | -374.2                           | -667.18                           | -175.38                          |
| (3)     | -336.05                          | -611.08                           | -153.95                          |
| (4)     | -257.2                           | -509                              | -105.518                         |
| (5)     | -265.2                           | -545.8                            | -102.55                          |
| (6)     | -81.1                            | -186.8                            | -25.4336                         |

Таблица 6

Значения энергии Гиббса ( $\Delta G$ , кДж/моль) при различных температурах

| № схемы | $\Delta G_{298}^0$ | $\Delta G_{318}^0$ | $\Delta G_{338}^0$ | $\Delta G_{358}^0$ | $\Delta G_{371}^0$ |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (1)     | -289.178           | -293.19            | -297.203           | -301.215           | -303.823           |
| (2)     | -175.38            | -162.036           | -148.693           | -135.349           | -126.676           |
| (3)     | -153.95            | -141.726           | -129.505           | -117.283           | -109.339           |
| (4)     | -105.518           | -95.338            | -85.158            | -74.978            | -68.361            |
| (5)     | -102.55            | -91.635            | -80.719            | -69.804            | -62.708            |
| (6)     | 25.434             | -21.697            | -17.962            | -14.225            | -11.797            |



**Рис. 2.** Зависимости изменения  $\Delta G$  от температуры разложения минералов каолиновых глин при разложении азотной кислотой: 1 – каолинит, 2 – гидрослюда, 3 – иллит, 4 – гётит, 5 – гематит, 6 – гидраргиллит.

Рассчитанные значения изменения энергии Гиббса от температуры (рис. 2) показывают, что при повышении температуры происходит незначительное изменение  $\Delta G$  в сторону повышения для минералов гидрослюда и иллита. В случае каолинита происходит уменьшение  $\Delta G$ .

Таким образом, разложение каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Республики Таджикистан серной и азотной кислотами является предпочтительным, так как во всех случаях  $\Delta G$  имеет отрицательные значения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э., Мирсаидов У.М. Сернокислотное разложение аргиллитов Зиддинского месторождения. – ДАН РТ, 2005, т. 48, № 2, с.81-85.
2. Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э., Пулатов М.С., Мирсаидов У.М. Сернокислотное разложение каолиновых глин месторождения Чашма-Санг. – ДАН РТ, 2005, т. 48, с. 30-35.
3. Мирзоев Д.Х., Худойкулов М.М., Каюмов А.М., Мирсаидов У.М. Азотнокислотное разложение аргиллитов месторождения Зидды Таджикистана. – ДАН РТ, 2012, т. 55, № 2, с. 141-144.
4. Краткий справочник физико-химических величин» под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя. – Л.: Химия, 1974, 200 с.

Ш.Д.ОТАЕВ, Д.Х.МИРЗОЕВ, А.М.ҚАҶОМОВ, У.М.МИРСАИДОВ

### БАҶОДИҲИИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ҶУДОШАВИИ МИНЕРАЛҲОИ САФЕДГИЛИ КОНИ ЧАШМА-САНГИ ТОҶИКИСТОН БО КИСЛОТАҶОИ МИНЕРАЛӢ

*Институти химияи ба номи В.И.Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Натиҷаҳои баҳодиҳии термодинамикии ҷудошавии минералҳои сафедгили кони Чашма-Санги Тоҷикистон дар ҳароратҳои гуногун бо кислотаҳои сулфат ва нитрат оварда шудааст.

Тағйирёбии энергияи Гиббс аз ҳарорат ва имконияти гузариши равандҳо ҳангоми боҳам таъсиркунии минералҳои сафедгил бо кислотаҳои оварда шуда нишон дода шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** сафедгил, баҳодиҳии термодинамикӣ, кислотаи сулфат, кислотаи нитрат, энергияи Гиббс.

Sh.D.OTAEV, D.Kh.MIRZOEV, A.M.KAYUMOV, U.M.MIRSAIDOV

### THERMODYNAMIC EVALUATION OF THE TAJIKISTAN CHASHMA-SANG DEPOSIT KAOLIN CLAYS DECOMPOSITION WITH MINERAL ACIDS

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

The results of thermodynamic study of the decomposition of kaolin clay minerals of the Tajikistan Chashma-Sang deposit at various temperature ranges during sulfuric and nitric acids decomposition are presented. Gibbs energy changes depending on temperature and the process occurrence probability during the interaction of kaolin clay minerals with the indicated acids are shown.

**Key words:** kaolin clay, thermodynamic evaluation, sulfuric acid, nitric acid, Gibbs energy.

УДК 550.0 (575.3)

М.М.МАМАДВАФОВЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

**О ФУНКЦИЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АПАТИТА И ДРУГИХ АКЦЕССОРНЫХ  
И ПЕТРОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ ПОРОД ИНТРУЗИВНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ КАФАНДАРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ  
(ВОСТОЧНЫЙ ГИССАР)**

*УП «Геологическая поисково-съёмочная экспедиция» Главного управления геологии  
при Правительстве Республики Таджикистан  
Поступила в редакцию 19.12.2019 г.*

*Вероятностно-статистическими методами определены функции (законы) распределения апатита и других 12 акцессорных и петрогенных минералов в 9 типах пород 3-х интрузивных комплексов, а также в их генеральной совокупности. Установлено, что из 114 случаев в 75 из них (66%) эмпирическое распределение содержаний минералов в породах не противоречит гипотетической нормальной функции, а в 39 (34%) – отклоняются от неё, согласуясь в основном с логарифмически-нормальной (логнормальной) функцией. В 5 случаях эмпирическое распределение не согласуется ни с гипотетической нормальной, ни с логнормальной функцией. Сделан вывод, что логнормальная функция распределения не является универсальной эмпирической функцией распределения акцессорных и петрогенных минералов в интрузивных горных породах рудного поля.*

**Ключевые слова:** Восточный Гиссар, Кафандарское рудное поле, интрузивные породы, функция распределения, содержание апатита, акцессорные и петрогенные минералы.

**1. Введение.** Важность и необходимость изучения функции (закона) распределения минералов и элементов в горных породах уже давно нашли признание большинства исследователей [1-3,4 и др.]. Акцессорный апатит –  $\text{Ca}_5(\text{F,Cl})(\text{PO}_4)_3$  – основной минерал-концентратор фосфора в изверженных горных породах, отмечается во всей серии инверсионных ( $\text{C}_{2-3}$ ) интрузий непрерывного диорит-гранитного ряда, их дайковых варьетитах, в том числе – аляскитовидных аплитов, а также постмагматических скарново-

---

*Адрес для корреспонденции:* Мамадвафоев Мабатишо Мамадвафоевич. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Мирзо Турсунзаде, 25, УП «Геологическая поисково-съёмочная экспедиция» Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан. Тел. 908889143, E-mail: m.mamadvafoev@gmail.com



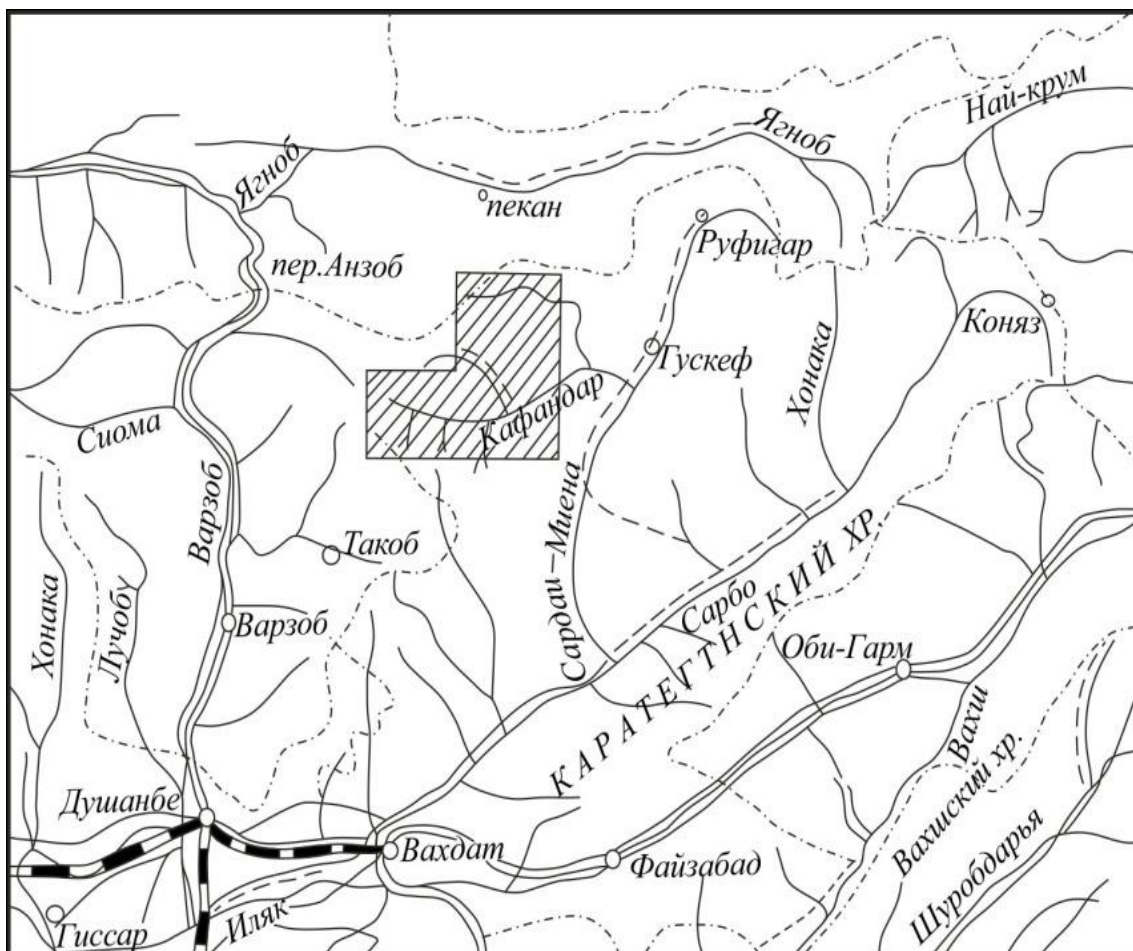
магнетитовых и гидротермальных рудных объектов Кафандарского рудного поля. С апатитом ассоциируют Ca-Mg-Fe-Ti-содержащие акцессории – ортит, сфен, андрадит, шеелит, турмалин, магнетит, гематит, пирит, ильменит, рутил (и др.), что свидетельствует о важной роли сидеро- и базальтофильного фосфора, вкуче с Ca, Mg, Fe и Ti в ассимиляционном петрогенезисе и металлогенической специализации интрузий [5] в рудном поле. Апатит также постоянно присутствует в постинверсионно-орогенных (P<sub>1</sub>), дайковых породах дацит-риолитовой формации, латит-липаритовой подформации рудного поля.

Количественные данные о содержании апатита, равно как и других акцессорных и петрогенных минералов пород интрузивных комплексов, авторами выведены путём расчёта их химического состава на нормативный минеральный состав по методу Кросса, Иддингса, Пирсона, Уошингтона – CIPW [6]. Оригинальные анализы фосфора в виде P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а также петрогенных окислов, обычно определяемых традиционными силикатными химическими анализами пород, большей частью (143) опубликованы М.М.Мамадвафоевым [7], который, пользуясь случаем, выражает благодарность В.Г.Нестерову, любезно предоставившего ему дополнительно 65 аналогичных анализов некоторых магматитов рудного поля.

Согласно [8], в силикатных расплавах, каковыми являются магмы, фосфор находится в виде свободного аниона PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, а не входит в состав комплексных анионов типа алюмосиликатных. При этом, по расчётам [9], 95% (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> в эндогенных породах находится в виде апатита. Следовательно, допустимо принять, что излагаемые ниже закономерности поведения апатита в породах интрузивных комплексов рудного поля будут характеризовать собою и особенности распределения в них фосфора.

**2. Краткие сведения об интрузивных комплексах Кафандарского рудного поля.** Необходимость приведения здесь краткой характеристики пород интрузивных комплексов рудного поля обусловлена неполнотой к настоящему времени сведений о них в опубликованной литературе [7]. Рудное поле находится в бассейне р. Кафандар – правой составляющей р. Сардаи-Миёна, на востоке Южного склона Гиссарского хребта (рис.1), и в литературе известно своим широким развитием скарново-магнетитовой и гидротермальной вольфрамовой, оловянной и золотоносной сульфидной минерализацией As, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb, Hg, отчасти наложенной на рудоносные скарны. Характерной особенностью рудного поля является широкое развитие в нём разновозрастных и разнорежимных (в геотектоническом аспекте) интрузивных комплексов, слагающих около 75% его площади. При этом около 15% от их суммарной площади приходится на среднекаменноугольный (C<sub>2</sub>) инверсионный комплекс кварцевых диоритов и гранодиоритов, почти 80% – на позднекаменноугольный (C<sub>3</sub>) инверсионный комплекс гранитов-адамеллитов и биотитовых гранитов, примерно 5% – на раннепермский (P<sub>1</sub>) постинверсионно-орогенный комплекс субвулканических порфировых даек – подводящих каналов эффузивов дацит-липаритовой формации [10, 11], а также на позднепермский (P<sub>2</sub>) тафрогенный комплекс субвулканических даек и трубок взрыва щелочных базальтоидов [12]. Инверсионные гра-

нитоидные комплексы представляют аналоги интрузий Оби-Гарм – Рамитского плутона на востоке, и Северо-Варзобского – на западе [13, 14]. Среднекаменноугольный комплекс диоритов, кварцевых диоритов и гранодиоритов характеризуется постепенным переходом гранодиоритов, занимающих центральные и более глубокие части интрузий, в кварцевые диориты и диориты периферических их зон. Шире развиты кварцевые диориты, слагающие тела площадью от нескольких десятков кв. м до 2÷3 кв.км и более. В небольших изолированных выходах они обнажаются среди известняково-сланцевой толщи позднего силура и гранитоидов позднекаменноугольного ком. плекса. Породы комплекса средне-мелкозернистые, мезоабиссальные, сопровождаются дайками аплитов и пегматитов.



**Рис.1.** Позиция Кафандарского рудного поля на обзорной карте Гиссарского хребта и прилегающих территорий.

Позднекаменноугольный комплекс гранитов-адамеллитов представлен: 1) порфировидными крупно-среднезернистыми биотитовыми и роговообманково-биотитовыми гранитами-адамеллитами, 2) мелко-среднезернистыми роговообманково-биотитовыми гранитами-адамеллитами, 3) мелкозернистыми биотитовыми и двуслюдяными турмалинизированными аплитовидными гранитами, 4) дайковыми варьетитами. Крупно-

среднезернистые порфировидные граниты-адамеллиты образуют крупные тела. Другие разновидности гранитоидов комплекса развиты незначительно, ещё менее развиты дайковые их варьетиты. Граниты-адамеллиты прорывают среднекаменноугольные кварцевые диориты, в свою очередь прорваны раннепермскими субвулканическими дайками. К дайковым их варьетитам относятся аплиты-аляскиитовидные мелкозернистые граниты, пегматиты, гранодиорит-порфиры, диоритовые порфириты и лампрофиры.

*Раннепермский комплекс* субвулканических порфировых малых интрузий представлен дайками кварцевых латит-порфиров, гранит-порфиров и кварцевых порфиров – подводными корнями вулканитов поверхностных фаций дацит-липаритовой формации.

Магматизм в рудном поле, как и в Южном Тянь-Шане вообще, завершается формированием *позднепермского комплекса* субвулканических даек и трубок взрыва щелочных базальтоидов.

Ниже функции (законы) распределения апатита во взаимосвязи с другими акцессорными и петрогенными минералами рассматриваются в породах первых трёх интрузивных комплексов, и в их совокупности.

**3. Функции распределения содержаний апатита и других акцессорных и петрогенных минералов в интрузивных комплексах.** Прежде чем перейти к освещению вопросов о поведении в породах интрузивных комплексов постоянно отмечаемого в них главного минерала-концентратора фосфора – апатита и парагенных с ним минералов, а также о связи (зависимости) содержаний апатита с другими минералами, в первую очередь – петрогенными, необходимо рассмотреть вид функций (законов) их распределения в породах, поскольку от вида функции распределения минерала в породах зависит правильное понимание геохимических вопросов.

Вопрос о функциях распределения апатита и некоторых других акцессорных минералов в изверженных горных породах, преимущественно кремнекислых и кремнещелочных, на представительном эмпирическом материале изучали Д.А.Родионов и В.В.Ляхович [2,3,15,16,]. Согласно Д.А.Родионову [2], если содержание минерала в породе представляет собой сумму нескольких частных содержаний, обусловленных независимыми между собой генерациями, распределение суммы должно стремиться к нормальному закону или же занять промежуточное положение между логарифмически-нормальным (логнормальным) и нормальным типами. Он также отмечает [3], что первичное распределение содержаний минерала в изверженной горной породе до замещения его другими минералами не противоречит логнормальной функции. Отклонения же от логнормальной функции объясняются наличием наложенной минерализации, обуславливающей заметное замещение данного минерала другим или в образовании более поздней генерации того же минерала. По мнению же С.И.Смирнова [17], возникновение положительно асимметричных (иначе, логнормальных) распределений обусловлено участием в статистической выборке наряду с резко преобладающими по частоте встречаемости сингенетичных пород содержаниями компонента также его сравнительно редко встречаемые наложенные со-

держания. Как видно, функциям распределения содержаний минералов в изверженных горных породах придаётся генетический смысл, причём мнения учёных при этом диаметрально расходятся.

Проведенные нами расчёты по проверке гипотезы о непротиворечивости эмпирического распределения содержаний апатита и других акцессорных (корунд, магнетит, гематит, ильменит, волластонит, кальцит) и петрогенных (кварц, ортоклаз, альбит, анортит, биотит, горнблендит) минералов в девяти типах гранитоидных пород трёх интрузивных комплексов гипотетической нормальной функции сводятся к 114 их результатам (табл. 1)\*. При этом в 75 случаях (66%) эмпирическое распределение содержаний минералов в породах интрузивных комплексов не противоречит гипотетической нормальной функции, а в 39 случаях (34%) отклоняются от неё. Последние распределения в своём подавляющем большинстве согласуются с логнормальной функцией, а в 5 случаях не согласуются и с ней (табл. 2), при этом, анортит и кварц имеют и положительную асимметрию, и положительный эксцесс, биотит и магнетит – отрицательную асимметрию, а апатит – положительный эксцесс. Очевидно, что для подобных случаев надлежит разработать аппроксимирующую функцию распределения, как это ранее показал [1]. По возрастающему количеству отклонений от нормальной функции, как следует из табл. 3, породы допустимо расположить в следующий ряд: порфиридные микроклинизированные крупно-среднезернистые граниты-адамеллиты  $C_3 - 0$ , гранит-порфиры  $P_1 - 1$ , кварцевые латит-порфиры  $P_1 - 3$ , диориты  $C_2 - 3$ , мелкозернистые граниты-адамеллиты  $C_3 - 4$ , кварцевые порфиры  $P_1 - 5$ , гранодиориты  $C_2 - 5$ , кварцевые диориты  $C_2 - 8$ , аплитовидные лейкограниты – 10. При этом, если принять приведенную выше точку зрения Д.А.Родионова [3], то полученный ряд допустимо интерпретировать как последовательность магматитов по признаку убывания в них наложенных разновременных продуктов минералообразования.

---

\* Вычислительные работы проведены авторами по программе Excel. Для полноты анализа и удобства обозрения данных в табл. 1 приведены также средние содержания, средние квадратические (стандартные) отклонения и коэффициенты вариации содержаний минералов.

Таблица 1

Результаты проверки гипотезы нормального распределения содержаний нормативных минералов (%) в породах интрузивных комплексов  
Кафандарского рудного поля

| Интрузивные комплексы                         |            |      |       |                    |       |                    |      |  |            |      |       |                    |       |                    |      |
|---|------------|------|-------|--------------------|-------|--------------------|------|--|------------|------|-------|--------------------|-------|--------------------|------|
| 1. Среднекаменноугольный интрузивный комплекс |            |      |       |                    |       |                    |      |  |            |      |       |                    |       |                    |      |
| Средне-мелкозернистые диориты, n = 14         |            |      |       |                    |       |                    |      | Средне-мелкозернистые кварцевые диориты, n=26  |            |      |       |                    |       |                    |      |
| Минералы*                                     | $\bar{X}$  | S    | A     | A / $\sigma_{(A)}$ | E     | E / $\sigma_{(E)}$ | V, % | Минералы   | $\bar{X}$  | S    | A     | A / $\sigma_{(A)}$ | E     | E / $\sigma_{(E)}$ | V, % |
| <i>Q</i>                                      | 23.50±1.23 | 2.35 | -0.01 | -0.02              | -1.05 | -0.80              | 10   | <i>Q</i>   | 23.60±1.11 | 2.88 | -1.13 | -2.34              | 19.87 | <b>20.68</b>       | 12   |
| <i>C</i>                                      | 1.71±0.83  | 1.59 | -0.04 | -0.06              | 5.87  | <b>4.48</b>        | 93   | <i>c</i>   | 1.17±0.87  | 2.27 | 3.34  | 6.95               | 16.54 | <b>17.21</b>       | 94   |
| <i>or</i>                                     | 3.85±1.40  | 2.67 | -0.15 | -0.23              | -1.29 | -0.99              | 69   | <i>or</i>  | 5.67±1.48  | 3.86 | 1.42  | 2.95               | 3.18  | 3.31               | 68   |
| <i>ab</i>                                     | 24.40±1.58 | 3.02 | -0.68 | -1.04              | -0.03 | -0.02              | 12   | <i>ab</i>  | 26.40±1.69 | 4.40 | -0.33 | -0.69              | 1.49  | 1.55               | 17   |
| <i>an</i>                                     | 15.50±2.29 | 4.38 | 0.31  | 0.48               | 3.94  | <b>3.01</b>        | 28   | <i>an</i>  | 18.56±1.90 | 4.93 | 1.16  | 2.41               | 18.22 | <b>18.97</b>       | 27   |
| <i>wo</i>                                     | 1.01±0.74  | 1.42 | 0.99  | 1.52               | -0.69 | -0.53              | 41   | <i>wo</i>  | 1.17±0.56  | 1.46 | 2.67  | <u>5.57</u>        | 8.55  | <b>8.90</b>        | 125  |
| <i>mt</i>                                     | 2.56±0.35  | 0.67 | -0.65 | -0.99              | -1.07 | -0.82              | 26   | <i>mt</i>  | 1.59±0.36  | 0.95 | 0.93  | 1.93               | 1.75  | 1.82               | 60   |
| <i>il</i>                                     | 1.03±0.14  | 0.27 | -0.64 | -0.98              | -1.31 | -1.00              | 26   | <i>il</i>  | 1.05±0.12  | 0.30 | 0.03  | 0.07               | -0.51 | -0.53              | 29   |
| <i>hm</i>                                     | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00               | 0.00  | 0.00               | 0    | <i>hm</i>  | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00               | 0.00  | 0.00               | 0    |
| <i>ap</i>                                     | 0.50±0.08  | 0.16 | 0.84  | 1.28               | 34.56 | <b>26.39</b>       | 32   | <i>ap</i>  | 0.41±0.08  | 0.22 | 1.97  | <u>4.11</u>        | 5.98  | <b>6.22</b>        | 53   |
| <i>cc</i>                                     | 3.60±1.38  | 2.63 | 0.09  | 0.13               | -1.04 | -0.79              | 73   | <i>cc</i>  | 1.26±0.44  | 1.16 | 1.14  | 2.37               | 42.27 | <b>43.99</b>       | 92   |
| <i>bi</i>                                     | 19.80±2.29 | 4.37 | 1.05  | 1.61               | -0.18 | -0.14              | 22   | <i>bi</i>  | 17.50±1.48 | 3.84 | -0.51 | -1.07              | 3.19  | <b>3.32</b>        | 22   |
| <i>hbl</i>                                    | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00               | 0.00  | 0.00               | 0    | <i>hbl</i>   | 0.14±0.26  | 0.69 | 4.57  | <u>9.51</u>        | 19.50 | <b>20.30</b>       | 508  |
| Средне-мелкозернистые гранодиориты, n = 26    |            |      |       |                    |       |                    |      | 2. Позднекаменноугольный интрузивный комплекс  |            |      |       |                    |       |                    |      |
|   |            |      |       |                    |       |                    |      | Порфириовидные крупно-среднезернистые биотитовые и биотит-роговообманковые граниты-адамеллиты, n = 8 |            |      |       |                    |       |                    |      |
| <i>Q</i>                                      | 26.30±1.13 | 2.93 | 0.64  | 1.33               | 0.16  | 0.17               | 11   | <i>Q</i>   | 27.80±1.47 | 2.12 | 0.18  | 0.21               | -0.84 | -0.49              | 8    |
| <i>C</i>                                      | 1.29±0.49  | 1.27 | 1.10  | 2.28               | 1.09  | 1.13               | 98   | <i>c</i>   | 0.65±0.66  | 0.96 | 1.32  | 1.52               | 0.36  | 0.21               | 146  |
| <i>or</i>                                     | 11.40±1.25 | 3.24 | -0.20 | -0.42              | 1.99  | 2.07               | 29   | <i>or</i>  | 11.80±1.70 | 2.45 | 0.83  | 0.96               | -0.18 | -0.10              | 21   |
| <i>ab</i>                                     | 29.50±2.09 | 5.44 | 1.05  | 2.19               | 2.54  | 2.65               | 18   | <i>ab</i>  | 32.20±4.42 | 6.38 | 0.70  | 0.81               | -0.97 | -0.56              | 20   |
| <i>an</i>                                     | 14.30±1.93 | 5.01 | -1.21 | -2.52              | 1.54  | 1.60               | 35   | <i>an</i>  | 12.70±3.39 | 4.89 | -0.20 | -0.23              | -1.86 | -1.07              | 38   |
| <i>wo</i>                                     | 0.66±0.70  | 1.82 | 3.75  | <b>7.80</b>        | 14.11 | <b>14.69</b>       | 73   | <i>wo</i>  | 0.30±0.31  | 0.45 | 0.90  | 1.04               | -1.15 | -0.66              | 149  |
| <i>mt</i>                                     | 1.78±0.29  | 0.76 | 0.06  | 0.13               | 0.31  | 0.32               | 43   | <i>mt</i>  | 1.14±0.43  | 0.62 | 0.12  | 0.14               | -1.39 | -0.80              | 54   |
| <i>il</i>                                     | 0.78±0.10  | 0.26 | -0.65 | -1.36              | 0.64  | 0.66               | 34   | <i>il</i>  | 0.62±0.24  | 0.34 | -0.09 | -0.10              | -1.91 | -1.10              | 55   |
| <i>hm</i>                                     | 0.09±0.19  | 0.48 | 4.57  | <b>9.51</b>        | 19.50 | <b>20.30</b>       | 508  | <i>hm</i>  | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00               | 0.00  | 0.00               | 0    |
| <i>ap</i>                                     | 0.36±0.03  | 0.09 | -0.96 | -1.99              | 4.60  | <b>4.79</b>        | 24   | <i>ap</i>  | 0.25±0.10  | 0.15 | -0.18 | -0.21              | -1.78 | -1.03              | 59   |
| <i>cc</i>                                     | 1.38±0.79  | 2.05 | 2.20  | <u>4.58</u>        | 3.83  | <b>3.98</b>        | 149  | <i>cc</i>  | 0.79±0.47  | 0.68 | 0.20  | 0.23               | -1.36 | -0.79              | 86   |

|   |            |       |       |             |       |             |      |  |            |      |       |              |        |              |      |
|---|------------|-------|-------|-------------|-------|-------------|------|--|------------|------|-------|--------------|--------|--------------|------|
| <i>bi</i>   | 11.30±1.32 | 3.42  | 0.72  | 1.50        | 3.11  | <b>3.24</b> | 30   | <i>bi</i>  | 10.40±2.19 | 3.16 | -0.95 | -1.10        | 0.56   | 0.32         | 30   |
| <i>hbl</i>  | 0.00±0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00        | 0.00  | <b>0.00</b> | 0    | <i>hbl</i>                                       | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0    |
| Мелко-среднезернистые роговообманково-биотитовые граниты-адамеллиты, n = 19 |            |       |       |             |       |             |      | Мелкозернистые аплитовидные лейкограниты, n = 30 |            |      |       |              |        |              |      |
| <i>Q</i>  | 25.40±1.69 | 3.75  | -1.49 | -2.65       | 4.10  | <b>3.64</b> | 15   | <i>Q</i>   | 29.70±1.22 | 3.42 | 0.55  | 1.23         | 0.12   | 0.13         | 12   |
| <i>c</i>  | 0.40±0.22  | 0.50  | 1.49  | 2.65        | 4.24  | <b>3.77</b> | 125  | <i>c</i>   | 0.63±0.22  | 0.61 | 0.54  | 1.21         | 7.12   | <b>7.96</b>  | 97   |
| <i>or</i>   | 11.90±1.00 | 2.23  | -0.81 | -1.44       | 0.94  | <b>0.84</b> | 19   | <i>or</i>  | 16.40±1.74 | 4.85 | 1.67  | <b>3.74</b>  | 5.53   | <b>6.19</b>  | 30   |
| <i>ab</i>   | 32.30±3.33 | 7.41  | 1.53  | 2.72        | 2.61  | 2.32        | 23   | <i>ab</i>  | 42.10±2.22 | 6.22 | -0.15 | -0.34        | 1.32   | 1.48         | 15   |
| <i>an</i>   | 14.60±1.84 | 4.08  | -0.47 | -0.83       | -0.52 | -0.46       | 28   | <i>an</i>  | 3.82±1.19  | 3.33 | 1.63  | <b>3.65</b>  | 4.19   | <b>4.68</b>  | 87   |
| <i>wo</i>   | 0.37±0.23  | 0.52  | 1.05  | 1.86        | -0.59 | -0.53       | 141  | <i>wo</i>  | 0.40±0.19  | 0.52 | 1.41  | <b>3.15</b>  | 1.89   | 2.11         | 130  |
| <i>mt</i>   | 1.20±0.33  | 0.74  | 1.82  | <b>3.24</b> | 3.74  | <b>3.33</b> | 62   | <i>mt</i>  | 0.75±0.13  | 0.37 | -0.67 | -1.51        | 7.58   | <b>8.48</b>  | 49   |
| <i>il</i>   | 0.93±0.05  | 0.12  | -0.86 | -1.52       | 3.03  | <b>2.70</b> | 13   | <i>il</i>  | 0.25±0.05  | 0.15 | 0.91  | 2.04         | 0.92   | 1.03         | 59   |
| <i>hm</i>   | 0.00±0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00        | 0.00  | 0.00        | 0.00 | <i>hm</i>  | 0.02±0.03  | 0.08 | 4.75  | <b>10.63</b> | 23.50  | <b>26.28</b> | 400  |
| <i>ap</i>   | 0.33±0.05  | 0.11  | -1.51 | -2.68       | 1.98  | 1.77        | 33   | <i>ap</i>  | 0.27±0.06  | 0.16 | 0.38  | 0.85         | 7.88   | <b>8.81</b>  | 61   |
| <i>cc</i>   | 0.43±0.21  | 0.46  | 1.94  | <b>3.45</b> | 4.70  | <b>4.18</b> | 107  | <i>cc</i>  | 0.80±0.36  | 1.00 | 3.02  | <b>6.74</b>  | 8.61   | <b>9.63</b>  | 125  |
| <i>bi</i>   | 11.40±1.28 | 2.85  | -0.68 | -1.22       | -0.92 | -0.82       | 25   | <i>bi</i>  | 3.96±0.67  | 1.88 | 1.83  | <b>4.08</b>  | 4.31   | <b>4.81</b>  | 48   |
| <i>hbl</i>  | 0.00±0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00        | 0.00  | 0.00        | 0    | <i>hbl</i>                                       | 0.25±0.30  | 0.84 | 3.59  | <b>8.02</b>  | 12.38  | <b>13.84</b> | 336  |
| <i>3. Раннепермский комплекс субвулканических даек</i>                      |            |       |       |             |       |             |      |  |            |      |       |              |        |              |      |
| Кварцевые лагит-порфиры, n = 14   |            |       |       |             |       |             |      | Гранит-порфиры, n = 9                            |            |      |       |              |        |              |      |
| <i>Q</i>  | 26.60±3.50 | 6.68  | -0.23 | -0.35       | -1.59 | -1.21       | 25   | <i>Q</i>   | 32.20±2.85 | 4.36 | 0.20  | 0.25         | -1.57  | -0.96        | 14   |
| <i>c</i>  | 3.73±1.24  | 2.37  | -0.39 | -0.59       | -1.29 | -0.99       | 64   | <i>c</i>   | 2.39±1.14  | 1.75 | 0.17  | 0.21         | -1.17  | -0.71        | 73   |
| <i>or</i>   | 9.72±2.45  | 4.67  | -0.50 | -0.76       | -0.75 | -0.57       | 48   | <i>or</i>  | 15.54±1.51 | 2.31 | -0.75 | -0.92        | 2.20   | 1.35         | 15   |
| <i>ab</i>   | 27.90±2.52 | 4.80  | -0.53 | -0.81       | -0.40 | -0.31       | 17   | <i>ab</i>  | 36.12±3.45 | 5.28 | 0.14  | 0.17         | -0.77  | -0.47        | 15   |
| <i>an</i>   | 8.82±5.39  | 10.30 | 0.83  | 1.26        | -0.84 | -0.64       | 117  | <i>an</i>  | 3.30±3.11  | 4.76 | 1.66  | 2.04         | 1.49   | 0.91         | 144  |
| <i>wo</i>   | 0.10±0.20  | 0.37  | 3.00  | <b>4.59</b> | 7.53  | <b>5.75</b> | 370  | <i>wo</i>  | 0.07±0.04  | 0.07 | -0.94 | -1.15        | 301.78 | <b>184.8</b> | 94   |
| <i>mt</i>   | 2.77±0.69  | 1.32  | 0.71  | 1.09        | -0.89 | -0.68       | 48   | <i>mt</i>  | 0.65±0.15  | 0.23 | 0.82  | 1.00         | -0.07  | -0.04        | 36   |
| <i>il</i>   | 0.89±0.14  | 0.26  | -1.51 | -2.30       | 3.18  | 2.43        | 29   | <i>il</i>  | 0.54±0.16  | 0.25 | -0.35 | -0.43        | 0.38   | 0.23         | 46   |
| <i>hm</i>   | 0.04±0.08  | 0.15  | 3.00  | <b>4.59</b> | 7.53  | <b>5.75</b> | 375  | <i>hm</i>  | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0.00 |
| <i>ap</i>   | 0.44±0.06  | 0.11  | 0.07  | 0.11        | -1.16 | -0.89       | 24   | <i>ap</i>  | 0.29±0.13  | 0.20 | -0.35 | -0.43        | -1.61  | -0.99        | 69   |
| <i>cc</i>   | 5.56±1.38  | 2.63  | 0.21  | 0.32        | 0.74  | 0.57        | 47   | <i>cc</i>  | 1.34±0.83  | 1.27 | 0.90  | 1.10         | -0.72  | -0.44        | 95   |
| <i>bi</i>   | 9.47±2.82  | 5.39  | 1.26  | 1.93        | 1.39  | 1.06        | 57   | <i>bi</i>  | 6.06±1.54  | 2.35 | 0.70  | 0.85         | -0.29  | -0.18        | 39   |
| <i>hbl</i>  | 0.25±0.48  | 0.92  | 3.00  | <b>4.59</b> | 7.53  | <b>5.75</b> | 368  | <i>hbl</i>                                       | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00         | 0.00   | 0.00         | 0    |

Таблица 1. Окончание

| Кварцевые порфиры, n = 16 |            |      |       |             |        |              |      |
|---------------------------|------------|------|-------|-------------|--------|--------------|------|
| <i>Q</i>                  | 36.98±3.09 | 6.31 | 0.99  | 1.61        | 0.26   | 0.21         | 17   |
| <i>c</i>                  | 2.31±0.71  | 1.46 | 0.32  | 0.52        | -1.04  | -0.85        | 63   |
| <i>Or</i>                 | 17.55±2.73 | 5.58 | -0.50 | -0.82       | -0.62  | -0.51        | 32   |
| <i>ab</i>                 | 30.83±4.39 | 8.96 | 0.27  | 0.45        | -1.02  | -0.83        | 29   |
| <i>an</i>                 | 4.33±1.62  | 3.31 | 0.25  | 0.41        | -1.20  | -0.98        | 76   |
| <i>wo</i>                 | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00         | 0    |
| <i>mt</i>                 | 1.40±0.45  | 0.91 | 0.65  | 1.07        | 118.34 | <b>96.62</b> | 65   |
| <i>il</i>                 | 0.30±0.10  | 0.20 | 0.99  | 1.61        | 0.72   | 0.59         | 67   |
| <i>hm</i>                 | 0.04±0.07  | 0.15 | 3.30  | <b>5.39</b> | 9.47   | <b>7.73</b>  | 399  |
| <i>ap</i>                 | 0.13±0.05  | 0.11 | -0.28 | -0.45       | 4.96   | <b>4.05</b>  | 85   |
| <i>cc</i>                 | 0.71±1.10  | 2.24 | 3.15  | <b>5.14</b> | 8.74   | <b>7.13</b>  | 3.16 |
| <i>bi</i>                 | 4.33±1.17  | 2.39 | 1.64  | 2.68        | 5.95   | <b>4.86</b>  | 0.55 |
| <i>hbl</i>                | 0.00±0.00  | 0.00 | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00         | 0    |

\*Примечание. Символы минералов здесь и в последующих таблицах, а также на графиках: *Q* – кварц, *c* – корунд, *or* – ортоклаз, *ab* – альбит, *an* – анортит, *wo* – волластонит, *mt* – магнетит, *il* – ильменит, *ap* – апатит, *cc* – кальцит, *bi* – биотит, *hbl* – горнблендит.  $\bar{X}$  – среднее арифметическое содержание (%); S – среднее квадратическое (стандартное) отклонение содержания; A – оценка асимметрии распределения;  $\sigma_{(A)}$  – стандартное отклонение асимметрии; E – оценка эксцесса распределения;  $\sigma_{(E)}$  – стандартное отклонение эксцесса. V – коэффициент вариации содержания. Точность среднего арифметического содержания определена с вероятностью 0.95 [18]. Полужирным шрифтом выделены и подчеркнуты случаи, когда гипотеза о согласованности эмпирического распределения с теоретическим нормальным законом отвергается с вероятностью 0.95 (95%).

Таблица 2

Результаты проверки гипотезы логнормального распределения содержаний нормативных минералов (%) в породах интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля

| 1. Среднекаменноугольный интрузивный комплекс |                |      |       |                    |       |                    |      |
|---|----------------|------|-------|--------------------|-------|--------------------|------|
| Диориты. n=14                                 |                |      |       |                    |       |                    |      |
| Минералы                                      | $\bar{X}_{lg}$ | Slg  | Alg   | A / $\sigma_{(A)}$ | Elg   | E / $\sigma_{(E)}$ | V. % |
| <i>c</i>                                      | -0.52±0.57     | 1.09 | -0.10 | -0.16              | -1.98 | -1.52              | 384  |
| <i>an</i>                                     | 1.14±0.13      | 0.24 | -1.81 | -2.76              | 2.80  | 2.14               | 38   |
| <i>ap</i>                                     | -0.34±0.09     | 0.17 | 1.28  | 1.95               | 0.88  | 0.67               | 27   |
| Кварцевые диориты. n=26                       |                |      |       |                    |       |                    |      |
| <i>Q</i>                                      | 1.37±0.03      | 0.08 | 0.53  | 1.10               | 0.39  | 0.41               | 12   |
| <i>c</i>                                      | -              | -    | -     | -                  | -     | -                  | -    |
| <i>an</i>                                     | 1.06±0.32      | 0.82 | -2.89 | <b>-6.02*</b>      | 6.85  | <b>7.13</b>        | 193  |
| <i>wo</i>                                     | -0.46±0.34     | 0.90 | -0.45 | -0.94              | -1.51 | -1.57              | 231  |
| <i>ap</i>                                     | -0.45±0.10     | 0.26 | -1.23 | -2.56              | 3.05  | <b>3.17</b>        | 41   |
| <i>cc</i>                                     | -0.32±0.26     | 0.67 | -0.41 | -0.85              | 0.13  | 0.13               | 134  |
| <i>bi</i>                                     | 1.22±0.06      | 0.15 | -1.45 | <b>-3.01</b>       | 1.26  | 1.32               | 23   |
| <i>hbl</i>                                    | -              | -    | -     | -                  | -     | -                  | -    |
| Средне-мелкозернистые гранодиориты. n = 26    |                |      |       |                    |       |                    |      |
| <i>wo</i>                                     | -              | -    | -     | -                  | -     | -                  | -    |
| <i>hm</i>                                     | -              | -    | -     | -                  | -     | -                  | -    |
| <i>cc</i>                                     | -0.27±0.24     | 0.63 | -0.20 | -0.42              | 0.23  | 0.24               | 123  |
| <i>bi</i>                                     | 1.03±0.06      | 0.16 | -0.79 | -1.65              | 1.81  | 1.88               | 25   |

| Граниты-адамеллиты. n=19                         |            |      |       |              |       |             |     |
|--|------------|------|-------|--------------|-------|-------------|-----|
| <i>Q</i>   | 1.40±0.04  | 0.08 | -2.37 | <b>-4.22</b> | 6.74  | <b>6.00</b> | 12  |
| <i>c</i>   | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>mt</i>  | 0.02±0.10  | 0.23 | 0.28  | 0.50         | -0.40 | -0.36       | 36  |
| <i>cc</i>  | -0.69±0.30 | 0.66 | -0.59 | -1.06        | -1.20 | -1.07       | 133 |
| 2. Позднекаменноугольный интрузивный комплекс    |            |      |       |              |       |             |     |
| Мелкозернистые аплитовидные лейкограниты. n = 30 |            |      |       |              |       |             |     |
| <i>c</i>   | -0.81±0.31 | 0.88 | 0.04  | 0.10         | -1.83 | -2.05       | 220 |
| <i>an</i>  | 0.17±0.32  | 0.88 | -1.18 | -2.64        | 0.03  | 0.03        | 223 |
| <i>wo</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>mt</i>  | -0.31±0.19 | 0.54 | -1.56 | <b>-3.49</b> | 1.52  | 1.70        | 99  |
| <i>hm</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>ap</i>  | -0.73±0.16 | 0.44 | -0.82 | -1.84        | -0.11 | -0.12       | 75  |
| <i>cc</i>  | -0.39±0.20 | 0.55 | -0.42 | -0.95        | 0.41  | 0.46        | 99  |
| <i>bi</i>  | 0.55±0.08  | 0.22 | -0.44 | -0.99        | 1.06  | 1.19        | 34  |
| <i>hbl</i>                                       | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| 3. Раннепермский комплекс субвулканических даек  |            |      |       |              |       |             |     |
| Кварцевые латит-порфиры. n = 14                  |            |      |       |              |       |             |     |
| <i>wo</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>hm</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>hbl</i>                                       | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| Гранит-порфиры. n = 9                            |            |      |       |              |       |             |     |
| <i>wo</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| Кварцевые порфиры. n = 16                        |            |      |       |              |       |             |     |
| <i>mt</i>  | -0.04±0.18 | 0.37 | 0.73  | 1.19         | 0.40  | 0.32        | 61  |
| <i>hm</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>ap</i>  | -1.13±0.26 | 0.53 | -0.01 | -0.01        | -1.86 | -1.52       | 96  |
| <i>cc</i>  | -          | -    | -     | -            | -     | -           | -   |
| <i>bi</i>  | 0.57±0.11  | 0.23 | 0.84  | 1.37         | -0.28 | -0.23       | 36  |

\*Выделены отклонения эмпирической функции распределения от теоретического. Тире означает, преобладание в выборке нулевых содержаний минерала.

Как показывают данные табл. 3, отклонения от нормальной функции распределения чаще обнаруживают железо-магнезиальные (гематит, магнетит, биотит), в особенности Са-содержащие минералы (апатит, кальцит, волластонит, анортит) и корунд, тогда как у кварца и ортоклаза наблюдаются в 1-2 случаях соответственно, а альбит распределён в породах по нормальной функции. Эта закономерность, обусловленная, по-видимому, кислотно-основной дифференциацией компонентов в магматическом расплаве [19-22], в купе с обилием в породах Са- Mg- Fe-содержащих минералов, заставляет принять важную роль процессов карбонатной, железо-магнезиальной и алюмосиликатной ассимиляции [5] в генезисе инверсионных интрузивных комплексов.



Таблица 3

Результаты по-минерального подсчёта числа случаев отклонения эмпирического распределения минералов от гипотетического нормального закона по параметрам: одновременно и по ассиметрии, и по эксцессу (А+Е), только по ассиметрии (А) или эксцессу (Е) в девяти типах пород (по данным табл.1).

| №№ | Минералы | А+Е | А | Е |
|----|----------|-----|---|---|
| 1  | Q        | -   | - | 2 |
| 2  | c        | 1   | - | 3 |
| 3  | or       | 1   | - | - |
| 4  | ab       | -   | - | - |
| 5  | an       | 1   | - | 2 |
| 6  | wo       | 3   | 1 | 1 |
| 7  | mt       | 1   | - | 2 |
| 8  | il       | -   | - | - |
| 9  | hm       | 4   | - | - |
| 10 | ap       | 1   | - | 4 |
| 11 | cc       | 4   | - | 1 |
| 12 | bi       | 1   | - | 3 |
| 13 | hbl      | 3   | - | - |

Представляется симптоматичным, что в инверсионных порфировидных крупно-среднезернистых биотитовых и биотит-роговообманковых гранитах-адамеллитах, претерпевших метасоматическую микроклинизацию [14], равно как в постинверсионно-орогенных (P<sub>1</sub>) субвулканических гранит-порфировых дайках, распределение не только апатита, но и других акцессорных и петрогенных минералов согласуется с гипотетической нормальной функцией. Это обстоятельство позволяет рассматривать возникновение нормальной функции распределения частот содержаний минералов как следствие неравномерного распределения их процентных содержаний, эквивалентных сумме независимых слагаемых, играющих в общей сумме примерно одинаковую и малую роль [23].

Особое внимание заслуживает тот факт, что аналогичные результаты получены при проверке гипотезы о непротиворечивости эмпирического распределения содержаний апатита и других акцессорных и петрогенных минералов гипотетической нормальной функции по совокупности анализов всех пород интрузивных комплексов (табл. 4). Эта закономерность напоминает модель распределения молекул будущих минералов в исходной *недифференцированной* магме, сформировавшей в ходе дифференциации генетическую серию интрузивных комплексов. Не менее интересно то, что нормальная функция распределения минералов выдерживается при возрастании коэффициента вариации их содержаний от 20 для альбита до 184% – у горнблендита (табл. 4).

Нормальная функция распределения минералов в изверженных горных породах, по-видимому, может быть следствием в различной степени неравномерного пространственного распределения их процентных содержаний, но не только многообразия их генераций (Родионов, 1964). Логнормальное же распределение, по-видимому, возникает в том случае, когда на породу накладывается наложенный процесс, обуславливающий положи-

тельную асимметрию на кривой плотности распределения вероятностей содержаний минерала [17].

Таблица 4

Генерализованные результаты аппроксимации распределения нормативных минералов пород интрузивных комплексов С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub> и Р<sub>1</sub> с теоретической нормальной функцией (по данным 208 анализов таблицы 3)

| Минералы   | $\bar{X}$  | S    | A     | A / $\sigma_{(A)}$ | E     | E / $\sigma_{(E)}$ | V, % |
|------------|------------|------|-------|--------------------|-------|--------------------|------|
| <i>ap</i>  | 0.63±0.35  | 0.59 | 1.53  | 2.07               | 1.21  | 0.82               | 93   |
| <i>Q</i>   | 23.93±4.84 | 8.18 | -0.28 | -0.38              | -1.06 | -0.72              | 34   |
| <i>c</i>   | 1.65±0.59  | 0.99 | 0.49  | 0.66               | -0.73 | -0.49              | 60   |
| <i>or</i>  | 9.09±3.49  | 5.91 | 0.08  | 0.11               | -1.71 | -1.15              | 65   |
| <i>ab</i>  | 29.72±3.54 | 6.00 | 0.50  | 0.68               | -0.77 | -0.52              | 20   |
| <i>an</i>  | 10.93±3.09 | 5.24 | -0.28 | -0.38              | -1.54 | -1.04              | 48   |
| <i>wo</i>  | 0.58±0.28  | 0.48 | 0.50  | 0.67               | -1.09 | -0.74              | 82   |
| <i>mt</i>  | 1.93±0.55  | 0.93 | 0.23  | 0.31               | -1.18 | -0.80              | 48   |
| <i>il</i>  | 1.11±0.43  | 0.73 | 0.58  | 0.78               | -1.18 | -0.80              | 66   |
| <i>cc</i>  | 2.75± 1.25 | 2.12 | 0.28  | 0.38               | -1.87 | -1.27              | 77   |
| <i>bi</i>  | 13.86±4.49 | 7.60 | 0.03  | 0.04               | -1.77 | -1.20              | 55   |
| <i>hbl</i> | 1.26±1.37  | 2.32 | 1.61  | 2.18               | 1.38  | 0.94               | 184  |

Изложенные в статье материалы с очевидностью показывают, что логнормальная функция распределения апатита и других минералов не является наиболее часто встречаемой эмпирической функцией их распределения, о чём писали ранее [15,2,3]. Представляется, что в каждом конкретном случае на представительном эмпирическом материале надлежит проверить согласованность распределения частот содержаний минералов в изверженных горных породах с той или иной гипотетической функцией распределения для нахождения их надёжных параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вистелиус А.Б. – Геохимия, 1962, № 2, с. 116-133.
2. Родионов Д.А. – Труды Ин-та минерал., геохим. и кристаллохим. редк. элементов АН СССР, 1961, вып 6, с. 9-16.
3. Родионов Д.А. Функции распределения содержаний элементов и минералов в изверженных горных породах. – М.: Наука, 1964, 102 с.
4. Математическая геология. Реферативный систематический указатель основной литературы по 1968 г. Под редакцией А.Б.Вистелиуса. – Л.: Издательский отдел Библиотеки АН СССР, 1969, 246 с.
5. Абдуллаев Х.М. Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. – М.: Госгеолтехиздат, 1954, 294 с.
6. Четвериков С.Д. Руководство к петрохимическим пересчётам химических анализов горных пород и определению их химических типов. – М.: Госгеолтехиздат, 1956, 246 с.
7. Мамадвафоев М.М. Петролого-геохимические особенности интрузивных комплексов некоторых рудных полей Зеравшано-Гиссарской металлогенической зоны и связанное с ними оруденение. – Душанбе: Ирфон, 2017, 236 с.

8. Щербина В.В. В сб.: Исследование природного и технического минералообразования. – М.: Наука, 1966, 23-26.
9. Ферсман А.Е. Пегматиты. – Изд-во АН СССР, 1940, т.1, вып. 3, с. 359.
10. Баратов Р.Б., Горецкая Е.Н., Щукин С.И. Дацил-липаритовая формация Южного Гиссара. – Душанбе: Дониш, 1973, 132 с.
11. Мамадвафоев М.М. Геохимические особенности и рудоносность пермских магматических комплексов Южного Гиссара (Центральный Таджикистан). – Душанбе: Ирфон, 2016, 208 с.
12. Мамадвафоев М.М. Субщёлочные раннегеосинклинальные и щёлочные тафrogenные базальтоидные магматиты Восточного Гиссара (Центральный Таджикистан) и включения ультрабазитов в них. – Душанбе: Ирфон, 2019, 101 с.
13. Баратов Р.Б. Интрузивные комплексы Южного склона Гиссарского хребта и связанное с ними оруденение. – Душанбе: Дониш, 1966, 336 с.
14. Хасанов А.Х. Петрология и рудоносность метасоматических комплексов Центрального Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1976, 249 с.
15. Родионов Д.А., Ляхович В.В. – ДАН СССР, 1960, т. 134, № 5, с. 1177-1180.
16. Ляхович В.В., Родионов Д.А. – Труды Ин-та минерал., геохим. и кристаллохим. редк. элементов АН СССР, 1961, вып 6, с. 17-55.
17. Смирнов С.И. Статистические методы в геологии. – Львов: Выща школа, 1975, 122 с.
18. 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.
19. Коржинский Д.С. – В сб.: Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. – М.: Гос. науч. техн. изд-во лит. по геол. и охране недр. 1960, с. 21-30.
20. Коржинский Д.С. – В сб.: Исследование природного и технического минералообразования. – М.: Наука, 1966, с. 5-23.
21. Коржинский Д.С. – В сб.: Геохимия. Минералогия. Петрология. МГК, XXV сессия. Доклады Советских геологов. – М.: Наука, 1976, с. 320 -327.
22. Груза В.В. – ДАН СССР, 1967, т. 173, № 5, с. 1177-1180.
23. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969, 576 с.

М.М.МАМАДВАФОЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

**ОИД БА ФУНКСИЯҲОИ ТАКСИМШАВИИ АПАТИТ ВА ДИГАР  
МИНЕРАЛҲОИ АКТСЕССОРӢ ВА ПЕТРОГЕНИИ ЧИНСҲОИ  
КОМПЛЕКСҲОИ ИНТРУЗИВИИ МАЙДОНИ МАЪДАННОКИ КАФАНДАР  
(ҲИСОРИ ШАРҚӢ)**

*КВ «Экспедитсияи ҷустуҷӯию аксбардории геологи»-и  
Саридораи геологияи назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Бо усулҳои эҳтимолиятӣ - статистикӣ функсияҳои (қонунҳои) тақсимшавии апатит ва дигар 12 минералҳои актсессорӣ ва петрогенӣ дар 9 типи чинсҳои 3 комплексҳои интрузивӣ, ва ҳамчунон дар маҷмӯи генералии онҳо муайян шудаанд. Муайян шудааст, ки аз 114 ҳолат дар 75-и онҳо (66%) тақсимшавии эмпирикии фоизи минералҳо дар чинсҳо ба функсияи фарзиявии назариявии нормалӣ мувофиқ нест, вале дар 39 ҳолат (34%) аз он тамоил намуда асосан ба функсияи логарифмӣ-нормалӣ (логнормалӣ) ҷавобгу мебошанд.

Дар 5 ҳолат тақсимшавии эмпирикӣ на ба функцияи фарзиявии нормалӣ, на ба логнормалӣ ҷавобгу нест. Хулоса карда шудааст, ки функцияи тақсимшавии логнормалӣ ҳамчун функцияи универсалии эмпирикии тақсимшавии минералҳои актсессорӣ ва петрогении ҷинсҳои интрузивии майдони маъданӣ ба ҳисоб намеравад.

**Калимаҳои калидӣ:** Ҳисори Шарқӣ, майдони маъданҳои Кафандар, ҷинсҳои интрузивӣ, функцияи тақсимот, физи апатитҳо, минералҳои актсессорӣ ва петрогенӣ.

M.M.MAMADVAFOEV, D.A.DAVLATSHOEV

**ABOUT THE DISTRIBUTION FUNCTIONS OF APATITE AND  
OTHER AUXILIARY AND PETROGENIC MINERALS OF INTRUSIVE  
ROCKS OF KAFANDARA ORE FIELD (EASTERN HISSAR)**

*UE “Geological exploration and survey expedition”*

*of the Main Department of Geology under the Government of the Republic of Tajikistan*

Probabilistic-statistical methods have determined the functions (rules) of the distribution of apatite and other 12 auxiliary and petrogenic minerals in 9 types of rocks of 3 intrusive complexes, as well as in their general population. It was established that out of 114 cases, in 75 of them (66%), the empirical distribution of mineral contents in the rocks does not contradict the hypothetical normal function, and in 39 (34%) they deviate from it, being consistent mainly with the log-normal (log-normal) function. In 5 cases, the empirical distribution is not consistent with either a hypothetical normal or lognormal function. It is concluded that the hypothetical lognormal distribution function is not a universal empirical distribution function of auxiliary and petrogenic minerals in igneous rocks of the ore field.

**Key words:** Eastern Hissar, Kafandara ore field, intrusive rocks, distribution functions, apatite grade, auxiliary and petrogenic minerals.

УДК 548.0.549.0(575.3)

Ф.А.ФАЙЗИЕВ, С.Б.ЯТИМОВ\*, А.Р.ФАЙЗИЕВ\*

**СЕРЕБРЯНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ КАНСАЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ  
(СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

*Таджикский национальный университет,*

*\*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии*

*АН Республики Таджикистан*

*Поступила в редакцию 9.12.2019 г.*

*В статье обобщены сведения о собственно серебряных и серебросодержащих минералах Кансайского рудного поля. Ранее считалось, что основное количество серебра связано с галени- том. Наши исследования показывают, что в рудном поле носителями этого металла являются главным образом собственно серебряные минералы, такие как самородное серебро, аргентит, гессит, пираргирит, прустит, истромейерит, стефанит, пирсеит, полибазит, миаргирит, ар- гентопирит и кераргирит. В пределах рудного поля серебро также находится как в виде изо- морфных, так и механических примесей в сульфидах (галените, сфалерите, пирите, халькопирите) и сульфосолях (теннантите, тетраэдрите).*

**Ключевые слова:** самородное серебро, галенит, сфалерит, аргентит, пирсеит, минерал, Кансай, рудное поле.

В пределах Срединного Тянь-Шаня на территории Таджикистана серебро образу- ет не только собственные месторождения, но и входит в состав полиметаллических объ- ектов [1, 2]. Одним из таких объектов является Кансайское рудное поле, в пределах кото- рого развито более 60 месторождений и рудопроявлений полиметаллов с серебром [2].

О сереброносности, и о серебряных минералах Кансайского рудного поля имеют- ся немногочисленные публикации [3-5]. Исследование, главным образом методом микро- зонда, дали возможность обнаружить здесь наряду с отмеченными ранее минералами се-

---

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

ребра (самородное серебро, аргентит, акантит, гессит, штроемейерит, пираргирит, прустит и полибазит) и редкий минерал серебра из группы сульфосолей – пирсеит.

*Серебро самородное.* Редкие находки единичных мелких зерен самородного серебра в полиметаллических рудах Кансая впервые отметил Е.Зив (1940). З.М.Протождьяконовой (1958) этот минерал установлен методом минераграфии на основании его оптических констант. Самородное серебро обнаружено в виде мельчайших неправильной формы зерен, включенных в крупнозернистый галенит, образующий скопления в верхней части Главного рудного столба месторождения Окурдаван и мельчайших зерен округлой формы и вростков в теннантите в верхней части месторождения Западный Кансай (штольня 7, восстающий 6). По данным И.В.Дубровой и В.Н.Титова [6] самородное серебро в Кансае образует мелкие, каплевидные включения, размером 0.05 мм в галените.

*Аргентит* отмечен в рудах Кансая, Южной Дарбазы, Окурдаван, Шевчуковское и Джаманкудук. Во всех случаях аргентит тесно связан с галенитом, образуя вростки мелких зерен, видимых только микроскопически. На месторождении Джаманкудук аргентит образует микропрожилки и включения до 0.05-0.5 мм в ассоциации со стефанитом и тетраэдритом в галените и сфалерите [4]. Минерал мягкий, полируется плохо и в галените распознается по степени полировки. В сфалерите находится в виде табличек, зерен размером до 0.1 мм и тончайших прожилков толщиной до 0.05 мм по трещинам. В галените образует микропрожилки и ритмические структуры замещения по периферии зерен. Реже аргентит образует самостоятельные мелкие прожилковидные и причудливой формы скопления в известняках или в амфиболитизированных пироксен-гранатовых скарнах [6].

Форма зерен аргентита бывает неправильная, вытянутая, овальная. Размер не превышает 0.5 мм. Окраска минерала светло-серая, со слабым голубовато-зеленым оттенком. Рельеф, по сравнению с галенитом, отрицательный. Отражательная способность немного ниже, чем у галенита, изотропен, иногда ясно анизотропен без внутренних рефлексов, возможно акантит.

Встречается аргентит в верхней части рудных тел. По наблюдениям Ю.А.Арапова [7] на месторождении Кансай он был встречен в виде мелких зерен в окисляющемся галените, а на месторождении Южная Дарбаза он довольно часто сопровождает галенит в зоне полуокисленных руд, где наблюдается в виде неправильных включений, каемок и субграфических сростаний, особенно на границе неокисленной руды с англезитом и церусситом. На Джаманкудуке в зоне окисления аргентит замещается штроемейеритом, халькозином и ковеллином [4]. Образование минерала Л.В.Радугина и Б.Б.Розина [8] связывают с зоной вторичного сульфидного обогащения.

На месторождении Окурдаван аргентит также наблюдается в окисляющемся галените (II горизонт Главного рудного столба), где кроме того, установлено самородное серебро и блеклая руда. На месторождении Западный Кансай (штольня 7, восстающий 6) аргентит встречается в галенито-сфалеритовых рудах вблизи скоплений тетраэдрита.

Серебряный блеск на Джаманкудуке образует рыхлые, сажистые налеты [5]. Он в зоне окисления ассоциируется с кальцитом, кварцем, гипсом и сидеритом. Содержание серебра, по данным микрорентгеноспектрального анализа, колеблется от 71.5 до 84%. Наличие минерала подтверждается рентгенограммой, где отмечаются основные линии – 2.58, 2.44, 2.08, 1.72.

Все данные в целом позволяют считать, что аргентит образовался в галените как продукт распада твердого раствора в условиях зоны вторичного сульфидного обогащения. Как известно это типично для данного минерала. Весьма возможно, что описываемые образования являются не кубической модификацией сернистого серебра, а ромбической (акантит), возникающей в этих условиях.

*Гессит* на Южном Янгикане отмечен Р.Назировой с соавторами [9]. Он встречается в ассоциации с тетрадимитом и образует с ним микровключения размером до 0.005 мм. Гессит среди тетрадимита кажется серовато-розоватым и отличается сильным двуотражением и анизотропией (с цветным эффектом). Химическая формула минерала соответствует  $Ag_{1.98}Te_{1.03}$ .

*Штрмейерит* отмечается в зоне вторичных сульфидных руд [5]. Он представлен агрегатом с размерами отдельных зерен 0.1-0.7 мм. Ассоциирует с борнитом, халькозином и ковеллином. Основные линии дебаграммы штрмейерита составляют 3.09, 2.83, 2.42, 1.634, что близки со справочными данными [10].

*Прустит*. Ю.А.Араповым [7] была отмечена мелкая вкрапленность призматических зерен минерала в галените из месторождения Южная Дарбаза. Р.Л.Радугина и Б.Б.Розина [8] наблюдали прустит в рудах Кансая. По их данным минерал связан исключительно только с галенитом, в котором он образует (совместно с тетраэдритом) рассеянную вкрапленность, создавая подобие эмульсионной структуры распада смеси. О тесной ассоциации прустита с галенитом на месторождении Кансай отмечала М.И.Моисеева [11]. Здесь он выделяется или по границам зерен в виде шестоватых индивидов с ромбическими сечениями (0.01-0.05 мм) или образует тончайшие включения внутри галенита. Прустит иногда по краям замещает зерна сфалерита и арсенопирита (1-1.5 мм). Реже прустит в ассоциации с пираргиритом отмечается в виде точечных включений в маложелезистом сфалерите – клейофане и кальците [6].

*Пираргирит* установлен при микроскопическом изучении сплошных галенитовых руд из месторождения Южная Дарбаза. Сопутствующими образованиями являются тетраэдрит, прустит, изредка сфалерит и халькопирит. На Джаманкудуке пираргирит встречается в виде сростков с тетраэдритом и аргентитом [4]. Здесь он находится в виде мелких (0.5-1 мм), хорошо ограненных кристалликов псевдокубического облика. Основные линии рентгенограммы – 3.35, 2.79, 2.53, 1.710 – соответствуют эталону пираргирита [10].

*Миаргирит* обнаружен в Южной Дарбазе. Он образует мельчайшие включения в галените каплевидной и червеобразной формы размером от 0.005-0.10 до 1-5 мм.

*Стефанит* образует микровключения размером 0.1-0.5 мм в галените в сростании с аргентитом [4]. Форма включений изометричная, округлая. В зоне окисления замещается штрмейеритом и ковеллином.

*Полибазит* отмечен Ю.А.Араповым [7]. По его данным полибазит встречается в виде очень мелких зерен неправильного очертания, а также наблюдается в качестве вростков в галените Кансай и Южной Дарбазы.

*Пирсеит* довольно редкий минерал и до настоящего времени в пределах Карамазара известны две его находки. Первая находка минерала сделана на месторождении Джаманкудук Л.М.Болдыревой [4], а затем на месторождении Большой Канмансур А.Р.Файзиевым [12]. В этих месторождениях он встречается в виде корочек 0.5-1 мм (Джаманкудук) и единичных ксеноморфных, округлых и удлиненных выделений размером от 0.005 до 0.01 мм или их агрегатов величиной до 0.1 мм (Большой Канмансур). Пирсеит выделяется совместно с тетраэдритом, полибазитом, фрейбергитом, галенитом в жилах пирит-сфалерит-галенитового состава.

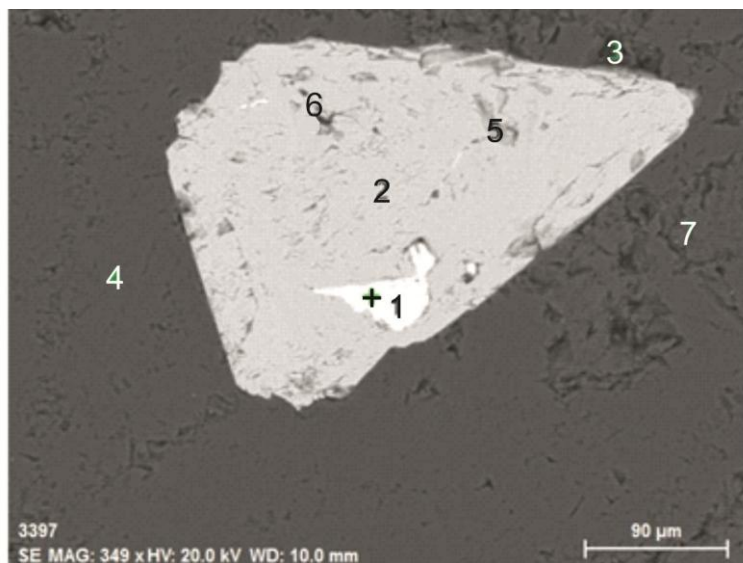
Нами пирсеит найден на месторождении Кансай. Он обнаружен при помощи электронного сканирующего микроанализатора Jeol JXA-8230 electron probe micro-analyzer (EPMA). Пирсеит в Кансае встречается в виде редких минеральных выделений неправильной, удлиненной, овальной формы размером от 0.001 до 0.06 мм. Он ассоциируется с арсенопиритом, галенитом и редким минералом - геохронитом (рис. 1). Как видно из этого рисунка галенит, пирсеит и геохронит образуют микровключения в арсенопирите. Энергодисперсионный спектр пирсеита приводится на рис. 2.

Было сделано 3 микрозондовых анализа пирсеита (табл. 1). Из этой таблицы видно, что химический состав пирсеитов месторождения Кансай, как в отношении катионов, так и в отношении анионов отличается от теоретического. Содержание Ag колеблется (в мас.%) от 66.5 до 71.62, в среднем 69.57, Cu 3.47-9.49, As 3.76-7.08, S 16.72-21.04. Здесь медь изоморфно замещает серебро, а мышьяк – серу. Соотношение Ag:Cu в среднем из трех анализов 11.78.

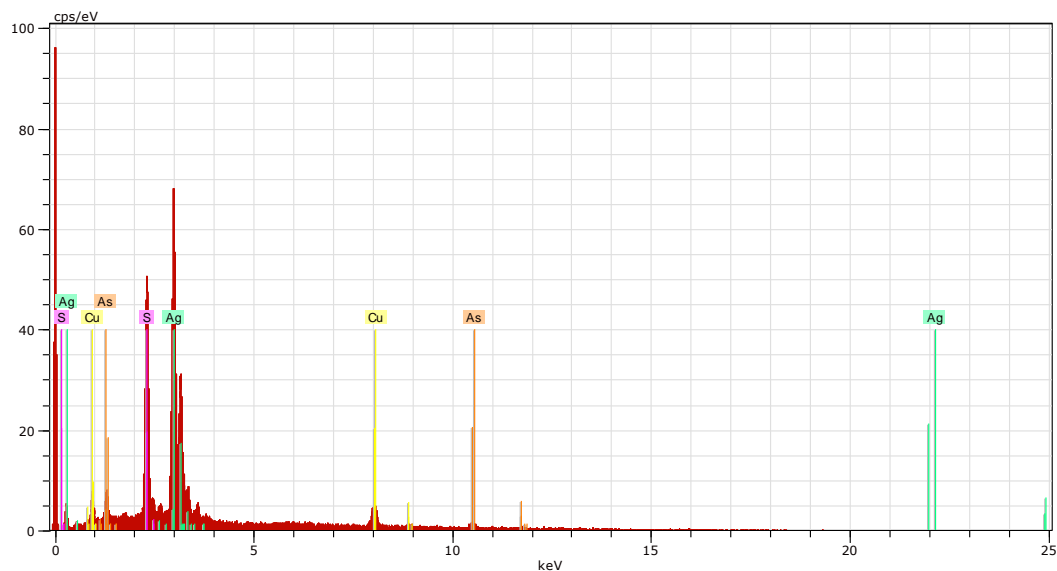
Состав пирсеитов месторождения Кансай очень близок к минералу из месторождения Ст. Джоахим Стхол, Богемия (St. Joachim Sthal, Bohemia) [13], отличаясь по сумме анионов. На месторождении из Богемии сумма анионов чуть больше 76.32, а в нашем случае немного меньше - 75.48 мас.%. Тогда как в отношении суммы катионов наоборот, в нашем случае больше – 24.40, а на месторождении Ст. Джоахим Стхол составляет 23.08 мас.%.

*Аргентопирит* обнаружен совместно с тетраэдритом и кубанитом Л.М.Болдыревой [4]. Он образует мельчайшие сгустки кристалликов. Цвет темно-бронзовый с бурым оттенком, порошок серовато-зеленый. Магнитен. Основные линии аргентопирита соответствуют рентгенограмме минерала – 3.73, 2.43, 1.609, 1.082 [13].





**Рис. 1.** Включение пирсеита (1) в арсенопирите (2), 3 – карминит, 4 – кварц, 5 – галенит, 6 – геохронит, 7 – грейгит. Кансай.



**Рис. 2.** Энергодисперсионный спектр пирсеита в точке анализа № 1, полученный с помощью Si (Li) – полупроводникового детектора и системы анализа INCA Oxford

Таблица 1

Химический состав пирсеита, мас. %

| Элементы<br>№№ | Ag    | Cu   | As   | S     | Сумма |
|----------------|-------|------|------|-------|-------|
| 1              | 71.62 | 3.47 | 3.76 | 21.04 | 99.89 |
| 2              | 70.56 | 4.75 | 4.21 | 20.40 | 99.92 |
| 3              | 66.55 | 9.49 | 7.08 | 16.72 | 99.84 |
| Среднее        | 69.58 | 5.90 | 5.02 | 19.39 | 99.88 |

*Кераргирит.* В зоне окисленных руд наблюдается хлорид серебра – кераргирит в тесной ассоциации с аргентитом. Он образует мельчайшие (до 1 мм) изометричные зерна темно-серого цвета [4]. Местами отмечаются дискообразные, лепешечные формы кераргирита, нацело замещенные серебряной чернью. Основные линии рентгенограммы кераргирита составляют 2.75, 1.97, 1.61 и сходны с эталоном [10].

*Галенит* описан на месторождениях Кансайского рудного поля многими исследователями [7, 15, 6, 16]. По данным этих исследователей и авторов статьи в галенитах наблюдаются многочисленные мельчайшие включения серебряных минералов, в частности аргентит, самородное серебро, прустит, пирсеит и др. В анализах мономинеральных фракций галенита из месторождения Кансай, сделанных нами методом мокрой химии и ICP-MS, обнаружено достаточно высокое содержание серебра (в среднем из двух анализов 1090 г/т). Данные З.М.Протождяконовой и В.С.Попова [16] также подтверждают о сереброносности галенитов этого месторождения (0.007-0.32%). Следует отметить, что часть серебра входит в состав галенита изоморфно, а другая в виде механических примесей серебряных минералов.

*Сфалерит* является также основным рудным минералом месторождений, но он распределен неравномерно. В одних месторождениях несколько преобладает над галенитом (Акташ), в других присутствует примерно в равных количествах (Центральный Кансай), а в третьих встречается в подчиненном количестве (Окурдаван, Янгикан). В сфалеритах отмечается почти постоянное присутствие серебра от 0.004 до 0.0217% [3]. Повышенное содержание серебра связано с механическими примесями.

*Пирит* встречается в кансайских месторождениях повсеместно, но распределен очень неравномерно. В одних он встречается в ничтожных количествах (Янгикан), а в других концентрация минерала настолько велика, что объект можно считать как самостоятельное месторождение (Камаркутан, нижние горизонты месторождения Южная Дарбаза). Химическими, пробирными, атомно-адсорбционными, ICP-MS методами в пиритах постоянно устанавливается примесь серебра. Концентрация его колеблется от 10.9 до 184, в среднем 67.7 г/т (среднее из шести анализов). Из шести проанализированных проб в трех обнаружено золото. Концентрация золота колеблется от 0.5 до 8, в среднем 3.1 г/т.

*Халькопирит* присутствует в рудах всех месторождений, но весьма неравномерно. Лишь в отдельных месторождениях (Акташ) количество его достигает 6-7 %. В халькопиритах месторождения Кансай наблюдается постоянное присутствие серебра в количестве 0.001-0.009%. В халькопиритах Джаманкудука концентрация серебра колеблется от 0.1 до 0.5 мас.% [3]. Анализы, сделанные нами, также подтверждают наличие серебра в халькопиритах, в количестве от 19.5 до 24.6, в среднем 20.1 г/т (из 5 анализов).

*Блеклые руды.* Они образуют мелкие эвгедральные зерна (Кансай) и идиоморфные выделения (Южная Дарбаза) [17]. В них концентрация серебра варьирует от 0.13 до 2.6, в среднем 1.52 мас.% (табл. 2). По классификации Н.Н.Мозговой и А.И.Цепина [18]

первый анализ относится к Zn – теннантиту, а второй, третий и четвертый к Pb-Ag-содержащему Zn–теннантит–тетраэдриту.

Таблица 2

Химический состав блеклых руд из месторождения Кансай

| № | Cu    | Ag   | Zn   | Fe   | Pb   | Cd   | Mn    | Sb    | As    | S     | Сумма  |
|---|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 41.83 | 0.15 | 4.52 | 4.41 | -    | -    | -     | 9.75  | 12.23 | 27.02 | 99.91  |
| 2 | 26.71 | 1.5  | 5.8  | 3.12 | 8.88 | 0.22 | 0.15  | 20.09 | 5.24  | 23.32 | 94.66* |
| 3 | 29.31 | 1.85 | 9.09 | 3.38 | 4.76 | 0.21 | 0.075 | 18.64 | 0.37  | 24.08 | 98.56* |
| 4 | 35.10 | 1.5  | 6.14 | 0.78 | 2.72 | 0.34 | 0.26  | 24.00 | 2.75  | 24.99 | 98.58  |

Примечание: 1, 4 – по нашим данным, 2 по В.С.Попову (1960), 3 – по З.М.Протождяконовой.

\*В образце 2 обнаружено (в мас. %): SiO<sub>2</sub> – 2.72, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.88, MgO – 0.4, CaO – 0.56; 3 – SiO<sub>2</sub> – 3.40, MgO – 0.5, CaO – 2.80.

Л.М.Болдырева [16], отмечая о содержании блеклых руд месторождения Джаманкудук, приводит такие цифры (г/т): Ag – 39410, Au – 22.4. Соотношение Au/Ag составляет 1:1760.

В нерудных гипергенных минералах, таких как гипс, пиролюзит, халцедон, тальк отмечено определенное количество серебра [16]. Эти минералы содержат серебра от 50 до 150 г/т. По-видимому, отмеченные минералы адсорбировали серебро в процессе переотложения.

Таким образом, подытоживая вышеизложенное, следует отметить, что серебряные минералы в пределах Кансайского рудного поля имеют более широкое распространение, нежели считалось ранее. Большая их часть находится в виде включений в галените и это обуславливает общее повышенное содержание элемента в рудах кансайских месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Файзиев А.Р., Файзиев Ф.А. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана. – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. н., 2015, № 3(160), с. 92-99.
2. Файзиев Ф.А., Файзиев А.Р., Ятимов С.Б. О сереброносности скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара (Северный Таджикистан). – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. н., 2018, № 1 (170), с. 97-106.
3. Болдырева Л.М. Сереброносность полиметаллического месторождения Юго-Западной части хребта Окуртау. – В кн.: Геология, минералогия и геохимия Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1972, с. 173-176.
4. Болдырева Л.М. О гипогенной серебряной минерализации полиметаллического месторождения Джаманкудук (Юго-Западный Карамазар). – Узб. геол. журн. № 2, 1973, с. 52-55.
5. Болдырева Л.М. О минералах зоны окисления полиметаллического месторождения Западного Окуртау (Юго-Западный Карамазар). – Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 27, 1974, с. 57-58.
6. Дуброва И.В., Титов В.Н. Некоторые новые данные о минеральном составе руд свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. – В сб.: Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. – М.: Наука, 1965, с. 90-114.
7. Арапов Ю.А. Минералогия и геохимия Кансайского месторождения. – Труды ТПЭ 1934 г. – Л.: Изд. ТПЭ, 1936, 106 с.

8. Радугина Л.В., Розина Б.Б. Минералогические исследования руд Карамазара. – В сб.: Рудные месторождения Карамазара. – М., Л.: Изд-во ТПЭ, 1935, с. 35-46.
9. Назирова Р., Мансуров М., Каримкулов Д. К минералогии и геохимии магнетит-халькопирит-молибденитового месторождения Южный Янгикан (Южный Карамазар). – Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 27, 1974, с. 59-63.
10. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. – М.: Госгеолтехиздат, 1957, 868 с.
11. Моисеева М.И. Прустит. В кн.: Минералы Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1975, с. 182.
12. Файзиев А.Р. Минералогия и условия образования полиметалльного месторождения Большой Канмансур (Срединный Тянь-Шань). – Душанбе: Дониш, 2008, 416 с.
13. Bindi L., Evain M, Spry P.G., Menchetti S. The pearceite-polybasite group of minerals: Crystal chemistry and nomenclature rules. – American Mineralogist, volume 92, 2007, p. 918-925.
14. Murdoch J., Berry L.G. X-ray measurements on argentopyrite. – American Mineralogist, 1954, №39, p. 475-485.
15. Королева З.А. Парагенетические соотношения гипогенных минералов в некоторых рудопроявлениях Карамазара. – Ташкент: Фан, 1941, 163 с.
16. Протождяконова З.М., Попов В.С. Минералогия месторождений. – В кн.: Геология и минеральные комплексы Западного Карамазара. – М.: Недра, 1972, с. 147-171.
17. Файзиев Ф.А., Файзиев А.Р. Блеклые руды из серебряных и серебросодержащих месторождений Таджикистана и их сереброносность. – Геология и геофизика Юга России, 2018, № 4, с. 226-234.
18. Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды (особенности состава и свойства). – М.: Наука, 1983, 280 с.

Ф.А.ФАЙЗИЕВ, С.Б.ЯТИМОВ\*, А.Р.ФАЙЗИЕВ\*

## МИНЕРАЛИЗАТСИЯИ НУҚРА ДАР МАЙДОНИ МАЪДАНИИ КОНСОЙ (ТОЧИКИСТОНИ ШИМОЛӢ)

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

Дар мақола оид ба минералҳои хос нукра ва нукрадор дар майдони маъдани Консой маълумот ҷамъоварӣ гардидааст. Пештар ҳисоб карда мешуд, ки миқдори асосии нукра бо галенит алоқаманд аст. Тадқиқотҳои мо нишон медиҳанд, ки дар ин майдони маъданӣ оварандаи ин металл асосан минералҳои хос нукра, ба монанди нукраи хуҷраӣ, аргентит, гессит, пираргирит, прустит, штрөмейерит, стефанит, пирсеит, полибазит, миаргирит, аргентопирит ва кераргирит мебошанд. Дар ҳудуди майдони маъданӣ нукра инчунин дар намуди изоморфӣ ва омехтаҳои механикӣ дар сулфидҳо (галенит, сфалерит, пирит, халкопирит) ва сулфонамакҳо (теннантит, тетраэдрит) ҷойгир шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** нукраи хуҷраӣ, галенит, сфалерит, аргентит, пирсеит, минерал, Консой, майдони маъданӣ.

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

## **SILVER MINERALIZATION OF KANSAI ORE FIELD (NORTH TAJIKISTAN)**

*Tajik National University,*

*\*Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology,*

*Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

The article summarizes information about the silver and silver-containing minerals of the Kansai ore field proper. It was previously believed that most silver is associated with galena. Our studies show that in the ore field, the carriers of this metal are mainly silver minerals proper, such as native silver, argentite, hessite, pyrargyrite, proustite, stromeyerite, stefanite, pierceite, polybasite, myargyrite, argentopyrite and kerargyrite. Within the ore field, silver is also present in the form of isomorphic and mechanical impurities in sulfides (galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite) and sulfosalts (tennantite, tetrahedrite).

**Key words:** native silver, galena, sphalerite, argentite, pierceite, mineral, Konsoi, ore field.

УДК 624.04

Д.Н.НИЗОМОВ, А.А.ХОДЖИБОЕВ\*, О.А.ХОДЖИБОЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ  
В МНОГОСВЯЗНОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ**

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии  
Академии наук Республики Таджикистан,*

*\*Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими.*

*Поступила в редакцию 24.10.2019 г.*

*В статье рассматривается решение плоско деформированной задачи теории упругости, связанное с подземными сооружениями. Исследуется влияние двух взаимно близко расположенных отверстий на напряжённо-деформированное состояние последних. Составлены граничные интегральные уравнения для внешней задачи. Разработанный алгоритм, математическая модель и программы расчёта на основе метода граничных уравнений реализованы на примере подземных сооружений Рогунской ГЭС.*

**Ключевые слова:** многосвязная область, полость, граничное интегральное уравнение, направляющие косинусы, концентрация напряжений, подземные сооружения, взаимное влияние.

Пусть задана многосвязная область, которая имеет внешнюю границу в виде сферической поверхности  $\Omega_R$  радиуса  $R$  с центром в точке  $\xi \in \Omega$  и внутри этой сферы имеется полость  $V$  с поверхностью  $\Omega$ . Тогда граничное интегральное уравнение представляется в виде [1]:

$$c_{ij}(\xi)w_j(\xi) + \int_{\Omega} p_{ij}^*(x, \xi)w_j(x)d\Omega(x) =$$

---

**Адрес для корреспонденции:** Низомов Джахонгир. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ, E-mail: tiees@mail.ru

Ходжибоев Абдуазиз Абдусатторович. 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. акад. Раджабовых, 10, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, E-mail: hojiboev@mail.ru

$$= \int_{\Omega} w_{ij}^*(x, \xi) p_j(x) d\Omega(x) + \int_V w_{ij}^*(x, \xi) F_j(x) dV(x),$$

$$c_{ij}(\xi) = \delta_{ij} - \bar{p}_{ij}(\xi),$$

где объемный интеграл обратится в нуль, при выполнении условия регулярности на бесконечности [2] и тогда граничное интегральное уравнение представляется в виде

$$c_{ij}(\xi) w_j(\xi) + \int_{\Omega} p_{ij}^*(x, \xi) w_j(x) d\Omega(x) = \int_{\Omega} w_{ij}^*(x, \xi) p_j(x) d\Omega(x), \quad \xi, x \in \Omega, \quad (1)$$

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \int_{\Omega_R} \left[ p_{ij}^*(x, \xi) w_j(x) d\Omega(x) - w_{ij}^*(x, \xi) p_j(x) d\Omega(x) \right] d\Omega(x) = 0, \quad (2)$$

$$x \in \Omega_R, \quad \xi \in \Omega.$$

Для трехмерной задачи, элемент сферической поверхности  $d\Omega(x) = R^2 \sin \theta d\theta d\varphi$ , а фундаментальные решения  $w_{ij}^*(\xi, x)$  и  $p_{ij}^*(\xi, x)$  имеют асимметрические выражения  $O(R^{-1})$  и  $O(R^{-2})$ . Следовательно, условие (2) выполняется в том случае, если функции  $w_j(x)$  и  $p_j(x)$  будут вести себя, как  $(1/R)$  и  $(1/R^2)$  соответственно, и это гарантирует, что каждое слагаемое в (2) стремится к нулю независимо друг от друга.

В случае двумерной задачи, где  $d\Omega = R d\varphi$ , каждый интеграл в (2) может стремиться к нулю только в том случае, когда  $w_j$  и  $p_j$  поведут себя соответственно, как  $O(R^{-1})$  и  $O(R^{-2})$ . Условие регулярности выполняется, если функции  $w_j(x)$  и  $p_j(x)$ , также как в трехмерном случае, поведут себя как фундаментальное решение [3].

Пусть бесконечная область  $V_{\infty}$  находится в начальном напряженном состоянии, где заданы компоненты тензора напряжений  $\sigma_{ij}^0$ , и соответствующие усилия в произвольной плоскости определяются из выражений

$$p_i^0 = \sigma_{ji}^0 n_j, \quad (3)$$

где  $n_j$  — направляющие косинусы нормали  $n$  к наклонной площадке  $d\Omega$ . Начальное напряженное состояние среды нарушается, после того как мы удаляем из бесконечной области  $V_{\infty}$  тело  $V$  с поверхностью  $\Omega$ . В результате чего в бесконечной среде с полостью возникают дополнительные перемещения и напряжения. Окончательные значения напряжений и перемещений в произвольной точке определяются в результате суммирования начального и дополнительного состояний. Если на граничную поверхность  $\Omega$  действует вектор внешних сил с компонентами  $q_i$ , то можно записать

$$p_i^0 + \bar{p}_i = q_i, \quad (4)$$

где  $\bar{p}_i$  – компоненты дополнительных напряжений. Из (4) следует, что компоненты напряжений в дополнительном состоянии выражаются так:

$$\bar{p}_i = q_i - p_i^0 = q_i - \sigma_{ji}^0 n_j. \quad (5)$$

В частности, если контур полости остается свободным от внешнего воздействия  $q_i = 0$ , то дополнительные напряжения на контуре записываются в виде

$$\bar{p}_i = -p_i^0 = -\sigma_{ji}^0 n_j. \quad (6)$$

Что касается дополнительных перемещений, если пренебречь начальными перемещениями в бесконечной среде без полости, то окончательные перемещения будут равняться перемещениям дополнительного состояния.

Таким образом, анализ напряженно-деформированного состояния бесконечной области с полостью сводится к расчету на действие дополнительных напряжений (5). Следовательно, для внешней задачи с заданными на бесконечность напряжениями, граничные уравнения составляются относительно дополнительных перемещений и напряжений. Граничные интегральные уравнения (1) для внешней задачи приобретают вид

$$c_{ij} \bar{w}_j(\xi) + \int_{\Omega} p_{ij}^*(\xi, x) \bar{w}_j(x) d\Omega(x) = \int_{\Omega} w_{ij}^*(\xi, x) \bar{p}_j(x) d\Omega(x), \quad (7)$$

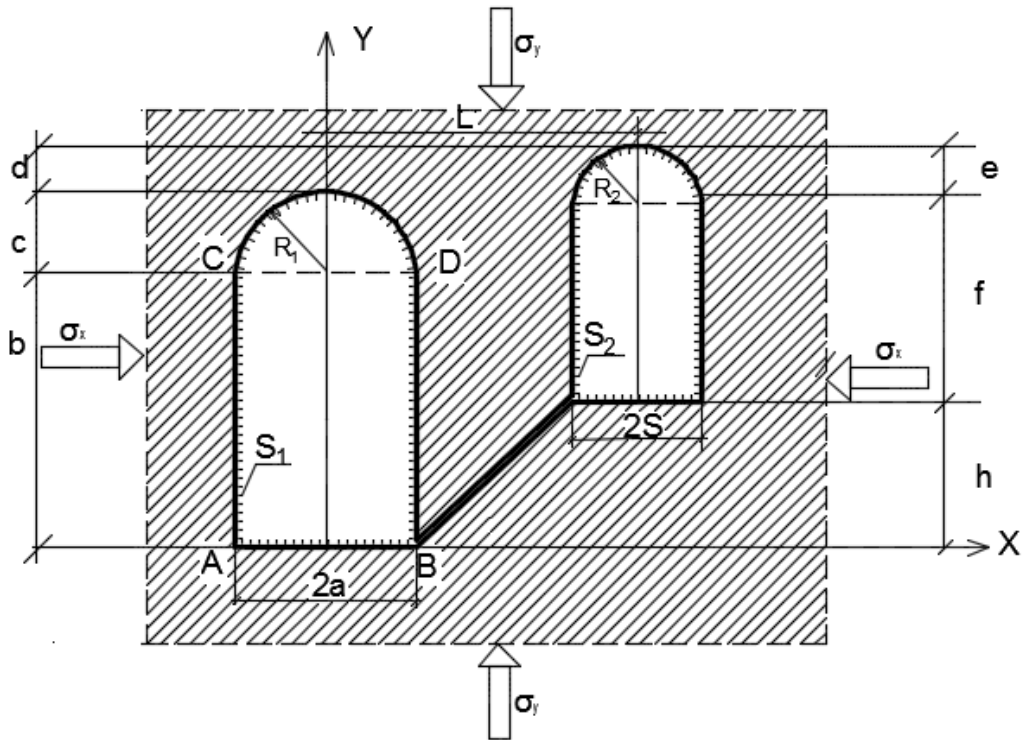
$$\xi, x \in \Omega,$$

где черточками обозначены компоненты искоемых перемещений и заданных напряжений дополнительного состояния.

Рассматривается многосвязная бесконечная область, где два объекта с контурами  $S_1$  и  $S_2$  находятся в условиях плоской деформации под действием сжимающих тектонических напряжений  $\sigma_x^0$  и  $\sigma_y^0$  (рис.1).

Практическая реализация алгоритма сводится к тому, что между отверстиями устанавливаем два фиктивных элемента с одинаковыми координатами. Начиная обход контура с определенного узла против хода часовой стрелки, с помощью фиктивных элементов переходим на контур другого отверстия, а затем возвращаемся в исходное положение. Местоположение и направление фиктивных элементов, соединяющих два отверстия, не влияют на окончательные результаты. Это объясняется тем, что при прямом и обратном ходе фиктивные элементы взаимно исключают друг друга, то есть столбцы при этих неизвестных равны и противоположны по знаку, а строки, кроме главных элементов, равны между собой.





**Рис.1.** Многосвязная область с двумя отверстиями:  $S_1$  – контур машинного зала;  $S_2$  – контур трансформаторного помещения.

Алгоритм реализован на примере подземных сооружений Рогунской ГЭС при следующих данных:

$$\sigma_x^0 = -35 \text{ МПа}, \sigma_y = -26 \text{ МПа};$$

$$a = 10 \text{ м}; b = 64 \text{ м}; c = 6 \text{ м}; R_1 = 11,4 \text{ м};$$

$$s = 10 \text{ м}; f = 32 \text{ м}; e = 5 \text{ м}; R_2 = 12,4 \text{ м}; l = 63 \text{ м}.$$

Численные результаты получены при различных схемах дискретизации контуров выработок. Согласно первой схеме  $S_1$  и  $S_2$  разбиваются на равное количество из 28 элементов, в том числе подошвы на  $NP=5$ , кровли на  $NK=7$ , стены (каждая) на  $NS=8$ . Во второй схеме, где предусматривается сгущения элементов в угловых зонах контура машинного зала,  $S_1$  разбивается на 38, а  $S_2$  на 22 элемента. В третьей схеме были сгущены элементы в угловых зонах контура трансформаторного помещения, где  $S_1$  разбивается на 24, а  $S_2$  на 36 элементов. В табл. 1 представлены перемещения и напряжения для контрольных точек, полученных при различных разбиениях контуров  $S_1$  и  $S_2$ . Первая строка соответствует разбиению  $S_1$  на  $NS1=28$  элементов и  $S_2$  на  $NS2=28$  с общим числом  $NS=58$

элементов. Вторая строка получена при  $NS1=32$ ,  $NS2=28$ , а третья строка соответствует  $NS1=38$ ,  $NS2=22$  и  $NS=62$ .

Таблица 1

Перемещения и напряжения в контрольных узлах  
при совместном рассмотрении объектов

| Перемещения и напряжения | Схема разбивки | A       | B        | C       | D        |
|--------------------------|----------------|---------|----------|---------|----------|
| $u_n$ , см               | 1              | 7.59    | 4.23     | 7.00    | 7.71     |
|                          | 2              | 7.33    | 4.22     | 7.02    | 7.70     |
|                          | 3              | 7.23    | 4.18     | 7.11    | 7.70     |
| $\sigma_s$ , МПа         | 1              | -52.570 | -124.964 | -24.200 | -101.067 |
|                          | 2              | -62.820 | -124.845 | -24.211 | -101.035 |
|                          | 3              | -63.834 | -125.579 | -21.110 | -100.697 |

Сравнение показывает, что при учете выработки трансформаторного помещения, на контуре машинного зала максимальные значения тангенциальных перемещений несколько уменьшаются, а нормальные перемещения на левой стенке увеличиваются. При этом уменьшаются значения тангенциальных напряжений в точках А и В и на правой стенке ВД возникают растягивающие напряжения с максимальным значением 1,82 МПа. Из полученных результатов (рис. 2 и 3) следует, что выработка машинного зала оказывает большое влияние на тангенциальные перемещения в подошве выработки трансформаторного помещения, а также приводит к возникновению отрицательных нормальных перемещений в нижнем конце левой вертикальной стенки. При изменении местоположения трансформаторного помещения (опускаем на 26 м по вертикали) тангенциальные напряжения в точках С и D машинного зала уменьшаются соответственно на 21 и 29%, а в точках А и В, наоборот, увеличиваются соответственно.

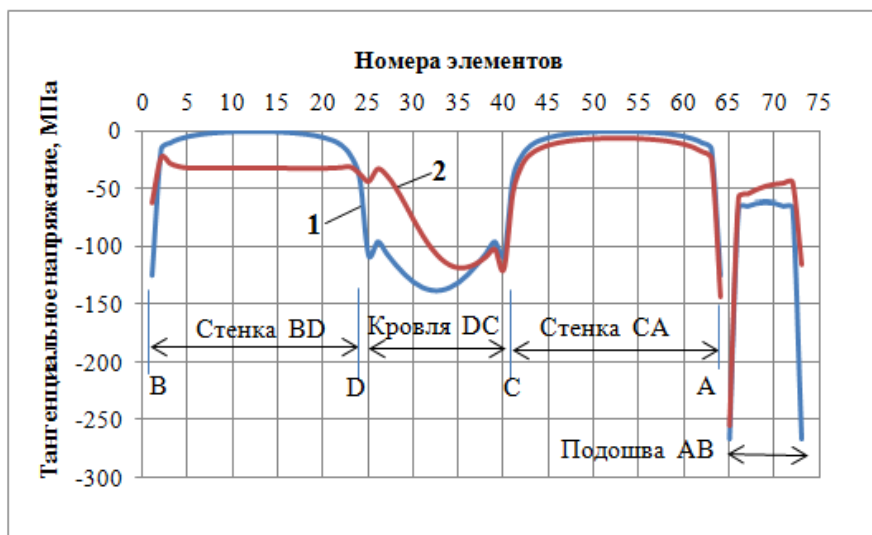
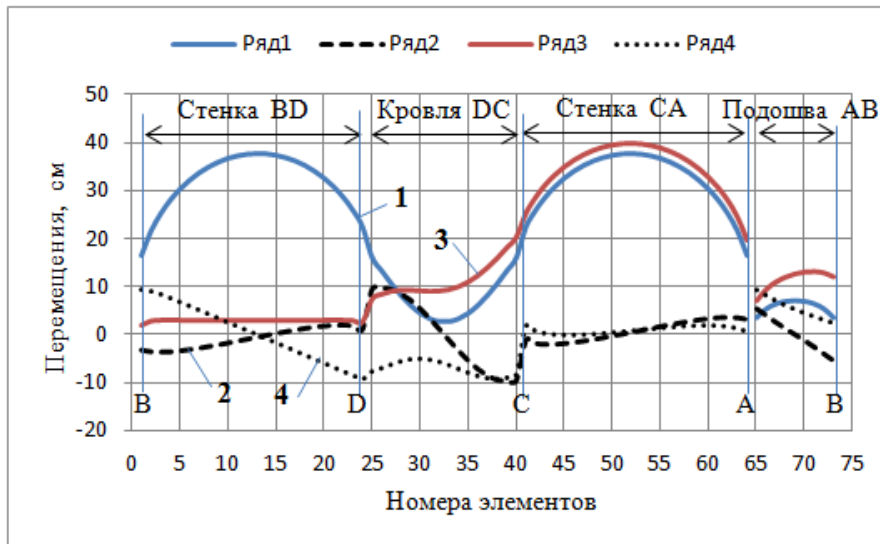


Рис. 2. Распределение тангенциальных напряжений на контуре машинного зала:

1 – одно сооружение; 2 – два сооружения при  $L = 30$  м.

На рис. 2 приведены график распределения тангенциальных напряжений на контуре  $S_1$  при отсутствии трансформаторного помещения (кривая 1) и с учётом  $S_2$  (кривая 2).



**Рис. 3.** Эпюры нормальных и тангенциальных перемещений на контуре подземного сооружения:  
1, 3 – нормальные и 2, 4 – тангенциальные перемещения без учёта  $S_2$  (кривая 1,2) и с учётом  $S_2$  (кривая 3,4).

### Выводы

Из сопоставления результатов, представленных на рис. 2 и 3 следует, что взаимное влияние подземных сооружений в основном наблюдается на контурах стены  $BD$  и части подошвы и кровли. Следует отметить, что при этом тангенциальные напряжения на контуре стены  $BD$  возрастают и, наоборот, на контуре кровли уменьшаются. Что касается нормальных перемещений, то здесь взаимное влияние приводит к их значительному уменьшению на контуре  $BD$ . При этом тангенциальные перемещения приобретают знакопеременный характер изменения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. – М.: Изд-во АСВ, 2000, 282 с.
2. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. – М.: Высшая школа, 1970, 710 с.
3. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. – М.: Мир, 1987, 524 с.

Д.Н.НИЗОМОВ, А.А.ХОЧИБОЕВ\*, О.А.ХОЧИБОЕВ

## ТАДҚИҚОТИ ТАҚСИМШАВИИ ШИДДАТҲО ДАР ҲУДУДҲОИ БИСЁРАЛОҚАДОР БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ

*Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи*

*Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон,*

*\*Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осими*

Дар мақола ҳалли масъалаи ҳамвори назарияи чандирӣ доир ба иншооти зеризаминӣ дида мешавад. Таъсири байниҳамдигарии ду сӯроҳии ба ҳам наздик ба ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ таҳқиқ намуда шудааст. Муодилаҳои канории интегралӣ барои масъалаи берунӣ тартиб дода шудааст. Алгоритм, модели математикӣ ва барномаи компютери дар асоси муодилаҳои интегралӣ канорӣ каркард кардашуда дар ҳалли масъалаи иншооти зеризаминии НБО Роғун татбиқ карда шудааст

**Калимаҳои калидӣ:** ҳудуди бисёралоқадор, холигӣ, муодилаи канории интегралӣ, беохирӣ, нормал, шиддатҳо, ҷойивазкуниҳо, иншооти зеризаминӣ, таъсири байниҳамдигарӣ.

J.N.NIZOMOV, A.A.HOJIBOEV\*, O.A.HOJIBOEV

## STUDY OF VOLTAGE DISTRIBUTION IN A MULTI-CONNECTED AREA BY THE METHOD OF BOUNDARY EQUATIONS

*Institute of geology, earthquake engineering and seismology,*

*Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,*

*\*Tajik technical university named after academician M.S.Osimi*

The article considers the solution of the plane-deformed elasticity theory problem as applied to underground structures. The effect of two mutually closely spaced holes on the stress-strain state of the latter is investigated. Boundary integral equations for an external problem are compiled. The developed algorithm, mathematical model, and calculation programs based on the boundary element method are implemented using the underground structures of the Rogun HPP as an example.

**Key words:** a multiply connected area, cavity, boundary integral equation, infinity, normal, stress, displacement, underground structures, mutual influence.

М.ИЛОЛОВ, Р.А.БУХОРИЗОДА

### КИТАЙСКО-ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКОЕ СОВМЕСТНОЕ СОВЕЩАНИЕ

По инициативе академика АН Республики Узбекистан Шавката Аюпова и известного китайского математика, профессора Фан Хуижун с 15 по 20 сентября 2019 г. в городе Ченгду (КНР) состоялось 1-ое Китайско-Центральноазиатское совместное Совещание по математике, направленное на взаимовыгодное сотрудничество между учеными-математиками Китая и стран Центральной Азии, и обмен новыми научными достижениями. Принято решение провести подобный форум в последующие годы в виде серии конференций, посвященных различным направлениям современной математики.

1-ое совместное совещание было организовано математиками Сычуанского университета. Совещание состояло из пленарных и секционных заседаний. Секции были посвящены следующим направлениям:

1. Алгебра и функциональный анализ.
2. Дифференциальные уравнения, динамические системы и математическая физика.
3. Теория вероятности и статистика.
4. Комплексный анализ, геометрия и топология.
5. Прикладная, вычислительная, промышленная и инженерная математика.

С пленарными докладами выступили:

1. Залманов Ефим (Университет Калифорния, Сан-Диего, США) «Рост алгебраических структур».
2. Аюпов Шавкат (Институт математики Академии наук Узбекистана) «Локальные и 2-локальные производные и автоморфизмы алгебр Ли».
3. Борубаев Алтай (Институт математики Академии наук Кыргызстана) «Равномерные структуры в действительных полных пространствах».
4. Фан Хуижун (Пекинский университет, КНР) «Математическая теория калибровочной линейной сигма модели».
5. Илолов Мамадшо (Центр инновационного развития науки и новых технологий Академии наук Республики Таджикистан) «Дробные интегро-дифференциальные включения типа Хейла в банаховом пространстве».

В работе конференции приняли участие ученые-математики КНР (39), Узбекистана (18), Таджикистана (5), Кыргызстана (4), Казахстана (1), Турции (1), США (1).

Надо отметить, что если страны Центральной Азии были представлены, в основном, опытными учеными, то от Китайской Народной Республики в работе Совещания приняли участие молодые талантливые математики.

В составе делегации от Республики Таджикистан в работе Совещания приняли участие академики АН РТ М.Илолов, З.Дж.Усманов, чл.-корр. АН РТ С.А.Исхоков, доктор физико-математических наук У.Х.Каримов и кандидат физико-математических наук Х.С.Кучакшоев.

Следующее Китайско-Центральноазиатское совместное совещание по математике состоится в г. Ташкенте (Узбекистан) в 2021 году.

## ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

### СУЛАЙМОНУ АБУНАСРОВИЧУ ИСХОКОВУ – 60 ЛЕТ



7 октября 2019 г. исполнилось 60 лет доктору физико-математических наук, член-корреспонденту Академии наук Республики Таджикистан, профессору Сулаймону Абунасровичу Исмокову.

Исмоков Сулаймон Абунасрович родился 7 октября 1959 г. в кишлаке Варзиканда Пенджикентского района Ленинабадской (ныне Согдийской) области Таджикской ССР. После окончания средней школы в 1977 г. С.А.Исмоков поступает в механико-математический факультет Таджикского государственного университета (ныне Таджикский национальный университет).

верситет).

В 1982 г. С.А.Исмоков окончил с отличием университет и был принят на работу в Математический институт с вычислительным центром АН Таджикской ССР (ныне Институт математики им. А.Джураева АН РТ). Тогда заместителем директора этого института работал талантливый математик Камолиддин Хамроевич Бойматов, который на тот момент только защитил докторскую диссертацию в МГУ им. М.В.Ломоносова. По предложению К.Х.Бойматова С.А.Исмоков поступает в аспирантуру в 1983 г.

В работах, посвященных исследованию асимптотики спектра дифференциальных операторов в неограниченных областях, опубликованных до середины шестидесятых годов прошлого столетия, всегда присутствовало условие неограниченного возрастания свободного коэффициента оператора при  $|x| \rightarrow +\infty$ . В 1967 г. профессор А.Г.Костюченко поставил задачу о нахождении асимптотики спектра дифференциального оператора, заданного в неограниченной области, но имеющего ограниченный свободный коэффициент (например, нулевой). Эту задачу впервые решил М.Г.Гасымов для обыкновенных дифференциальных операторов и позже в научной литературе эта задача называлась задачей Гасымова-Костюченко. В кандидатской диссертации С.А.Исмокова решалась задача типа Гасымова-Костюченко для широкого класса вырождающихся эллиптических операторов высшего порядка во всем пространстве. Применялся параболический метод исследования спектральных асимптотик операторов с частными производными, разработанный К.Х.Бойматовым. Будучи аспирантом последнего курса обучения С.А.Исмоков доложил о своих результатах на городском семинаре академика АН Азербайджанской ССР

М.Г.Гасымова в г. Баку, и после семинара ему предложили защитить диссертацию в Специализированном совете при Институте математики и механики АН Азербайджанской ССР. В 1988 г. С.А.Исхоков успешно защитил кандидатскую диссертацию "Распределение собственных значений некоторых классов эллиптических дифференциальных операторов" в этом совете.

В 1992 г. С.А.Исхоков поступил в докторантуру Таджикского государственного университета и для работы над докторской диссертацией был направлен в отдел теории функций Математического института им. В.А.Стеклова АН СССР. В то время отделом руководил член-корреспондент АН СССР, лауреат Государственной премии СССР Лев Дмитриевич Кудрявцев. При этом отделе функционировал семинар по теории функций под руководством академика АН СССР С.М. Никольского. Дружелюбная атмосфера, которая царила в этом отделе, оказала большое влияние на становление и развитие С.А.Исхокова как математика. Его научными консультантами назначили главного научного сотрудника отдела П.И. Лизоркина и профессора Московского инженерно-физического института Н.В. Мирошина. По совету своих наставников С.А.Исхоков занимался исследованием разрешимости граничных задач для вырождающихся уравнений с частными производными методами теории функций и функционального анализа. О своих полученных результатах он регулярно докладывал на семинаре академика С.М.Никольского и корректировал свои научные планы по совету участников этого семинара. На последнем курсе докторантуры С.А.Исхоков полностью подготовил свою докторскую диссертацию и представил к защите. В мае 1995 года он успешно защитил диссертацию "Оценки спектра и разрешимость вариационных задач для вырождающихся эллиптических операторов и связанные с ними теоремы вложения" на Специализированном ученом совете при Математическом институте им. В.А.Стеклова Российской академии наук.

Первая часть результатов докторской диссертации С.А.Исхокова была посвящена вопросам спектральной асимптотики дифференциальных операторов. Методы исследования спектральных асимптотик дифференциальных операторов разделяются на три группы. Асимптотические методы основаны на полных разложениях решений соответствующих дифференциальных уравнений. Эти методы применимы в одномерных задачах, а также в задачах с разделяющимися переменными. Методы, применяемые в многомерных задачах, разделяются на две группы: "вариационные методы", восходящие к классическим работам Г. Вейля и Р. Куранта, и "тауберовы методы", восходящие к работам Т. Карлемана. В обзорных работах по спектральной теории дифференциальных операторов с частными производными, опубликованных до середины семидесятых годов прошлого столетия, считалось, что "вариационные методы" не столь чувствительны на гладкость границы области и на гладкость коэффициентов исследуемого оператора, как "тауберовы методы", и в свою очередь "тауберовы методы" охватывают достаточно широкий класс дифференциальных операторов, чем "вариационные методы". В докторской диссертации С.А.Исхокова приспособляется тауберов метод (точнее метод параболического уравне-



ния) к случаю негладкости коэффициентов исследуемого оператора и негладкости границы области и, тем самым, существенно расширяется область применимости этих методов.

Вторая часть докторской диссертации С.А.Исхокова была посвящена исследованию разрешимости вариационной задачи Дирихле для операторов эллиптического типа с матричными коэффициентами, вырождающихся на границе области. Здесь обобщаются известные результаты академика АН СССР С.М.Никольского, член-корреспондента АН СССР Л.Д.Кудрявцева, профессоров П.И.Лизоркина и Н.В.Мирошина по эллиптическим операторам в ограниченной области, имеющих степенное вырождение вдоль всей границы. Рассматривались довольно общие области, удовлетворяющие лишь условию конуса, граница которых может содержать многообразие разных измерений, при этом характер вырождения коэффициентов оператора более общий, чем степенной. Обобщая технику вышеуказанных авторов на рассматриваемый случай С.А.Исхоков не только доказывает теоремы о существовании и единственности решения вариационной задачи Дирихле, но и доказывает теоремы о фредгольмовой разрешимости вариационных задач на собственные значения.

Одним из важных инструментов в исследовании свойств нормированных пространств дифференцируемых функций многих вещественных переменных со степенным весом является лемма, которая была доказана итальянским математиком Mario Troisi в 1969 г. Эта лемма позволяет вывести интегральные неравенства со степенными весами из невесовых. В 2003 г. С.А.Исхоков доказал аналог этой леммы в случае, когда весовые функции имеют более общий вид, чем степенной. Позже, с помощью доказанной леммы, он обобщил результаты, установленные многими известными авторами, об эллиптических уравнениях в ограниченной области со степенным вырождением на случай как линейных, так и нелинейных эллиптических операторов в произвольной области евклидова пространства с нестепенным вырождением. Эти результаты С.А.Исхокова опубликованы в журналах "Доклады Российской Академии наук", "Дифференциальные уравнения", "Математические заметки" и в полном объеме переведены на английский язык.

В 1953 г. шведский математик Ларс Гординг доказал неравенство, которое играло очень важную роль в исследовании граничных задач для сильно эллиптических дифференциальных уравнений. С помощью этого неравенства были сняты многие ограничения на коэффициенты дифференциального уравнения, обеспечивающие существование и единственность решения. В современной математике это неравенство называется неравенством Гординга. Отсутствие такого типа неравенства в случае эллиптических уравнений с вырождением всегда проводило к жестким ограничениям на коэффициенты исследуемого оператора и к граничным данным краевой задачи. В 2009 г. С.А. Исхокову удалось впервые доказать аналог неравенства Гординга для эллиптических операторов с вырождением в достаточно общем случае. Позже на основе этого неравенства были улучшены результаты многих авторов по разрешимости вариационных задач для вырождающихся эллиптических операторов. Эти результаты С.А. Исхокова опубликованы в журналах

”Математические заметки” (2010 г.), ”Доклады Российской Академии Наук” (2012 г.), ”Уфимский математический журнал” (2016 г.) и получили хорошую оценку со стороны зарубежных ученых.

Сулаймоном Абунасовичем опубликованы свыше 120 научных работ в отечественной и зарубежной печати.

С.А.Исхоков ведет большую работу по подготовке высококвалифицированных научных кадров. Под его руководством официально защищены 10 кандидатских диссертаций. В 2005г. С.А.Исхоков проходил по конкурсу на должность иностранного профессора в Малакандском университете в Пакистане и работал на этой должности до августа 2008 г.

Научное исследование С.А.Исхокова поддерживалось некоторыми научными центрами и научными фондами. Он был одним из основных исполнителей долгосрочного гранта MZ № 3000 Международного научного фонда Дж.Сороса (1993-1994 гг., George Soros International Scientific Foundation) Получил грант Комиссии Пакистана по высшему образованию (Higher Education Commission of Pakistan). Проходил научные стажировки в Международном Научном Центре им Абдус Салама по теоретической физике (Италия, 2000 г., 2002 г., Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics), в Международном институте высших научных исследований (Франция, 2004 г., Institut des Hautes Etudes Scientifiques).

В 2010 г. С.А.Исхоков был удостоен Премии Академии наук Республики Таджикистан им. С.У.Умарова за цикл работ ”Оценки спектра и разрешимость вариационных задач для вырождающихся эллиптических операторов”.

Мы поздравляем Сулаймона Абунасовича Исхокова с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья и больших успехов в его научной и педагогической деятельности.

*Рахмонов З.Х., Усманов З.Д., Илолов М., Шабозов М.Ш., Гадоев М.Г.*

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ФАЙЗА НОРМУРОДОВА

14.08.1944 – 03.12.2010



Файз Нормуродов – выдающийся таджикский учёный, специалист в области ядерной физики, физики элементарных частиц и космических лучей, начал свою трудовую деятельность после окончания аспирантуры Таджикского государственного университета имени В.И.Ленина (ныне Таджикский национальный университет) и военной службы в 1970 году (01.12.1970) в должности старшего лаборанта лаборатории активационного анализа Физико-технического института им. С.У.Умарова Академии наук Республики Таджикистан (ФТИ АН РТ).

Необходимо отметить, что Ф.Нормуродов во время учёбы в аспирантуре был прикомандирован в Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ, г.Дубна, Московская область, Россия) где ему посчастливилось вести научные исследования под руководством учёного с мировым именем, академика АН СССР Георгия Николаевича Флёрва, директора Лаборатории ядерных реакций (ЛЯР), физика-ядерщика, одного из первооткрывателей спонтанного деления тяжёлых ядер, одного из отцов-основателей ОИЯИ, Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии и дважды лауреата Сталинской премии, ученого, именем которого (флеровий) назван 114-й элемент периодической системы Менделеева.

После окончания аспирантуры и поступления на работу в ФТИ АН РТ Ф.Нормуродов продолжает тесное сотрудничество с учёными и специалистами ОИЯИ. В эти годы (1968–1972) Ф.Нормуродов в сотрудничестве и под наставлением академика Г.Н.Флёрва, профессора (ныне академика РАН) Ю.Ц.Оганесяна, именем которого назван открытый им новый 118-й химический элемент «оганесон», ведущих учёных ЛЯР ОИЯИ

С.А.Карамяна и Ю.Э.Пенионжкевича, занимался вопросами измерения выхода некоторых радиоизотопов при делении ядер тяжелыми ионами, исследование массового распределения осколков деления ядер висмута и урана по действию тяжелых ионов, наблюдением теней в угловых распределениях осколков деления при облучении монокристалла вольфрама ускоренными ионами  $^{22}\text{Ne}$ , экспериментальным определением времён жизни высоковозбуждённых ядер в диапазоне  $79 \leq Z \leq 89$ , измерению с помощью эффекта теней и т.д.

Эти результаты Ф.Нормуродова опубликованы в ряде препринтов ОИЯИ, в журнале «Ядерная физика» и доложены на международных конференциях в Москве, Риге и Дубне.

16 декабря 1971 года Ф.Нормуродов успешно защитил кандидатскую диссертацию в Диссертационном совете ОИЯИ и продолжил научно-трудную деятельность в лаборатории активационного анализа ФТИ АН РТ (который в последующем был преобразован в лабораторию ядерной физики) в качестве старшего научного сотрудника (1972) и ведущего научного сотрудника (1986).

С 1974 года Ф.Нормуродов в рамках международного эксперимента «Памир» с участием физиков ФИАН СССР, ФТИ АН Узбекистана, ИЯИ АН СССР (Москва), НИИ-ЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, ИВЭ АН Казахстана, ИФВЭ АН Грузии, а также впоследствии физиков Польши, Японии и Бразилии принимает участие в исследованиях взаимодействий космических лучей с ядрами в области энергий  $10^{15}$ - $10^{18}$  эВ методом больших рентген-эмульсионных камер (РЭК) в урочище Ак-Архар Мургабского района Горно-Бадахшанской автономной области, на высоте 4360 м над уровнем моря.

В процессе эксперимента была собрана РЭК с площадью  $1000 \text{ м}^2$ , которая была самой большой камерой тех времён для исследования космических частиц.

Ф.Нормуродов со своими учениками сформулировал задачу автоматизированной обработки результатов эксперимента «Памир» и методику анализа характеристик гамма-адронных суперсемейств с энергией выше 1000 ТэВ.

Ф.Нормуродовым был предложен новый метод анализа явлений с относительно высокими энергиями посредством РЭК. Согласно договору с Научно-исследовательским институтом ядерной физики имени Д.В.Скобельцына Московского государственного университета им М.В.Ломоносова в 1983-1985 годах Ф.Нормуродовым были выполнены научные темы – «Разработка методов анализа суперсил  $\tau$ -квантов» и «Разработка методов измерения и анализа свойств частиц сверхвысоких энергий». В результате был разработан метод обработки экспериментального материала на ЭВМ, который исключает многие этапы измерительного процесса и вместе с тем увеличивает в два-три раза точность измерения различных характеристик каскадных процессов. Все элементы обработки были запрограммированы и реализованы на ЭВМ М-220. Разработанная методика позволила с большой достоверностью отбирать сложные события, представляющие физический инте-

рес, такие как последовательные взаимодействия лидирующего адрона, адронно-фотонное семейство и т.п.

Решение этой задачи и предложенная методика была принята всей коллаборацией, что позволило повысить не только корректность экспериментальных результатов при максимально доступных энергиях космических лучей, но и экономить время обработки экспериментального материала и анализа полученных данных.

Ф.Нормуродов внес большой вклад в реализацию проекта «Памир». Им был сформулирован принципиально новый – самосогласованный подход к проблеме измерения энергии гамма-квантов, детектируемых в РЭК при  $E_\gamma \approx 10^{12} \div 10^{14}$  эВ, в рамках которого был предложен и развит метод дифференциальных потемнений, использующий данные дифференциальных денситометрических измерений на треках электромагнитных ливней. На основе проведенных модельных расчетов он показал возможную природу образования гало в гамма-суперсемействах и особенности развития ядерно-электромагнитного каскадного процесса, которые приводят к появлению двух типов гамма-суперсемейств – с гало и без гало при энергиях  $\sum E_\gamma > 500$  ТэВ. При этом было показано, что характеристики гамма-суперсемейств без гало критичны также к предположению об «утяжелении» состава космического излучения.

Ф.Нормуродовым был разработан программный комплекс по математическому моделированию на вычислительных процессорах процесса развития ядерно-электромагнитных каскадов в атмосфере Земли при сверхвысоких энергиях космических лучей и "эффекта гало" в гамма-суперсемействах, наблюдаемых в РЭК.

Предложенная им двухкомпонентная (с каналами малой и большой степени диссипации энергии) модель адрон-ядерного взаимодействия качественно не противоречит результатам протон-антипротон взаимодействиям коллайдера при энергиях  $10^{14} - 5 \cdot 10^{14}$  эВ и при соответствующей экстраполяции пригодна для приблизительного описания, экспериментальных результатов в космических лучах при энергии до  $10^{16}$  эВ.

Все участники эксперимента «Памир» отмечали вклад Ф.Нормуродова как одного из ведущих физиков в разработке соответствующих практических методик и анализе экспериментальных данных, особенно физической интерпретации гамма-суперсемейств, с помощью оригинальных модельных расчетов на всех стадиях реализации проекта.

Необходимо отметить, что в эксперименте «Памир» был зарегистрирован ряд редких событий, которые невозможно объяснить в рамках Стандартной Модели. Кроме открытия известного гигантского суперсемейства «Таджикистан», с энергией первичной частицы  $10^{18}$  эВ, в эксперименте «Памир» обнаружены и зарегистрированы ряд уникальных событий, в том числе – суперсемейство «Ситора» с общей энергией до  $2 \cdot 10^4$  ТэВ, суперсемейство «Татьяна» с предполагаемой энергией  $1.1 \cdot 10^4$  ТэВ, суперсемейство «Фианит» с гало сверхвысокой энергии порядка  $10^4$  ТэВ и т.д.

Такие энергии взаимодействия частиц являются самыми высокими из когда-либо зарегистрированных человечеством с помощью РЭК.

В эксперименте «Памир» в области энергий выше 3-4 ТэВ обнаружено существование новых явлений, которые невозможно объяснить в рамках Стандартной модели взаимодействий:

- явление компланарного испускания наиболее энергичных адронов, приводящее к линейной выстроенности треков частиц на мишенной диаграмме событий;
- существование частиц с аномально большим пробегом до ядерного взаимодействия, возможно обусловленных рождением частиц "странной" материи (странглетов);
- образование событий с аномальным соотношением нейтральных и заряженных адронов (событий типа «кентавр», «антикентавр»), свидетельствующее о возможном нарушении изотопической инвариантности при множественном рождении частиц.

Результаты анализа эксперимента «Памир» и других эмульсионных экспериментов, проводившихся на высоте гор и в стратосфере, до сих пор не потеряли своей актуальности и активно обсуждаются на различных международных форумах и публикуются в ведущих научных журналах.

По результатам этих экспериментов Ф.Нормуродов в 1990 году на Специализированном совете по ядерной и атомной физике при Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова (Д-053.05-42) защищает докторскую диссертацию на тему «Методы измерения и анализа, физическая интерпретация характеристик высокоэнергичной гамма-компоненты ядерно-электромагнитных каскадов при энергиях космических лучей  $10^{16}$  -  $10^{17}$  эВ»

Кроме научных работ Ф.Нормуродов приложил много усилий для популяризации науки и подготовки нового поколения учёных. Под руководством Ф.Нормуродова по результатам эксперимента «Памир» успешно защитил кандидатскую диссертацию его ученик Ю.А.Гулов. Активно участвовал в работе Летней физическо-математической и химической школы для школьников, был директором данной школы в 1978-1984 годах.

Его перу принадлежат более 200 научных и популярных статей, три монографии и три учебных пособия для студентов вузов, а также учебник «Физики» для 7 класса средней школы (совместно с С.Кодири). Его труды опубликованы в самых престижных научных изданиях России, США, Бразилии, Японии, Польши и Ирана.

В 1983 году Ф.Нормуродов был удостоен звания «Отличника народного образования Республики Таджикистан».

В разное время был заведующим кафедрой теоретической физики, деканом физического факультета Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни. С 2005 года до последних дней своей жизни руководил кафедрой ядерной физики Таджикского национального университета.

13.11.2019 г. в Физико-техническом институте им. С.У.Умарова Академии наук Республики Таджикистан был проведен расширенный научный семинар, посвященный научной деятельности и 75-летию доктора физико-математических наук, профессора Файза Нормуродова.



Участники расширенного научного семинара ФТИ АН РТ,  
посвященного 75-летию д.ф.-м.н., профессора Файза Нормуродова (13.11.2019).

Светлая память о Файзе Нормуродове, талантливом учёном-физике, навсегда сохранится в сердцах его близких, друзей, соратников и учеников как символ преданности научной созидательной деятельности.

Акад. Ф.Рахими, акад. Х.Х.Муминов, Дж.А.Саломов, Ф.Шокир.