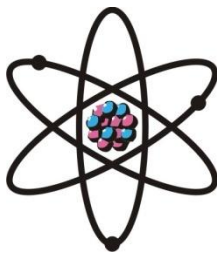


**ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 1 (190)
2023 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

М.Илолов, Ш.М.Зулфонов. Решение интегро-дифференциального телеграфного уравнения методом преобразования Лапласа-Карсона..... 7

Д.С.Сафаров, М.А.Кулобиев. Задача определения некоторого неизвестного параметра для квазилинейной равномерно эллиптической системы уравнений первого порядка на плоскости в классе двоякопериодических функций 15

ГЕОФИЗИКА

О.А.Алимов, Т.М.Калашникова. Воздействие сейсмической активности на неоднородности спорадического слоя E_s ионосферы..... 26

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.С.Амрохонов, Б.Джафари, М.Дж.Халикова, С.Халикова, П.Лангер, С.Ш.Сафаров. Синтез 3-фторо-2-метил-8-фенилэтинилзамещённых -4h-бензо[4,5]тиазоло[3,2- a]пиримидин-4-онов по свободной от меди реакции Соногаширы..... 30

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Д.З.Музафарова, М.Т.Жумаев, Л.Солиев. Фазовый комплекс системы $Na_2SO_4-CaSO_4-Al_2(SO_4)_3-H_2O$ при изотерме 298 К..... 40

Ё.К.Кудратуллоев. Комплексообразование серебра (I) с тиопирином в интервале температур 288-328 К..... 46

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Дж.Н.Эшов. Термические и термодинамические свойства нитрата тория 53

Д.Х.Мирзоев, Т.Б.Холматов, Н.М.Джамолов, А.М.Каюмов, С.Ш.Иброхимова, Б.Я.Юсупов. Кинетические аспекты разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с фосфорной кислотой..... 59

С.Г.Ёрмамадова. Процессы образования мерказолатных комплексов железа(II) в водной среде..... 64

И.У.Камолова. Зависимость процессов комплексообразования железа(II) с мерказолилом от ионной силы раствора 72

Р.А.Султонов, У.Р.Раджабов, С.Дж.Юсуфи*, Г.Ф.Наврүззода, И.Х.Юсупов, Х.К.Махкамов. Влияние влажности на молекулярную динамику хлопкового волокна селекционного сорта «Астрахань - 2013» по данным метода спиновых меток 79

ГИДРОЛОГИЯ И МЕЛИОРАЦИЯ

Ш.И.Ходжаев. Засоление почв при маломинерализованных грунтовых водах в условиях Юго-Восточного Таджикистана 86

ГЛЯЦИОЛОГИЯ

А.Каюмов, Х.К.Кабутов, М.Хольцле, Т.Сакс, М.Барандун. Баланс массы ледника Восточный Зулмарт (№139) за 2018-2022 годы 94

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Х.М.Ахмедов, Х.С.Каримов, Н.Фатима, Н.Ш.Юсуфбеков. Исследование датчиков вибрации на основе органических материалов..... 103

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Д.Н.Низомов, И.И.Каландарбеков, И.К.Каландарбеков. Моделирование сейсмоизолированных зданий на основе теории подобия..... 109

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

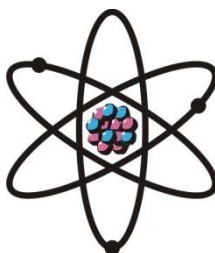
М.З.Ахмедов. Обзор радиационной безопасности в Таджикистане 117

РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

З.Н.Сайфиева, С.В.Муминов, О.А.Азизов. Использование автоматизированных систем при контроле радиационной обстановки окружающей среды Таджикистана 123

ШҮЪБАИ
ИЛМҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз моҳи
январи соли 1952
нашр мешавад



№ 1 (190)
с. 2023

ХАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

Кохирова Г.И. – сармуҳаррир, узви вобаста, доктори илмҳои физикаю математика; **С.А.Исҳоков** – муовини сармуҳаррир, узви вобаста, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **С.Ҳ.Абдулоева** – котиби масъул; **О.Амирзода** – доктори илмҳои техника; **Ҳ.М.Аҳмедов** – академик, доктори илми химия; **А.Бадалов** – узви вобаста, доктори илми химия, профессор; **П.Б.Бобочонов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **И.Н.Ғаниев** – академик, доктори илми химия, профессор; **М.И.Илолов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **С.Р.Мавлони** – кандидати илмҳои геология ва минералогия; **Ҷ.М.Мирсаидов** – академик, доктори илми химия, профессор; **С.Х.Неъматуллоев** – академик, доктори илмҳои техника; **Д.Н.Низомов** – узви вобаста, доктори илмҳои техника, профессор; **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.Раҷабов** – академик, доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **Т.Х.Салихов** – доктори илмҳои физикаю математика, профессор; **А.Р.Файзиев** – узви вобаста, доктори илмҳои геология ва минералогия, профессор; **Ҷ.Х.Ҳолиқов** – академик, доктори илми химия, профессор.

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

М.Илолов, Ш.М.Зулфонов. Ҳалли муодилаи интегро-дифференсиалии телеграф бо усули табдилоти Лаплас-Карсон.....	7
Ҷ.С.Сафаров, М.А.Кулобиев. Масъалаи муайян кардани як параметри номаълум барои системаи муодилаҳои квазиҳаттии мунтазам эллиптикии тартиби якум дар ҳамворӣ дар синфи функсияҳои дудаврдошта.....	15

ГЕОФИЗИКА

О.А.Алимов, Т.М.Калашникова. Таъсири ҷабҳаҳои сейсмикӣ ба гуногунҷинсаҳои қабати спорадикии Ер ионосфера.....	26
--	----

ХИМИЯИ ОРГАНИКӢ

А.С.Амрохонов, Б.Чафари, М.Ҷ.Халикова, С.Халикова, П.Лангер, С.Ш.Сафаров.

Синтези 3-фторо-2-метил-8-фенилэтинил-иваз кардани-4н-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а] пиримидин-4-онҳо аз реаксияи Соногашираи озод аз мис 30

ХИМИЯИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ

Д.З.Музафарова, М.Т.Жумаев, Ҷ.Солиев. Комплекси фазагии системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ дар изотермаи 298 К 40

Ё.Қ.Қудратуллоев. Комплексоҳосилшавии нукраи (I) бо тиопирин дар ҳудуди ҳароратҳои 288-328 К 46

ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ

Ҷ.Н.Эшов. Хусусиятҳои ҳароратӣ ва термодинамикии нитрати торий 53

Д.Х.Мирзоев, Т.Б.Холматов, Н.М.Ҷамолов, А.М.Қаюмов, С.Ш.Иброҳимова, Б.Я.Юсупов.

Ҷанбаҳои кинетикии таҷзияи сиенитҳои нефелинии кони Турпии Тоҷикистон бо кислотаи фосфат 59

С.Г.Ёрмамадова. Раванди комплексоҳосилкунии мерказолатии оҳан (II) дар муҳити оби 64

И.У.Қамолова. Вобастагии равандҳои комплексоҳосилкунии оҳан (II) бо мерказолил аз қувваи ионии маҳлул 72

Р.А.Султонов, У.Р.Рачабов, С.Ҷ.Юсуфӣ, Г.Ф.Наврӯззода, И.Х.Юсупов, Х.Қ.Махкамов.

Таъсири намӣ ба динамикаи молекулавии навъи пахтаи наҳи "Астрахан - 2013" мувофиқи маълумотҳои методи нишонаи спинӣ 79

ГИДРОЛОГИЯ ВА МЕЛИОРАТСИЯ

Ш.И.Ҳочаев. Раванди шуршавии хок дар обҳои зерзаминии минералнокнашон пасти

Ҷанубу Шарқи Тоҷикистон 86

ҒИЯТСИОЛОГИЯ

А.Қаюмов, Х.Қ.Қабутов, М.Ҳозлзле, Т.Сакс, М.Барандун. Тавозуни ҳаҷми пиряхи Зулмарти

Шарқи (№ 139) дар солҳои 2018-2022 94

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ҳ.М.Аҳмедов, Х.С.Каримов, Н.Фатима, Н.Ш.Юсуфбеков. Таҳқиқи қосидакҳои ларзиш дар

асоси маводҳои органикӣ 103

МЕХАНИКАИ СОХТОРӢ

Ҷ.Н.Низомов, И.И.Қаландарбеков, И.Қ.Қаландарбеков. Моделкунонии биноҳои дорои

маҳдудкунакҳои сейсмикӣ дар асоси назарияи монандӣ 109

БЕХАТАРИИ РАДИАТСИОНӢ

М.З.Аҳмедов. Шарҳи беҳатарии радиатсионӣ дар Тоҷикистон 117

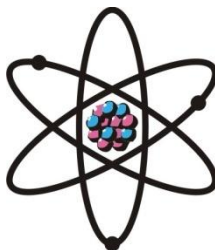
ЭКОЛОГИЯИ РАДИАТСИОНӢ

З.Н.Сайфиева, С.В.Муминов, О.А.Азизов. Истифодаи системаҳои автоматикунонидашуда

ҳангоми назорати вазъи радиатсионии муҳити зисти Тоҷикистон 123

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

The journal was established
in January 1952



№ 1 (190)
2023

EDITORIAL BOARD

G.I.Kokhirova Doctor of Physical and Mathematical, Editor-in-Chief; Prof. **S.A.Iskhokov**, Doctor of Physical and Mathematical, Deputy Editor-in-Chief; **S.H.Abdulaeva**, Secretary; **O.Amirzoda**, Doctor of Engineering; **Kh.M.Akhmedov**, Doctor of Chemistry; Prof. **P.B.Babadzhanov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **A.Badalov**, Doctor of Chemistry; 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; **S.R.Mavloni**, Doctor of Geology and Mineralogy; Prof. **U.M.Mirsaidov**, Doctor of Chemistry; **S.Kh.Negmatullaev**, Doctor of Engineering; Prof. **D.N.Nizomov**, Doctor of Engineering; Prof. **S.O.Odinaev**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **N.R.Rajabov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **F.Rakhimi**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **Z.Kh.Rakhmonov**, Doctor of Physical and Mathematical; Prof. **T.Kh.Salihov**, Doctor of Engineering.

CONTENTS

MATHEMATICS

M.Iolov, Sh.M.Zulfonov. Solution of the integro-differential telegraph equation by the method of Laplace-Carson transformation 7

D.S.Safarov, M.A.Kulobiev. The problem of determining some parameter for a quasi-linear uniformly elliptic system of first-order equations on a plane in the class of doubly periodic functions 15

GEOPHYSICS

O.A.Alimov, T.M.Kalashnikova. The influence of seismic activity on the inhomogeneity of the sporadic layer E_s of the ionosphere 26

ORGANIC CHEMISTRY

A.S.Amrokhonov, B.Jafari, M.J.Khalikova, S.Khalikova, P.Langer, S.Sh.Safarov. Synthesis of 3-fluoro-2-methyl-8-phenylethynyl-substitute-4h-benzo [4,5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-ones by the copper free Sonogashira reaction 30

INORGANIC CHEMISTRY

- D.Z.Muzafarova, M.T.Jumaev, L.Soliev**. Phase complex of the $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ system at 298 K isotherm 40
- Yo.Q.Qudratulloev**. Complexation of silver (I) with thiopyrin at the temperature range 288-328 K 46

PHYSICS CHEMISTRY

- J.N.Eshov**. Thermal and thermodynamic properties of thorium nitrate 53
- D.Kh.Mirzoev, T.B.Holmatov, N.M.Jamolov, A.M.Kayumov, S.Sh.Ibrohimova, B.Y.Yusupov**. Kinetic aspects of decomposition of nepheline syenites from Turpi deposit of Tajikistan with phosphoric acid..... 59
- S.G.Ermamadova**. Formation processes of iron (II) mercazolite complexes in aqueous environment ... 64
- I.U.Kamolova**. Dependence of complex formation processes of iron (II) with mercazolil on the ionic strength of a solution 72
- R.A.Sultonov, U.R.Ragabov, S.J.Ysufi, G.F.Navruzzoda, I.Kh.Yusupov, H.K.Mahkamov**. Influence of moisture on molecular dynamics of cotton fiber breeding variety "Astrakhan - 2013" according to the data of the spin method 79

HYDROLOGY AND MELIORATION

- Sh.I.Khodjaev**. Soil salinization at low mineralized groundwater in the conditions of South-Eastern Tajikistan 86

GLACIOLOGY

- A.Kayumov, H.K.Kabutov, M.Hoelzle, T.Saks, M.Barandun**. Mass balance of the East Zulmart glacier (no. 139) for 2018-2022..... 94

ELECTRICAL TECHNOLOGY

- Kh.Akhmedov, Kh.S.Karimov, N.Fatima, N.Sh.Usufbekov**. Investigation of vibration sensors based on organic materials 103

STRUCTURAL MECHANICS

- D.N.Nizomov, I.I Kalandarbekov, I.K.Kalandarbekov**. Simulation of seismic isolated buildings based on the theory of similarity 109

RADIATION SAFETY

- M.Z.Akhmedov**. Overview of radiation safety in Tajikistan 117

RADIATION ECOLOGY

- Z.N.Sayfieva, S.V.Muminov, O.A.Azizov**. Use of automated systems for monitoring of radiation situation of environment in Tajikistan 123

УДК 511.5

М.ИЛОЛОВ, Ш.М.ЗУЛФОНОВ*

**РЕШЕНИЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕЛЕГРАФНОГО
УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАПЛАСА-КАРСОНА**

*Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ,
*Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни
Поступила в редакцию 20.12.2023 г.*

Методом операционного исчисления найдено аналитическое решение начально-краевой задачи для интегро-дифференциального телеграфного уравнения

Ключевые слова: начально-краевая задача, аналитическое решение, двухмерное преобразование Лапласа-Карсона.

1. Интегро-дифференциальное телеграфное уравнение является математической идеализацией двухпроводной линии телеграфа в виде эридетарной системы равномерно распределенных индуктивностей, сопротивлений, емкостей и утечки (см. напр. [1]). В настоящей работе с помощью двухмерного интегрального преобразования Лапласа-Карсона найдено представление решения начально-граничной задачи для одного класса интегро-дифференциальных телеграфных уравнений.

Постановка задачи: найти решение интегро-дифференциального уравнения

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (2b+1) \frac{\partial u}{\partial t} + b^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \int_0^t a(t-\tau) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} d\tau + f(t), \quad (1)$$

удовлетворяющее начальным

$$u(0, t) = \varphi_1(t), \quad t > 0; \quad u'_x(0, t) = \varphi_2(t), \quad t > 0 \quad (2)$$

и граничным условиям

Адрес для корреспонденции: Илолов Мамадшо, 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ.
E-mail: ilolov.mamadsho@gmail.com

$$u(x, 0) = u_0(x), x > 0; u'_t(x, 0) = u_1(x), x > 0. \quad (3)$$

Здесь $b > 0$ – заданное число, $a(t)$ – ядро интегрального оператора, $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $u_0(x)$, $u_1(x)$, $f(t)$ – заданные функции, $u(x, t)$ – искомая функция. Предполагается, что перечисленные функции являются оригиналами по переменным t, x . Задача состоит в нахождении представления решения задачи (1), (2), (3) методом двухмерного интегрального преобразования Лапласа-Карсона (см. [2]).

Вначале выпишем изображения Лапласа-Карсона для всех составляющих уравнения (1), начальных (2) и граничных (3) функций, то есть

$$u(x, 0) = u_0(x) \rightarrow U_0(p), u(0, t) = \varphi_1(t) \rightarrow \Phi_1(q), u'_x(0, t) = \varphi_2(t) \rightarrow \Phi_2(q),$$

$$u'_t(x, 0) = u_1(x) \rightarrow U_1(p), u(x, t) \Rightarrow U(p, q), f(t) \rightarrow F(q)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Rightarrow p^2 [U(p, q) - \Phi_1(q)] - p\Phi_2(q); \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \Rightarrow q^2 [U(p, q) - U_0(p)] - qU_1(p);$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} \Rightarrow q [U(p, q) - U_0(p)],$$

$$\int_0^t a(t-\tau) \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} \partial \tau \Rightarrow \frac{1}{q} A(q) \{ p^2 [U(p, q) - \Phi_1(q)] - p\Phi_2(q) \}. \quad (4)$$

Далее, подставляя изображения, указанные в (4), в уравнение (1), получим выражение для $U(p, q)$ в виде

$$U(p, q) = \frac{(q^2 + q(2b+1))U_0(p) + qU_1(p) - \left(1 + \frac{1}{q}A(q)\right)p^2\Phi_1(q)}{q^2 + (2b+1)q + b^2 - p^2 - \frac{1}{q}A(q)p^2} - \frac{\left(1 + \frac{1}{q}A(q)\right)p\Phi_2(q) + F(q)}{q^2 + (2b+1)q + b^2 - p^2 - \frac{1}{q}A(q)p^2}. \quad (5)$$

2. Нас интересует представление решения задач (1), (2), (3) в случае, когда ядро задано равенством

$$a(t) = b^2 t + (2b+1).$$

Тогда изображение $U(p, q)$ в (5) принимает вид

$$\begin{aligned}
U(p, q) &= \frac{q^2(q^2 + (2b+1)q)U_0(p) + q^3U_1(p)}{(q^2 + (2b+1)q + b^2)(q^2 - p^2)} + \\
&+ \frac{-(q^2 + (2b+1)q + b^2)p^2\Phi_1(q) + q^2F(q)}{(q^2 + (2b+1)q + b^2)(q^2 - p^2)} - \frac{p\Phi_2(q)}{q^2 - p^2}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Ясно, что при $p = q$ знаменатель в (6) обращается в нуль. Поэтому, необходимо выяснить при каких условиях числитель дроби (6) обращается в нуль. С этой целью вводим следующее уравнение

$$\begin{aligned}
&q^2(q^2 + (2b+1)q)U_0(q) + q^3U_1(q) - \\
&-(q^2 + (2b+1)q + b^2)q^2\Phi_1(q) - (q^2 + (2b+1)q + b^2)q\Phi_2(q) + q^2F(q) = 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Из равенства (7) находим изображение $\Phi_2(q)$ в виде

$$\Phi_2(q) = \frac{q(q^2 + (2b+1)q)U_0(q) + q^2U_1(q) + qF(q)}{(q^2 + (2b+1)q + b^2)} - q\Phi_1(q). \tag{8}$$

Подставляя выражение (8) в равенство (6), получим

$$\begin{aligned}
U(p, q) &= \left\{ \frac{q^2 + (2b+1)q}{q^2 + (2b+1)q + b^2} \cdot \frac{q^2U_0(p) - pqU_0(q)}{q^2 - p^2} \right\} + \\
&+ \left\{ \frac{q^2}{q^2 + (2b+1)q + b^2} \cdot \frac{qU_1(p) - pU_1(q)}{q^2 - p^2} \right\} + \\
&+ \left\{ \frac{(pq - p^2)\Phi_1(q)}{q^2 - p^2} \right\} + \left\{ \frac{(q^2 - pq)F(q)}{(q^2 + (2b+1)q + b^2)(q^2 - p^2)} \right\}.
\end{aligned} \tag{9}$$

С учетом линейности и единственности интегрального преобразования можно вычислить обратные преобразования для каждого из четырех слагаемых в (9) в отдельности.

Таким образом, имеют место следующие формулы:

$$\begin{aligned}
1) \left\{ \frac{q^2 + (2b+1)q}{q^2 + (2b+1)q + b^2} \cdot \frac{q^2U_0(p) - pqU_0(q)}{q^2 - p^2} \right\} &\Leftrightarrow \\
\int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} (\delta'(t-s-\tau))u_0(x+\tau-s) ds d\tau -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{b^2 \left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}} \right)}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_0(x + \tau - s) ds d\tau + \\
& \frac{b^2 \left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}} \right)}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_0(x + \tau - s) ds d\tau; \tag{10}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 2) \left\{ \frac{q^2}{q^2 + (2b+1)q + b^2} \cdot \frac{qU_1(p) - pU_1(q)}{q^2 - p^2} \right\} \Leftarrow \\
& \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) u_1(x + \tau - s) ds d\tau + \\
& + \frac{\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}} \right)^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_1(x + \tau - s) ds d\tau - \\
& - \frac{\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}} \right)^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_1(x + \tau - s) ds d\tau; \tag{11}
\end{aligned}$$

$$3) \left\{ \frac{(pq - p^2)\Phi_1(q)}{q^2 - p^2} \right\} = \frac{p\Phi_1(q)}{p + q} \Leftarrow \varphi_1(t - x); \tag{12}$$

$$4) \left\{ \frac{(q^2 - pq)F(q)}{(q^2 + (2b+1)q + b^2)(q^2 - p^2)} \right\} \Leftarrow$$

$$- \frac{b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} h(x-s) f(\tau) ds d\tau +$$

$$\frac{b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} h(x-s) f(\tau) ds d\tau. \quad (13)$$

Здесь, через $\delta(t)$, $h(t)$ обозначены функции Дирака и Хевисайда, соответственно.

Итак, представление решения задачи (1), (2), (3) с учетом формул (10), (11), (12), (13) имеет вид

$$\begin{aligned} u(x;t) = & \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} (\delta'(t-s-\tau)) u_0(x+\tau-s) ds d\tau - \\ & - \frac{b^2 \left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_0(x+\tau-s) ds d\tau + \\ & + \frac{b^2 \left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_0(x+\tau-s) ds d\tau \\ & + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) u_1(x+\tau-s) ds d\tau + \varphi_1(t-x) + \\ & \frac{\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_1(x+\tau-s) ds d\tau - \\ & \frac{\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} u_1(x+\tau-s) ds d\tau - \\ & - \frac{b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} - \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} h(x-s) f(\tau) ds d\tau + \end{aligned}$$

$$\frac{b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(b + \frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)(t-s-\tau)} h(x-s) f(\tau) ds d\tau. \quad (14)$$

3. Выпишем представление решения задач (1), (2), (3) для ядра вида $a(t) = (1-bt)e^{-bt}$, изображение Лапласа -Карсона которой имеет вид $A(q) = \left(\frac{q}{q+b}\right)^2$.

В этом случае с учетом (5) изображение Лапласа -Карсона имеет вид

$$U(p, q) = \frac{(q+b)^2 (q^2 + (2b+1)q) U_0(p) + q(q+b)^2 U_1(p)}{\left((q+b)^2 + q\right)\left((q+b)^2 - p^2\right)} + \frac{-\left((q+b)^2 + q\right) p^2 \Phi_1(q) - \left((q+b)^2 + q\right) p \Phi_2(q) + (q+b)^2 F(q)}{\left((q+b)^2 + q\right)\left((q+b)^2 - p^2\right)}. \quad (15)$$

Изображение (15) позволяет получить решения задач (1), (2), (3) в виде

$$\begin{aligned} u(x, t) = & \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} (\delta'(t-s-\tau) +) \cdot u_0(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau + \\ & + 2b \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) +) \cdot u_0(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau + \\ & + \frac{b^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(\sqrt{b + \frac{1}{4}} - \frac{1}{2}\right)^2 (t-s-\tau)} u_0(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau - \\ & - \frac{b^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(\frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)^2 (t-s-\tau)} u_0(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau + \\ & + e^{-bx} \varphi_1(t-x) + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) u_1(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau - \\ & - \frac{\left(\sqrt{b + \frac{1}{4}} + \frac{1}{2}\right)^2}{2\sqrt{b + \frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(\frac{1}{2} + \sqrt{b + \frac{1}{4}}\right)^2 (t-s-\tau)} u_1(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\left(\sqrt{b+\frac{1}{4}}-\frac{1}{2}\right)^2}{2\sqrt{b+\frac{1}{4}}} \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-\left(\sqrt{\frac{1}{4}+b}-\frac{1}{2}\right)^2(t-s-\tau)} u_1(x-s+\tau) e^{-b(s+\tau)} ds d\tau + \\
& + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4\sqrt{b+\frac{1}{4}}}\right) e^{-\left(\sqrt{\frac{1}{4}+b}-\frac{1}{2}\right)^2(t-s-\tau)} \cdot e^{-bs} \cdot h(x-s) f(\tau) ds d\tau + \\
& + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4\sqrt{b+\frac{1}{4}}}\right) e^{-\left(\frac{1}{2}+\sqrt{b+\frac{1}{4}}\right)^2(t-s-\tau)} e^{-bs} \cdot h(x-s) f(\tau) ds d\tau. \tag{16}
\end{aligned}$$

4. Важно отметить, что в случае $b = 0$ рассмотренные нами ядра совпадают. Покажем, что в этом случае решения задач также совпадают.

В самом деле, в случае $b = 0$ равенство (14) принимает вид

$$\begin{aligned}
u(x;t) &= \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta'(t-s-\tau) u_0(x+\tau-s) ds d\tau + \\
& + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) u_1(x+\tau-s) ds d\tau + \varphi_1(t-x) - \\
& - \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-(t-s-\tau)} (u_1(x+\tau-s) - h(x-s) f(\tau)) ds d\tau,
\end{aligned}$$

а равенство (16)

$$\begin{aligned}
u(x,t) &= \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} (\delta'(t-s-\tau)) u_0(x-s+\tau) \cdot ds d\tau + \varphi_1(t-x) \\
& + \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} \delta(t-s-\tau) u_1(x-s+\tau) \cdot ds d\tau - \\
& - \int_0^{\min(x,t)} \int_0^{t-s} e^{-(t-s-\tau)} (u_1(x-s+\tau) - h(x-s)) \cdot f(\tau) ds d\tau.
\end{aligned}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов А.В. Математический анализ. Часть 1, Высшая школа, 1980, 279 с.
2. Диткин В.А., Прудников А.П. Операционное исчисление по двум переменным и его приложения. – Москва, 1958, 179 с.
3. Илолов М., Расули С., Рахматов Дж.Ш. Эволюционные уравнения дробного порядка с запаздыванием в банаховом пространстве. – Известия АН РТ, 2020, № 3(180), с. 7-21
4. Зулфонов Ш.М. Применение преобразования Лапласа-Карсона к решению начально-краевой задачи для интегро-дифференциальных уравнений. – Доклады НАНТ, т. 64, № 3-4, с. 135-141.

М.ИЛОЛОВ, Ш.М.ЗУЛФОНОВ*

ҲАЛЛИ МУОДИЛАИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ТЕЛЕГРАФ БО УСУЛИ ТАБДИЛОТИ ЛАПЛАС-КАРСОН

Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ,

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

Дар мақолаи мазкур ёфтани ҳалли муодилаи интегро-дифференсиалии телеграф бо шартҳои ибтидоӣ ва канорӣ бо истифода аз тадбири усули ҳисоби операционӣ нишон дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: шартҳои ибтидоӣ ва канорӣ масъала, ҳалли аналитикӣ, табдилоти дученакаи Лаплас-Карсон.

M.ILOLOV, Sh.M.ZULFONOV*

SOLUTION OF THE INTEGRO-DIFFERENTIAL TELEGRAPH EQUATION BY THE METHOD OF LAPLACE-CARSON TRANSFORMATION

Center of Innovative Development of Science and New Technologies, NAST

**S.Ayni's Tajik State Pedagogical University*

The method of operational calculus is used to find an analytical solution of the initial-boundary value problem for the integro-differential telegraph equation.

Key words: initial-boundary value problem, analytical solution, Laplace-Carson two-dimensional transformation.

УДК 517.95

Д.С.САФАРОВ, М.А.КУЛОБИЕВ*

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРОГО НЕИЗВЕСТНОГО ПАРАМЕТРА
ДЛЯ КВАЗИЛИНЕЙНОЙ РАВНОМЕРНО ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ПЛОСКОСТИ В КЛАССЕ
ДВОЯКОПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Бохтарский государственный университет им. Носира Хусрава,
* Кулябский государственный университет им. Абуабдулло Рудаки
Поступила в редакцию 26.01.2023 г.*

В работе для квазилинейной равномерно эллиптической системы уравнений первого порядка на плоскости в классе двоякопериодических функций дано решение обратной задачи определения неизвестного параметра в коэффициентах уравнения.

Ключевые слова: эллиптическая функция, двоякопериодическое решение, однозначная разрешимость, обратная задача.

Обозначим через C_*^1 и H_*^α классы двоякопериодических функций с основными периодами $h_1, h_2, \text{Im}(h_2/h_1) \neq 0$, соответственно, принадлежащие классам $C^1(\Omega) \cap C(\bar{\Omega})$ и $H^\alpha(\bar{\Omega})$, Ω – основной параллелограмм периодов двоякопериодической группы $P(z)$

$$P(z) = z + m_1 h_1 + m_2 h_2, m_1, m_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

с вершинами $0, h_1, h_1 + h_2, h_2$, $H^\alpha(\bar{\Omega})$ – класса непрерывных по Гёльдеру функций, с показателем α , $0 < \alpha \leq 1$.

Адрес для корреспонденции: Сафаров Джумабой. 735140, Республика Таджикистан, г. Бохтар, БГУ им. Носира Хусрава, ул. Айни, 67. E-mail: safarov-5252@mail.ru

Обратная задача: найти функцию $w(z)$ из класса C_*^1 и число b такое, что в области Ω связаны комплексным уравнением вида [1]

$$\frac{\partial w}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial w}{\partial z} + a(z)w(z) + (f_0(z) + bf_1(z))w^n(z) = 0, \quad (1)$$

и при этом для функции $w(z)$ выполняется условие

$$w(z_0) = A, \quad z_0 \in \Omega, \quad (2)$$

где z_0 – фиксированная точка, $n \geq 1$, A – постоянная, функции $q(z)$, $a(z)$, $f_0(z)$, $f_1(z)$ – известные, $q(z), a(z), f_0(z), f_1(z) \in H_*^\alpha$, причем

$$|q(z)| \leq q_0 < 1. \quad (3)$$

Условие (3) является условием равномерной эллиптичности системы уравнений (1) на плоскости [1].

В данной обратной задаче условие (2) является условием переопределения, необходимое для нахождения неизвестного параметра b [2], [3].

Заметим, что вместо условия (2) можно задавать интегральное условие вида

$$\iint_{\Omega} \psi(z)w(z)d\Omega = E,$$

где $\psi(z)$ функция класса C_*^1 , E – некоторое число [4,5].

Если $w(z) \neq 0$ и b удовлетворяют уравнение (1), то функция

$$\varphi(z) = \frac{1}{w^{n-1}(z)} \quad (4)$$

является решением уравнения

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} + (1-n)a(z)\varphi(z) = (n-1)(f_0(z) + bf_1(z)). \quad (4')$$

Чтобы между решениями уравнения (1) и уравнения (4') иметь взаимно-однозначное соответствие, надо чтобы

$$0 > \operatorname{arg} w(z) > -\frac{2\pi}{n-1}.$$

Будем предполагать, что аргумент решения уравнения (1) лежит в указанном секторе.

Так как в правой части уравнения (4') постоянная b — неизвестна, то $\varphi(z)$ является решением обратной задачи с неизвестной правой частью [2], [3] и дополнительным условием

$$\varphi(z_0) = \frac{1}{A^{n-1}},$$

здесь число A такое же как в (2).

Все двойкопериодические решения уравнения (4') с известной правой частью найдены в работах [7, 8].

Исследование задачи проведем в случае, когда $n = 2$, то есть для уравнения

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} - a(z) \varphi(z) = f_0(z) + b f_1(z) \quad (5)$$

с условием

$$\varphi(z_0) = \frac{1}{A}, \quad A \neq 0. \quad (6)$$

Пусть в уравнении (5) $a(z) \equiv 0$. Тогда имеем для неоднородного уравнения Бельтрами [1,5]

$$B[\varphi] \equiv \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} = f_0(z) + b f_1(z) \quad (7)$$

обратную задачу с неизвестной правой частью [4], в классе двойкопериодических функций C_*^1 . В уравнении (7) $q(z), f_0(z), f_1(z)$ — заданные, а неизвестными являются $\varphi(z)$ и постоянное b , причем $\varphi(z)$ должна удовлетворять условию (6).

В работе [6] показано, что задача нахождения двойкопериодических решений в классе регулярных функций (без полюсов) для уравнения

$$B[v] \equiv \frac{\partial v}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial v}{\partial z} = F(z), \quad (8)$$

где $q(z), F(z) \in H_*^\alpha$, $0 < \alpha \leq 1$, причём $|q(z)| \leq q_0 < 1$, фредгольмова.

При изучении уравнения Бельтрами основным вопросом является построение некоторого его гомеоморфизма для данной области Ω [1,6,7]. Это следует из следующего утверждения: если $\omega(z)$ гомеоморфизм уравнения Бельтрами, реализующий топологическое отображение области Ω на область $\omega(\Omega)$, то всякое другое его решение имеет вид [1]

$$f(z) = \Phi[\omega(z)], \text{ то есть } B[f] = 0,$$

где Φ – произвольная аналитическая функция в области $\omega(\Omega)$.

Построение гомеоморфизма уравнения Бельтрами для различных областей методом теории двумерных сингулярных уравнений даны в работах [1, 2]. В случае двоякопериодической группы такой гомеоморфизм построен в монографии [7]. Показано, что если $q(z) \in H_*^\alpha$, $|q(z)| \leq q_0 < 1$, то уравнение Бельтрами имеет единственное квазипериодическое решение $\omega(z)$, удовлетворяющее условиям:

$$\omega(0) = 0, \quad \omega(z+h) = \omega(z) + \tilde{h},$$

$$h = m_1 h_1 + m_2 h_2, \quad \tilde{h} = m_1 \tilde{h}_1 + m_2 \tilde{h}_2, \quad \text{Im}(\tilde{h}_2 / \tilde{h}_1) \neq 0,$$

$$m_1, m_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Функция $\omega(z) \in C^1(\Omega)$ осуществляет гомеоморфное отображение параллелограмма Ω на четырёхсторонник $\Omega' = \omega(\Omega)$ с вершинами $0, \tilde{h}_1, \tilde{h}_1 + \tilde{h}_2, \tilde{h}_2$. Такое решение названо основным квазидвоякопериодическим решением уравнения Бельтрами.

1. При отображении $\omega(z)$ решетка периодов на плоскости $\mathbb{C}_z, \Gamma = \{m_1 h_1 + m_2 h_2; m_1 m_2 - \text{целые}\}$ переходит на решетку $\Gamma' = \{m_1 \tilde{h}_1 + m_2 \tilde{h}_2, m_1 m_2 - \text{целые}\}$ плоскости \mathbb{C}_ω , причём в случае, когда

$$\iint_{\Omega} \omega_z(z) q(z) d\Omega = 0,$$

то все точки решетки Γ являются неподвижными точками отображения $\omega(z)$

$$\omega(\Gamma) \equiv \Gamma.$$

2. Конгруэнтные по модулю Γ точки плоскости \mathbb{C}_z переходят в конгруэнтные по модулю Γ' точки $\omega(z_1), \omega(z_2)$, то есть, если

$$z_1 \equiv z_2 \pmod{\Gamma}, \text{ то } \omega(z_1) \equiv \omega(z_2) \pmod{\Gamma'}.$$

3. Если $q(z) \in C_*^1$, то $\omega_z, \omega_{\bar{z}} \in C_*^{1+\alpha}$, $C_*^{1+\alpha} = C_*^1 \cap H_*^\alpha$, $0 < \alpha \leq 1$.

4. $\omega(t) - \omega(z) = \omega_t(z) \left[t - z + q(z) (\overline{t-z}) \right] + O(|t-z|^\beta), \beta > 0$.

На плоскости \mathbb{C}_ω построены так называемые обобщенные эллиптические функции Вейерштрасса $\bar{\zeta}(z) = \zeta(\omega(z))$, $\bar{\wp}(z) = \wp(\omega(z))$, $\bar{\sigma}(z) = \sigma(\omega(z))$, как обобщенные решения уравнения Бельтрами [9].

Приведем теорему, доказанную в [7].

Теорема. Пусть $\omega(z)$ основной квазипериодический гомеоморфизм уравнения Бельтрами $B[\omega(z)] = 0$. Тогда для разрешимости уравнения (8) в классе C_*^1 необходимо и достаточно, чтобы

$$\iint_{\Omega} \omega_z(z) F(z) d\Omega = 0. \quad (9)$$

При этом все его решения из класса C_*^1 представимы в виде

$$v(z) = c - \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_t(t) \zeta(\omega(t) - \omega(z)) F(t) d_t \Omega, \quad (10)$$

где c – произвольная постоянная.

Интегральный оператор

$$\tilde{T}_\zeta \rho(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \rho(t) H(t, z) d_t \Omega, \quad (11)$$

$H(t, z) = \omega_t(t) \zeta(\omega(t) - \omega(z))$, $\zeta(u(z))$ – дзета-функция Вейерштрасса [11], при $\rho \in C_*^1$ обладает свойствами:

$$1) \left(\tilde{T}_\zeta \rho(z) \right)_{\bar{z}} = \rho(z) + \omega_{\bar{z}}(z) \tilde{S}_\zeta \rho(z), \quad \left(\tilde{T}_\zeta \rho(z) \right)_z = \omega_z(z) \tilde{S}_\zeta \rho(z),$$

где $\tilde{S}_\zeta \rho(z)$ – двоякопериодическая функция класса H_*^α , $0 < \alpha \leq 1$, при $q(z) \in C_*^1$, $\tilde{S}_\zeta \rho(z) \in C_*^{1+\alpha}$.

$$2) \tilde{T}_\zeta \rho(z+h) = \tilde{T}_\zeta \rho(z) + \tilde{\eta} \rho_0, \quad h = m_1 h_1 + m_2 h_2, \quad \tilde{\eta} = m_1 \tilde{\eta}_1 + m_2 \tilde{\eta}_2,$$

$\tilde{\eta}_1, \tilde{\eta}_2$ – циклические постоянные

$$\tilde{\eta}_j = \tilde{\zeta}(\tilde{h}_j / 2) - \tilde{\zeta}(-\tilde{h}_j / 2), \quad j = 1, 2,$$

связаны с периодами \tilde{h}_1, \tilde{h}_2 соотношением Лежандра [7, 11]

$$\tilde{\eta}_1 \tilde{h}_2 - \tilde{\eta}_2 \tilde{h}_1 = 2\pi i.$$

Применяя эту теорему к уравнению (7), получим

Теорема 1. Пусть функции $f_0(z), f_1(z)$ в уравнении (7) такие, что

$$f_0^0 = \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_z(z) f_0(z) d\Omega \neq 0, \quad f_1^0 = \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_z(z) f_1(z) d\Omega \neq 0.$$

Тогда уравнение (7) имеет единственное решение $b, v(z)$, удовлетворяющее условию (6), и оно имеет вид

$$b = -f_0^0 / f_1^0,$$

$$v(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \left(f_0(t) - \frac{f_0^0}{f_1^0} f_1(t) \right) [H(t, z) - H(t, z_0)] d_t \Omega + \frac{1}{A}.$$

Теперь находим решение задачи (5), (6), то есть $\varphi(z), b$.

Временно предполагаем, что правая часть уравнения (5) известна $F(z) = f_0(z) + b f_1(z)$, так как при $f_0, f_1 \in H_*^\alpha, F(z) \in H_*^\alpha$, при любом b .

Разрешимость уравнения (5) зависит от свойства числа

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} a(z) \omega_z(z) d\Omega: a_0 \in \Gamma' \text{ или } a_0 \in \bar{\Gamma}'.$$

1. Если $a_0 \in \Gamma'$, то легко видеть, что однородное уравнение (5) имеет нетривиальное решение вида

$$\psi(z) = \exp \left[\tilde{T}_\zeta a(z) + d\omega(z) \right], \quad (12)$$

где постоянное d пока искомая.

Здесь $\psi_0(z) = \exp \left[\tilde{T}_\zeta a(z) \right]$ – решение однородного уравнения (5), функция $\exp \left[d\omega(z) \right]$ – решение уравнения Бельтрами.

Покажем, что в (12) постоянную d можно подобрать такой, чтобы $\psi(z) \in C_*^1$, то есть, $\psi(z)$ – была двоякопериодическая. Заменяя z на $z + h_j$, имеем

$$\begin{aligned} \psi(z + h_j) &= \exp \left[\tilde{T}_\zeta a(z + h_j) + d\omega(z + h_j) \right] = \exp \left[\tilde{\eta}_j a_0 + d\tilde{h}_j + \right. \\ &\quad \left. + \tilde{T}_\zeta a(z) + d\omega(z) \right] = \exp \left(\tilde{\eta}_j a_0 + d\tilde{h}_j \right) \psi(z). \end{aligned}$$

Используя соотношение Лежандра, постоянные a_0, d подберем так, чтобы они удовлетворяли уравнение

$$\exp \left(\tilde{\eta}_1 a_0 + d\tilde{h}_1 \right) = \exp \left(\tilde{\eta}_2 a_0 + d\tilde{h}_2 \right) = 1.$$

Для этого надо найти a_0, d из системы уравнений

$$\begin{cases} \tilde{\eta}_1 a_0 + d\tilde{h}_1 = 2\pi i n, \\ \tilde{\eta}_2 a_0 + d\tilde{h}_2 = 2\pi i m, \end{cases}$$

где n, m – некоторые целые числа. В силу соотношения Лежандра $\tilde{\eta}_1 \tilde{h}_2 - \tilde{h}_2 \tilde{h}_1 = 2\pi i$, находим

$$a_0 = n\tilde{h}_2 - m\tilde{h}_1 \in \Gamma', d = -(n\tilde{\eta}_2 - m\tilde{\eta}_1). \quad (13)$$

Следовательно, когда $a_0 \in \Gamma'$, то d – имеет вид (13) и $\psi(z) \in C_*^1$.

Теперь отыскиваем решение неоднородного уравнения (7) в виде

$$\varphi(z) = \chi(z)\psi(z), \quad (14)$$

где $\psi(z)$ имеет вид (12), $\chi(z)$ – искомая функция класса C_*^1 .

Подставляя (14) в (7) для нахождения $\chi(z)$, получим неоднородное уравнение Бельтрами

$$\frac{\partial \chi(z)}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial \chi(z)}{\partial z} = (f_0(z) + b f_1(z)) \psi^{-1}(z). \quad (15)$$

Отсюда, согласно результатам теоремы 1, получим

Теорема 2. Пусть $\omega(z)$ – основной квазипериодический гомеоморфизм уравнения Бельтрами, и $a_0 \in \Gamma'$ и $\psi(z) \in C_*^1$ – решение однородного уравнения (7), тогда, если

$$f_k^0 = \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} f_k(z) \omega_z(z) \psi^{-1}(z) d\Omega \neq 0, \quad k = 0, 1,$$

то уравнение (7) имеет единственное решение $b = -\frac{f_0^0}{f_1^0}$, $\varphi(z)$, удовлетворяющее условию (6)

$$\varphi(z) = \frac{\psi(z)}{\psi(z_0)} \left[\frac{1}{A} - \frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} F(z) \psi^{-1}(z) [H(t, z) - H(t, z_0)] \right] d_t \Omega, \quad (16)$$

где

$$F(z) = f_0(z) - \frac{f_0^0}{f_1^0} f_1(z).$$

2. Случай, когда $a_0 \in \Gamma'$. В этом случае решение задачи (5), (6) будем искать в виде

$$\varphi(z) = \chi(z) \exp[\tilde{T}_\zeta a(z)] = \chi(z) \psi_0(z), \quad (17)$$

где $\chi(z)$ – искомая функция, удовлетворяющая условию

$$\chi(z + \tilde{h}_j) = \exp[-\tilde{\eta}_j a_0] \chi(z), \quad j = 1, 2. \quad (18)$$

Подставляя (17) в уравнение (5), получим, что $\chi(z)$ должна удовлетворять неоднородное уравнение Бельтрами

$$\frac{\partial \chi(z)}{\partial \bar{z}} - q(z) \frac{\partial \chi(z)}{\partial z} = F(z) \psi_0^{-1}(z) = F_1(z). \quad (19)$$

Можно считать, что функция $F(z) = f_0(z) + b f_1(z)$ известна, так как для любой постоянной b , $F(z) \in H_*^\alpha$, $0 < \alpha \leq 1$.

Согласно результатам работы [6] решение уравнения (19) представим в виде

$$\chi(z) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_z(z) H_0(t, z) F_1(t) d_t \Omega = \tilde{T}_\sigma F(z), \quad (20)$$

где ядро интеграла имеет вид

$$H_0(t, z) = \frac{\sigma[\omega(t) - \omega(z) - a_0]}{\sigma[-a_0] \sigma[\omega(t) - \omega(z)]}, \quad (20')$$

$\sigma(u)$ – сигма-функция Вейерштрасса $\frac{\sigma'(u)}{\sigma(u)} = \zeta(u)$, построенная на периодах \tilde{h}_1, \tilde{h}_2 , [11].

Функция $H_0(t, z)$ удовлетворяет условиям:

$$1) H_0(t+h, z) = H_0(t, z) \exp[\tilde{\eta} a_0], \quad H_0(t, z+h) = H_0(t, z) \exp[-\tilde{\eta} a_0]. \quad (21)$$

2) Функция $g(z) = \tilde{T}_\sigma \rho(z)$ допускает частные производные по z и \bar{z} , которые вычисляются формулами

$$(g)_z = \omega_z(z) \tilde{S}_\sigma \rho(z), \quad (g)_{\bar{z}} = \rho(z) + \omega_{\bar{z}}(z) \tilde{S}_\sigma \rho(z),$$

причём функция $g_1(z) = \tilde{S}_\sigma \rho(z)$ удовлетворяет условию (21) и $g_1(z) \in H^\alpha(\Omega)$, $0 < \alpha \leq 1$.

Все эти свойства функции $g(z)$ и $g_1(z)$ доказаны в [7].

Теперь, подставляя (20) в (17), получим решение неоднородного уравнения (5) и, подставляя полученное решение в условие (6), имеем

$$\frac{1}{A} = \chi(z_0) \exp \tilde{T}_\zeta a(z_0),$$

или

$$\frac{1}{A} = (f_0^0 + bf_1^0) e^{\tilde{T}_\zeta a(z_0)} = (f_0^0 + bf_1^0) \tilde{a}_0, \quad (22)$$

где

$$\tilde{a}_0 = \exp \tilde{T}_\zeta a(z_0) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} a(t) H(t, z_0) d_t \Omega,$$

$$f_j^0(z_0) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_t(t) H_0(t, z_0) f_j(t) d_t \Omega, \quad j = 0; 1.$$

Если $f_1^0(z_0) \neq 0, f_0^0(z_0) \neq 0$, то из (22) находим

$$b = \frac{1}{A \tilde{a}_0 f_1^0(z_0)} - \frac{f_0^0(z_0)}{f_1^0(z_0)}. \quad (22')$$

Подставляя это значение b в формулу (20), получим решение обратной задачи по формуле (17).

Теорема 3. Пусть выполнены условия теоремы 2, $a_0 \in \Gamma'$ и $\exp \tilde{T}_\zeta a(z)$ – решение однородного уравнения (5). Тогда, если в точке z_0 выполняются условия

$$f_j^0(z_0) = \tilde{T}_\sigma f_j(z_0) = -\frac{1}{\pi} \iint_{\Omega} \omega_t(t) H_0(t, z_0) f_j(t) dt \neq 0, \quad j = 0; 1, \quad (23)$$

здесь $H_0(t, z)$ имеет вид (20'), то задача (5), (6) имеет единственное решение $(\varphi(z), b)$, где $\varphi(z)$ – имеет вид (17), постоянная b вычислена по формуле (22'), функция $\chi(z)$ представляется в виде (20).

Используя теорему 3 для основной обратной задачи (1), (2), получим следующий результат.

Теорема 4. Пусть $\omega(z)$ – основной квазипериодический гомеоморфизм уравнения Бельтрами и $n = 2$.

Тогда: 1) при выполнении условий теоремы 2

$$a_0 \in \Gamma',$$

задача (1), (2) имеет единственное решение вида

$$w(z) = \frac{1}{\varphi(z)}, \quad b = -f_0^0 / f_1^0,$$

где функция $\varphi(z)$ представляется формулой (16);

2) если $a_0 \in \Gamma'$ и выполнены условия теоремы 2, то задача (1), (2) имеет единственное решение $w(z), b$, вида

$$w(z) = \frac{1}{\varphi(z)}, \quad b = \frac{1}{A\bar{a}_0 f_1^0(z_0)} - \frac{f_0^0(z_0)}{f_1^0(z_0)},$$

где функция $\varphi(z)$ представима в виде (17), в котором $\chi(z)$ имеет вид (20).

ЛИТЕРАТУРА

1. Векуа И.Н. Обобщенные аналитические функции. – М.: Наука, 1988, с. 512.
2. Денисов А.М. Введение в теорию обратных задач. – М.: МГУ, 1994, с. 208.
3. Кожанов А.И. Нелинейные обратные задачи для параболических и гиперболических уравнений, новые постановки, новые результаты. Математика в современном мире. Межд. конф., посвященная 60-летию института математики им. С.Л.Соболева. – Новосибирск, Россия, 14-19 авг., 2017, с. 312.
4. Сафиуллова Р.Р. Задача определения некоторого неизвестного параметра в уравнении Соболевского типа. Там же, с. 247.
5. Прилепко А.И. Обратные задачи для уравнения первого порядка и задачи оптимального управления в банаховых пространствах. Международная конференция математика в современном мире, посвящённая 60-летию Института математики им. С.Л.Соболева. – Новосибирск, Россия, 14-19 августа 2017, с. 321.
6. Сафаров Д.С. Двоякопериодические решения равномерно эллиптической системы первого порядка на плоскости. – Доклады АН, Россия, 2010, т. 430, № 4. с. 454-457.
7. Сафаров Д.С. Двоякопериодические обобщенные аналитические функции и их приложения. – Душанбе: Дониш, 2-ое издание, 2021, с. 230.
8. Сафаров Д.С. Двоякопериодические решения равномерно эллиптической системы первого порядка. – ДАН РТ, 2009, т. 52, № 6, с. 425-430.
9. Монахов В.И. Краевые задачи со свободными границами для эллиптических систем уравнений. – Новосибирск: СО Наука, 1977, с. 424.
10. Prilepko A.I. Orlovshy D.G. Vasin I.A. Methods for solving inverse problems in Mathematical physics. – New York, 2000, 709.
11. Ахиезер И.И. Элементы теории эллиптических функций. – М.: Наука, 1970, с. 304.

Ҷ.С.САФАРОВ, М.А.КУЛОБИЕВ*

**МАСЪАЛАИ МУАЙЯН КАРДАНИ ЯК ПАРАМЕТРИ НОМАЪЛУМ БАРОИ
СИСТЕМАИ МУОДИЛАҲОИ КВАЗИХАТТИИ МУНТАЗАМ
ЭЛЛИПТИКИИ ТАРТИБИ ЯКУМ ДАР ҲАМВОРӢ ДАР СИНФИ
ФУНКСИЯҲОИ ДУДАВРДОШТА**

*Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав,
Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи Абуабдулло Рӯдакӣ

Дар қор барои системаи эллиптикии квазихаттии тартиби якум дар ҳамворӣ, масъалаи ёфтани параметри номаълум дар коэффисиенти муодила, дар синфи функсияҳои дудаврдошта омӯхта шудааст

Калимаҳои калидӣ: функсияҳои эллиптикӣ, ҳалли дудаврдошта, ҳалшавандагии яққимата, масъалаи баръакс.

D.S.SAFAROV, M.A.KULOBIEV*

**THE PROBLEM OF DETERMINING SOME PARAMETER FOR A QUASI-
LINEAR UNIFORMLY ELLIPTIC SYSTEM OF FIRST-ORDER EQUATIONS
ON A PLANE IN THE CLASS OF DOUBLY PERIODIC FUNCTIONS**

*Bokhtar State University named after Nosira Khusrav,
Kulyab State University named after Abuabdullo Rudaki

In this paper, for a quasi-linear uniformly elliptic system of first-order equations, on a plane, in the class of two-periodic functions, a solution is given to the inverse problem of determining an unknown parameter in the coefficients of the equation.

Key words: elliptical system, doubly periodic solution, unique solvability, inverse problem.

УДК 550.388.2

О.А.АЛИМОВ, Т.М.КАЛАШНИКОВА

**ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
НА НЕОДНОРОДНОСТИ СПОРАДИЧЕСКОГО СЛОЯ E_S ИОНОСФЕРЫ**

Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана

Поступила в редакцию 14.09.2022 г.

В работе изучается неисследованная ранее особенность зависимости между предельной частотой и частотой экранирования спорадического слоя E_S в сейсмоактивный и сейсмоспокойный периоды. Показано, что величина показателя трехмерного спектра атмосферной турбулентности в сейсмоактивный период в 1.5-2 раза больше по сравнению со сейсмоспокойным периодом.

Ключевые слова: ионосфера, спорадический слой E_S , землетрясение, неоднородность, турбулентность.

Введение

Хорошо известно, что спорадический слой E_S ионосферы, состоящий из долгоживущих металлических ионов метеорного происхождения Fe^+ , Mg^+ , Si^+ и отдельных облаков повышенной плотности ионизации, обладает значительной изменчивостью. Определение физических процессов в период подготовки землетрясений на разных высотах могло бы дать важную информацию для решения вопроса о механизмах литосферно-ионосферной связи. При зондировании ионосферы рассеивающие неоднородности электронной концентрации должны иметь размеры от десятков до сотен метров. Исходя из этого предположено [1] турбулентное происхождение этих неоднородностей на средних широтах. В работе [1, 2] получено, что для полупрозрачного слоя $E_S - \Delta f E_S = f_0 E_S - f_b E_S$ должна выполняться зависимость $f_0 E_S \sim f_b^a E_S$, где $a = 4/P$, и P – показатель трехмерного спектра атмосферной турбулентности.

Адрес для корреспонденции: Алимов Обид Алимович. 734042, Республики Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бухоро, 22. Институт астрофизики НАНТ. E-mail: alimov38@mail.ru.

Представляет интерес изучить вышеприведенную зависимость на основе экспериментальных соотношений между предельной частотой отражений от $E_S - f_0E_S$ и частотой экранирования f_bE_S в сейсмоактивный и сейсмоспокойный периоды в ночном спорадическом слое E_S ионосферы.

В работе [3] показано, что в период подготовки землетрясения увеличивается диапазон полупрозрачности E_S спорадического слоя. Для объяснения больших диапазонов полупрозрачности среднеширотного спорадического слоя E_S метеорного происхождения необходимо изучить вклад влияния сейсмической активности на модификации спорадического слоя E_S . Всеобщее признание в настоящее время получила точка зрения, согласно которой образование слоя E_S на средних широтах обусловлено перераспределением заряженных частиц в присутствии ветровых систем со сдвигами скорости по высоте [4, 5]. В то же время в недостаточной степени принималось во внимание то обстоятельство, что во многих случаях зона формирования слоя E_S может находиться в турбулентном состоянии.

Цель настоящей работы – изучить не исследованную ранее особенность зависимости между предельной частотой и частотой экранирования спорадического слоя E_S в сейсмоактивный и сейсмоспокойный периоды. Упомянутый выше параметр P был определен для средних значений всех наблюдаемых частот E_S из логарифмических зависимостей $\lg f_0E_S \approx \alpha \lg f_bE_S$ как для сейсмоспокойных, так и для сейсмоактивных периодов.

Использованы данные наблюдений за 1986 г. и 1991 г. на ст. Душанбе в период подготовки 12 землетрясений с магнитудой $4.2 \leq M \leq 6.3$ и расстоянием $80 \text{ км} < R < 320 \text{ км}$ от станции вертикального зондирования. Экспериментальные величины показателя трехмерного спектра атмосферной турбулентности P и показателя степенной зависимости α представлены в табл. 1. Значения параметра α - показателя степенной зависимости $f_0E_S \sim f_b^\alpha E_S$, заключены в пределах $\alpha = 0.65 - 0.90$ в сейсмоспокойный период, а в сейсмоактивный период находятся в пределах $\alpha = 0.40 - 0.70$. Параметр P заключен в пределах $P = 4.44 \div 6.15$ в сейсмоспокойный период, а в сейсмоактивный период заключен в пределах $P = 5.7 \div 10.0$. Полученные экспериментально значения $P \approx 4.8$ в сейсмоспокойный период примерно в среднем соответствуют показателю теоретического трехмерного спектра атмосферной турбулентности ($P = 11/3$) [1].

Значения параметра P – показателя трехмерного спектра атмосферной турбулентности определены по углу наклона показателя степенной зависимости α из логарифмических зависимостей $\lg f_0E_S \approx \alpha \lg f_bE_S$, отдельно в сейсмоактивный и сейсмоспокойный периоды в ночном спорадическом слое E_S и приведены в табл. 1. Как показано в табл. 1, величина α в сейсмоактивный период меньше, чем в сейсмоспокойный период. Величина P больше в сейсмоактивный период, а в сейсмоспокойный период параметр меньше. Из табл. 1 видно, что величина α уменьшается, а P возрастает в сейсмоактивный период, а в сейсмоспокойный период величина α и P также варьируются с малыми амплитудами. Увеличение параметра P свидетельствует о вкладе турбулентности в создание мелкокомасштабных неоднородностей, формирующих радио отражение от спорадического слоя E_S . Уменьшение параметра α и возрастание P накануне сильных землетрясений может быть

вызвано усилением образования мелкомасштабных неоднородностей в спорадическом слое E_S .

Существует достаточно много экспериментов по исследованию среднеширотного спорадического слоя E_S , которые указывают на тонкую структуру, содержащую мелкомасштабные неоднородности концентрации электронов. Установлено, что предельная частота слоя $E_S - f_oE_S$ больше в 2-3 раза частоты экранировки f_bE_S [1, 2].

Неоднородности плотности ионизации спорадического E_S -слоя можно условно разделить на мелкомасштабные – с характерным масштабом в десятки метров и крупномасштабные – с характерным масштабом в сотни метров. Поэтому исследование прозрачности спорадического слоя E_S может быть полезным при изучении структуры E_S - слоя и применимо для объяснения механизма его образования.

Таблица 1

Численные значения параметров α и P в сейсмоактивный и сейсмоспокойный периоды

Дата землетрясения	M	R , км	Полупрозрачный слой E_S по ст. Душанбе			
			Сейсмоактивный период		Сейсмоспокойный период	
			α	P	α	P
17.08.1986	4.5	250	0.60	6.67	0.90	4.44
21.08.1986	5.3	250	0.60	6.67	0.90	4.44
23.08.1986	4.8	250	0.60	6.67	0.90	4.44
27.08.1986	5.1	250	0.60	6.67	0.90	4.44
1.02.1991	6.1	320	0.50	8.00	0.70	5.71
1.03.1991	4.2	150	0.40	10.00	0.80	5.00
2.03.1991	4.4	150	0.40	10.00	0.80	5.00
18.04.1991	5.6	80	0.70	5.71	0.84	4.76
13.05.1991	4.6	200	0.70	5.71	0.81	4.94
14.05.1991	4.6	200	0.70	5.71	0.81	4.94
14.07.1991	6.3	300	0.48	8.33	0.65	6.15
23.08.1991	5.6	200	0.55	7.27	0.70	5.71

Для решения физических механизмов сейсмоионосферной связи принципиально необходимы комплексы одновременных наблюдений различных ионосферных и геофизических параметров в различных частотных диапазонах для одних и тех же землетрясений. Для объяснения больших диапазонов полупрозрачности спорадического слоя E_S и вариации полупрозрачности (изменение величины) необходимо учитывать вклад влияния сейсмической активности на формирование радио отражения от спорадического слоя E_S при воздействии электромагнитного нагрева сейсмического происхождения.

Заключение

Таким образом можно заключить, что значения показателя трехмерного спектра атмосферной турбулентности $P \geq 4 - 5$ в сейсмоактивный период в 1.5 - 2 раза больше по сравнению с сейсмоспокойным периодом за 1-3 сут до землетрясений, что свидетельствует об интенсивности возникновения мелкомасштабных неоднородностей перед землетрясением. Интенсивное возникновение мелкомасштабных неоднородностей в спорадическом слое E_S при $\alpha \leq 0.7$ и $P \geq 5$ в сейсмоактивный период могут служить в качестве оперативных ионосферных предвестников сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерухимов Л.М., Савина О.Н. Ионосферные исследования. – М.: Советское радио, 1980, № 30, с. 80-86.
2. Корсунова Л.П., Бакалдина В.Д. Геомагнетизм и аэрономия. – М.: Наука, 1986, Т. XXVI. № 3, с. 497-498.
3. Алимов О.А., Калашникова Т.М. Сейсмоионосферные эффекты в спорадическом слое E_s метеорного происхождения. Сборник докладов Международной конференции «Актуальные проблемы современной сейсмологии» 12-14 октября 2016 г., Ташкент, Узбекистан. – Ташкент, 2016, с. 181-186.
4. Гершман Б.Н. Динамика ионосферной плазмы. – М.: Наука, 1974, 265 с.
5. Гершман Б.Н., Игнатъев Ю.А., Каменецкая Г.Х. Механизмы образования ионосферного слоя E_s на различных широтах. – М.: Наука, 1976, 108 с.

О.А.АЛИМОВ, Т.М.КАЛАШНИКОВА

ТАЪСИРИ ФАЪОЛИЯТИ СЕЙСМИКӢ БА ГУНОГУНЧИНСАӢОИ ҚАБАТИ СПОРАДИКИИ E_s ИОНОСФЕРА

Институту астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар мақола хусусияти қаблан таҳқиқнашудаи вобастагии байни басомадҳои канорӣ ва басомадҳои панаҳкунандаи қабати спорадикии ионосфера дар марҳилаҳои омодагии заминчунбӣ ва оромии сейсмикӣ омӯхта шудааст. Нишон дода шудааст, ки бузургии нишондиҳандаи спектри сеченакаи турбулентнокии атмосфера дар марҳилаҳои омодагии заминчунбӣ нисбат ба давраи оромии сейсмикӣ 1.5-2.0 маротиба зиёдтар аст.

Калимаҳои калидӣ: ионосфера, қабати спорадикии E_s , заминчунбӣ, гуногунчинса, турбуленти.

O.A.ALIMOV, T.M.KALASHNIKOVA

THE INFLUENCE OF SEISMIC ACTIVITY ON THE INHOMOGENEITY OF THE SPORADIC LAYER E_s OF THE IONOSPHERE

Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan

The paper studies a previously unexplored feature of the relationship between the limiting frequency and the screening frequency of the sporadic E_s layer in seismic activity and seismic calm periods. It is shown that the value of the indicator of the three-dimensional spectrum of atmospheric turbulence in the seismic active period is 1.5-2 times more than in the seismic calm period.

Key words: ionosphere, sporadic layer E_s , earthquake, homogeneities, turbulence.

УДК 547

А.С.АМРОХОНОВ, Б.ДЖАФАРИ*, М.ДЖ.ХАЛИКОВА**, С.ХАЛИКОВА**, П.ЛАНГЕР*,
С.Ш.САФАРОВ**

**СИНТЕЗ 3-ФТОРО-2-МЕТИЛ-8-ФЕНИЛЭТИНИЛЗАМЕЩЁННЫХ
-4Н-БЕНЗО[4,5]ТИАЗОЛО[3,2- А]ПИРИМИДИН-4-ОНОВ ПО СВОБОДНОЙ
ОТ МЕДИ РЕАКЦИИ СОНОГАШИРЫ**

Институт технологии и инновационного менеджмента (г. Куляб),

**Институт органической химии университета Росток, Германия,*

***Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ*

Реакция Соногаширы является реакцией кросс-сочетания винилового или арилгалогенида с терминальным алкином с образованием С-С-связи. Мы вовлекли 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он в реакцию палладий кросс-сочетания реакция Соногаширы с различными фенилацетиленами. Для проведения реакции или образования С-С≡С-связи были использованы условия: 8-хлоро-3-фторо-2-метил-4Н-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он 4 (1.0 экв., 0.373 ммоль), алкин-производные (1.2 экв.), Pd(OAc)₂ (0.04 экв.) – как катализатор, XPhos (0.08 экв.) – как лиганд, карбонат калия (2.1 экв.) – в качестве основания, сухой ДМФА (2 мл) – как растворитель, при температуре 150°C в течение 16 часов. При этих условиях 8-(алкинил)-3-фторо-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-оны (5а-с) были получены со средними и хорошими выходами.

Ключевые слова: 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он, 8-(алкинил)-3-фторо-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-оны, реакция Соногаширы.

Введение. Реакция Соногаширы, несомненно, является одной из самых полных и эффективных реакций, широко используемых в органическом синтезе. Эта именная реакция оказалась полезной во многих областях органического синтеза, в том числе в синтезе фармацевтических препаратов, гетероциклов, природных соединений, органических соединений, сложных молекул, обладающих биологической активностью,

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

наноматериалов и многих других материалов, которые мы используем в повседневной жизни [1].

Реакция Соногаширы является одним из наиболее известных методов для образования связи sp²-углерод-sp-углерод, широко используемой в органических синтезах. Первоначальная реакция Соногаширы включает сочетание терминального алкина (2) с алкилгалогенидом (1) в присутствии частицы палладия в качестве катализатора, комплекс меди в качестве со-катализатора и фосфина или амина в качестве основания. Большая эффективность обеспечивается в обычных условиях за счёт уникального сочетания реагентов (схема 1) [2, 3].

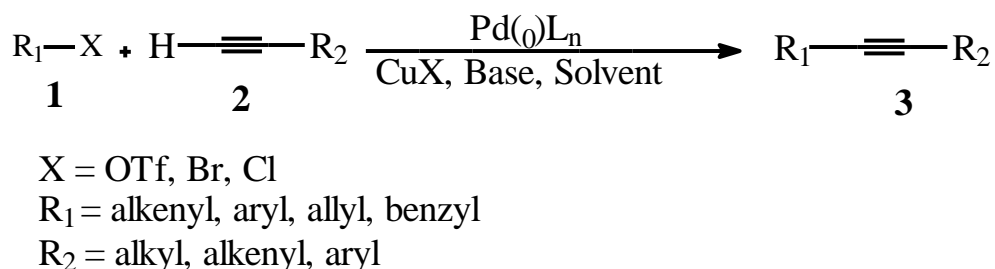


Схема 1. Структура реакции Соногаширы.

Реакция Соногаширы регулярно используется для полного синтеза природных соединений [1] и соединений с биологической активностью [4, 5, 6], например, изокумаринов, а-пиронов и индолов [1, 7-9], арилбензофуранов [9], дендримеров сопряжённых полимеров и наноструктур [10]. Из-за её высокой эффективности, а также более мягких условий эксплуатации, эта реакция сегодня привлекает внимание химиков-синтетиков даже больше, чем прежде [11]. Реакцию Соногаширы часто выполняют в присутствии палладиевого катализатора в отсутствие CuI в качестве со-катализатора в различных растворителях [12-15]. Эту реакцию кросс-сочетания можно также проводить и в водных растворах [16], для обеспечения возможности проведения биологических спиннингов продукции напрямую. Хотя были достигнуты поразительные успехи, и были предприняты обширные попытки по выяснению механизма палладий-медного катализа реакции Соногаширы, её механизм не был полностью раскрыт. Тем не менее, вероятный механизм реакции был предложен, что реакция, вероятно, протекает через каталитические циклы Pd–Cu. Поэтому активный комплекс, то есть Pd(0)L₂, который получается в растворе (*in situ*) путем восстановления частиц Pd(II) в первой катализируемой быстрой стадии, то есть окислительное присоединение винилового или арилгалогенида (R–X). На другой стадии происходит присоединение с медными со-каталитическими разновидностями RPd(–C≡CR')L₂, достигнутое за счёт трансметаллирования реакции, которую можно рассматривать как решающую стадию в предполагаемом механизме. Далее, как и прогнозировалось для катализируемой реакции, желаемый связанный алкин получается через реакцию восстановительного расщепления для регенерации катализатора, как предсказуемая катализируемая реакция. Скорость окислительного присоединения винила или арилгалогенида в

значительной степени зависит от электронных свойств связи R–X, поскольку электронно-акцепторные группы активируют связь R–X за счет увеличения своей электронной плотности в следующем порядке: $X = I \geq OTf \geq Br \geq Cl$. Было получено значительное количество Pd(II)-катализаторов, которые успешно были протестированы на реакции кросс-сочетания Соногаширы [1, 17-19]. Однако можно рассматривать использование палладия без меди, как передовое развитие в органическом синтезе. Реакции Соногаширы предпочтительно проводить без меди, как побочных продуктов Глейзера, образующихся до реакции гомосочетания алкинов, являющихся нежелательными [1, 7-9], и медь по существу токсичная. Дизайн и синтез гетерогенных палладийсодержащих катализаторов с целью разработки реакций кросс-сочетания Соногаширы, не содержащих меди и/или фосфина, в последние десятилетия привлекли огромное внимание специалистов. Стандартная реакция протекает за счёт катализа Pd-комплекса, которым обычно является Pd(PPh₃)₄, в присутствии CuI и также небольшого количества третичного амина в различных растворителях. При реакции CuI с алкином образуется ацетирид меди, полученный ацетирид меди затем арилируют в присутствии ТМЭДА или пиридина с образованием толанов (и бензофуранов, индолов, и фталидов, образующихся в результате последующих гетероциклизаций).

Соногашира и его соавторы [1] описали реакцию кросс-сочетания Стивенс-Кастро, катализируемую Pd, которая стала главным методом-достижением арилирования или винилирования терминальных алкинов (реакция кросс-сочетания Соногаширы). Впоследствии сообщалось о реакциях кросс-сочетания, катализируемых комплексами Pd в отсутствие Cu, и условия реакции были скорректированы для относительно мягких реакций, без катализируемых комплексов меди.

В настоящее время в реакции Соногаширы нет необходимости использовать в качестве катализаторов палладий и медь, а только палладий оказался вполне достаточным, должным образом образуя комплексы с современными лигандами, намного более эффективными. Среди разнообразных реакций сочетания, катализируемых палладием с высоким синтетическим значением, реакция Соногашира остаётся уникальной из-за присутствия sp-углерода, который широко используется при производстве фармацевтических препаратов [20-22], в общем синтезе природных соединений [23, 24] и синтезе органических соединений [25, 26]. Более того, продолжают улучшаться условия этих реакций, стремиться к улучшению толерантности функциональных групп, а также выхода, избегая случайных грубых условий реакции и проблемные разработки, а также позволяют избегать более дорогостоящих и чувствительных реагентов по связыванию (как йодиды) [27].

В этой статье мы пытаемся осветить наши результаты, как последние достижения в катализируемой палладием реакции Соногаширы в отсутствие меди в качестве сокатализатора (схема 2) для синтеза 3-фторо-2-метил-8-фенилэтинилзамещённых-4H-бензо[4,5]тиазоло[3,2- a]пиримидин-4-онов.

Обсуждения результатов. Исходное вещество (**4**) синтезировалось по адаптированным литературным методикам, циклоконденсацией 2-аминозамещённого-6-хлоробензотиазола с 2-фторацетоуксусным эфиром при нагревании в полифосфорной кислоте. Мы изучили реакцию Соногаширы соединения (**4**) с терминальными алкинами. Используя условия ранее разработанной нами методики для подобных молекул [28], целевые продукты (**5a-c**) были получены со средними и хорошими выходами (схема 2).

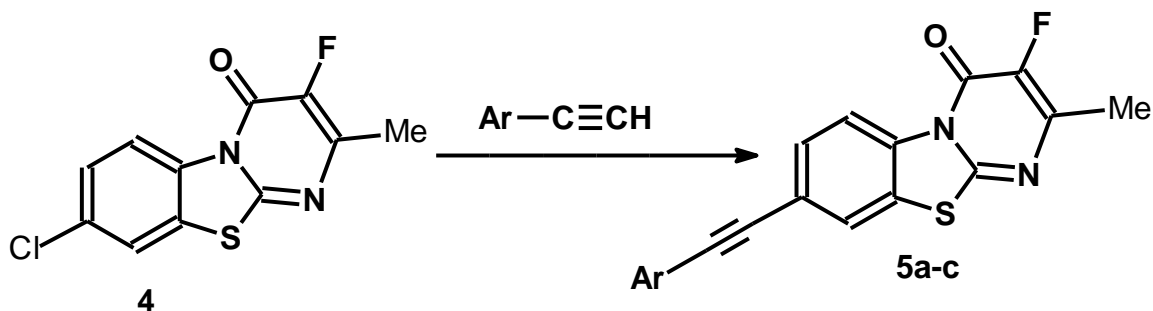


Схема 2. Получение целевых продуктов (**5a-c**). Ar = **a**) C₆H₅; **b**) 4-MeC₆H₄; **c**) 4-tBuC₆H₄.
 Условия: Алкинарил (1.5 эквивалент), Pd(OAc)₂ (4.0 моль%), XPhos (8.0 моль%), K₂CO₃ (2.1 эквивалент), ДМФА (растворитель), 100°C, 16 ч.

Механизм реакции Соногаширы для синтеза 3-фторо-2-метил-8-фенилэтинилзамещённых-4Н-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-онов (**5**) из 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она (**4**) с различными фенилацетиленами проходит согласно методу свободной от меди реакции кросс-сочетания Соногаширы (рис.1) и включает циклы А (Pd⁰) и Б (Pd²⁺). После образования L_nPd⁰ из L_nPd²⁺ в цикле А начинается окислительное присоединение (ОП) L_nPd⁰ к 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-ону, с формированием комплекса А и активацией гетерил-галидного субстрата для реакции.

Фенилацетилены активируются во втором цикле Б (Pd²⁺), образуя моноацетилпроизводные комплексы палладия **D**, а также биацетилзамещённые комплексы **B**. Обе активированные разновидности, а именно, комплексы **A** и **B** участвуют в стадии трансметаллирования, формируя комплекс **C** и регенерацию катализатора L_nPd⁰. Каталитический цикл заканчивается восстановительным элиминированием **C**, с образованием целевого продукта 3-фторо-2-метил-8-фенилэтинилзамещённых-4Н-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-онов (**5**) и регенерацией катализатора Pd⁰.

Структурные разъяснения синтезированных соединений были подтверждены данными ¹H и ¹³C-ЯМР-спектроскопией.

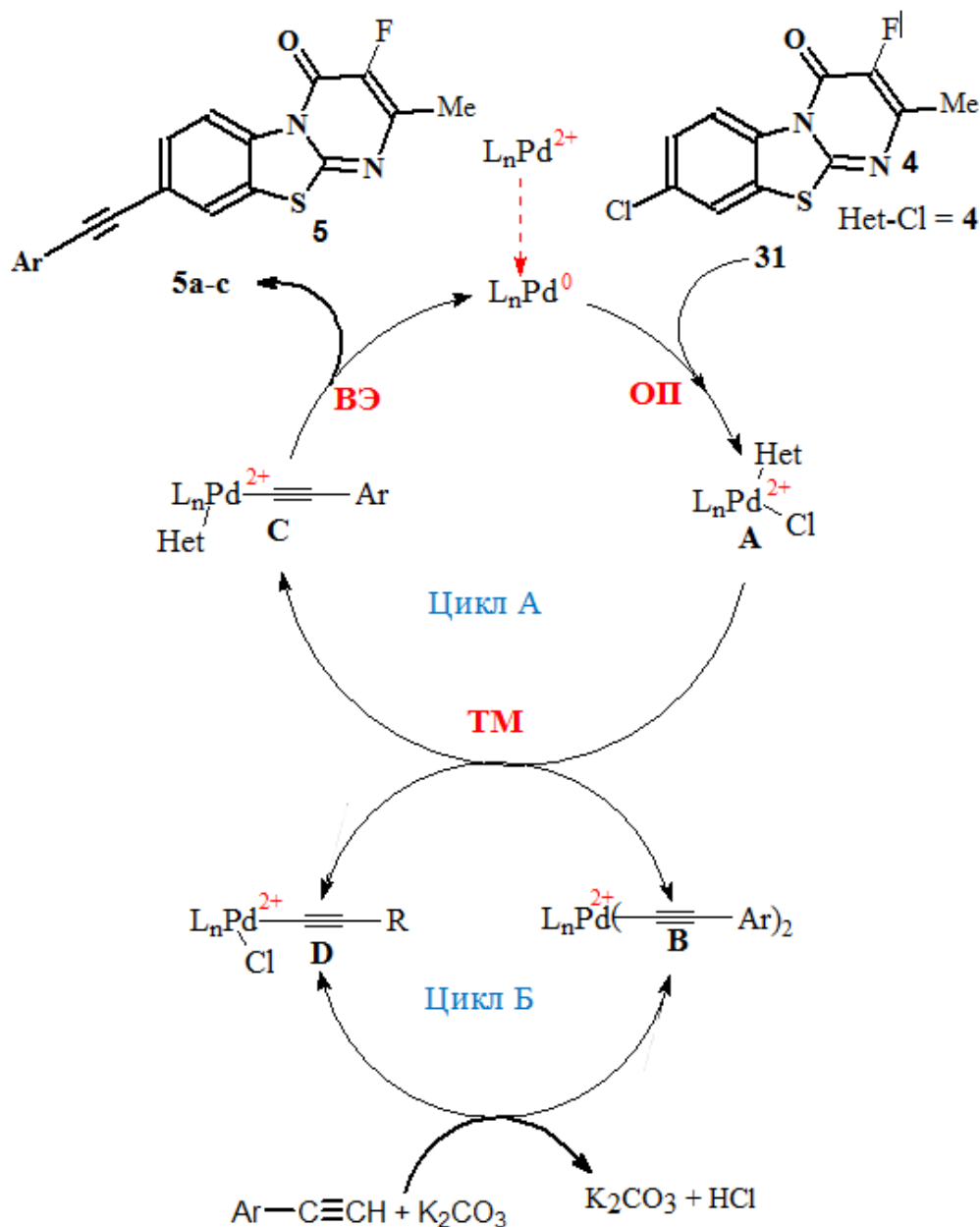


Рис. 1. Механизм свободной от меди реакции образования (**5a-c**) из (**4**) по реакции Соногаширы.

ОП – окислительное присоединение, ТМ – трансметаллирование,

ВЭ – восстановительное элиминирование, L=Xphos, n=2.

Экспериментальная часть

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

Спектры ЯМР(ядерно-магнитный резонанс) ^1H , ^{13}C и ^{19}F были записаны на инструментах Advance 600, AXM 400 Varian Mercury 400 в аналитической лаборатории университета Росток(Германия). В качестве внутреннего стандарта был использован тетраметилсилан ($d=0/00$ м.д.) Для калибровки ЯМР-сигналов были использованы стандартные сигналы хлороформа (7.260 м.д. для ^1H , 77.160 м.д. для ^{13}C).

Масс-спектры были записаны на приборе Finigal MAT 95. Масс-спектр высокого разрешения был измерен на приборе QNOF ULTIMA 3, Thermo Electron LCQ Deca (San Jose, CA) ESI-технологии в аналитической лаборатории университета Росток(Германия).

Общая методика синтеза 8-(алкинил)-3-фторо-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-онов - (5a-c)

8-Хлоро-3-фторо-2-метил-4Н-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он (4) (1.0 экв., 0.373 ммоль), алкин-производные (1.2 экв.), $\text{Pd}(\text{OAc})_2$ (0.04 экв.), XPhos (0.08 экв.), карбонат калия (2.1 экв.) были интенсивно перемешаны и нагреты в сухом ДМФА (2 мл) при температуре 150°C в течение 16 часов. После охлаждения до комнатной температуры реакционная масса была разбавлена водой и экстрагирована этилацетатом. Органический слой был высушен безводным сульфатом натрия, и растворитель был выпарен. Оставшийся твёрдый остаток был очищен хроматографической колонкой над силикагелем (ЭА:гептан).

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

Получен из (4) и фенилацетилен, согласно разработанной общей методике для (5a-c). Выход 81 мг (65%), твёрдое коричневое вещество с т.пл. $227-229^\circ\text{C}$. $R_f=0.5$ (20% ЭА-гептан). ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 9.01 (д, $^3\text{J}=8.7$, 1H, CH_{Ar}), 7.79 (д, $^4\text{J}=1.8$, 1H, CH_{Ar}), 7.66 (дд, $^3\text{J}=8.7$, $^4\text{J}=1.8$, 1H, CH_{Ar}), 7.52-7.56 (м, 2H, CH_{Ar}), 7.35-7.40 (м, 3H, CH_{Ar}), 2.42 (д, $^4\text{J}=3.6$, 3H, CH_3). ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 161.3 (C_{Ar}), 154.4 (д, $^2\text{J}=27.9$, CO), 146.3 (д, $^2\text{J}=16.9$, C- CH_3), 144.2 (д, $^1\text{J}=244.2$, C-F), 135.3 (д, $^4\text{J}=2.5$, C_{Ar}), 131.8 (CH_{Ar}), 130.5 (CH_{Ar}), 129.0 (CH_{Ar}), 128.6 (CH_{Ar}), 125.6 (C_{Ar}), 124.8 (CH_{Ar}), 123.0 (C_{Ar}), 122.5 (C_{Ar}), 119.6 (CH_{Ar}), 91.6 ($\text{CC}\equiv\text{C}$), 87.7 ($\text{CC}\equiv\text{C}$), 17.3 (CH_3). ^{19}F ЯМР (CDCl_3), δ , м.д., Гц: - 157.4 (с, 1F). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3120 (сл), 2922 (сл), 1679 (сил), 1518 (ил), 1492 (ср), 1299 (ср), 1197 (ср), 1073 (сл), 826 (сил), 750 (сил), 689 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 334 (100), 306 (11), 305 (25), 277 (4), 260 (5), 246 (2), 233 (4), 208 (3), 190 (5), 167 (7), 153 (11), 126 (7), 104 (4), $[\text{M}^+]$. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для $\text{C}_{19}\text{H}_{11}\text{FON}_2\text{S}$: 334.0570, найден - 334.0569.

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

Получен из (4) и 4-метилфенилацетилен. Выход 97 мг (68%), твёрдое коричневое вещество с т.пл. $230-231^\circ\text{C}$. $R_f=0.6$ (20% ЭА-гептан). ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., Гц: 8.67 (д, $^4\text{J}=0.5$, 1H, CH_{Ar}), 7.79 (дд, $^3\text{J}=1.6$, $^4\text{J}=0.5$, 1H, CH_{Ar} , 1H, CH_{Ar}), 7.66 (дд, $^3\text{J}=8.7$, $^4\text{J}=1.6$, 1H, CH_{Ar}), 7.44 (д, $^3\text{J}=8.0$, 2H, CH_{Ar}), 7.18 (д, $^3\text{J}=8.0$, 2H, CH_{Ar}), 2.43 (д, $^4\text{J}=3.7$, 3H, CH_3), 2.38

(с, 3H, CH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 156.7 (д, ²J=29.4, CO), 150.1 (C_{Ar}), 145.9 (д, ²J=16.0, C-CH₃), 143.0 (д, ¹J=247.6, C-F), 139.1 (C_{Ar}), 135.0 (д, ⁴J=2.2, C_{Ar}), 131.5 (CH_{Ar}), 130.3 (C_{Ar}), 129.2 (CH_{Ar}), 125.5 (C_{Ar}), 124.5 (CH_{Ar}), 123.2 (C_{Ar}), 119.4 (CH_{Ar}), 108.8 (CH_{Ar}), 94.3 (CC≡C), 91.8 (CC≡C), 21.5 (CH₃), 17.1 (CH₃). ЯМР ¹⁹F (CDCl₃), δ, м.д., Гц: - 157.4 (с, 1F). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3121 (сл), 2917 (сл), 1581 (сл), 1686 (сил), 1603 (ср), 1509 (сил), 1298 (ср), 1143 (ср), 814 (сил), 750 (ср). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 348 (100), 319 (18), 248 (3), 233 (3), 189 (4), 159 (10), 139 (5), 137 (2), 110 (3), 102 (1), 88 (3), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₂₀H₁₃FON₂S: 348.0727, найден - 348.0721.

3-Фторо-2-метил-8-((4-терт-бутил)фенилэтинил)-4H бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он - (5с)

Получен из (4) и 4-метилфенилацетилена. Выход 58 мг (41%), твёрдое жёлтое вещество с т.пл. 259-260°C. R_f = 0.5 (20% ЭА-гептан). ЯМР ¹H (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 8.99 (д, ³J=8.7, 1H, CH_{Ar}), 7.78 (д, ⁴J=1.6, 1H, CH_{Ar}), 7.64 (дд, ³J=8.7, ⁴J=1.6, 1H, CH_{Ar}), 7.48 (д, ³J=8.7, 2H, CH_{Ar}), 7.39 (д, ³J=8.7, 2H, CH_{Ar}), 2.41 (д, ⁴J=3.7, 3H, CH₃), 1.33 (с, 9H, CH₃). ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ, м.д., Гц: 155.0 (д, ⁴J=4.1, C_{Ar}), 154.4 (д, ²J=27.4, CO), 152.4 (C_{Ar}), 146.3 (д, ²J=16.9, C-CH₃), 144.2 (д, ¹J=247.1, C-F), 135.1 (д, ⁴J=2.2, C_{Ar}), 131.6 (CH_{Ar}), 130.5 (CH_{Ar}), 125.6 (CH_{Ar}), 125.6 (C_{Ar}), 124.7 (CH_{Ar}), 123.3 (C_{Ar}), 119.5 (CH_{Ar}), 119.5 (C_{Ar}), 91.9 (CC≡C), 87.1 (CC≡C), 35.0 (C_{т-Бут}), 31.2 (CH₃), 17.3 (CH₃). ЯМР ¹⁹F (CDCl₃), δ, м.д., Гц: - 157.4 (с, 1F). ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3116 (сл), 2960 (ср), 1686 (сил), 1520 (сил), 1407 (сл), 1298 (ср), 1199 (ср), 830 (сил), 702 (ср), 557 (сил). Масс-спектр FD MS: m/z (%): 390 (65), 375 (100), 347 (18), 335 (5), 305 (4), 273 (2), 247 (3), 188 (17), 174 (15), 159 (19), 115 (3), [M⁺]. Масс-спектр высокого разрешения HR MS (ESI) вычислен для C₂₃H₁₉FON₂S: 390.1196, найден - 390.1190.

Заключение

Реакция Соногаширы арилгалогенидов с терминальными ацетиленами, что является мощным инструментом для образования алкинов, нашла широкое применение в таких разнообразных областях, как синтез природных соединений и материаловедение. 8-Хлоро-3-фторо-2-метил-4H-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-он был использован в качестве субстрата в реакции палладий кросс-сочетания реакция Соногаширы без участия медного со-катализатора с различными фенилацетиленами. При использовании 8-хлоро-3-фторо-2-метил-4H-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она (**4**) (1.0 экв., 0.373 ммоль), фенилацетилена (1.2 экв.), Pd(OAc)₂ (0.04 экв.) – как катализатора, XPhos (0.08 экв.) – как лиганда, карбоната калия (2.1 экв.) – в качестве основания, сухого ДМФА (2 мл) – как растворителя, при температуре 150°C в течение 16 часов выход продукта кросс-сочетания 8-(алкинил)-3-фторо-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-она (**5a-с**), с образованием sp²-углерод-sp²-углерод связи, достигает от 41 до 68%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mohajer F., Heravi M.M., Zadsirjan V., Poormohammad N. Copper-free Sonogashira cross-coupling reactions: an overview. – RSC Adv., 2021, v.11, pp.6885-6925.
2. Martek B.A., Urankar D, Kosmrlj J. Designing Homogeneous Copper-Free Sonogashira Reaction through a Prism of Pd–Pd Transmetalation. – Org. Lett., 2020, v.22, pp.4938-4943.
3. Hosseinzadeh R., Ojani R., Shabani L. Synthesis and electrochemical study of some novel alkynylferrocene derivatives. – Chem. Lett., 2014, v.3, pp.37-42.
4. Tykwinski R.R. Evolution in the palladium-catalyzed cross-coupling of sp- and sp²-hybridized carbon atoms. – Angew. Chem., Int. Ed., 2003, v.42, pp.1566-1568.
5. Hosseinnejad T., Heravi M.M., Firouzi R. Regioselectivity in Sonogashira synthesis of 6-(4-nitrobenzyl)-2-phenylthiazolo [3, 2-b] 1, 2, 4-triazole: a quantum chemistry study. – J. Mol. Model, 2013, v.19, pp.951-961.
6. de Carn'e-Carnalet B., Archambeau A., Meyer C., Cossy J., Foll'eas B., Brayer J.-L., Demoute J.-P. Efficient synthesis of substituted 3-azabicyclo[3.1.0]hexan-2-ones from 2-iodocyclopropanecarboxamides using a copper-free sonogashira coupling. – Chem. Eur. J., 2012, v.18, pp.16716-16727.
7. Yao T., Larock R.C. Synthesis of isocoumarins and alpha-pyrones via electrophilic cyclization. – J. Org. Chem., 2003, v.68, pp.5936-5942.
8. Oskooie A.A., Heravi M.M., Behbahani F.K. Facile, Mild And Efficient One-Pot Synthesis of 2-Substituted Indole Derivatives Catalyzed By Pd(PPh₃)₂Cl₂H. – Molecules, 2007, v.12, pp.1438-1446.
9. Pan C., Luo F., Wang W., Ye Z., Liu M. Iron-catalysed Sonogashira reactions. – J. Chem. Res., 2009, pp.478-481.
10. Esmaeilpour M., Sardarian A., Javidi J. Dendrimer-encapsulated Pd(0) nanoparticles immobilized on nanosilica as a highly active and recyclable catalyst for the copper- and phosphine-free Sonogashira–Hagihara coupling reactions in water. – Catal. Sci.Technol., 2016, v.6, pp.4005-4019.
11. Golas P.L., Tsarevsky N.V., Sumerlin B.S., Matyjaszewski K. Catalyst performance in “click” coupling reactions of polymers prepared by ATRP: ligand and metal effects. – Macromolecules, 2006, v.39, pp.6451-6457.
12. Feuerstein M., Doucet H., Santelli M. Coupling reactions of aryl bromides with 1-alkynols catalysed by a tetraphosphine/palladium catalyst. – Tetrahedron Lett., 2004, v.45, pp.1603-1606.
13. Zhang J., Đakovi'c M., Popovi'c Z., Wu H., Liu Y. A functionalized ionic liquid containing phosphine-ligated palladium complex for the Sonogashira reactions under aerobic and CuI-free conditions. – Catal. Commun., 2012, v.17, pp.160-163.
14. Lipshutz B.H., Chung D.W., Rich B. Sonogashira Couplings of Aryl Bromides: Room Temperature, Water Only, No Copper. – Org. Lett., 2008, v.10, pp.3793-3796.
15. Fukuyama T., Shinmen M., Nishitani S., Sato M., Ryu I. A copper-free Sonogashira coupling reaction in ionic liquids and its application to a microflow system for efficient catalyst recycling. – Org. Lett., 2002, v.4, pp.1691-1694.
16. Kom'aromi A., Tolnai G.L., Nov'ak Z. Copper-free Sonogashira coupling in amine-water solvent mixtures. – Tetrahedron Lett., 2008, v.49, pp.7294-7298.
17. Heravi M.M., Sadjadi S. Recent advances in the application of the Sonogashira method in the synthesis of heterocyclic compounds. – Tetrahedron, 2009, v.65, pp.7761-7775.
18. Daraie M., Heravi M.M., Kazemi S.S. Pd@GO/Fe₃O₄/PAA/DCA: a novel magnetic heterogeneous catalyst for promoting the Sonogashira cross-coupling reaction. – J. Coord. Chem., 2019, v.72, pp.2279-2293.

19. Sadjadi, S. Magnetic covalent hybrid of graphitic carbon nitride and graphene oxide as an efficient catalyst support for immobilization of Pd nanoparticles / S. Sadjadi, M. Malmir, M. M. Heravi and F. Ghoreyshi Kahangi – Inorg. Chim. Acta. 2019, V. 488, pp. 62–70.
20. Johansson Seechurn C.C.C., Kitching M.O., Colacot T.J., Snieckus V. Palladium-Catalyzed Cross-Coupling: A Historical Contextual Perspective to the 2010 Nobel Prize. – Angew. Chem., Int. Ed., 2012, v.51, pp.5062-5085.
21. Wagner F.F., Comins D.L. Expedient five-step synthesis of SIB-1508Y from natural nicotine. – J. Org. Chem., 2006, v.71, pp. 8673-8675.
22. Nishimura K.A., Kinugawa M. New Efficient Synthetic Route for the Synthesis of the Antiallergic Drug, Olopatadine Hydrochloride, via Stereospecific Palladium-Catalyzed Reaction. – Org. Process Res. Dev., 2012, v.16, pp.225-231.
23. L'opez S., L'opez S., Fern'andez-Trillo F., Mid'on P., Castedo L., Sa'a C. Synthesis of Marine Polyacetylenes Callyberynes A–C by Transition-Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions to sp Centers. – J. Org. Chem., 2006, v.71, pp.2802-2810.
24. Manoni F., Rumo C., Li L., Harran P.G. Unconventional Fragment Usage Enables a Concise Total Synthesis of (–)-Callyspongiolide. – J. Am. Chem. Soc., 2018, v.140, pp.1280-1284.
25. Idelson A.A., Sterzenbach C., Jester S.-S., Tschierske C., Baumeister U., H'oger S. Liquid-Crystalline Phenylene-Based Shape-Persistent Molecular Spoked Wheel. – J. Am. Chem. Soc., 2017, v.139, pp.4429-4434.
26. Zhuang X., Gehrig D., Forler N., Liang H., Wagner M., Hansen M.R., Laquai F., Zhang F., Feng X. Conjugated Microporous Polymers with Dimensionality-Controlled Heterostructures for Green Energy Devices. – Adv. Mater., 2015, v.27, pp.3789-3796.
27. Kozell V., McLaughlin M., Strappaveccia G., Santoro S., Bivona L.A., Aprile C., Gruttadauria M., Vaccaro L. Sustainable Approach to Waste-Minimized Sonogashira Cross-Coupling Reaction Based on Recoverable/Reusable Heterogeneous Catalytic/Base System and Acetonitrile Azeotrope. – ACS Sustainable Chem. Eng., 2016, v.4, pp.7209-7216.
28. Jafari B., Rashid F., Safarov S., Ospanov M., Yelibayeva N., Abilov Zh.A., Turmukhanova M.Z., Kalugin S.N., Ehlers P., Umar M.I., Zaib S., Iqbal J., Langer P. Synthesis of Novel Benzothiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-ones with Potential Cytotoxic and Pro-Apoptotic Potential. – ChemistrySelect., 2018, v.3, pp.12213-12218.

A.C.AMPOXONOV, B.ЧАФАРИ*, M.Ч.ХАЛИКОВА**, C.ХАЛИКОВА**, П.ЛАНГЕР*,
C.Ш.САФАРОВ**

СИНТЕЗИ 3-ФТОРО-2-МЕТИЛ-8-ФЕНИЛЭТИНИЛ-ИВАЗ КАРДАНИ-4Н- БЕНЗО[4,5]ТИАЗОЛО[3,2-А]ПИРИМИДИН-4-ОНҲО АЗ РЕАКСИЯИ СОНОГАШИРАИ ОЗОД АЗ МИС

Институти технология ва идоракунии инноватсия (Кўлоб),

**Институти химияи органикӣ, Донишгоҳи Росток, Олмон,*

***Институти химияи ба номи В.И.Никитини АМИТ*

Реаксияи Соногашира як реаксияи байниҳамдигарии алкинии терминалии винил ё арил барои ташаккули банди C-C мебошад. Мо 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-а]пиримидин-4-онро ба реаксияи кросс-пайвастшавии палладий реаксияи Соногашира бо фенилатсетиленами фарқкунанда ҷалб кардем. Барои анҷом

додани реаксия ё ташаккули банди C-C≡C, шароити зерин риоя карда шуд: 8-хлоро-3-фторо-2-метил-4H-бензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-он 4 (1,0 эквив., 0,373 ммол), ҳосилаҳои алкин (1,2 эквив.), Pd(OAc)₂ (0,04 эквив.) – ҳамчун катализатор, XPhos (0,08 эквив.) – ҳамчун лиганд, карбонати калий (2,1) эквив.) – ҳамчун асос, ДМФА-и хушк (2 мл) ҳамчун ҳалкунанда, ҳангоми 150°C дар давоми 16 соат. Бо ин, 8-(алкинил)-3-фтор-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-онҳо (5a-c) бо баромади миёна ва хуб ба даст оварда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: 8-хлор-3-фтор-2-метилбензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-он, 8-(алкинил)-3-фторо-2-метил-бензо[4,5]тиазоло[3,2-a]пиримидин-4-онҳо, реаксияи Соногашира.

A.S.AMROKHONOV, B.JAFARI*, M.J.KHALIKOVA**, S.KHALIKOVA**, P.LANGER*,
S.Sh.SAFAROV**

SYNTHESIS OF 3-FLUORO-2-METHYL-8-PHENYLETHYNYL-SUBSTITUTE-4H-BENZO [4,5]THIAZOLO[3,2-A]PYRIMIDIN-4-ONES BY THE COPPER FREE SONOGASHIRA REACTION

Institute of Technology and Innovation Management (Kulyab),

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

***V.I.Nikitina Institute of Chemistry of the NAST*

The Sonogashira reaction is a cross-coupling reaction of a vinyl or aryl halide with a terminal alkyne with a form of C–C bond. We involved 8-chloro-3-fluoro-2-methylbenzo [4,5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-one in the palladium cross-coupling reaction Sonogashira reaction with distinguishable phenylacetylenam. To carry out the reaction or form a C-C≡C bond, the following condition was used: 8-chloro-3-fluoro-2-methyl-4H-benzo[4,5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-one 4 (1.0 equiv., 0.373 mmol), alkyne derivatives (1.2 equiv.), Pd(OAc)₂ (0.04 equiv.) - as a catalyst, XPhos (0.08 equiv.) - as a ligand, potassium carbonate (2.1 equiv.) - as base, dry DMF (2 ml) as solvent, at 150°C for 16 hours. With these, 8-(alkynyl)-3-fluoro-2-methyl-benzo[4,5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-ones (5a-c) were obtained in moderate to good yields.

Key words: 8-chloro-3-fluoro-2-methylbenzo[4,5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-one, 8-(alkynyl)-3-fluoro-2-methylbenzo[4, 5]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4-ones, palladium Sonogashira reaction.

УДК 541.123.6

Д.З.МУЗАФАРОВА, М.Т.ЖУМАЕВ, Л.СОЛИЕВ

**ФАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$
ПРИ ИЗОТЕРМЕ 298 К**

Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни

Поступила в редакцию 18.07.2022 г.

С помощью метода трансляции исследован фазовый комплекс четырёхкомпонентной системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К. Определены все возможные фазовые равновесия на геометрических образах исследованной системы. Установлено, что для системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К характерно следующее количество геометрических образов: невариантные точки – 3, моновариантные кривые – 7, дивариантные поля – 5.

Ключевые слова: фазовый комплекс, диаграмма, геометрические образы, компонентность, натрий, кальций, алюминий, сульфат.

Основоположником теоретического фазового комплекса в химических системах в его аналитическом выражении является Д.В.Гиббс, он первым предложил условие химического равновесия и правила фаз [1]. Учение о фазовых равновесиях развито также в работах Ж.Вант-Гоффа, Х.В.Розебома, Г.Таманна, И.Ван-дер-Ваальса, Ф.А.Скрейнмаккера и др. Исключительное значение теории фазовых равновесий химических систем было отмечено Г.Таманном. Он писал, что «...чем больше число веществ в исследуемой смеси, тем выше требования к экспериментатору во избежание лишних опытов. Здесь только теория может показать как с минимумом опытов можно достигнуть желаемого результата» [2].

Основоположником современного физико-химического анализа является Н.С.Курнаков [3]. Им впервые были сформулированы предмет и задачи физико-химического анализа и химической диаграммы. Согласно определению Н.С.Курнакова

Адрес для корреспонденции: Музафарова Дилдодобону Зайнуллоевна. 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121, Таджикский государственный педагогический университет им. С.Айни. E-mail: muzafarovadildoda@gmail.com

физико-химический анализ является разделом общей химии и «...занимается исследованием соотношения между составом и измеримыми свойствами равновесных систем, результатом чего является построение соответствующей диаграммы». Им были сформулированы два основных принципа физико-химического анализа - принципы соответствия и непрерывности. Разработанный Н.С.Курнаковым геометрический метод описания строения физико-химических систем сыграл исключительную роль в развитии теории и практики исследования многокомпонентных систем [4].

Исходя из вышеизложенного, нами были выполнены исследования по применению метода трансляции для прогнозирования фазового комплекса на геометрических образах системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К на основании свойства элементов, строения диаграмм химических систем с числом компонентов n -увеличения размерности на единицу при добавлении следующего компонента (или другого параметра состояния). При этом геометрические образы n -компонентной системы, увеличивая свою размерность на единицу (нонвариантные точки переходят в моновариантные кривые, моновариантные кривые в дивариантные поля и т. д.), транслируются в область $n+1$ компонентной системы. Здесь, согласно своим топологическим свойствам и правилу фаз Гиббса, геометрические элементы взаимно пересекаются, образуя элементы строения $n+1$ компонентной системы. Такой метод прогнозирования позволяет строить замкнутые схематические диаграммы фазовых равновесий (фазовые комплексы) многокомпонентных систем, где будут совмещены элементы строения n и $n+1$ компонентных систем в одной диаграмме [5].

Четырёхкомпонентная система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ является составной частью более сложной пятикомпонентной системы $\text{Na,Ca,Al||SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$. Названная четырёхкомпонентная система состоит из следующих трехкомпонентных составных систем: $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$; $\text{CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$. Из всех приведенных трехкомпонентных систем при 298 К изучена лишь трехкомпонентная система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$, все данные о которой приведены в [6]. Остальные трехкомпонентные системы никем не изучены и впервые были изучены нами. Все твердые равновесные фазы нонвариантных точек трехкомпонентных систем, составляющих четырёхкомпонентную систему $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Фазовый состав осадков и нонвариантных точек четырёхкомпонентной системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К

Изотерма, К	Нонвариантные точки	Фазовый состав осадков
Система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$		
298	E_1^3	Мб+Гб
	E_2^3	Гб+Гп+Na·Al·12
Система $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$		
298	E_3^3	Мб+Na·Al·12
	E_4^3	Al·18+Na·Al·12
Система $\text{CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$		
298	E_5^3	Al·18+Гп

В табл. 1 и далее E – обозначение невариантной точки, где её верхний индекс указывает на кратность точки (компонентность системы), а нижний индекс – на порядковый номер точки. Порядковые номера точек, для удобства изложения материала, сохранены как в [6,7]. Приняты следующие условные обозначения равновесных твёрдых фаз [4, 5]: Мб-мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; Гб – глауберит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$); Гп - гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Al·18 - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; Na·Al·12 - $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

На основе данных систем трехкомпонентного состава методом трансляции была построена диаграмма фазового равновесия системы, состоящей из сульфатов натрия, кальция и алюминия, которая приведена на рис. 1.

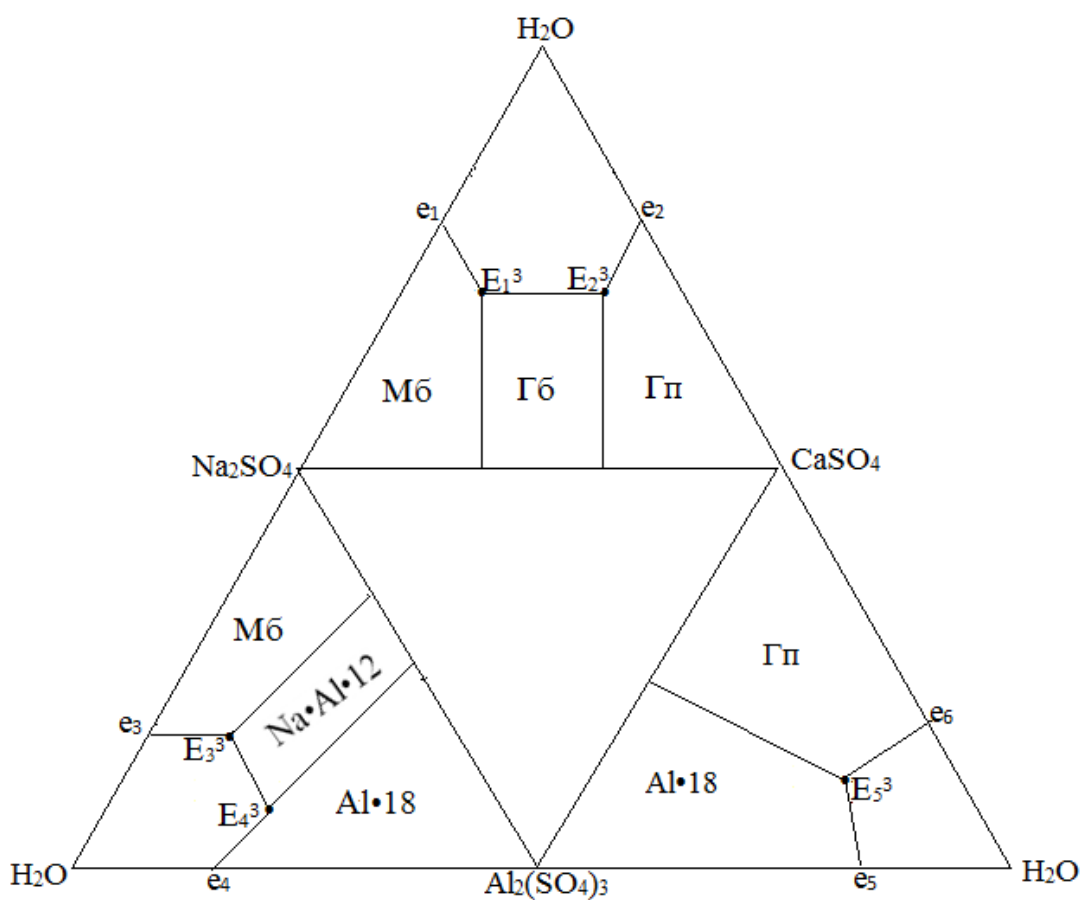
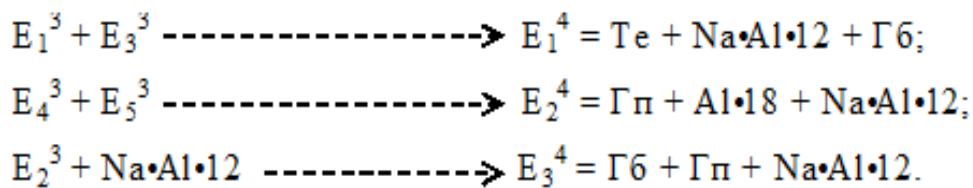


Рис. 1. Диаграмма фазового равновесия системы, состоящей из сульфатов натрия, кальция и алюминия при изотерме 298 К.

($e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6$ – невариантные точки уровня двухкомпонентной системы).

Трансляция тройных невариантных точек на уровень четырёхкомпонентного состава даёт следующее количество четверных невариантных точек с равновесными твёрдыми фазами:



Как видно, трансляция невариантных точек трехкомпонентного состава на четырехкомпонентный приводит к образованию трёх невариантных точек четырехкомпонентного состава из которых, две (E_1^4 , E_2^4) образованы “сквозной” трансляцией, а третья (E_3^4) “односторонней” трансляцией [5].

После объединения кристаллизационных полей, была построена диаграмма фазового комплекса системы Na_2SO_4 - $CaSO_4$ - $Al_2(SO_4)_3$ - H_2O при 298 К на уровне трех-четырёхкомпонентного состава (рис.2).

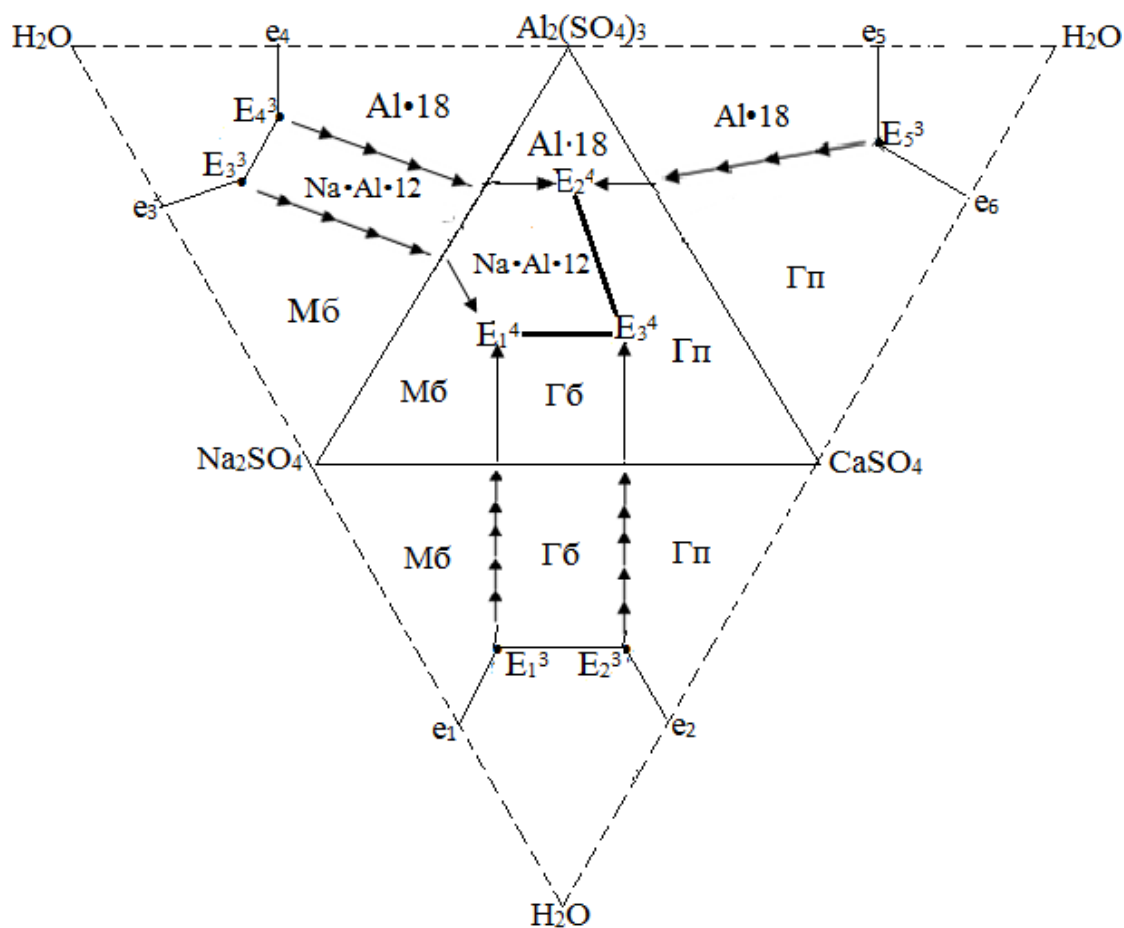
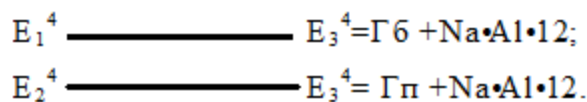


Рис. 2. Диаграмма фазового комплекса системы Na_2SO_4 - $CaSO_4$ - $Al_2(SO_4)_3$ - H_2O при 298 К на уровне трех-четырёхкомпонентного состава.

На рис. 2 линии со стрелками обозначают трансляцию тройных невариантных точек на уровень четырехкомпонентного состава, где направления трансляции указаны стрелками. Они являются моновариантными кривыми уровня четырехкомпонентного со-

става и их фазовый состав идентичен фазовому составу транслированных тройных не-
вариантных точек. Полуэвекторные сплошные линии также являются моноэвекторными кри-
выми. Они проходят между четверными неэвекторными точками и характеризуются
следующим фазовым составом осадков:



Из рис. 2 видно, что поле кристаллизации $\text{Na} \cdot \text{Al} \cdot 12$ граничит со всеми
равновесными фазами и занимает значительную часть исследуемой системы. В табл. 2
приведены перечень и контуры дивариантных полей системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-}$
 H_2O при изотерме 298 К.

Таблица 2

Перечень и контуры дивариантных полей системы
 $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К

Равновесные твердые фазы полей	Контур полей на диаграмме	Равновесные твердые фазы полей	Контур полей на диаграмме
Мб	E_1^3 ———— E_1^4 Na_2SO_4 ———— E_3^3	Гп	E_2^3 ———— E_3^4 ———— E_2^4 CaSO_4 ———— E_5^3
Гб	E_1^3 ———— E_1^4 E_2^3 ———— E_3^4 E_4^3 ———— E_2^4	Al·18	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ———— E_5^3 E_4^3 ———— E_2^4
Na·Al·12	E_4^3 ———— E_2^4 E_3^3 ———— E_1^4		

Таким образом, установлено, что для исследуемой четырёхкомпонентной системы
 $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ при изотерме 298 К характерно следующее количество гео-
метрических образов: неэвекторные точки-3, моноэвекторные кривые-7, дивариантные
поля-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Финдлей А. Правило фаз и его применение. – М.: ГОНТИ, 1932, 304с.
2. Тамман Г. Руководство по гетерогенным равновесиям. – Л.: ОНТИ, 1935, 328 с.
3. Курнаков Н.С. Введение в физико-химический анализ. – М.-Л.: изд. АН СССР, 1940, 562 с.
4. Курнаков Н.С. Некоторые вопросы теории физико-химического анализа. ДАН СССР, 1939, т.25, № 5, с.384-387.
5. Солиев Л., Жумаев М.Т. Структура фазового комплекса и растворимость водно-солевой систе-
мы из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция. – Душанбе: Балогат, 2020,
212 с.

6. Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем. т.1, кн. 1-2, - СПб.: Химиздат, 2003, 1152 с.
7. Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно – солевых систем. т. II. Кн. 1-2. – СПб.: Химиздат, 2004, 1148 с.

Д.З.МУЗАФАРОВА, М.Т.ЖУМАЕВ, Л.СОЛИЕВ

**КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ СИСТЕМАИ $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$
ДАР ИЗОТЕРМАИ 298 К**

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Бо ёрии усули трансляция комплексҳои фазাগии системаи чоркомпонентаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ дар изотермаи 298 К таҳқиқ карда шуд. Ҳамаи мувозинатҳои фазাগии имконпазир дар шаклҳои геометрии системаи таҳқиқшаванда муайян карда шуд. Муқаррар гардид, ки барои системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ дар изотермаи 298К миқдори зерини шаклҳои геометрӣ хос аст: нуқтаҳои инварианти-3, хатҳои моноварианти-7, майдонҳои диварианти-5.

Калимаҳои калидӣ: комплекси фазাগӣ, диаграмма, шаклҳои геометрӣ, компонент, натрий, калтсий, алюминий, сульфат.

D.Z.MUZAFAROVA, M.T.JUMAEV, L.SOLIEV

**PHASE COMPLEX OF THE $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ SYSTEM
AT 298 K ISOTHERM**

S.Aini Tajik State Pedagogical University

The translation method was used to study the phase complex of the four-component system $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ at an isotherm of 298 K. All possible phase equilibria on the geometric images of the studied system were determined. It has been established that the $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{-H}_2\text{O}$ system at the 298 K isotherm is characterized by the following number of geometric images: invariant points-3, monovariant curves-7, divariant fields-5.

Key words: phase complex, diagram, geometric images, component, sodium, calcium, aluminum, sulfate.

УДК 541.4:(4546.74.2+548.736)

Ё.К.КУДРАТУЛЛОЕВ

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СЕРЕБРА (I) С ТИОПИРИНОМ
В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 288-328 К**

Таджикский аграрный университет им. Шириниох Шотемура

Поступила в редакцию 22.04.2022 г.

Потенциометрическим методом исследован процесс комплексообразования серебра(I) с тиопирином в водной среде и ионной силе 0.1 моль/л при 288-328 К. Установлено, что серебро (I) с тиопирином образует две комплексные формы. Определены общие константы образования комплексов, устойчивость которых с возрастанием температуры уменьшается незначительно.

Ключевые слова: серебро(I), комплексообразование, тиопирин, устойчивость, общие константы образования.

Серебро существует, в основном, в моновалентном состоянии и образует устойчивые соединения: галогениды и сульфиды, сульфаты и нитраты. Серебро образует галоидные комплексы $[Ag\Gamma_2]^-$ и $[Ag\Gamma_3]^{2-}$. Вследствие наличия свободных электронных орбиталей, которые подвергаются sp^3 или sp -гибридизации, ионы Ag^+ участвуют в координации с различными лигандами. В комплексных соединениях серебро имеет степени окисления +1, +2 и даже +3. Координационное число может быть равно 2(sp -гибридизация) и 4(sp^3 -гибридизация). Первому соответствует линейная конфигурация, второму - тетраэдрическая.

Серебро имеет большое сходство с тиолами, сульфидами и селенсульфидами. Оно реагирует также с амино-, имидазольными, карбоксильными, фосфатными группами, присутствующими в биологически активных макромолекулах [1].

В литературе имеются данные по изучению комплексообразования некоторых серосодержащих и других органических лигандов с $Ag(I)$. Авторы работы [2] потенциомет-

Адрес для корреспонденции: Кудратуллоев Ёқуб Кудратуллоевич. 734003. Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 146. Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемура.
E-mail: kudratulloev92@mail.ru

рическим методом определяли константы образования комплексов Ag(I) с пиридином. Установлено, что образование комплексов AgL^+ и AgL_2^+ происходит ступенчато с общими константами $\beta_1=1.23 \cdot 10^2$ и $\beta_2=1.0 \cdot 10^5$. При этом установлено, что в системе Ag(I)-пиридин не наблюдается образование комплексов с координационным числом, больше двух. В работе [3] представлены данные по изучению комплексообразования Ag(I) с N,N'-этилентииомочевинной при разных температурах. Установлено, что серебро (I) с N,N'-этилентииомочевинной образует три комплексные формы, для которых рассчитаны константы устойчивости. Показано, что повышение температуры по-разному влияет на величину константы устойчивости. Авторами [4] исследован процесс комплексообразования железа (III) с 1-фенил-2.3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 6 моль/л HCl при 298 К. Установлено, что железо (III) с тиопирином в изученной системе образует пять комплексных частиц. В работе [5] методом потенциометрического титрования изучен процесс комплексообразования меди (II) с 1-фенил-2.3-диметилпиразолин-5-тионом в среде 6 моль/л HCl при 308 К. Выявлено, что медь (II) с тиопирином образует четыре комплексные формы. Хасанов О.К., Бекназарова Н.С. [6] обнаружили, что железо (III) с тиопирином в смешанном растворителе образует четыре комплексные частицы. В литературе отсутствуют сведения об изучении комплексообразования Ag(I) с тиопирином и закономерности протекания реакции в растворе. Известно, что в настоящее время интерес к химии пиразолона и его производных, в том числе тиопирина, значительно возрастает. Это связано с тем, что соединения из этого класса широко применяются в качестве лекарственных препаратов, красителей, люминесцентных и флуоресцентных веществ. Целью настоящей работы является изучение процесса комплексообразования серебра (I) с тиопирином в водной среде и выявление закономерности и изменения констант устойчивости комплексных форм в интервале температур 288-328 К.

В качестве исходных веществ использовали $AgNO_3$ марки «ч.д.а.» и 1-фенил-2.3-диметилпиразолин-5-тион, который был синтезирован в соответствии с методикой, описанной в [7]. Комплексообразование изучено при двух начальных концентрациях $AgNO_3$, которые равнялись $1 \cdot 10^{-4}$ и $1.5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Концентрация тиопирина была равна $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. В качестве индикаторного электрода использовали пластинку из серебра, а электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод. Процесс комплексообразования исследовали в водном растворе и ионной силе 0.1 моль/л, создаваемой $NaNO_3$. Потенциал системы, при потенциометрическом титровании, измеряли с помощью рН-метр 150 МП с точностью ± 1 мВ. Равновесное значение потенциала на индикаторном электроде устанавливалось в течение 5-7 минут. Температуру в ячейке поддерживали постоянной, при помощи водяного термостата ($\pm 0.5^\circ C$). Равновесную концентрацию иона серебра определяли по уравнению [8]

$$\lg[Ag^+] = \lg C_{Ag^+} - \frac{\Delta E}{1,985 \cdot 10^{-4} \cdot T} + \lg \frac{V_{общ.}}{V_{нач.}}$$

где: $[Ag^+]$ – равновесная концентрация Ag^+ в каждой точке титрования; $\Delta E = E_1 - E_2$; E_1 – начальный потенциал системы; E_2 – потенциал системы в каждой точке титрования; C_{Ag^+} – концентрация серебра в каждой точке титрования с учётом разбавления; $V_{нач.}$ – начальный объем системы; $V_{общ.}$ – объем системы в каждой точке титрования.

Равновесную концентрацию тиопирина рассчитывали по уравнению [9].

$$[L] = C_L - n(C_{Ag^+} - [Ag]),$$

где $[L]$ – равновесная концентрация тиопирина; C_L – концентрация тиопирина в каждой точке титрования; n – координационное число серебра; C_{Ag^+} – концентрация серебра в каждой точке титрования; $[Ag^+]$ – равновесная концентрация серебра в каждой точке титрования.

В табл. 1 представлены данные потенциометрического титрования в системе Ag^+ -тиопирин- H_2O при 298 К и ионной силе раствора, равной 0.1 моль/л. Проведенные исследования показали, что с увеличением концентрации тиопирина, потенциал индикаторного электрода уменьшается, что свидетельствует о комплексообразовании серебра (I) с тиопирином (табл. 1).

Таблица 1

Данные по нахождению равновесной концентрации ионов $[Ag^+]$, тиопирина и функции Ледена по данным потенциометрического титрования при 298 К; $C_L = 0.01$ моль/л;

$$C_{Ag^+} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

E, V	$\Delta E, \text{ эксп.}$	$\Delta E, \text{ теор.}$	$C_L \cdot 10^3, \text{ моль/л}$	$[Ag^+] \cdot 10^{12}, \text{ моль/л}$	$[L] \cdot 10^3, \text{ моль/л}$	$\lg F_0$
0.352						
0.0779	0.2741	0.095	0.19608	8.1401	0.0000045	12.97
-0.0087	0.3607	0.3727	0.38462	7.6903	0.1923	9.81
-0.0348	0.3868	0.3939	0.56604	2.7321	0.3773	9.96
-0.0500	0.4020	0.4071	0.74074	1.4840	0.5555	10.05
-0.0585	0.4105	0.4168	0.90909	1.0466	0.7272	10.08
-0.0693	0.4213	0.4245	1.07	0.6752	0.8928	10.17
-0.0801	0.4321	0.4308	1.228	0.4357	1.052	10.28
-0.0876	0.4396	0.4363	1.380	0.3198	1.206	10.35
-0.0930	0.4450	0.4410	1.525	0.2548	1.356	10.39
-0.0955	0.4475	0.4451	1.670	0.2273	1.500	10.39
-0.1010	0.4530	0.4488	1.803	0.1805	1.639	10.44
-0.1048	0.4568	0.4522	1.935	0.1532	1.774	10.47
-0.1064	0.4584	0.4552	2.063	0.1416	1.904	10.47
-0.1094	0.4614	0.4580	2.187	0.1241	2.031	10.49
-0.1123	0.4643	0.4605	2.307	0.1091	2.153	10.51
-0.1155	0.4675	0.4629	2.424	0.0949	2.272	10.55
-0.1185	0.4705	0.4650	2.537	0.0832	2.388	10.57
-0.1197	0.4717	0.4671	2.647	0.0782	2.500	10.58

Для определения характера комплексообразования серебра (I) с тиопирином из потенциометрических данных (табл. 1), нами построен график зависимости $\Delta E = f(-\lg[L])$ (рис. 1).

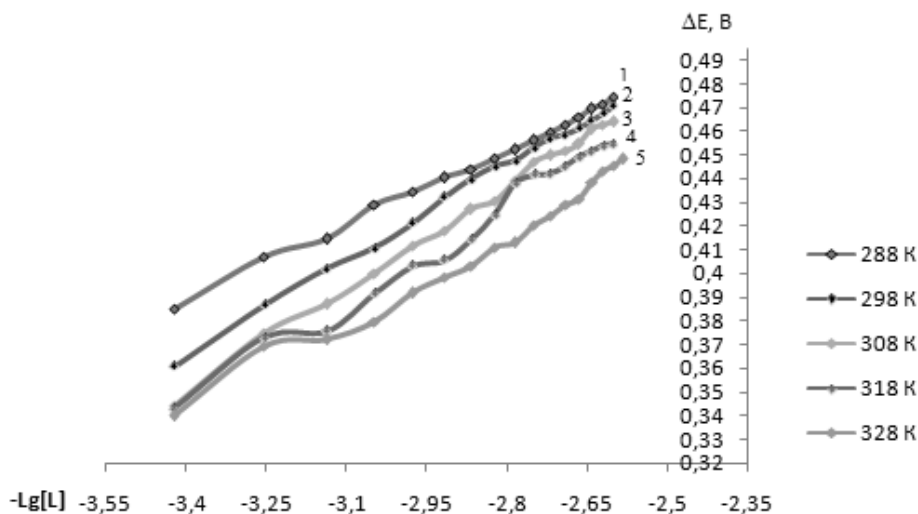


Рис. 1. Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для тиопириновых комплексов серебра (I) при температурах 288-328 К и ионной силе раствора 0.1 моль/л

Из рис. 1 видно, что зависимость $\Delta E = f(-\lg[L])$ имеет нелинейный характер. Из данной зависимости нами найдены углы наклона при избытке органического лиганда, которые оказались равными 0.105; 0.102; 0.112; 0.123 и 0.116 В·моль·л⁻¹, что свидетельствует о присоединении двух молекул тиопирина к иону серебра(I). Для системы, в которой протекает ступенчатое комплексообразование, константы устойчивости определяются разными методами. Нами был использован метод Ледена.

В табл. 2 приведены усредненные значения общих констант устойчивости, найденные методом Ледена при 288-328 К.

Таблица 2

Усредненные значения общих констант устойчивости тиопириновых комплексов серебра (I) при 288-328 К и ионной силе раствора 0.1 моль/л

T, К	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$
288	10.24±0.11	13.18±0.02
298	9.95±0.12	12.64±0.75
308	9.31±0.25	12.42±0.25
318	9.00±0.47	11.99±0.23
328	8.67±0.44	11.66±0.22

Из данных табл. 2 видно, что с увеличением температуры, величины общих констант образования комплексов Ag(I) изменяются закономерно. Из общих констант устойчивости мы рассчитывали ступенчатые константы образования двух комплексных частиц $[AgL]^+$ и $[AgL_2]^+$, которые образуются при взаимодействии Ag(I) с тиопирином при

288-328 К. Эти комплексные формы находятся только в растворе, и их устойчивость при увеличении температуры от 288 до 328 К уменьшается незначительно.

Таблица 3

Значение ступенчатых констант образования тиопириновых комплексов серебра (I) при 288-328 К

T, K	K_2	K_3
288	$1.7 \cdot 10^9$	$2.6 \cdot 10^{22}$
298	$8.9 \cdot 10^8$	$3.8 \cdot 10^{21}$
308	$2.0 \cdot 10^9$	$5.3 \cdot 10^{20}$
318	$1.0 \cdot 10^9$	$9.7 \cdot 10^{19}$
328	$4.6 \cdot 10^8$	$2.1 \cdot 10^{20}$

Необходимо отметить, что общие константы серебра (I) с тиопирином находили при двух концентрациях серебра (I), которые давали удовлетворительное соответствие. Этот факт свидетельствует о том, что в системе $AgNO_3$ -тиопирин- H_2O не образуются димерные комплексные соединения.

Для контролирования правильности полученных значений констант устойчивости образующихся комплексов, приведено сопоставление величин $\Delta E_{теор.}$, рассчитанных по уравнению $\Delta E_{теор.} = 2.303RT/nF \lg(1 + \beta_1[L] + \beta_2[L]^2)$, с экспериментальными данными ($\Delta E_{экспер.}$) при различных температурах. В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для тиопириновых комплексов серебра(I) при 298 К. Как видно из рисунка, расчетные и экспериментальные найденные величины ΔE дают удовлетворительное соответствие.

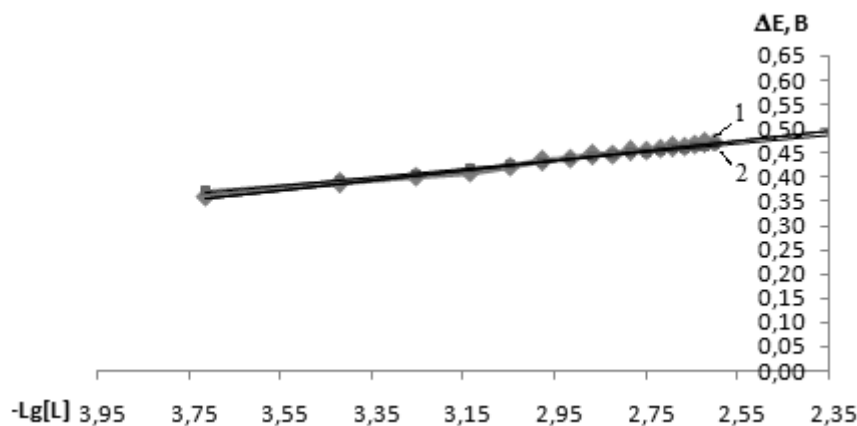


Рис. 2. Зависимость ΔE от $-\lg[L]$ для тиопириновых комплексов серебра(I) при температуре 298 К: 1 – $\Delta E_{экспер.}$; 2 – $\Delta E_{теор.}$ (см. табл.1).

С целью определения области доминирования комплексных форм, которые образуются в системе $AgNO_3$ -тиопирин- H_2O , нами были построены диаграммы их распределения (рис. 3).

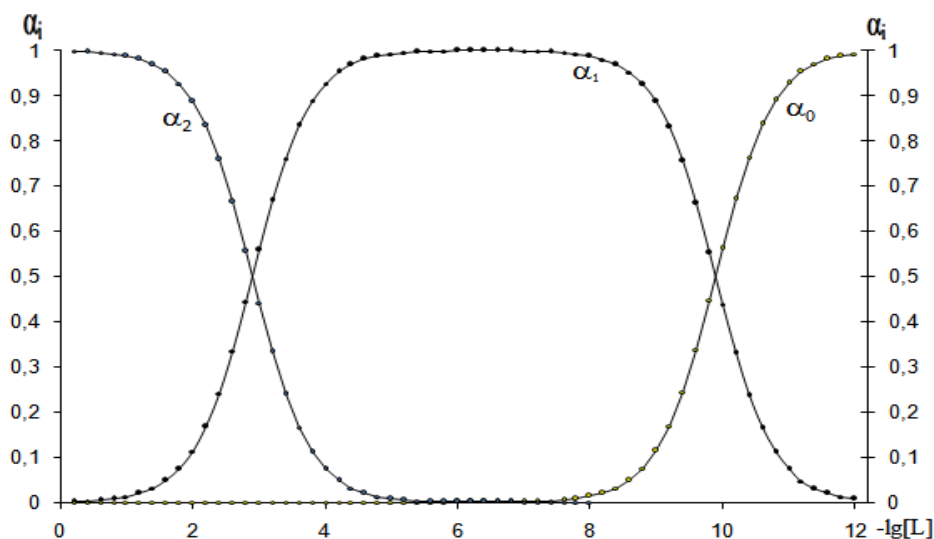


Рис. 3. Диаграмма распределения тиопириновых комплексов Ag(I) при 298 К, где α_0 – AgNO_3 , α_1 – $[\text{AgL}]^+$, α_2 – $[\text{AgL}_2]^+$.

Анализ диаграмм распределения показывает, что при концентрации тиопирина, равной $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л, образуется в основном монозамещенный комплекс состава $[\text{AgL}]^+$ с 99 %-ным выходом. Увеличение концентрации лиганда приводит к образованию двухзамещенного комплекса.

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что Ag (I) с тиопирином образует две комплексные формы $[\text{AgL}]^+$ и $[\text{AgL}_2]^+$. Для этих комплексных частиц определены общие константы устойчивости. Выявлена закономерность и изменение констант устойчивости от количества присоединенных молекул тиопирина и температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершова Ю.А., Платенева Т. В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. – М.: Медицина, 1989, с. 272.
2. Игначак М. Комплексообразование в редокс потенциалы системы $\text{Ag}^{\text{I}}/\text{Ag}^{\text{II}}$ в присутствии пиридина в растворе пропиленкарбоната. М.Игначак, А. Гжедзиак, Э. Деген-Пиотровска. – Журн. неорган. хим. 1991, т. 36, вып. 6, с. 1475.
3. Содатдинова А.С., Мабаткадамова К.М., Сафармамадов С.М., Аминджанов А.А. «Комплексообразование Ag(I) с N,N'-этилентиомочевиной при 288-328. – ДАН РТ, 2013, т. 56, № 7, с. 541-547.
4. Иванский В.И. Химия гетероциклических соединений. – М.: Высшая школа, 1978, 558 с.
5. Рахматуллоев Б.К., Сафармамадов С.М. «Комплексообразование железа(III) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион в среде 6 моль/л HCl». Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе, 1/3(200), 2016, с. 172-176.
6. Аминджанов А.А., Баходуров Ю.Ф., Хасанов Ф.Н., Бекназарова Н.С. «Комплексообразование меди(II) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тион в среде 6 моль/л HCl при 308 К». Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе, 1/3(134), 2014, с. 97-102.
7. Хасанов О.К., Бекназарова Н.С. «Комплексообразование железа(III) в смешанном растворителе». – Башкирский химический журнал, 2016, т. 23, вып. 3, с. 11-14

8. Акимов В.К., Бусев А.И., Клиот Л.Я. - Журнал анал. химии, 1977, т. 32, вып. 5, с. 1004- 1008.
9. Хартли Ф. Равновесие в растворах/ Ф. Хартли., К. Бергес., Р. Оллок. – М.: Мир, 1983, 365 с.
10. Усатенко Ю.И., Климович Е.А., Чеботарева А.В. – Укр. хим. журнал, 1964, вып. 27, с. 927.

Ё.Қ.ҚУДРАТУЛЛОЕВ

КОМПЛЕКСҲОСИЛШАВИИ НУҚРАИ (I) БО ТИОПИРИН ДАР ҲУДУДИ ҲАРОРАТҲОИ 288-328 К

Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншох Шохтемур

Бо усули потенциометрӣ раванди комплексҳосилшавии нуқраи (I) бо тиопирин дар муҳити обӣ, дар қувваи ионии 0.1 мол/л ва дар ҳароратҳои 288-328 К таҳқиқ карда шуд. Муқаррар карда шуд, ки нуқраи (I) бо тиопирин ду шакли комплекси ҳосил мекунад. Муайян карда шуд, ки бо зиёдшавии ҳарорат устувории собитҳои умумии ҳосилшавии комплексҳо кам тағйир меёбад.

Калимаҳои калидӣ: нуқраи (I), комплексҳосилшавӣ, тиопирин, устуворӣ, собитҳои умумии ҳосилшавӣ

Yo.Q.QUDRATULLOEV

COMPLEXATION OF SILVER (I) WITH THIOPYRIN AT THE TEMPERATURE RANGE 288-328 K

Tajik agrarian university named after Shirinsho Shotemur

The process of complexation of silver (I) with thiopyrine in an aqueous medium and an ionic strength of 0.1 mol/l at 288-328 K was searched by potentiometric method. It was found that silver (I) with thiopyrine two complex forms. The general constants of the formation of complexes, have been determined the stability of which decreases insignificantly with increasing temperature.

Key words: silver (I), complexation, thiopyrine, stability, general constants of formation.

УДК 536.7:546.621+546.791

Дж.Н.ЭШОВ

**ТЕРМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НИТРАТА ТОРИЯ**

*Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности
НАН Таджикистана
Поступила в редакцию 16.09.2022 г.*

В работе приведены сведения о процессе разложения нитрата тория (IV) методом дифференциально – термического анализа (ДТА) и дана сравнительная характеристика распада методами ДТА и тензиметрии. На термограмме нитрата тория обнаружен термоэффект при 70-144°C, эндоэффект при 160 и 230°C. Наблюдается разложение индивидуального соединения $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$. Изучены термодинамические свойства нитрата тория методом калориметрии.

Ключевые слова: термическое разложение, нитраты тория (IV), термограмма, тензиметрия, температурный интервал, термодинамика, калориметрия.

Торий и его соединения играют важную роль в ядерной энергетике. Его в качестве расщепляющегося материала используют в ядерной технологии. Изотоп Th-232 в процессе ядерной трансмутации превращается в расщепляющийся искусственный изотоп урана U- 233, который является ядерным топливом.

Ториевый топливный цикл имеет несколько потенциальных преимуществ по сравнению с урановым топливным циклом, в том числе большая доступность тория, лучшие физические и ядерные свойства, меньшее образование плутония и актинидов, что означает лучшее соответствие режиму нераспространения ядерного оружия при использовании в традиционных легководных реакторах. Исходя из этого изучение физических и химических свойств ториевых соединений является актуальной задачей.

*Адрес для корреспонденции: Эшов Джурамурад Нурмурадович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Агентство по ХБРЯ безопасности НАНТ.
E-mail: eshov27@mail.ru*

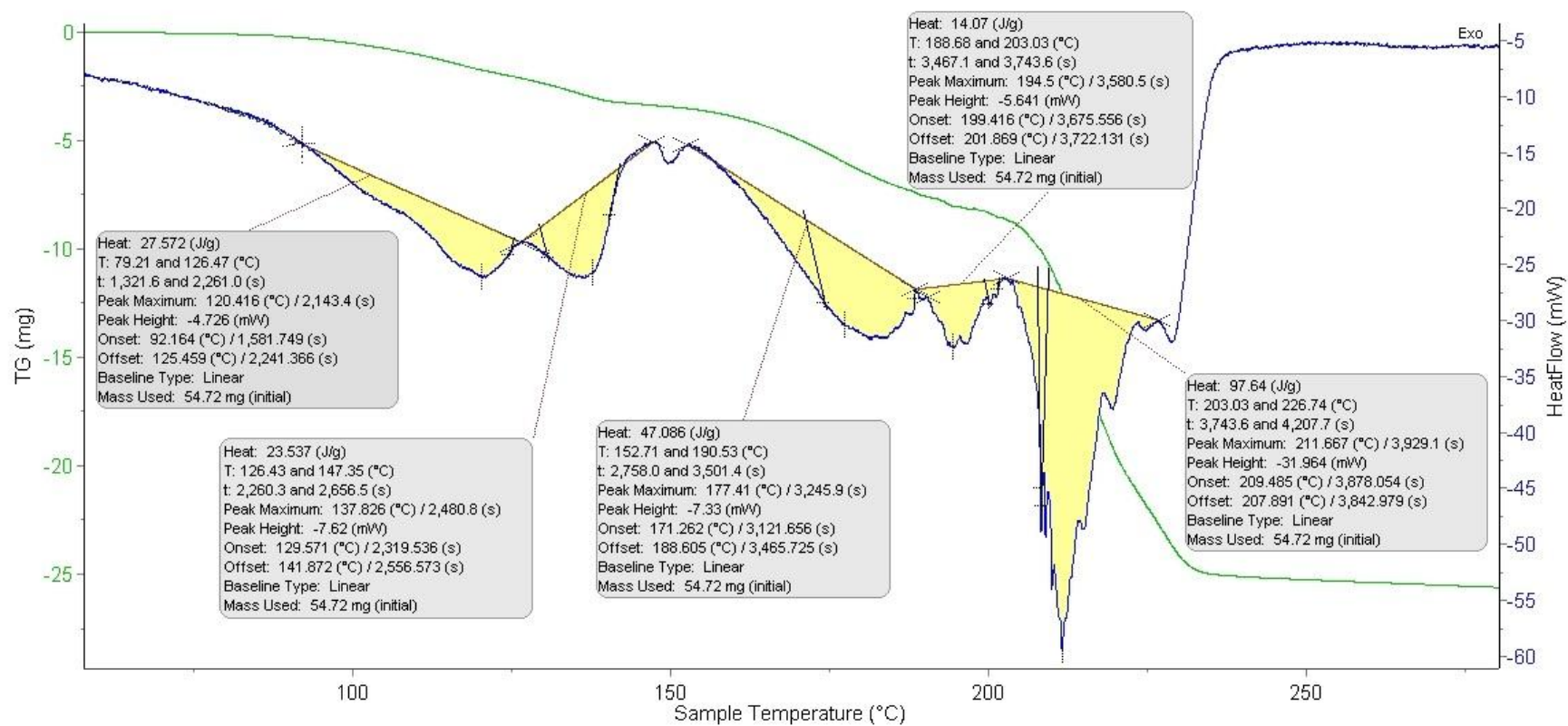


Рис. 1. Термограмма кристаллогидрата нитрата тория (IV).

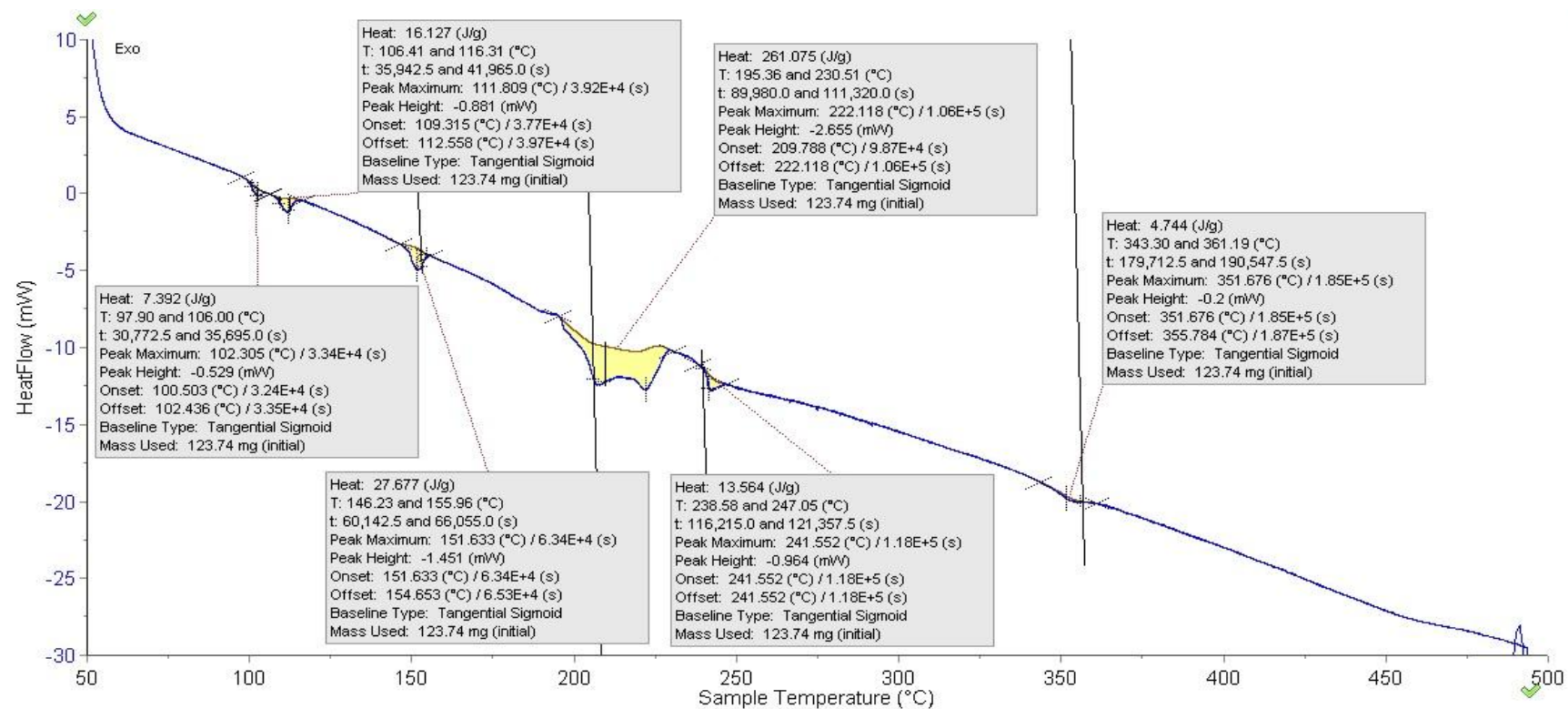


Рис. 2. Калориметрия нитрата тория.

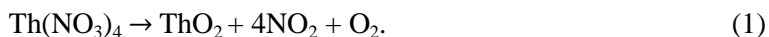
В литературе имеются сведения о процессах дегидратации и термического разложения соединений тория [1-3], а также о возможности дегидратации исходных образцов и получения безводных нитратов тория (IV).

В настоящей работе изучен термический распад кристаллогидрата нитрата тория (IV) методом ДТА и тензиметрическим методом, а также изучены термодинамические свойства нитрата тория методом калориметрии.

Для работы использовали дериватограф «Labsys Evo 1600» фирмы Setaram. «Labsys Evo» – это современный дериватограф (синхронный термический анализатор). Он совмещает в себе одновременное проведение термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГА-ДТА/ДСК, TG-DTA/DSC), обладая наилучшей чувствительностью 0.01мг и 3D(Calvet) DSC сенсором теплоты и печью с обогревом до 1600°C и водяным охлаждением. Чувствительность 3D сенсора 0.5 мВ/мВт и высокая скорость нагрева / охлаждения печи 100°C/мин (минимальный 0.1°C/мин), точность измерения C_p (Calvet) - сенсор состоит из термопар, полностью окружающих образец. Имеется возможность использовать корундовые и платиновые тигли объёмом 0.1 мл при различных газовых средах (воздух, азот, кислород, гелий, аргон, водород и другие или их смеси). Скорость нагрева составляла 10°C/мин.

Как видно из рис. 1, на термограмме обнаруживаются следующие эффекты: эндоэффект при 92-140°C характеризует удаление гидратированной воды. Незначительный эффект при 148°C, по-видимому, свидетельствует об удалении остаточной воды.

Эндоэффект при 170°C является началом разложения нитрата тория по схеме:



При эндоэффекте (min 120 °C) наблюдается разложение до оксида ThO₂. При температуре 230°C наблюдается завершение распада нитрата тория.

Также изучены термодинамические свойства нитрата тория методом калориметрии. Для работы использовали калориметр «С600 Calvet» фирмы Setaram. «С600 Calvet» - современный калориметр. Он включает в себя чувствительные 3D сенсоры теплоты. Его датчик, который окружает образец, использует 12 колец из 12 высокотемпературных термопар на термобатарее. Максимальный нагрев печи до 600°C с водяным охлаждением. Скорость нагрева/охлаждения печи от 0.01°C/мин до 2.0°C/мин.

Используется ячейка из нержавеющей стали объёмом 8 мл с возможностью герметичного закрытия крышки. Ячейки используются парами – одна для образца, другая для сравнения. Ячейки выдерживают давление в 100 Бар. На рис. 2 представлены результаты калориметрии нитрата тория (IV).

Как видно из рис. 2, результаты калориметрических исследований близки к результатам тензиметрических исследований [3].

Сравнивая результаты разложения нитрата тория (IV) методом ДТА и тензиметрическим методом, можно обобщить, что наблюдается некоторое расхождение в температу-

рах разложения образцов, которое может быть связано с условиями равновесия при тензиметрии и скоростью нагрева при ДТА.

По экспериментальным данным работы [1], которые представлены в виде зависимости $\lg P$ от обратной температуры (рис 3), было рассчитано уравнение прямой линии барограммы процесса (1).

$$\lg P_{от} = (6.05 \pm 0.7) - \frac{(2.85 \pm 0.03)}{T} * 10^3$$

в интервале температур 430-470 К.

По этому уравнению, с учётом числа молей газообразных продуктов, рассчитаны термодинамические характеристики процесса (1), которые равны:

$$\Delta H_T^0 = 273.1 \pm 8 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$\Delta S = 579.6 \pm 17 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ К}^{-1}$$

Уравнение барограммы процесса распада нитрата тория (IV) по уравнению (1) приведено на рис. 3 [5].

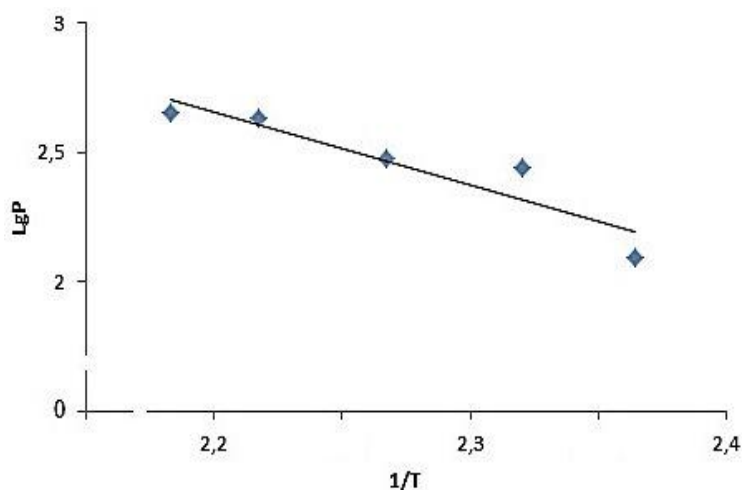


Рис. 3. Зависимость $\lg P$ от обратной температуры для процесса термического разложения $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$.

На его основе и с помощью справочных данных [4, 5] определены термодинамические характеристики индивидуального соединения $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$, равные:

$$\Delta f H_{Тэкспер.}^0 = -1366.3 \pm 15 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ (литература – - 1461.47 кДж} \cdot \text{моль}^{-1}),$$

$$S_{Тэкспер.}^0 = 651.0 \pm 23 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} \text{ (литература – отсутствует).}$$

Таким образом, данные ДТА и тензиметрии при распаде образцов нитрата тория (IV) практически совпадают. Эти данные показывают, что на первой стадии происходит дегидратация нитрата тория, затем его распад.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидов Ф.А., Бадалов А.Б., Мирсаидов У.М. Термическое разложение разных нитратов тория и урана. – ДАН РТ, 2014, т.57, №4, с. 304-308.
2. Хамидов Ф.А., Мирсаидов И.У., Назаров К.М., и др. Термодинамика процесса дегидратации пентагидронитрата тория (IV). – Вестник Таджикского технического университета им ак. А.Осими, 2010, № 2 (10), с. 243-244..
3. Хамидов Ф.А. Физико-химические основы выделения уранового концентрата из отходов и термодинамические характеристики торий-урановых соединений. – Автореферат диссертации, - Душанбе, 2017, 29 с.
4. Суворов А.В. Термодинамическая химия парообразного состояния. – Л.: Химия, 1970, 208 с.
5. Волков А.И., Жарский И. М. Большой химический справочник. – Минск: Современная школа, 2005, 608 с.

Ҷ.Н.ЭШОВ

ХУСУСИЯТҲОИ ҲАРОРАТӢ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ НИТРАТИ ТОРИӢ

Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар мақола дар бораи раванди таҷзияи нитрати торий (IV) бо усули таҳлили дифференциалии термикӣ (ТДТ) маълумот оварда шуда, тавсифи муқоисавии таҷзия бо усули ТДТ ва усули тензиметрӣ дода шудааст. Дар термограммаи нитрати торий дар 70-144°C падидаи ҳароратӣ ва эндоэффект дар 160 ва 230°C намудор аст. Таҷзияи пайвастагии $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ мушоҳида мешавад. Хусусиятҳои термодинамикии нитрати торий бо усули калориметрия омукта шуданд.

Калимаҳои калидӣ: таҷзияи ҳароратӣ, нитратҳои торий (IV), термограмма, тензиметрия, фосолаҳои ҳароратӣ, термодинамика, калориметрия.

J.N.ESHOV

THERMAL AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF THORIUM NITRATE

Agency for Chemical, Biological, Radiation and Nuclear Safety and Security Agency

of National Academy of Sciences of Tajikistan

The article presents information about the process of decomposition of thorium (IV) nitrate by the differential thermal analysis (DTA) method and gives a comparative characteristic of the decomposition by the DTA method using the tensimetric method. On the thermogram of thorium nitrate, a thermal effect was found at 70-144°C, an endoeffect at 160 and 230°C. Decomposition of the individual compound $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ is observed. The thermodynamic properties of thorium nitrate were studied by the method of calorimetry.

Key words: thermal decomposition, thorium (IV) nitrate, thermography, tensimeter, temperature intervals, thermodynamics, calorimetry.

УДК 541.1

Д.Х.МИРЗОЕВ, Т.Б.ХОЛМАТОВ, Н.М.ДЖАМОЛОВ, А.М.КАЮМОВ,
С.Ш.ИБРОХИМОВА, Б.Я.ЮСУПОВ

**КИНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗЛОЖЕНИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ
СИЕНИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУРПИ ТАДЖИКИСТАНА
С ФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ**

Институт химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана

Поступила в редакцию 30.06.2022 г.

Изучена кинетика разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана с фосфорной кислотой, определено численное значение энергии активации, которое составило для Fe_2O_3 26.02 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в смешанной, близкой к кинетической области.

Кажущаяся энергия активации процесса разложения нефелиновых сиенитов для Al_2O_3 составила 13.02 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионной области, близкой к смешанной.

Ключевые слова: нефелиновые сиениты, разложение, кинетика, фосфорная кислота, энергия активации.

Как известно, химическая кинетика или кинетика химических реакций – раздел физической химии, изучающий закономерности протекания химических реакций во времени, зависимости этих закономерностей от внешних условий, а также механизмы химических превращений.

Предметом химической кинетики является изучение всех факторов, влияющих на скорость, как суммарного процесса, так и всех промежуточных стадий [1, 2].

Кинетика разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг серной кислотой изучена в [3]. В работе [4] изучена кинетика разложения аргиллитов соляной кислотой.

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

При разложении аргиллитов минеральными кислотами процесс разложения протекает в диффузионной области.

Кинетика азотнокислотного разложения аргиллитов изучена в работе [5]. В работе [6] обобщены кинетические аспекты разложения алюмосиликатных руд Таджикистана.

В настоящей работе изучено разложение нефелиновых сиенитов месторождения Турпи Таджикистана фосфорной кислотой. Выбор указанной кислоты объясняется тем, что при её использовании можно получить комплекс удобрений - фосфатов кальция, натрия и калия.

Нефелиновые сиениты месторождения Турпи содержат в своем составе до 23% глинозёма и считаются низкокачественным сырьём [7]. Комплексная переработка этих руд с целью получения различных полезных компонентов является целесообразной.

Учитывая, что в составе нефелиновых сиенитов содержится до 6.6% соединений калия, 3% кальция и 6.5% натрия, при их переработке можно получать фосфаты калия и кальция в качестве удобрений, а фосфаты натрия - в качестве пищевых добавок в кондитерском деле.

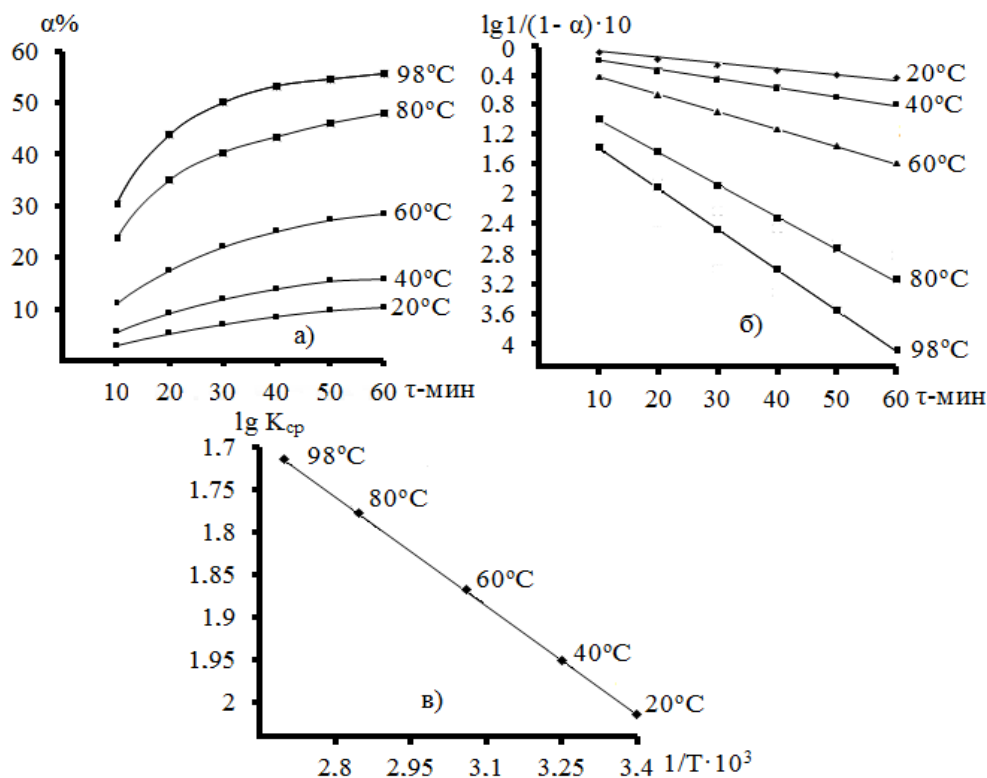


Рис. 1. Зависимость степени извлечения Fe₂O₃ из нефелиновых сиенитов месторождения Турпи с 30% H₃PO₄ от: продолжительности процесса разложения (а); зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимости $\lg K_{cp}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в).

Характер кинетических кривых (рис.1) разложения нефелиновых сиенитов с фосфорной кислотой при извлечении в раствор оксида железа указывает на то, что разложе-

ние нефелинового сиенита при температуре 98°C и продолжительности 1 час протекает очень быстро, достигая выхода 54-55%.

Константы скорости разложения нефелиновых сиенитов для Fe_2O_3 также рассчитывали, используя кинетическое уравнение первого порядка.

Построенный график зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (рис.1б) представляет собой прямые линии, имеющие наклон 55-60 градусов.

Изменение константы скорости разложения нефелиновых сиенитов с фосфорной кислотой от температуры подчиняется закону Аррениуса, что подтверждается линией зависимости $\lg K_{cp}$ от $1/T \cdot 10^3$ (рис.1в). Кажущуюся энергию активации процесса разложения нефелиновых сиенитов с фосфорной кислотой рассчитывали по уравнению Аррениуса, она составила 26.02 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в смешанной, близкой к кинетической области.

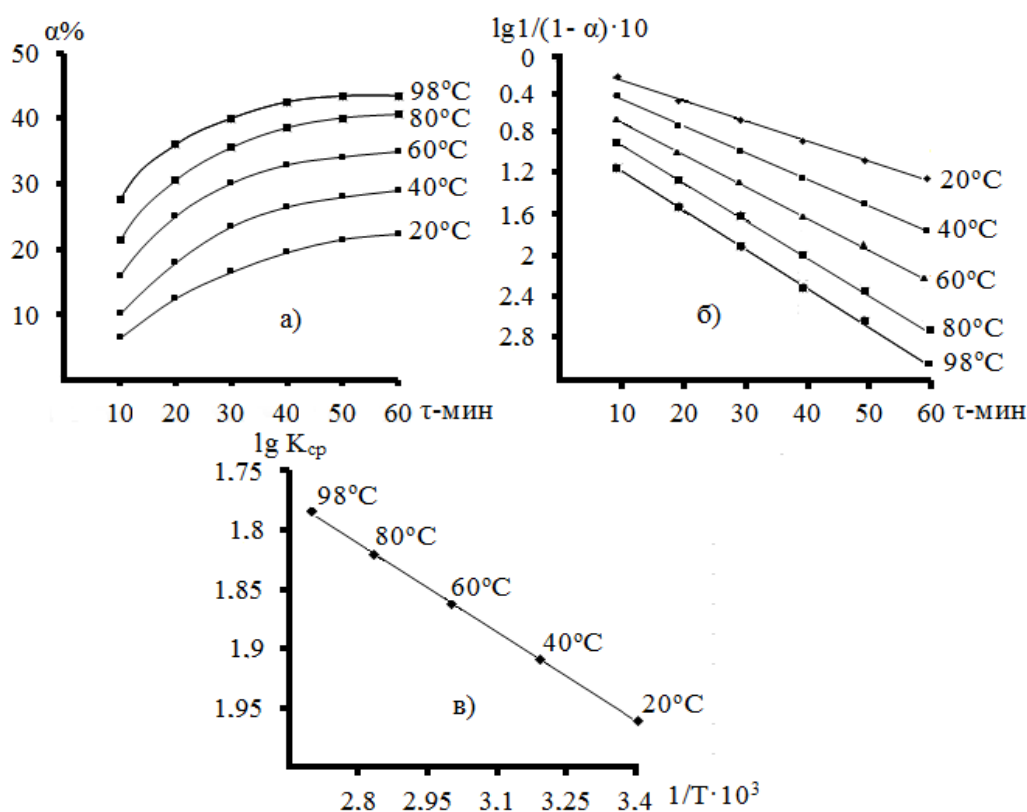


Рис. 2. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 из нефелиновых сиенитов месторождения Турпи с 30% H_3PO_4 от: продолжительности процесса разложения (а); зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (б) и зависимости $\lg K_{cp}$ от обратной абсолютной температуры $1/T \cdot 10^3$ (в).

Кинетические кривые нефелиновых сиенитов изучены в интервале температур 20-98°C (рис. 2). С увеличением температуры извлечение Al_2O_3 достигает 42-43% при 98°C.

Константы скорости разложения нефелиновых сиенитов рассчитывали, используя кинетическое уравнение первого порядка.

Построенный график зависимости $\lg 1/(1-\alpha) \cdot 10$ от времени (рис. 2б) представляет собой прямые линии, имеющие наклон, равный 53-55 градусам.

Изменение константы скорости разложения нефелиновых сиенитов с фосфорной кислотой от температуры процесса подчиняется закону Аррениуса, что подтверждается линией зависимости $\lg K_{cp}$ от $1/T \cdot 10^3$ (рис. 2в). Кажущуюся энергию активации процесса разложения нефелиновых сиенитов с фосфорной кислотой рассчитывали по уравнению Аррениуса, которая составила 13.02 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионной, близкой к смешанной области.

Таким образом, изучена кинетика разложения нефелиновых сиенитов месторождения Турпи с фосфорной кислотой и выявлено, что процесс разложения протекает для оксида железа в смешанной, близкой к кинетической области, а для оксида алюминия - в диффузионной, близкой к смешанной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кнорре Д.Г., Эмануил Н.М. Курс химической науки. 4-е изд. – М., 1984, 463 с.
2. Яблонский Г.С., Быков В.И., Горбань А.Н. Кинетические методы каталитических реакций. – Новосибирск: Наука (Сиб. отд.), 1983, 255 с.
3. Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э., Пулатов М.С., Мирсаидов У.М. Кинетика сернокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. – ДАН РТ, 2005, т. 48, № 11-12, с. 60-63.
4. Мирзоев Д.Х., Каюмов А.М., Мирзоев М.Х., Худойкулов М.М., Пулатов М.С. Кинетика сернокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. – ДАН РТ, 2012, т. 55, № 4, с. 317-321.
5. Каюмов А.М., Мирзоев Д.Х., Баротов А.М. Кинетика азотнокислотного разложения аргиллитов месторождения Чашма-Санг. – Изв. АН РТ, отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2015, № 2(159), с. 47-52.
6. Мирсаидов У.М., Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э. Комплексная переработка аргиллитов и каолиновых глин Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2016, 92 с.
7. Мирсаидов У.М., Сафиев Х. Комплексная переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья. – Душанбе, 1998, 238 с.

Д.Х.МИРЗОЕВ, Т.Б.ХОЛМАТОВ, Н.М.ЧАМОЛОВ, А.М.КАЮМОВ,
С.Ш.ИБРОҶИМОВА, Б.Я.ЮСУПОВ

ҶАНБАҲОИ КИНЕТИКИИ ТАҶЗИЯИ СИЕНИТҲОИ НЕФЕЛИНИИ КОНИ ТУРПИИ ТОҶИКИСТОН БО КИСЛОТАИ ФОСФАТ

Институти кимиёи ба номи В.И.Никитини АМИ Тоҷикистон

Кинетикаи таҷзияи сиенитҳои нефелинҳои кони Турпи бо кислотаи фосфат омукта шуда энергияи ҷағдолгардонии муайян шуд, ки барои Fe_2O_3 – 26.02 кҶ/мол, гузариши протсессро дар соҳаи омекта наздик ба кинетики нишон медиҳад.

Энергияи ҷағдолгардони протссеси таҷзияи сиенитҳои нефелинро барои Al_2O_3 – 13.02 кҶ/молро нишон дода гувоҳи аз гузариши протсессро дар соҳаи диффузиони наздик ба омекта нишон медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: синитҳои нефелинӣ, таҷзия. кинетика, кислотаи фосфат. энергияи фаъолгардонӣ.

D.Kh.MIRZOEV, T.B.HOLMATOV, N.M.JAMOLOV, A.M.KAYUMOV, S.Sh.IBROHIMOVA,
B.Y.YUSUPOV

**KINETIC ASPECTS OF DECOMPOSITION OF NEPHILINE SYENITES
FROM TURPI DEPOSIT OF TAJIKISTAN WITH PHOSPHORIC ACID**

V.I.Nikitin Institute of chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan

The kinetics of nephiline syenites decomposition from Turpi deposit of Tajikistan with phosphoric acid were studied, the activation energies were determined, for Fe_2O_3 it was found and is 26.02 kJ/mol, which means that process occurs in region.

The apparent activation energy of nephiline syenites of H_3PO_4 for Al_2O_3 was found and is 13.02 kJ/mol, which indicates that the process occurs in a diffusion region.

Key words: nephiline syenites, decomposition, kinetics, phosphoric acid, activation energy.

УДК 541.4:(4546.74.2 +548.736)

С.Г.ЁРМАМАДОВА

**ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ МЕРКАЗОЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ЖЕЛЕЗА(II) В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 14.06.2022 г.

Окредметрическим методом изучен процесс комплексообразования железа(II) с мерказолилом при температуре 298 К и ионной силе 0.5 моль/л. Установлено, что железо(II) с мерказолилом образует пять комплексных форм. Методом окредметрии определены состав, области доминирования координационных соединений железа(II) с мерказолилом. Константы образования комплексов определены с помощью окислительной функции.

Ключевые слова: железо, мерказолил, комплексообразование, константа устойчивости, ионная сила.

Актуальность темы. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие химии координационных соединений, связанное с широким применением этих соединений в пищевой промышленности, медицине, космических исследованиях, гальванотехнике и в сельском хозяйстве.

Одной из важных областей химии координационных соединений является изучение процессов комплексообразования в растворах [1].

Методом окислительного потенциала впервые изучены процессы комплексообразования координационных соединений железа с акриламидом в присутствии гетероионов (меди и марганца). Предложены модели образования комплексов, определены константы устойчивости координационных соединений, а также условия выделения гетеровалентного координационного комплекса железа, который в дальнейшем использован для получения на их основе гидрогелей [2].

Адрес для корреспонденции: Ёрмамадова Саврибегим Гулмамадовна. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет.
E-mail: ertamadova2015@mail.ru

Авторами работ [3] синтезированы новые комплексные соединения хлорида, нитрата и ацетата Co(II), Ni(II), Cu(II) и Zn(II) на основе лиганда L-2-амино-5-этилтио-1,3,4-тиадозола. Результаты ИК-спектроскопического анализа строения полученных соединений показали, что образуются комплексы с тетраэдрическим строением, где координационный полиэдр состоит из двух монодентатно связанных гетероциклических лигандов и двух ацидолигандов. Строение ацидолигандов не повлияло на реализацию тетраэдрического строения полученных комплексов.

Анализ данных литературы показывает, что сведений о полиядерных, смешано валентных, гетеровалентных комплексах железа(II) с мерказолилом в водных растворах различных полидентатных лигандов не обнаружено.

Целью настоящей работы является изучение процесса комплексообразования железа(II) с мерказолилом при 298 К и ионной силе 0.5 моль/л (Na_2SO_4), определение констант устойчивости образующихся комплексов и области их доминирования в растворе.

Экспериментальная часть

Проведение экспериментальных измерений предусматривало выполнение следующих предварительных работ: подготовку и проверку хлорсеребряного электрода; калибровку стеклянных электродов.

Концентрация ионов двухвалентного железа определялась бихроматометрическим методом в присутствии индикатора дифениламин сульфоната натрия. Мерказолил марки "хч" применялся без дополнительной очистки. Необходимые количества раствора мерказолила готовились растворением навески рассчитанного количества лиганда. Соль Na_2SO_4 очищалась перекристаллизацией насыщенного водного раствора. Серная кислота марки «х.ч.» использовалась без предварительной очистки. Концентрация гидроксида натрия определялась методом прямого титрования 0.1 М раствором соляной кислоты HCl в присутствии индикатора метилового оранжевого. Химическая посуда, используемая при выполнении экспериментальных работ, промывалась хромовой смесью, проточной водой, затем поласкалась дистиллированной водой. Хромовая и кислотная смеси были приготовлены согласно соответствующих методик [4-6].

Результаты их обсуждение

Нами использован окредметрический метод, который основан на снятии экспериментальных зависимостей (φ , мВ) от различных концентрационных переменных: pH ($-\lg h$), $pC_{\text{Fe(II)}} (-\lg C_{\text{Fe(II)}})$, и $pC_L (-\lg C_{\text{HL}})$, где h -активность ионов водорода, а $C_{\text{Fe(II)}}$ и C_{HL} -концентрации Fe(II) и мерказолила соответственно.

Состав комплексных соединений железа(II) в водном растворе мерказолила выполнен в области концентрации металла комплексообразователя $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л, ионной силы 0.5 моль/л, лиганда $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л в широкой области pH и температуре 298 К.

Для определения общего числа коомплексных частиц и места их доминирования в системе Fe(II) – Мерк – Na₂SO₄ – H₂O при 298 К и J= 0.5 моль/л были сняты зависимости окислительного потенциала от рН раствора, которые приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что в области рН от 3.8 до 4.8 на линейном участке φ от концентрации окисленной формы железа (II) выявлено, что угловым коэффициент равен $-u/2$, а на линейном участке от 5.0 до 6.0 угловым коэффициент равен $-u$.

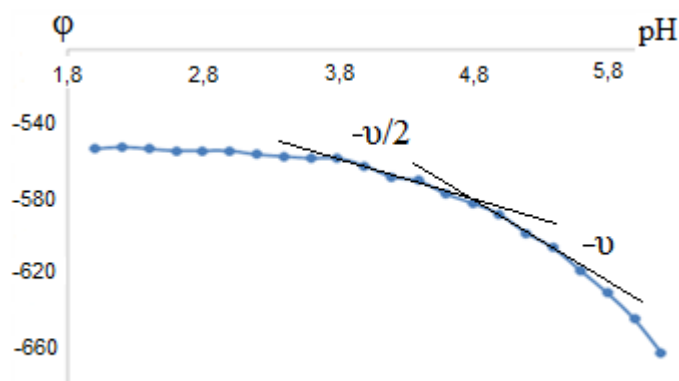


Рис. 1. Зависимость окислительного потенциала φ от рН раствора система: Fe(II) – Мерк – Na₂SO₄ - H₂O, 298 К; I=0.5 моль/л; C_{лиганд}·1·10⁻² моль/л; C_{металл}·1·10⁻⁴ моль/л;

Угловым коэффициент, который получен экспериментальным φ от обратного логарифма концентрации железа (II), имеет значение равное $-u$, $-u/2$ и, сравнивая эти значение с теоретическим уравнением (1), получим $-u/q = -u/2$ и $q=1$ [7].

Число металла комплексообразователя (ядренность) Fe (II), входящего в состав комплексных соединений, было установлено на основании зависимостей φ от концентрации ионов железа (II) (рис. 2).

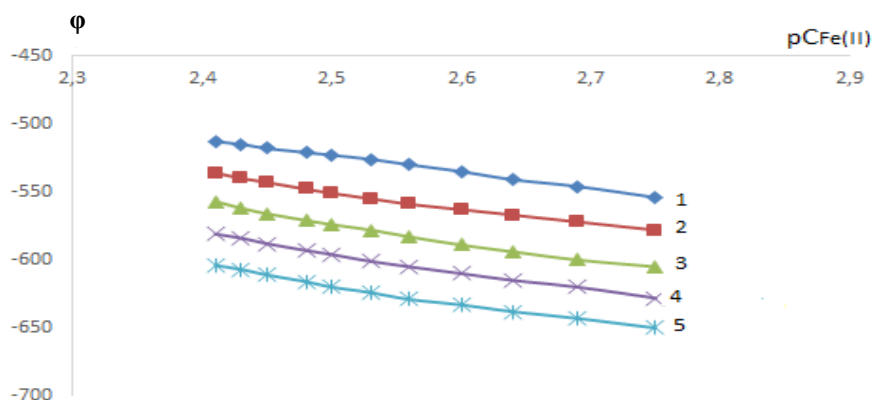


Рис. 2. Зависимость окислительного потенциала φ от pC_{Fe(II)} для системы Fe(II) – Мерк – Na₂SO₄ – H₂O, при T=298 К, J=0.5 моль/л C_L=1·10⁻² моль/л.

Кривые относятся к рН: 1 – 2.5; 2 – 3.0; 3 – 3.5; 4 – 4.0; 5 – 4.5

Как видно из рис. 2, при различной области рН раствора, то есть от рН 2.5 до рН 4.5 в растворе образуются различные частицы с участием металла-комплексобразователя.

Для уточнения ядерности лиганда нами были сняты зависимости окислительного потенциала от концентрации лиганда (рис. 3)

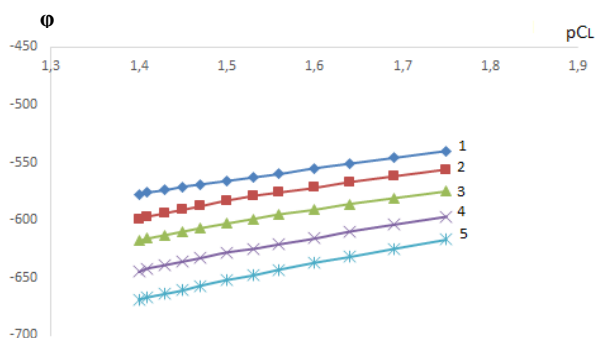


Рис. 3. Зависимость окислительного потенциала ϕ от pC_L для системы Fe(II) – Мерк – Na₂SO₄ – H₂O, при 298 К, J = 0.5 моль/л и $C_L = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Кривые относятся к рН: 1 – 2.5; 2 – 3.0; 3 – 3.5; 4 – 4.0; 5 – 4.5

Как видно из рисунка, все линии имеют прямолинейный характер, который свидетельствует об участии лиганда в процессе комплексообразования железа(II) с мерказолилом при 298 К и J= 0.5 моль/л.

Производное окислительное потенциала ϕ от $pC_{Fe(II)}$ определяют следующим уравнением:

$$[\partial\phi/\partial pC_{Fe(II)}]_{pH, pCHL} = -v/2q. \quad (1)$$

С учетом наклонов всех экспериментальных кривых зависимостей системы Fe(II)–Мерк–Na₂SO₄–H₂O, составлена модель реакций комплексообразования, которая представлена в табл. 1.

Таблица 1

Химическая модель реакций образования комплексов Fe(II) при температуре 298 К и ионной силе раствора 0.25 моль/л

№	Fe (II)	H	L	ОН	Состав комплексов	$\beta_{q,p.s,k}$
	q	s	l	к		
1	1	1	1	1	[FeHМеркОН] ⁺	β_{1111}
2	1	1	1	0	[FeHМерк] ²⁺	β_{1110}
3	1	0	1	1	[FeМеркОН]	β_{1011}
4	1	0	2	0	[Fe(Мерк) ₂]	β_{1020}
5	1	0	1	0	[FeМерк] ⁺	β_{1010}

По кривым ЭДС от рН с использованием следующего уравнения:

$$f = \frac{C_{red}}{C_{ox}} \exp \frac{E - E^\circ}{v} \quad (2)$$

рассчитаны значения экспериментальной окислительной функции, построена её зависимость от рН (кривые 1 и 2 рис. 4).

Теоретическая окислительная функция f_t^0 выведена согласно анализа всех экспериментальных данных с учетом состава образующихся координационных соединений:

$$f_t^0 C_0 = \frac{h^4}{(h^4 + \beta_{1110} K_1 C_{a1} h^2 + \beta_{1220} K_1^2 C_{a1}^2 + \beta_{1010} K_1 K_2 C_{a1} h^2 + \beta_{1020} K_1^2 K_2^2 C_{a1} + \beta_{1011} K_1 K_2 C_{a1} h + \beta_{1111} K_1 C_{a1} h + \beta_{1112} K_1 C_{a1} h + K_{1001} h^3 + K_{1002} h^2 + K_{1003} h^1)}. \quad (3)$$

Кроме того, при вычислении теоретической окислительной функции и расчете констант образования комплексов были сделаны приближения в значениях равновесных концентраций комплекса и ионов железа, поэтому нами принята доверительная вероятность (P), равная 0.75.

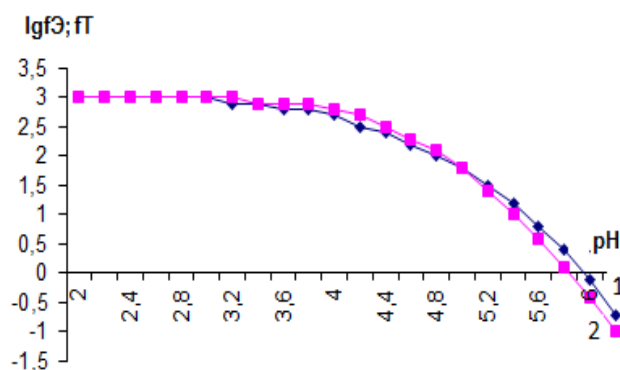


Рис. 4. Зависимости логарифмических значений экспериментальной - f , (1) и теоретической f_t (2) окислительной функции от рН для системы Fe (II) – Мерк – H₂O при температуре 298 К, I = 0.5; $C_{Fe(II)} = 1 \cdot 10^{-4}$ и $C_{HCl} = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Совпадение значений логарифмов экспериментальной и теоретической окислительной функций данного рисунка говорит о правильности определенных составов координационных соединений в системе Fe(II)–Fe(0)–Мерк-Н₂O. Аналогично приведена итерация двух кривых рис. 4.

В табл. 2 приведены величины констант устойчивости комплексов железа(II) рассчитанные по методике, предложенной в работе [8].

Для выявления возможности существования комплексов более наглядную и количественную характеристику дают величины степени накопления комплексов. Эти величины позволяют судить не только об областях существования и доминирования, но и установить возможность образования комплекса. Вычисленные с помощью уравнений (2, 3) численные значения констант образования образующихся комплексных частиц (табл. 2), равновесные концентрации свободных и связанных в двухядерном комплексе ионов железа, рассчитанные методом последовательного приближения и позволили рассчитать мольные доли свободных и связанных в комплекс ионов железа(II) [9]. Диаграммы распределения представлены на рис. 5 в виде зависимости степени накопления α_{qpslk} от рН.

Таблица 2

Величины констант устойчивости комплексов железа(II)
с мерказолилом в водном растворе

Состав комплексов	[Fe(Merk) ₂ (H ₂ O) ₂]	[FeMerk(H ₂ O) ₃] ⁺	[FeMerk(H ₂ O) ₂ OH]	[FeHМerk(H ₂ O) ₂ OH]	[FeHМerk(H ₂ O) ₃] ⁺
Логарифм константа устойчивости	lgβ ₁₀₂₀	lgβ ₁₀₁₀	lgβ ₁₀₁₁	lgβ ₁₁₁₁	lgβ ₁₁₁₀
	11,3±0,179	5,1±0,179	6,48±0,178	2 ± -0,822	2,6±0,178

Мольные доли равновесных частиц в исследованной окислительно-восстановительной системе были вычислены с использованием общей формулы $N_i = n_i / \sum n_{ij}$. Исходя из этого выражения, молярные доли комплексов представим в виде следующих уравнений:

$$\alpha_{\text{комплекс}} = C_{\text{комплекс}} / C^0; (4) \quad \alpha_{\text{Fe(II)}} = C_{\text{Fe(II)}} / C^0. (5)$$

В уравнениях (4) и (5) $C_{\text{комплекс}}$ – равновесная концентрация комплекса, C^0 и $\alpha_{\text{Fe(II)}}$ – мольные доли ионов железа [10].

Уравнение (5) позволило вычислить мольные доли свободных и связанных в комплексе ионов железа при разных ионных силах и температурах, которые представлены в виде диаграмм распределения на рис. 5.

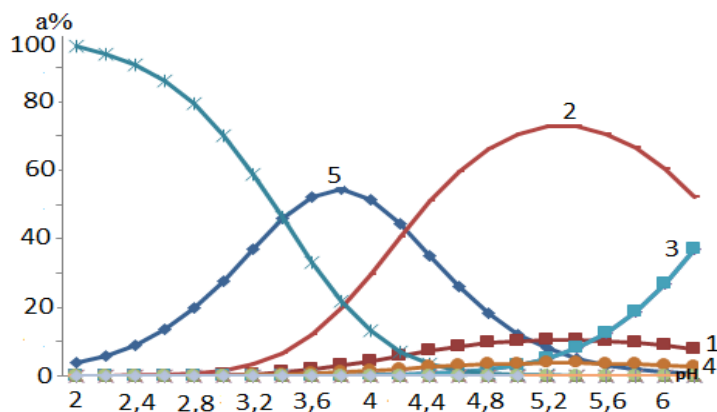


Рис. 5. Диаграммы распределения свободных и связанных в координационных соединений ионов Fe(II). Обозначение кривых следующее: 1 – [Fe(Merk)₂(H₂O)₂]; 2 – [FeMerk(H₂O)₃]⁺; 3 – [FeMerk(H₂O)₂OH]; 4 – [FeHМerk(H₂O)₂OH]⁺; 5 – [FeHМerk(H₂O)₃]⁺

Выводы

Таким образом на основании этих зависимостей было обнаружено, что при ионной силе 0.5 моль/л, температуре 298 К, концентрации железа $C_{\text{Fe(II)}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л и мерказолила $C_{\text{Мерк}} = 1 \cdot 10^{-2}$ моль/л существуют следующие комплексные частицы:

$[\text{Fe}(\text{Merk})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$; $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_3]^+$; $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_2\text{OH}]$; $[\text{FeHMerk}(\text{H}_2\text{O})_2\text{OH}]^+$;
 $\text{FeHMerk}(\text{H}_2\text{O})_3]^{2+}$

Формами комплексных соединений в нашем случае являются:

$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]$ – аква форма; $[\text{FeOH}]^+$ – гидролизная форма; $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ – смешаннолигандные ацидо аква форма; $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_2\text{OH}]$ – смешаннолигандные ацидо аква гидроксо формы.

Максимальная степень накопления приходится на комплекс состава $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ и при pH 5.4 составляет 70%. В изученном интервале pH от 3.8-4.0 образуется комплексная частица состава $[\text{Fe}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ и составляет 60%. Максимальное содержание для $[\text{FeMerk}(\text{H}_2\text{O})_2\text{OH}]$ – 40 %, для $[\text{Fe}(\text{Merk})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$ - 8% и для $[\text{FeHMerk}(\text{H}_2\text{O})_2\text{OH}]^+$ этот параметр составляет менее 5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котегов К.В., Фадеева Н.В., Кукушкин Ю.Н. – Журн. общей химии, 1973, т. 43, вып. 5, с. 1182-1184.
2. Рахимова М.М. Комплексообразование ионов Fe, Co, Mn и Cu с одно- и многоосновными органическими кислотами, нейтральными лигандами в водных растворах. Дисс. д.х.н. – Душанбе, 2013, 328 с.
3. Торамбетов Б.С. ИК-спектроскопическое исследование комплексных соединений 2-амино-5-этилтио-1,3,4-тиадиазола с ионами кобальта (II), никеля(II), меди(II) и цинка. – Universium: Журн. Химия и биология, 2020, № 9 (75), с. 57-60.
4. Сусленникова В.М., Киселева Е.К. Руководство к приготовлению титрованных растворов. – Л.: Химия, 1968, с. 45-71.
5. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. – М.: АН СССР, 1962, 311с.
6. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. Пер. с франц. Ю.Ю.Лурье. – М.: Химия, 1969, с. 930.
7. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений. Изд. 3-е, – М.-Л.: «Химия», 1966, 631с.
8. Долтенков В.А., Колесников Ю.В. Excel-2002, наиболее полное руководство в подлиннике (Дюссельдорф, Киев, Москва, Санкт Петербург). – Спб.: БХВ – Петербург, 2002, 1072 с.
9. Раджабов, У.Р., Ёрмамадова С.Г., Рахимова Р.Н., Шарипов И.Х Биологические свойства азольных координационных соединений Fe, Cu, Zn. Вестник Таджикского национального университета, 2013, №1/1(102), с. 135-138, ISSN 2074-1847.
10. Юсуфов З.Н., Ашуров А., Давлатшоева Д.А. Моделирование и программирование в химии. Часть 1. Моделирование. – Душанбе: Сино, 2003, 65 с. (На таджикском языке).

С.Г.ЁРМАМАДОВА

РАВАНДИ КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ МЕРКАЗОЛАТИИ ОҶАН (II) ДАР МУХИТИ ОБИ

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Бо усули оксредметри раванди комплексҳосилкунии оҳан(II) бо меркозалил дар ҳарорати 298 K ва қувваи ионии 0.5 моль/л омӯхта шудааст. Муайян карда шуд, ки пайвасти оҳан(II) бо меркозалил панҷ зарраи комплексӣ ҳосил мекунад.

Бо усули оксредметрӣ таркиб, ҷойи ҳосилшавии пайвастагиҳои координатсионии оҳан(II) бо меркозалил муайян карда шуд. Бо ёрии функсияи оксидонӣ константҳои устуворӣ муайян карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: меркозалил, комплексҳосилкунӣ, константаи устуворӣ, қувваи ионӣ.

S.G.ERMAMADOVA

FORMATION PROCESSES OF IRON (II) MERCALATE COMPLEXES IN AQUEOUS ENVIRONMENT

Tajik National University

The process of complexation of iron (II) with mercosalyl at a temperature of 298 K and an ion layer of 0.5 mol/l was studied by an oxo-redmetric method. The composition, the regions of dominance of coordination compounds of zinc with mercosalyl, were determined by the method of oxedmetry, and the constants of formation were determined using the oxidation function.

Key words: mercosalyl, complexation, constant stability, ionic strength.

УДК 546.72:547.781.1

И.У.КАМОЛОВА

**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗА(II) С МЕРКАЗОЛИЛОМ ОТ ИОННОЙ СИЛЫ РАСТВОРА**

*Таджикский национальный университет
Поступила в редакцию 14.06.2022 г.*

В работе приведены зависимости окислительного потенциала от концентрационных переменных ($E - pH$, $E - pC_{ox}$ и $E - pC_{L}$), а также уточненных значений констант образования комплексов. В то же время показано, что в системе $Fe(0)$ - $Fe(II)$ -Мерказолил – H_2O , 298 К и различных ионных силах, ионная сила оказывает существенное влияние на константы образования и области доминирования установленных координационных соединений.

Ключевые слова: железо, мерказолил, комплексообразование, константа устойчивости, ионная сила.

Железо относится к первому ряду переходных d-элементов и проявляет переменную степень окисления. Высокий эффективный заряд атома железа способствует его способности к комплексообразованию и участию в окислительно-восстановительных процессах биосистем, в связи с чем он относится к наиболее необходимым «металлам жизни». Железо постоянно присутствует в живых организмах в виде всевозможных комплексных соединений с различного рода органическими лигандами, в том числе и аминокислотами [1-2]

Целью настоящей работы является изучение влияния ионной силы раствора на процесс комплексообразования железа (II) с мерказолилом.

Экспериментальная часть

Методом окислительного потенциала Кларка-Никольского при температуре 298 К и различных ионных силах раствора (Na_2SO_4) 0.1; 0.25; 0.5; 1.0 моль/л изучена окисли-

Адрес для корреспонденции: Камолова Икlima Усмоновна. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет.
E-mail: iklima.kamolova.94@mail.ru

тельно-восстановительная система Fe(0)- Fe(II)- Мерказолил - H₂O, 298 К. Согласно метода оксидметрии получены экспериментальные зависимости окислительного потенциала (φ) (или ЭДС) системы от одного из параметров: $E - pH$, $E - pC_{ox}$ и $E - pC_L$, где: pH , pC_{ox} и pC_L показатели концентраций ионов водорода, окисленной и восстановленной формы металла, а также лиганда, соответственно. Все эксперименты для предотвращения окисления Fe(II) проводились под током газообразного азота.

Первый рабочий раствор приготовлен в мерной колбе (V=25мл) растворением заданных количеств солей железа(II) с концентрацией $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л и лиганд $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Для создания ионной силы рабочего раствора использован сульфат натрия.

Оценка электродной функции, то есть калибровка железного электрода, проведена по его подчинению уравнения Нернста. Измерение ЭДС гальванического элемента, составленного из железного и хлорсеребряного электродов, осуществлено с помощью уравнения:

$$\varphi_{Fe(II)/Fe(0)} = E - \varphi_{Ag / AgCl, Cl}, \quad (1)$$

где E – ЭДС гальванического элемента, $\varphi_{Fe(II)/Fe(0)}$ – потенциал; железного электрода, $\varphi_{Ag / AgCl, Cl}$ – потенциал хлорсеребряного электрода.

Чистоту лиганда, то есть мерказолила определяли с помощью температуры плавления и хроматографии. Температура плавления является показателем степени чистоты исследуемого вещества. Для этого тщательно смешивают вещество в двух разных соотношениях. Если температура плавления смеси в обоих случаях остается неизменной и равной температуре плавления известного вещества, то делают вывод об идентичности веществ. Однако в некоторых редких случаях примесь не вызывает ожидаемой депрессии точки плавления, и температура плавления может быть равной или даже выше температуры плавления компонентов смеси. Температура плавления мерказолила (х.ч) равна 143-145°C.

Метод хроматографии. Сначала растворяем лиганд в определённом количестве воды и через капилляр наносим точку на нижнюю часть хроматографической бумаги. Пластинку вертикально поместили в камеру, которая заполнена разделяющей смесью до высоты 5 мм. Состав разделяющей смеси бутанол, уксусная кислота, вода (4-1-1). Пластинку выдерживали в камере до тех пор, пока высота подъёма фронта восходящего растворителя не достигала отмеченной длины разделительного пути. По окончании хроматографического разделения пластинку вынули из камеры и сушили при комнатной температуре. Результаты работы показали, что при исследовании на фильтровальной бумаге появляется только одно пятно, что свидетельствует о чистоте лиганда.

Результаты их обсуждение

Исследование процессов комплексообразования железа(II) с мерказолилом показало, что последовательное формирование исследуемых координационных частиц с протонированной формой мерказолила протекает в интервале pH от 2.0 до 6.0. Выше этого

значения рН потенциал становится неустойчивым, что объясняется образованием гидроксидов железа(II).

На основании анализа зависимостей окислительного потенциала от концентрационных переменных, а также уточненных значений констант образования комплексов можно заключить, что состав комплексов в пределах ионных сил от 0.1 до 1.0 моль/л не меняется. В то же время, ионная сила оказывает существенное влияние на константы образования и области доминирования установленных координационных соединений [3-4]. Также установлено, что за счет эффектов, оказываемых ионами железа(II) значение логарифмов констант с их участием в некоторых комплексах к примеру, FeHLON принимают отрицательные значения. В комплексах с большим числом атомов мерказолила наблюдали, что логарифмы констант образования имеют положительные значения (FeL).

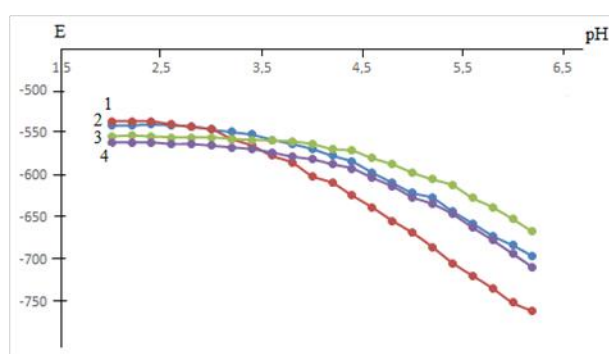


Рис. 1. Зависимость окислительного потенциала от рН в системе Fe(0) – Fe(II) – Мерк – Н₂О, J= (1= 0.1; 2= 0.25; 3= 0.5; 4= 1.0 моль/л), T=298 К.

Как видно из данных зависимостей с повышением ионной силы раствора образование комплексных частиц между железом и мерказолилом сдвигается в слабой щелочной области рН, то есть к рН 4.5 до 6.5.

Константы устойчивости комплексных частиц железа с мерказолилом определены методом итерации экспериментальной и теоретической окислительной функции с использованием соответствующих уравнений. Если проанализировать значения констант устойчивости, то можно заметить, что с изменением фонового электролита и ионной силы раствора их величины изменяются существенно. Так, например, в системе железо(II)-Мерк-Н₂О комплекс состава [FeL]²⁺ образуется при всех ионных силах раствора в максимальном количестве. А комплекс [FeHLON] принимает отрицательное значение. Это связано с тем, что эта комплексная Fe(HL)₂ частица образуется в очень малом количестве в щелочной среде.

Таблица 1

Константа образования комплексных частиц в системе Fe(0) – Fe(II) – Merk – H₂O,
 $J = (1= 0.1; 2= 0.25; 3= 0.5; 4= 1.0 \text{ моль/л}), T=298 \text{ К}$

Ионная сила Моль/л	Логарифм константа образования комплексных частиц				
	Fe(HL) ₂	FeL	FeLOH	FeHLOH	FeHL
0.1	6.0±0.2	13 ± 0.18	9.0 ± 0.17	-0.5 ± 2.8	1.9 ± 0.2
0.25	5.1 ± 0.18	11.3 ± 0.18	6.5 ± 0.18	-2 ± 3.8	2.6 ± 0.18
0.5	3.0 ± 0.18	9.25 ± 0.18	4.3 ± 0.18	-3 ± 5.8	1.9 ± 0.18
1.0	4.0 ± 0.2	10.3 ± 0.18	5.4 ± 0.18	-3 ± 4.8	2.5 ± 0.18

Многие исследователи использовали уравнение (2) в основном для описания мономерных координационных соединений [5-8].

Зависимость констант образования от ионной силы можно выразить с помощью эмпирических уравнений Дэвиса (2) и Васильева (3) [9-10]:

$$\lg\beta_c = \lg\beta_0 + \Delta z^2 \cdot A_\gamma \cdot [(J^{1/2}/1 + J^{1/2}) - J], \quad (2)$$

$$\lg\beta_c = \lg\beta_0 + \Delta z^2 \cdot A_\gamma \cdot J^{1/2}/(1 + 1,6 \cdot J^{1/2}) + v \cdot J, \quad (3)$$

где A_γ – константа теории Дебая-Хюккеля, равная 0.508; Δz^2 – алгебраическая сумма квадратов зарядов ионов; J – ионная сила раствора, $\lg\beta_0$ – термодинамическая, а $\lg\beta_c$ – концентрационная константа образования.

Для нахождения постоянных коэффициентов, входящих в уравнение Васильева (3) необходимо построить график зависимости $\lg\beta_c - \lg\beta_0 + \Delta z^2 \cdot A_\gamma \cdot J^{1/2}/(1 + 1,6 \cdot J^{1/2})$ от ионной силы. Построенная, таким образом, зависимость на основании вычисленных значений концентрационных констант образования приведена на рис. 2.

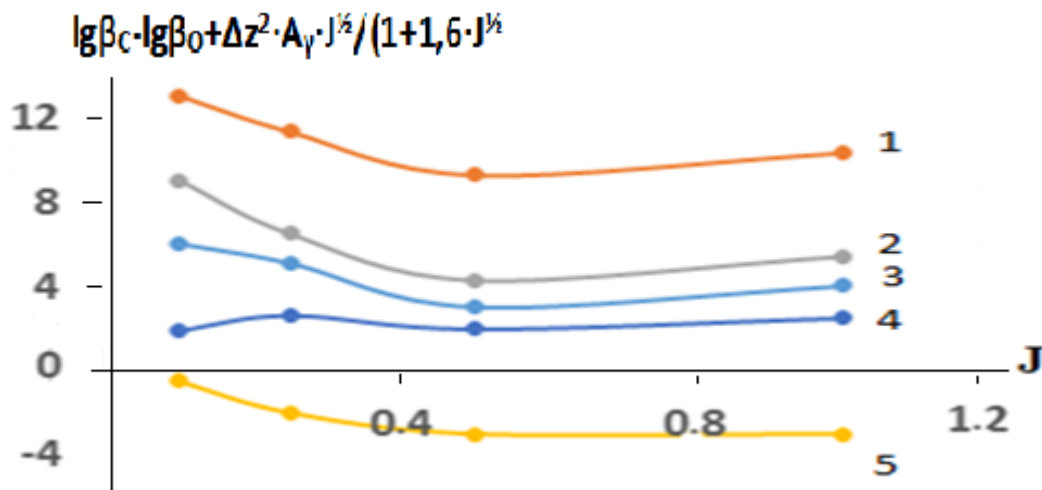


Рис. 2. Зависимость $(\lg\beta_c - \lg\beta_0 + \Delta z^2 \cdot A_\gamma \cdot J^{1/2}/(1 + 1,6 \cdot J^{1/2}))$ от ионной силы раствора при 298 К в системе Fe(II) – Merk – вода, $C_{\text{Fe(II)}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Кривые относятся: 1 – [FeL]⁺; 2 – [FeLOH]; 3 – [Fe(HL)₂]²⁺; 4 – [FeHL]²⁺; 5 – [FeHLOH]⁺.

В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость логарифма констант устойчивости комплексов железа(II) с мерказолилом от ионной силы. Из этих графиков следует, что зависимость $\lg\beta_{\text{гпслк}}$ от ионной силы зависит от состава комплексов, а также от природы лиганда.

Как видно из рис. 2 с ростом ионной силы раствора, константа образования всех форм комплексов, образующихся в системе железа – мерказолила уменьшается, а затем принимает постоянное значение.

Это свидетельствует о том, что с увеличением ионной силы, молекулы воды из внутренней сферы комплекса вытесняются, что приводит к незначительному уменьшению константы устойчивости. При дальнейшем увеличении ионной силы раствора, сульфат ионы входят во внутреннюю сферу комплекса, и константа устойчивости принимает постоянное значение.

В исследованной нами системе образуются только моноядерные координационные частицы (табл. 2)

Таблица 2

Состав координационных соединений и соответствующие им уравнения при температуре 298 К

Состав комплекса	Выражение зависимости $\lg K_{\text{обп}}$ от ионной силы раствора 0.1 моль/л
$[\text{FeL}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = 12.57 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.1 \cdot J$
$[\text{FeLOH}]$	$\lg \beta_{\text{C}} = 8.77 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.12 \cdot J$
$[\text{Fe}(\text{HL})_2]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 5.57 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.081 \cdot J$
$[\text{FeHL}]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 2.01 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) - 0.03 \cdot J$
$[\text{FeHLOH}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = -0.75 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.068 \cdot J$
Состав комплекса	Выражение зависимости $\lg K_{\text{обп}}$ от ионной силы раствора 0.25 моль/л
$[\text{FeL}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = 11.12 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.1 \cdot J$
$[\text{FeLOH}]$	$\lg \beta_{\text{C}} = 6.56 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.12 \cdot J$
$[\text{Fe}(\text{HL})_2]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 4.87 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.081 \cdot J$
$[\text{FeHL}]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 2.32 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) - 0.03 \cdot J$
$[\text{FeHLOH}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = -2.21 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.068 \cdot J$
Состав комплекса	Выражение зависимости $\lg K_{\text{обп}}$ от ионной силы раствора 0.5 моль/л
$[\text{FeL}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = 9.20 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.1 \cdot J$
$[\text{FeLOH}]$	$\lg \beta_{\text{C}} = 4.49 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.12 \cdot J$
$[\text{Fe}(\text{HL})_2]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 2.93 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.081 \cdot J$
$[\text{FeHL}]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 1.81 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) - 0.03 \cdot J$
$[\text{FeHLOH}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = -1.81 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.068 \cdot J$
Состав комплекса	Выражение зависимости $\lg K_{\text{обп}}$ от ионной силы раствора 1.0 моль/л
$[\text{FeL}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = 10.63 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.1 \cdot J$
$[\text{FeLOH}]$	$\lg \beta_{\text{C}} = 5.76 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.12 \cdot J$
$[\text{Fe}(\text{HL})_2]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 4.31 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.081 \cdot J$
$[\text{FeHL}]^{2+}$	$\lg \beta_{\text{C}} = 2.72 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) - 0.03 \cdot J$
$[\text{FeHLOH}]^+$	$\lg \beta_{\text{C}} = -2.72 + 0.508 \cdot J^{1/2} / (1+1.6 \cdot J^{1/2}) + 0.068 \cdot J$

Графическим способом были найдены значения коэффициентов из уравнения Васильева (3), которые выражаются предложенным нами эмпирическим уравнением, приведенным в табл. 2.

Таблица 3

Значения термодинамических и концентрационных констант образования моноядерных комплексов железа (II) с мерказолилом при 298.16 К ($\lg\beta \pm 0.02$)

Состав $\lg\beta$ J	FeL		FeLOH		Fe(HL) ₂		FeHL		FeHLOH	
	$\lg\beta_c$		$\lg\beta_c$		$\lg\beta_c$		$\lg\beta_c$		$\lg\beta_c$	
	теор	экс	теор	экс	теор	экс	теор	экс	теор	экс
0.00	12.57		8.77		5.57		2.01		-0.95	
0.10	12.82	13.0	9.07	9.00	5.79	6.0	1.61	1.89	-0.75	-0.5
0.25	11.12	11.3	6.56	6.47	4.87	5.1	2.32	2.6	-2.21	-2.0
0.50	9.20	9.25	4.49	4.27	2.93	3.0	1.81	1.95	-1.81	-3.0
1.00	10.63	10.3	5.76	5.40	4.31	4.0	2.72	2.47	-2.72	-3.0
B	0.10		0.12		0.081		0.03		0.068	

Константы, рассчитанные из экспериментальных данных и теоретически вычисленные с помощью уравнения (3), находятся в хорошем согласии. Термодинамические константы получены экстраполяцией на нулевую ионную силу.

Выводы

Выявлено, что в выбранных условиях эксперимента ионная сила не влияет на состав образующихся координационных частиц, но оказывает существенное влияние на численные значения констант образования и области доминирования комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульям Д. Металлы жизни. – М.: Мир, 1975, 236 с.
2. Никольский Б.П., Пальчевский В.В., Пендин А.А., Якубов Х.М. Оксредметрия. – Л.: Химия, 1975, 304 с.
3. Юсупов З.Н. Способ определения состава и констант образования координационных соединений. Патент РТ. № 1. 297, 2001 г. заявка №98000510. Оpub. в бюл. № 21.
4. Раджабов У.Р., Ёрмамадова С.Г., Юсупов. З.Н. Изучение равновесия комплексообразования в системе Fe(II)-Fe(III) – дибазол – вода. – Душанбе: 2001, 56 с.
5. Ёрмамадова С.Г., Раджабов У., Юсупов З.Н. Состав комплексов железа(II) – железа(III) с дибазолам. – Душанбе, 2002, 40 с.
6. Ёрмамадова С.Г., Раджабов У., Юсупов З.Н. Координационные соединения Fe(II)-Fe(III), образующиеся в водных растворах дибазола. – Душанбе, 2001, с. 103-105.
7. Ёрмамадова С.Г. Комплексообразование железа(II) и железа(III) с дибазолом. – Душанбе, 2002, 15 с.
8. Раджабов У.Р., Имомов Р.Б., Юсупов З.Н., Ёрмамадова С.Г. Гомо- и гетеровалентные координационные соединения Fe(III)-Fe(II) с дибазолом. – Душанбе: Сино, 2002, с. 99-100.
9. Васильев В.П. Термодинамические свойства растворов электролитов. – М.: Высшая школа, 1982, 320 с.
10. Васильев В.П. Термодинамика реакций комплексообразования в водном растворе. – Красноярск, 1987, с 5-8

И.У.КАМОЛОВА

**ВОБАСТАГИИ РАВАНДҲОИ КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ ОҲАН (II) БО
МЕРКАЗОЛИЛ АЗ ҚУВВАИ ИОНИИ МАҲЛУЛ**

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар асоси таҳлили вобастагии потенциали оксидшави ба тағйирёбандаҳои консентратсия, инчунин арзишҳои тозашудаи константаҳои ташаккули комплекс метавон хулоса кард, ки таркиби комплексҳо дар доираи қувваи ионҳо аз 0.1 то 1.0 моль/л тағйир намеёбад. Дар баробари ин, қувваи ионӣ ба константаҳои ташаккул ва доменҳои бартарияти пайваستاгӣҳои муқарраршудаи координатсионӣ таъсири калон мерасонад.

Калимаҳои калидӣ: оҳан, мерказолил, комплекссозӣ, доимии устуворӣ, қувваи ионӣ.

I.U.KAMOLOVA

**DEPENDENCE OF COMPLEX FORMATION PROCESSES OF IRON (II)
WITH MERCAZOLIL ON THE IONIC STRENGTH OF A SOLUTION**

Tajik National University

Based on the analysis of the dependences of the oxidizing potential on the concentration variables, as well as the refined values of the complex formation constants, it can be concluded that the composition of the complexes within the range of ionic strengths from 0.1 to 1.0 mol/L does not change. At the same time, the ionic strength has a significant effect on the formation constants and the domains of dominance of the established coordination compounds.

Key words: iron, mercasoly, complexation, stability constant, ionic strength.

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

№1 (190), 2023 г.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 615.1/4 (575.3-25)

Р.А.СУЛТОНОВ, У.Р.РАДЖАБОВ, С.ДЖ.ЮСУФИ*, Г.Ф.НАВРУЗЗОДА, И.Х.ЮСУПОВ**,
Х.К.МАХКАМОВ***

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА МОЛЕКУЛЯРНУЮ ДИНАМИКУ
ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА СЕЛЕКЦИОННОГО СОРТА
«АСТРАХАНЬ - 2013» ПО ДАННЫМ МЕТОДА СПИНОВЫХ МЕТОК

*ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет
имени Абуали ибни Сино»,*

**ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Министерства здраво-
охранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан»,*

***Физико-технический институт им.С.У.Умарова НАНТ,*

****Институт химии им.В.И.Никитина НАНТ*

Поступила в редакцию 23.01.2023 г.

Методом спиновой метки изучено влияние влажности на молекулярную динамику белого хлопкового волокна сорта «Астрахань-2013», полученного из семян, модифицированных биологически активным раствором. Показано, что спектральные и динамические параметры, характеризующие подвижность спиновой метки, зависят от степени увлажнённости образцов. Установлено, что при относительной влажности $P/P_s \geq 0.60$ проявляются новые компоненты спектра ЭПР (h' и h''), относящиеся к быстро вращающему радикалу, свидетельствующие о появлении структурных дефектов и о структурных переходах в хлопковом волокне.

Ключевые слова: влажность, молекулярная динамика, хлопковое волокно, «Астрахань-2013», спиновые метки.

На астраханской опытной станции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Вавилова РФ создали сразу девять новых сортов хлопчатника и даже смогли вырастить хлопок уникальной окраски, а во Всероссийском научно-

*Адрес для корреспонденции: Раджабов Умарали. 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 139. Таджикский государственный медицинский университет.
E-mail: umarali55@mail.ru*

исследовательском институте орошаемого овощеводства и бахчеводства (ВНИИОБ, Астрахань) разработано два сорта белого хлопка, изначально ориентированных на южнороссийский регион. Сорта называются АС-1, АС-2 и др. [1, 2]. В августе 2017 г. ученые из ВНИИОБ вывели особо прочный сорт хлопчатника АС-3, то есть третий тип волокна, который дает стабильно высокий урожай. Этот сорт отличается от других качеством, белизной, что немаловажно, и прочностью, например, отлично подойдет для технической промышленности. Кроме того, он даёт стабильно высокий урожай – 4 т. с га (обычные сорта не более 3 т. с га) и подходит для выращивания в промышленных масштабах на юге России». Аббревиатура АС, кстати, расшифровывается как "Астраханский", но помимо Астраханской области эти сорта уже успешно апробированы в экспериментальном хозяйстве Ставропольского края. Вместе с тем ученые ВНИИОБ продолжают работу над сортами с природным окрашенным волокном [3, 4]. В частности, это хлопок с голубым оттенком для производства, например, джинсовой ткани и хлопок цвета хаки.

Целью данной работы является изучение физико-химических полимеров и влияние влажности на молекулярную динамику хлопкового волокна селекционного сорта «Астрахань - 2013» по данным метода спиновых меток.

Материал и методы исследования

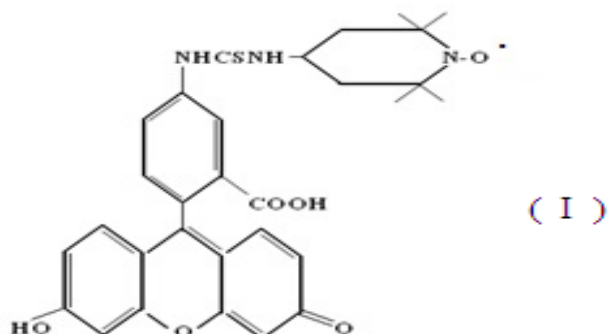
Физико-механические свойства полимеров в значительной степени зависят от динамики макромолекулярных цепей [3, 4, 5]. Эффективным методом изучения конформационной подвижности макромолекул является метод спиновых меток [6]. Как было установлено, параметры подвижности спиновых нитроксильных меток, введенных в структуру полимеров, отражают соответствующую динамику полимерной матрицы в области их присоединения. В работе исследована конформационная подвижность макромолекулярных цепей в полимерных волокнах средневолокнистого хлопкового волокна селекционного сорта «Астрахань-2» (А-2), полученного из семян, модифицированных биологически активным раствором (патентовано ВНИИОБ РФ) в капсулированной системе в зависимости от относительного содержания влажности P/P_s . Исследуемые образцы были представлены сотрудниками ВНИИОБ Астрахань РФ.

Работа проводилась на кафедре фармацевтической и токсикологической химии, ГОУ «Гаджикского государственного медицинского университета имени Абуали ибн Сино» и в лаборатории молекулярной спектроскопии Физико-технического института им.С.У.Умарова НАНТ.

Результаты и их обсуждение

Волокна химически модифицировали по гидроксильным группам (ОН) спиновой меткой (I) по методике [4]. Первую производную сигнала ЭПР поглощения V_I регистрировали на спектрометре ЭПР-1306. Относительную влажность образцов (P/P_s ; 0.04; 0.60; 0.96) задавали, помещая их на пять суток в специальную камеру, которая сообщалась с раствором серной кислоты определенной плотности.

В качестве спиновой метки использовали стабильный нитроксильный радикал (I), имеющий следующую структурную формулу:



Экспериментальные спектры представлены на рис.1. Время корреляции τ_c вращательной подвижности метки в области медленных вращений определяли по формуле (1)

$$\tau_c = 8 \cdot 10^{-10} \left(1 - \frac{2A_{zz}}{2A_{zz}^{\infty}} \right)^{-1,6} \text{ с.} \quad (1)$$

ЭПР – спектры спин-меченых волокон хлопка как в сухом, так и в увлажненном виде при комнатной температуре близки к спектрам ЭПР, наблюдавшимся ранее в работах, в которых исследовались образцы хлопка в зависимости от относительной влажности P/P_s .

Параметры формы линии стандартных спектров спин-меченых волокон являются чувствительными к влажности образца. На рис. 2 и 3 представлены зависимости параметров Δl (полуширины линии в низком поле) $2A'_z$ (расстояния между внешними экстремумами), h'/h (отношения амплитуд низко полевых линии слабо и сильно иммобилизованных меток) и ΔH_0 (ширина центральных компонентов) от содержания относительной влажности.

В случае сухих образцов ($P/P_s = 0.04$) наблюдается монотонное изменение параметров h'/h , $2A'_z$ и Δl (рис. 2 и 3), указывающее на усиление малоамплитудных высокочастотных вибраций радикала.

Из графика зависимости параметра спектра ЭПР h'/h от влажности видно, что при $P/P_s \geq 0.5$ значение этого параметра возрастает, что свидетельствует об увеличении подвижности метки в дефектах в структуре волокна с $\tau_c < 5 \cdot 10^{-7}$ с. Интенсификация подвижности ведет к усреднению неоднородностей окружения метки и уменьшению ширины линии спектра. Поскольку одновременно уменьшается величина $2A'_z$ и сужается ΔH_0 , то можно заключить, что в этом диапазоне влажности движение радикала близко к вращательным. Положение «переходной» увлажнённой области определяется структурой и степенью гидратации полимеров. В сухих образцах ($P/P_s = 0.04$) «переходная» область существенно смещена в сторону сухих областей.

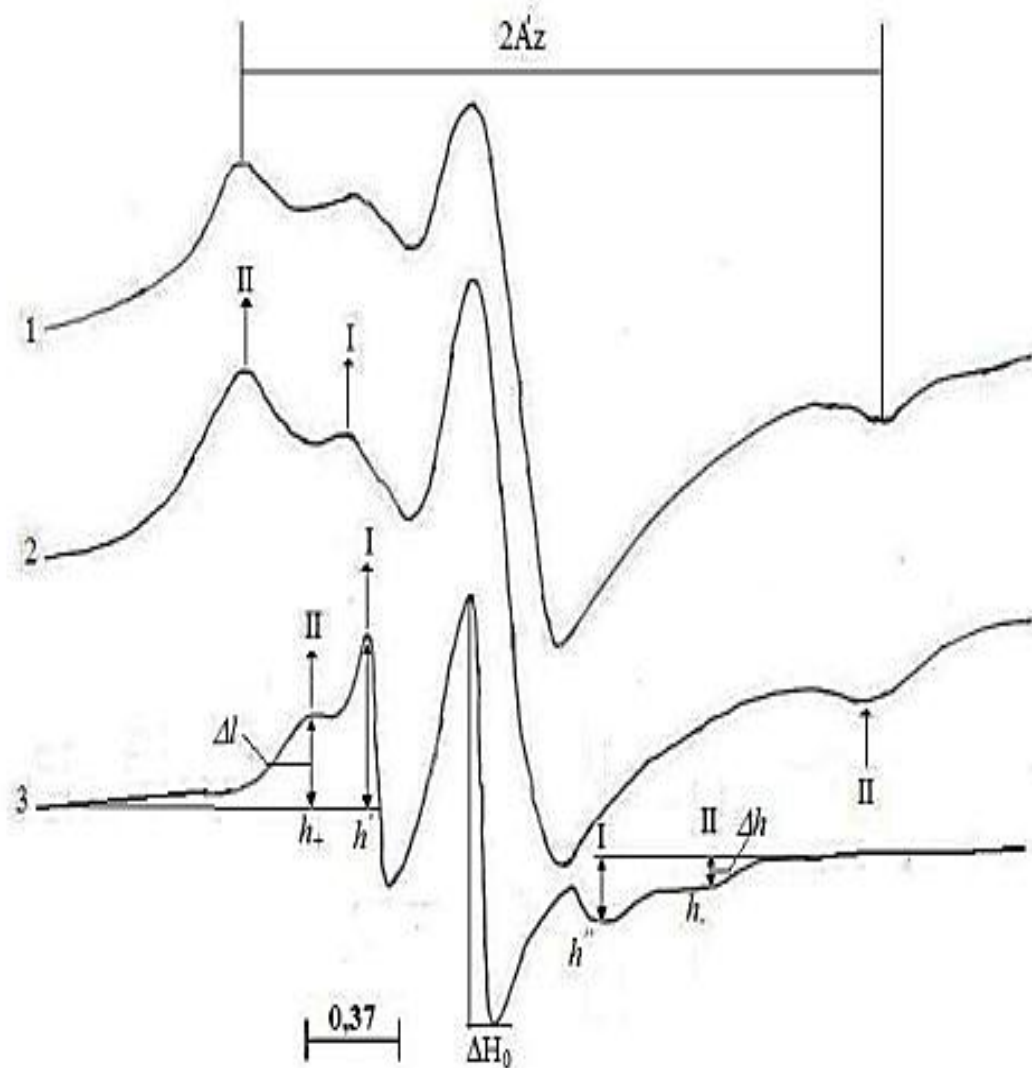


Рис. 1. ЭПР - спектры спин-меченого хлопкового волокна в зависимости от содержания относительной влажности P/P_s ; 0.04 – 1; 0.60 – 2; 0.96 – 3 при комнатной температуре.

Таблица 1

Параметры спектров ЭПР спин-меченого белого хлопкового волокна селекционного сорта «Астрахань - 2013» в зависимости от содержания влажности при комнатной температуре

Относительное содержание влажности, P/P_s	Δl Гс	Δh Гс	ΔH_0 Гс	$2A'_z$ Гс	h'/h	τ_c , с
0.04	14.4	20.4	26.4	180	0.62	5×10^{-7}
0.60	12.4	18.4	24.4	170	0.75	1×10^{-7}
0.96	8.4	14.4	8.4	87.6	2.0	5×10^{-8}

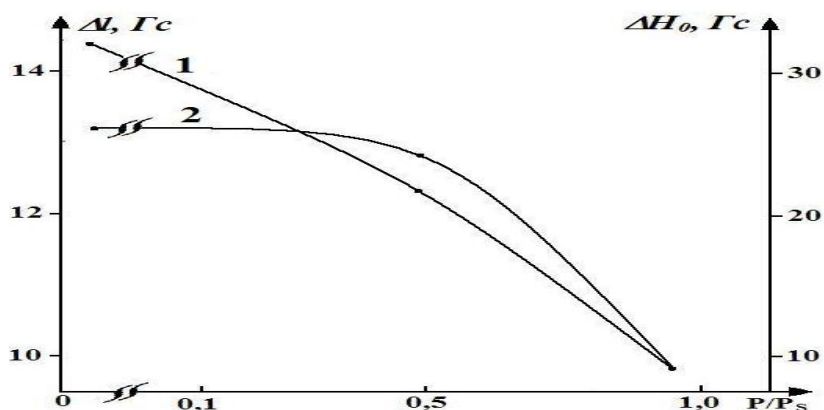


Рис. 2. Зависимости параметров ЭПР-спектра $2A'_z$ и h'/h от содержания относительной влажности P/P_s образцов хлопкового волокна сорта «А-2».

Изменение параметров $2A'_z$ и ΔH_0 (см. рис. 3, кривая 2) в интервале $P/P_s \leq 0.5$ одинаково незначительно, а при увеличении параметра h'/h , одновременно наблюдается резкое уменьшение параметров $2A'_z$ и ΔH_0 в области $P/P_s = 0.6$.

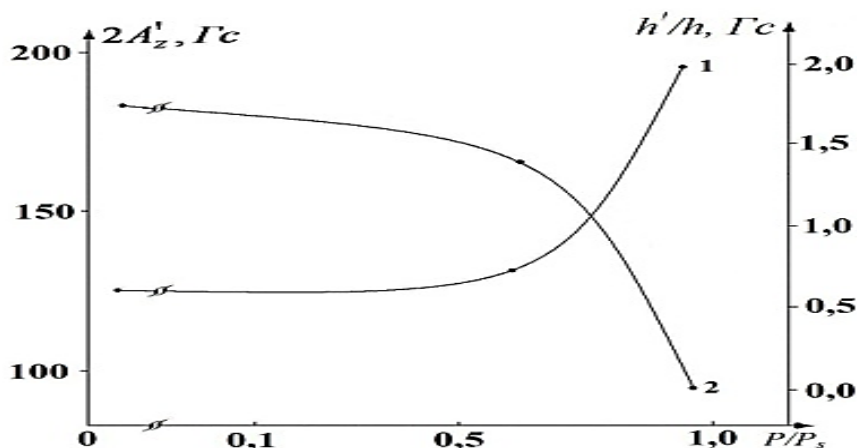


Рис. 3. Зависимость параметров ЭПР-спектров $\Delta I(1)$ и $\Delta H_0(2)$ от содержания относительной влажности P/P_s образцов хлопкового волокна сорт «А-2».

Таким образом, из экспериментальных данных можно заключить, что спектральные и динамические параметры, характеризующие подвижность спиновой метки, зависят от степени увлажнённости образцов хлопкового волокна. Установлено, при низких относительных влажностях ($P/P_s = 0.04-0.96$) эти параметры отражают монотонное усиление низкоамплитудных высокочастотных движений в полимере. При относительной влажности $P/P_s \geq 0.60$ проявляются новые компоненты спектра меток, относящиеся к быстро вращающемуся радикалу, свидетельствующего об интенсификации конформационных движений и структурных переходах в полимерных цепях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токарева Н.Д. Сорта средневолокнистого хлопчатника для юга России. Н.Д.Токарева, Г.С.Шахмедова, Н.Ю.Жарикова. – Научный альманах, 2015, № 8(10), с.1163-1166.
2. Токарева Н.Д. Качество волокна и ткани Астраханских сортов хлопчатника Н.Д.Токарева, Н.А.Токарев. – Международный научный журнал «Инновационная наука», № 03-2 / 2017, ISSN 2410-6070, с. 39-40.
3. Лихтенштейн Г. И. Метод спиновых меток в молекулярной биологии. – М.: «Наука», 1974, 265 с.
4. Likhtenshtein G.I. Biophysical Labeling Methods in Molecular Biology. – Cambridge, N.Y., Cambridge University Press.1993, p. 592.
5. Юсупов И.Х. Исследование молекулярной динамики хлопкового волокна методом спиновой метки. И.Х.Юсупов, П.Х.Бободжонов, Р.Марупов, Л.И.Анцифирова, В.К. – Кальтовер, Г.И.Лихтенштейн. Высокомолекулярные соединения. 1984, т. 26, № 2, с. 369-373.
6. Yusupov, I. Kh. Study of Microstructure and Molecular Dynamics of Cotton and Cellulose Fibers by Methods of Physical Labels. I. Kh. Yusupov, G.I. Likhtenshtein. – International Research Journal of Pure & Applied Chemistry. 6 (3), 2015, pp. 105-119.

Р.А.СУЛТОНОВ, У.Р.РАЧАБОВ, С.Ч.ЮСУФЙ*, Г.Ф.НАВРУЗЗОДА, И.Х.ЮСУПОВ**,
Х.Қ.МАХКАМОВ***

ТАЪСИРИ НАМӢ БА ДИНАМИКАИ МОЛЕКУЛАВИИ НАВӢИ ПАХТАИ НАХИ "АСТРАХАН - 2013" МУВОФИҚИ МАЪЛУМОТҲОИ МЕТОДИ НИШОНАИ СПИНӢ

*МДТ «Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба номи Абуалӣ ибни Сино»,
*МД «Маркази илмӣ-тадқиқотии фарматсевтии Вазорати тандурустӣ ва ҳифзи
иҷтимоии аҳолии Ҷумҳурии Тоҷикистон»,
**Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови АМИТ,
***Институти химия ба номи В.И.Никитини АМИТ*

Таъсири намӣ ба динамикаи молекулавию нахи пахтаи сафеди навӣ «Астрахан-2013», ки аз тухмии бо маҳлули биологии фаъол тағйирёфта гирифта шудааст, бо усули тамғаи спин омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки параметрҳои спектралӣ ва динамикӣ, ки ҳаракати тамғаи чархро тавсиф мекунанд, аз дараҷаи намии намунаҳо вобаста аст. Маълум шуд, ки дар намии нисбии $P / P_s \geq 0.60$, чузъҳои нави спектри EPR (h' and h'') пайдо мешаванд, ки ба радикали зуд гардишкунанда ишора мекунанд, ки пайдоиши камбудихои сохторӣ ва гузаришҳои сохториро дар нахи пахта нишон медиҳанд .

Калимаҳои калидӣ: намӣ, динамикаи молекулавию, нахи пахта, "Астрахан-2013", нишонаи спини.

R.A.SULTONOV, U.R.RAGABOV, S.J.YSUFU*, G.F.NAVRUZZODA, I.KH.YUSUPOV**,
H.K.MAHKAMOV***

**INFLUENCE OF MOISTURE ON MOLECULAR DYNAMICS OF COTTON
FIBER BREEDING VARIETY "ASTRAKHAN - 2013" ACCORDING TO THE
DATA OF THE SPIN METHOD**

SOI «Tajik State Medical University named after Abuali ibni Sino»,

**SI «Research Pharmaceutical Center of the Ministry of Health and Social Protection of the
Population of the Republic of Tajikistan"»,*

***U.Umarova Physico-Technical Institute, S.U.Umarov NAST,*

****Institute of Chemistry named after V.I.Nikitin NAST*

The influence of moisture on the molecular dynamics of white cotton fiber of the "Astrakhan-2013" variety obtained from seeds modified with a biologically active solution was studied using the spin label method. It is shown that the spectral and dynamic parameters characterizing the mobility of the spin label depend on the degree of moisture of the samples. It was found that at a relative humidity of $P / P_s \geq 0.60$, new components of the EPR spectrum (h' h") appear, referring to a rapidly rotating radical, indicating the appearance of structural defects and structural transitions in cotton fiber.

Key words: moisture, molecular dynamics, cotton fiber, "Astrakhan-2013", spin labels.

УДК 631. 432.4

Ш.И.ХОДЖАЕВ

**ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ ПРИ МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ
ВОДАХ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ТАДЖИКИСТАНА**

Институт почвоведения и агрохимии

Таджикской академии сельскохозяйственных наук

Поступила в редакцию 10.10.2022 г.

В статье приведён анализ результатов научных исследований засоления почв при маломинерализованных грунтовых вод на орошаемых землях долины рек Яхсу и Кызылсу. Исследования показали, что почвенно-грунтовые воды на орошаемых землях залегают на разных глубинах в зависимости от расположения источников питания, строения речных террас, микрорельефа, хозяйственной деятельности человека, литологического состава подстилающих пород и физико-географических условий.

Ключевые слова: засоление, почва, грунтовые воды, минерализация, орошаемые земли, массив, оазис.

Как писал Г.Н.Каменский: «Грунтовая вода должна найти место в любых формах синтеза знаний о природных явлениях близ поверхности земли – будет ли это географический ландшафт в понимании Л.С.Берга, или геохимический ландшафт в понимании Б.Б.Полынова, или физико-географическая среда в понимании А.А.Григорьева [5].

Водный фактор, бесспорно, является одним из наиболее значимых элементов природной среды. В почвообразовании грунтовые воды участвуют непосредственно своим вещественным составом, приносят в почвы ряд соединений; воздействуют на режим многих почвенных процессов. С их влиянием связано проявление гидроморфных условий почвообразования, а также нередко засоление почв.

В специальной литературе при освещении вопроса о формах засоления почв недостаточно рассматривались случаи возникновения засоленных земель в зависимости от

*Адрес для корреспонденции: Ходжаев Шариф Идиевич. 735025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 21а, Институт почвоведения и агрохимии ТАСХН.
E-mail: doston_120696@mail.ru*

химического состава маломинерализованных грунтовых вод. Как показывают наши наблюдения, на орошаемых землях долин рек Юго-Восточного Таджикистана отмечается образование засоленных почв при различном составе грунтовых вод, в частности, на возделываемых массивах при маломинерализованных грунтовых водах с различным химическим составом были выбраны на незасоленных и засоленных участках.

Засоленные почвы составляют 8% орошаемой территории Таджикистана. Для малоземельной страны, где на одного жителя приходится всего 0.11 га орошаемой пашни, это значительный ущерб. Из-за засоления земель республика ежегодно недополучает 100 тыс. тонн хлопка-сырца и много другой сельскохозяйственной продукции, а получаемые с засоленных полей продукция и сырье, имеют пониженную сортность и качество товара. Кроме того, засоленные массивы орошаемых земель создают эколого-мелиоративные деградации окружающей среды (почвогрунтов, поверхностных и подпочвенных вод, атмосферы). При этом экологическая напряженность создается не только в регионах их образования, но и далеко за их пределами, как это проявилось в последние десятилетия в бассейне Аральского моря. Проживающее в экологически кризисном районе население испытывает дискомфорт, бедность и больше подвержено заболеваниям.

По данным гидромелиоративной экспедиции Агентства мелиорации и ирригации при Правительстве Республики Таджикистан на 01.01.2021 года общая площадь засоленных почв в орошаемой зоне составила свыше 62.2 тыс.га. Из них 3222 тыс. га сильнозасоленные; 12454 тыс. га средnezасоленные и 46475 тыс. га составили слабозасоленные почвы. В осенне-зимний период 2021 года была осуществлена промывка засоленных почв на площади 12409 га, и на площади 22541 га была очищена коллекторно-дренажная сеть от грязи.

На площади 21281 га по республике имеются земли с критической глубиной уровня грунтовых вод (меньше 1 м) и площади более 36200 га орошаемых земель находятся в неудовлетворительном состоянии.

Солеобмен на орошаемых землях затрагивает мощную почвенно-грунтовую толщу, вплоть до водоупора и большие ареалы сопряженных земель. Например, вынос солей по бассейнам Амударьи и Сырдарьи в среднем оценивается около 18 т/га, из которых 20-40% извлекаются из глубинных горизонтов грунтов и грунтовых вод.

Объект и методы исследований

Исследования проводились в 2017-2021 гг. на орошаемых землях долины рек Яхсу и Кызылсу Юго-Восточного Таджикистана.

Результаты исследований

Результаты исследований показали, что почвенно-грунтовые воды на орошаемых землях долины рек Яхсу и Кызылсу залегают на разных глубинах в зависимости от расположения источников питания, строения речных террас, литологического состава подстилающих пород, микрорельефа, хозяйственной деятельности человека, агротехнических и мелиоративных мероприятий, а также от других физико-географических условий.

Вместе с тем, по материалам наших исследований, колебание уровней почвенно-грунтовых вод по территории происходит закономерно в пределах орошаемых оазисов и отображает тесную связь режима грунтовых вод с геоморфологическим строением, литологическим составом и рельефом местности.

Основной причиной засоления и накопления вредных солей в почве является близкое залегание грунтовых вод (на глубине 1.5-2.5 м от поверхности), их испарение [1]. Снижение уровня грунтовых вод с помощью дренажа – единственная эффективная мера борьбы с прогрессирующим засолением земель в Вахшской долине [2].

В наиболее повышенных и относительно хорошо дренированных участках в пределах района орошения грунтовые воды, как правило, залегают на глубине 4-10 и более метров. Наоборот, в пониженных и слабо дренированных местах грунтовые воды залегают близко к поверхности – в пределах 1-3 м.

Основными источниками питания грунтовых вод являются атмосферные осадки, фильтрационные воды из рек и из ирригационных каналов, а также подземный приток со стороны возвышенностей - Ходжа-Сартез, Ходжа-Мумин, Тебалай и др.

Атмосферные осадки, выпадая на водосборных площадях и на территории орошаемых полей, оказывают влияние на уровень и режим стока рек Яхсу и Кызылсу. Колебания уровней рек в половодье и в межень различны на отдельных участках и отражаются на питании почвенно-грунтовых вод, в том числе и на уровне их на орошаемой территории. Подобные явления особенно отчетливо проявляются в прибрежных частях рек Яхсу и Кызылсу.

Источником засоления целинных земель в орошаемых долинах нашей республики являются соли грунтовых вод. Некоторое значение имеют и соли поливной воды, но количество их ничтожно по сравнению с грунтовой водой [3].

Глубина залегания грунтовых вод определяет тип почвы данной территории. Грунтовые воды практически не оказывают никакого влияния на почвенный профиль, когда их уровень глубже 4 м от дневной поверхности. В этом случае развиваются зональные автоморфные почвы. При глубине залегания 1.5-3.0 м развиваются гидроморфные луговые почвы. В условиях очень близкого залегания (менее 1м) происходит заболачивание территории и развиваются почвы болотного типа [6].

Некоторые исследователи считают, что засоление почв в подгорных областях и в долинах рек по своему происхождению несколько отличаются от соленакопления в других местах.

«На таких поверхностях, как конусы выноса, подгорные районы и т.п., благодаря наличию фильтрующих песчано-галечниковых пород и возможности общего или местного оттока грунтовых вод засоление, связанное с маломинерализованными грунтовыми водами, обычно не сменяется более опасными формами» [4].

В питании грунтовых вод на орошаемых территориях долин рек Юго-Восточного Таджикистана преобладающее место занимают воды, фильтрующиеся из рек, каналов и оросителей.

Известно, что 30-60% воды, подаваемой на орошение [7] из оросительных систем, фильтруется в грунты. Эти фильтрующиеся воды в основном расходуются на пополнение почвенно-грунтовых вод.

Участок с незасоленной почвой, близким залеганием грунтовых вод, находящийся южнее кишлака Кадучи, с северной части междуречья Кызылсу-Яхсу, на землях, примыкающих к возвышенности Ходжа-Сартез, характеризуется почвенным разрезом 4. Результаты анализа водной вытяжки и образцов из разреза, вскрывшего незасоленную сероземно-луговую темную почву и состав грунтовой воды, приведены в табл. 1.

Разрез 4. Расположен у южной окраины кишлака Кадучи, в 60 м на юго-запад от пересечения дороги из поселка им. Восе в Ховалинг с коллектором. На участке возделывается хлопчатник, состояние его хорошее.

0-30 см -пахотный гумусовый горизонт черной окраски, свежий, комковато-пылеватый, легкосуглинистый, уплотнен, переход заметный по цвету и механическому составу;

30-50 см – переходный, темно-серый, увлажнен, супесчаный, структура неясно выражена. Более уплотнен по сравнению с предыдущим горизонтом, есть прожилки гипса, к низу слабо проявляется оглеение, переход отчетливо выражен по окраске;

50-79 см –серовато-охристый, влажный, супесчаный, бесструктурный, рыхлый, пронизан тонкими корнями растений, много ржавых пятен окислов железа, переход постепенный;

79-96 см – серый, влажный, среднесуглинистый, плотный, мелкие пятна красной глины, сравнительно с третьим горизонтом больше пятен окислов, переход заметный по цвету;

96-107 см – темно-серый горизонт погребенной почвы, сырой, суглинок легкий, рыхлый, редко встречаются пятнышки окисей железа красно-бурого цвета;

107-145 см – серый, с охристым оттенком, мокрый, легкосуглинистый, рассыпчатый, заметно выделяется оглеение, много мазков бурого и охристого цвета окислов железа. Грунтовая вода появилась с глубины 130 см.

Таблица 1

Результаты анализа водных вытяжек из образцов сероземно-луговых почв, долина рек Яхсу и Кызылсу, %

№ разреза и наименование почвы	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	HCO_3^{I}	Cl^{I}	SO_4^{II}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+ по разности
4, темная сероземно-луговая, орошаемая, незасоленная	0-30	1.155	0.027	0.007	0.640	0.240	0.021	0.007
	30-50	1.200	0.021	0.009	0.700	0.217	0.02	0.020
	50-79	0.680	0.021	0.011	0.370	0.105	0.034	0.013
	79-96	0.500	0.021	0.015	0.240	0.073	0.019	0.012
	96-107	0.435	0.22	0.022	0.190	0.053	0.011	0.025
Грунтовая вода, г/л	130	5.005	4.70	10.86	46.87	26.66	18.08	17.19

В профиле почвы отсутствуют накопления легкорастворимых солей. Повышение содержания сухого остатка в пахотном и переходном горизонтах связано с некоторым накоплением гипса. В небольшом количестве присутствуют $MgSO_4$. максимум его (до 2.5 мг-экв) приурочен к слою 50-70 см.

Содержание других, более растворимых солей - $NaSO_4$, $NaCl$ не превышает 0.30-0.60 мг-экв. количества сухого остатка в грунтовой воде, вскрытой на глубине 130 см, равно 5 г/л. По составу солей грунтовые воды относятся к хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому-кальциевому, по П.А.Керзуму (1964).

При таком близком залегании грунтовых вод с относительно повышенной минерализацией в почве не наблюдается заметного накопления легкорастворимых солей. Такое явление очень характерно для орошаемых земель джамоатов М.Вайсов, А.Авазов, Х.Рачабов, Рудаки, Тугарак и других хозяйств Восейского района, расположенных в северной части междуречья Яхсу и Кызылсу.

Отсутствие заметных количеств легкорастворимых солей в почвах названной территории может объясняться следующим. Кадучинский возделываемый массив занимает площадь в северной относительно повышенной части III гидрогеологического района. К тому же он располагается в 300-1000 м от магистрального канала Кадучи, берущего начало на р. Кызылсу.

В результате поливов, а также в связи с фильтрацией из оросителей и каналов грунтовые воды, хотя и располагаются близко к дневной поверхности, подвергаются опреснению и вовлекаются в местный отток. Поэтому некоторая часть их удаляется с общим подземным оттоком, а также через коллекторно-дренажную сеть. Другая часть в результате интенсивного испарения расходуется в атмосферу и вызывает перемещение растворов из нижних слоев грунтов в зону аэрации. Однако последующими поливами большая часть легкорастворимых солей вновь вымывается в грунтовые воды, и только менее растворимый гипс закрепляется в почве. Хлоридов в грунтовых водах при этом становится вдвое больше по сравнению с поливными водами, забираемыми из р. Кызылсу (табл. 1).

В силу названных причин в почвах, расположенных северо-восточнее Ходжа-Голтан и Имам-Али, на возделываемых территориях джамоатов М.Вайсов, А.Авазов, Х.Рачабов Восейского района, засоления не наблюдается.

Возникновение сезонной и постоянной пятнистой формы засоления почв при маломинерализованных почвенно-грунтовых водах в пределах двуречья Яхсу-Кызылсу, могут характеризовать данные анализа водных вытяжек, представленные в табл. 2.

Разрез 5 (табл. 2) был заложен на низине в 100 м восточнее оросителя, расположенного юго-западнее сопки Имам-Али. Растет хлопчатник, состояние его несколько угнетенное. Грунтовые воды на участке, где сделан разрез, залегают на глубине 100 см. общая минерализация грунтовой воды равна 3.66 г/л. По типу засоления она является хлоридно-сульфатной, натриево-кальциевой, по П.А.Керзуму (1964). Количество сухого ос-

татка в водной вытяжке из верхнего слоя 0-80 см у сероземно-луговой слабозасоленной почвы составляет более 1%. Повышение содержания сухого остатка сверху, как и в предыдущем случае (разрез 4), вызвано присутствием гипса.

Содержание легкорастворимых токсичных солей NaSO_4 , MgSO_4 и NaCl в пахотном слое составляет 4.5 мг-экв, орошение несколько опускается. Одновременно уменьшается общая минерализация - с 7 до 3 г/л, но качественных изменений в солевом составе не происходит. Более или менее равномерно уменьшается содержание большинства ионов.

Процессы соленакопления на описываемом участке в междуречье Кызылсу-Яхсу носят сезонный слабовыраженный пятнистый характер.

Почвы, расположенные вдоль оросителей в юго-западной части останца-сопки Имам-Али, хотя и подвержены влиянию близко залегающих маломинерализованных грунтовых вод, но процессы засоления в низ в целом не выражены. Лишь на относительно низинных площадях по периферии орошаемых полей отмечается слабое проявление начальной стадии пятнистого засоления. Возникновение названной формы засоления почв может объясняться тем, что в зимне-весенний период с атмосферными и весенними поливами, легкорастворимые соли, накопившиеся в предыдущие периоды, по-видимому, вымываются в нижние горизонты и в грунтовые воды, а затем перемещаются в сторону ниже расположенных территорий. При отсутствии поливов часть грунтовых вод расходуется на испарение и транспирацию растительностью, другая удаляется с общим подземным стоком в сторону нижерасположенных территорий. Расход почвенно-грунтовых вод на испарение и транспирацию с поверхности на участках, расположенных у концевой части возделываемых площадей, при относительно большей их минерализации, в свою очередь, способствует накоплению легкорастворимых солей в верхних горизонтах почв.

Процесс образования сезонной пятнистой формы засоления почв, очевидно, на этом не кончается. В условиях слабой отточности почвенно-грунтовых вод к соседним участкам при продолжении процесса соленакопления названная форма сменяется более устойчивой формой засоления.

Таблица 2

Результаты анализа водных вытяжек из образцов слабо засоленных почв в стадии сезонного и постоянного пятнистого засоления, джамоат «А.Авазов» Воссейского района, междуречье Кызылсу-Яхсу,%

№ разреза и наименование почвы	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	HCO_3^{I}	Cl^{I}	SO_4^{II}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
5 серозёмно-луговая	0-35	1.442	0.036	0.016	0.740	0.230	0.040	0.037
	35-61	1.162	0.030	0.006	0.750	0.260	0.030	0.023
	61-80	1.242	0.043	0.008	0.670	0.280	0.006	0.011
	80-100	0.532	0.050	0.005	0.440	0.105	0.014	0.010
Грунтовая вода, г/л	100	3.665	0.165	0.425	1.735	0.465	0.133	0.362

Образование засоления почв в дальнейшем протекает под влиянием разбавленных и опресненных грунтовых вод. Повышение уровней грунтовых вод, в свою очередь, вызывает интенсивное испарение с поверхности и способствует аккумуляции солей в верхних слоях почвы. Возникает сезонная пятнистая форма засоления почв под влиянием опресненных и ирригационных вод. Зимне-весенними атмосферными осадками, а также промывками и осенне-зимними поливами, соли вновь вымываются в нижние слои почвы и в грунтовые воды.

С началом нового вегетационного периода концентрация солей на поверхности происходит, главным образом, из разбавленных маломинерализованных грунтовых вод. При этом под влиянием испарения процесс накопления солей усиливается. Образуется постоянная пятнистая форма засоления почв. Вместе с этим имеются и некоторые реализации. Они заключаются в том, что засоление почв при маломинерализованных грунтовых водах в междуречье Яхсу, Кызылсу происходит в условиях периодического вытеснения солевых растворов инфильтрационными и поливными водами, при наличии местного общего оттока грунтовых вод к нижерасположенным территориям.

Выводы

Засоление почв при маломинерализованных грунтовых водах в большей части ограничивается возникновением слабозасоленных и средnezасоленных почв, преимущественно в виде пятнистого засоления.

При ухудшении условий оттока грунтовых вод и увеличении их минерализации к нижним частям долин слабозасоленные и средnezасоленные почвы сменяются сильнозасоленными и солончаками, однако с образованием более устойчивых форм засоления сплошного засоления территории не происходит.

Максимум легкорастворимых солей в засоленных почвах долин рек Яхсу и Кызылсу приурочен в основном к верхнему метровому слою. В составе засоленных почв и солончаков в большинстве случаев преобладают сульфаты кальция, магний и натрий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов, Каратаев И.Н. Борьба с засолением орошаемых почв. – Почвоведение, 1942, № 2, с. 21.
2. Грабовская О.А. Геологическое строение, рельеф, поверхности и грунтовые воды Вахшской долины. Почвы Вахшской долины и их мелиорация. – Сталинабад, 1947, с. 53-54.
3. Земан Г.Г., Ваксман Э.Г. Опыт освоения засоленных земель Вахшской долины Таджикистана. Обзор. – Душанбе, 1970, с.12.
4. Егоров В.В. Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельтах Арало-Каспийской низменности. – М.: Изд-во АН СССР, 1959, стр.242.
5. Каменский Г.Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. – Труды лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П.Саваренского, т 6, М.-Л., 1949.
6. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. – М.: Изд.АН СССР, 1946, т.1, с. 59.
7. Легостаев В.М. Основные источники питания грунтовых вод и причины их подъема при орошении. Тр.Союз.НИХИ. – Ташкент. 1959, с. 56.

Ш.И.ХОҶАЕВ

**РАВАНДИ ШУРШАВИИ ХОК ДАР ОБҲОИ ЗЕРИЗАМИНИИ
МИНЕРАЛНОКИАШОН ПАСТИ ҶАНУБУ ШАРҚИ ТОҶИКИСТОН**

Институти хокшиносӣ ва агрохимияи Академияи илмҳои кишоварзии Тоҷикистон

Дар мақола таҳлили натиҷаи корҳои илмии заминҳои шуршудаи обҳои зеризаминии минералнокиашон пасти заминҳои обёришавандаи водии дарёҳои Яхсу ва Қизилсу оварда шудааст.

Таҳқиқотҳои илми маълум намуданд, ки обҳои зеризаминӣ дар заминҳои обёришаванда дар чуқуриҳои гуногун вобаста аз ҷойгиршавии манбаи обҳо, микрорелеф, сохти зинаҳои дарёи, таркиби литологии қабати нармин ва шароити физикию географӣ вобастаги доранд.

Калимаҳои калидӣ: шӯрноки, хок, обҳои зеризаминӣ, минералнокӣ, заминҳои обёришаванда, мавзё, оазис.

Sh.I.KHODJAEV

**SOIL SALINIZATION AT LOW MINERALIZED GROUNDWATER IN THE
CONDITIONS OF SOUTH-EASTERN TAJIKISTAN**

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Tajik Academy of Agricultural Sciences

The article presents an analysis of the results of scientific studies of soil salinity with low-mineralized groundwater on irrigated lands in the valley of the Yahsu and Kyzylsu rivers. Studies have shown that groundwater on irrigated lands occur at different depths, depending on the location of power sources, the structure of river terraces, the lithological composition of the underlying rocks, physical and geographical conditions, microrelief and human activity.

Key words: salinization, soil, groundwater, mineralization, irrigated lands, massif, oasis.

УДК 551.324.43

А.КАЮМОВ, Х.К.КАБУТОВ, М.ХОЛЬЦЛЕ*, Т.САКС*, М.БАРАНДУН**

**БАЛАНС МАССЫ ЛЕДНИКА ВОСТОЧНЫЙ ЗУЛМАРТ (№139)
ЗА 2018-2022 ГОДЫ**

*Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников
Национальной академии наук Таджикистана»,*

**Кафедра наук о Земле, Фрибургский университет, Фрибург, Швейцария*

***Институт наблюдения Земли, Eurac Research, Италия*

Поступила в редакцию 20.12.2022 г.

Целью работы является определение годового баланса массы ледника №139 на Восточном Памире, в бассейне озера Каракуль за период 2018-2022 гг. Полученные результаты показывают, что среднее значение абляции по всей площади составляет 1000 мм. Наибольшая абляция наблюдается на высотах 4600-4700 м, где в среднем составляет 1500 мм водного эквивалента, а на высоте 5000 м в среднем абляция ледника составляет 200 мм в.э.

Баланс массы, найденный профильным методом позволил нам определить динамику ледника по высотам. Низкая изменчивость массы наблюдается на высотах 4900-5100 м. Результаты измерений показали, что за период 2018-2022 гг. баланс массы ледника Восточный Зулмарт (№139) отрицательный, в среднем -250 мм в.э. Наибольшее отрицательное значение годового баланса массы (-310 мм в.э.) пришлось на 2021-22 балансовый год.

Ключевые слова: Баланс массы, ледник, профильный метод, гляциологический метод, Восточный Памир, озеро Каракуль.

Баланс массы горных ледников является хорошим индикатором изменения климата за последние несколько столетий [12, 9]. По утверждению многих ученых за последние годы наблюдается сокращение площади ледников на всех континентах, в особенности ледников малых размеров. При этом измерение динамики температурного режима по-

Адрес для корреспонденции: Кабутов Хусрав Курбонджонович. 734025, Республика Таджикистан, Душанбе, пр. Рудаки, 33, Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана». E-mail: kabutov.khusrav@gmail.com

верхности земли свидетельствует о ежегодном его увеличении, особенно за последние десятилетия [2].

Целью данной статьи является определение годового баланса массы ледника №139 на Восточном Памире, в бассейне озера Каракуль с 2018-2022 гг.

Восточный Памир является уникальной площадкой для измерения баланса массы ледников из за морфологических, метрологических и других свойств, обусловленных тем, что равнины находятся на высоте около 4000 м над ур. м., а горные хребты возвышаются над восточным Памиром более, чем на 6000 м. Климатические условия данной местности является сурово холодными и, вместе с тем, здесь выпадает очень мало атмосферных осадков. Несмотря на это, в данной области имеется более 400 ледников площадь которых начинается с 0.1 км², а общая площадь ледников данного бассейна более 560 км², начиная с малых каровых и заканчивая большими дендритными ледниками, например как ледник Октябрьский [3].

Традиционным методом полевых измерений ледников является гляциологический метод, при котором годовой баланс массы получают из рек, вставленных в зоне абляции и из шурфа в зоне аккумуляции [11].

Исследование баланса массы ледника Восточный Зулмарт прямым гляциологическим методом началось в 2018 г. В этом году был проложен оптимальный маршрут до ледника, а также на самом леднике были установлены 7 абляционных рек. В 2019 г. были установлены дополнительные рейки, на высоте 4600 м были установлены автоматическая метеостанция и автоматическая фотокамера для фиксации движения ледника. Рейки, установленные в 2018 г., были измерены и выкопаны шурфы в зоне аккумуляции ледника. В ходе дальнейших экспедиционных работ были получены данные за 4 года, которые позволили рассчитать баланс массы данного ледника.

Район исследования

Водосбор бассейна озера Каракуль площадью 4210 км² находится в северной части Восточного Памира. Решающими климатическими факторами здесь является большая высота нагорья, температурный режим Памирского нагорья не соответствует его широтному положению и характерен скорее для субарктических районов. Согласно данным метеостанции Каракуль, зимой заморозки достигают до -40°C, а летом температура часто опускается ниже нуля [5].

Объектом исследования является ледник Восточный Зулмарт, который в каталоге ледников СССР бассейна оз. Каракуль обозначен как ледник №139. Ледник Восточный Зулмарт (№139) находится в западной части бассейна оз. Каракуль.

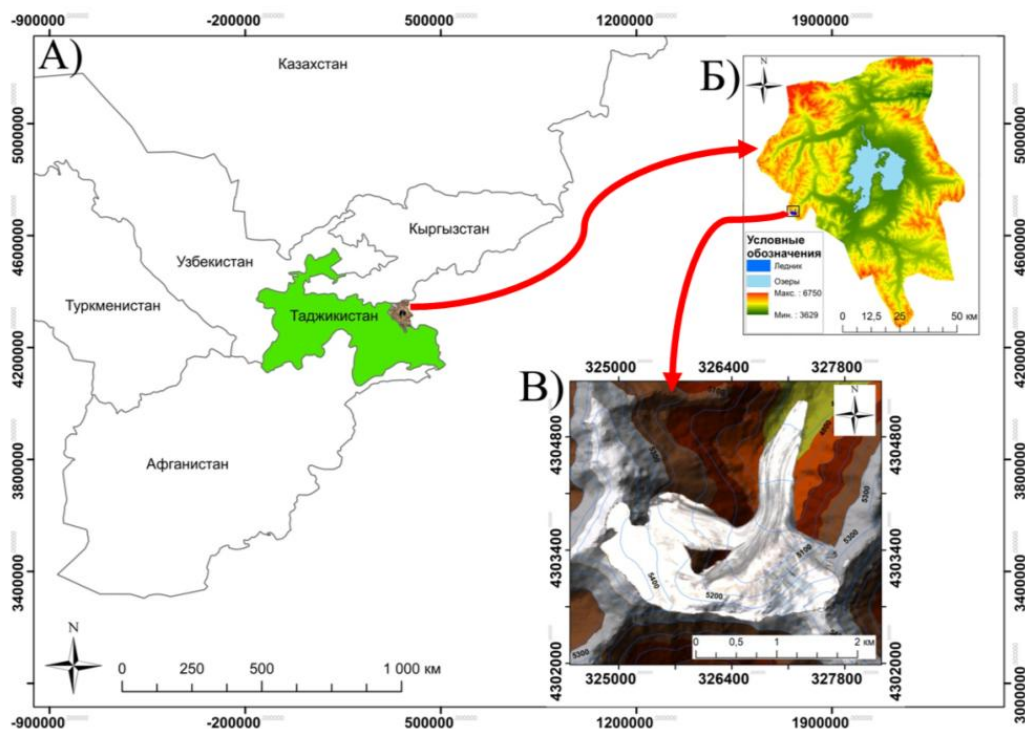


Рис. 1. Объект исследования: А) Средняя Азия (<https://tapiquen-sig.jimdo.com/english-version/free-downloads/world/>) 30.10.2019; Б) Бассейн оз. Каракуль (радарный снимок SRTM); В) Ледник № 139 (Снимок Sentinel 2, радарный снимок ALOS PALSAR).

Характеристика ледника: Ледник относится к долинным ледникам с северной экспозицией, площадь которого составляет 3.651 км^2 , при длине 3.9 км. Ледник относится к ледникам среднего размера в данном бассейне. На южной стороне ледника имеется крутой склон, а в середине ледника есть скальная гряда. Языковая часть ледника находится на высоте 4600 м, а самая высшая точка ледника достигает 5500 м, ледник питает реку Сарыгун, которая впадает в реку Акджилга и далее в озеро Каракуль. В бассейне реки Сарыгун также имеется 17 ледников, а ледник Восточный Зулмарт является одним из крупных ледников данного бассейна [3].

Методы исследования

Исследования данного ледника проводились прямым гляциологическим методом, который включает в себя полевые работы на леднике и камеральные расчеты полученных данных [8]. На данном леднике с 2018 г. были проведены 5 экспедиционных работ. Ежегодно устанавливались новые абляционные рейки, а также копались шурфы в зоне аккумуляции. Полученные данные рассчитывались и далее обрабатывались в программе ArcGIS [6].

Для анализа баланса массы были использованы два метода – профильный метод и метод изолиний. Профильный метод основан на том, что локальные значения баланса

массы изменяются только в зависимости от высоты. Баланс массы методом изолиний представляет собой интегрирование по всей площади ледника [7].

Профильным методом мы анализируем баланс массы для каждого 100-метрового диапазона высот, каждый из которых имеет свою площадь. Для области абляции мы определяем площадь между высотными линиями как линейную регрессию, подогнанную ко всем ежегодным измерениям [13].

Мы используем постоянный интервал с шагом 0.5 м в.э. для изолиний. Линии рисуются вручную по поверхности ледника в ArcGIS, а баланс массы интерполируется между линиями [1, 4]. Затем шаблон интерполяции тщательно проверяется и для каждой отдельной зоны рассчитывается средний баланс массы [10, 14].

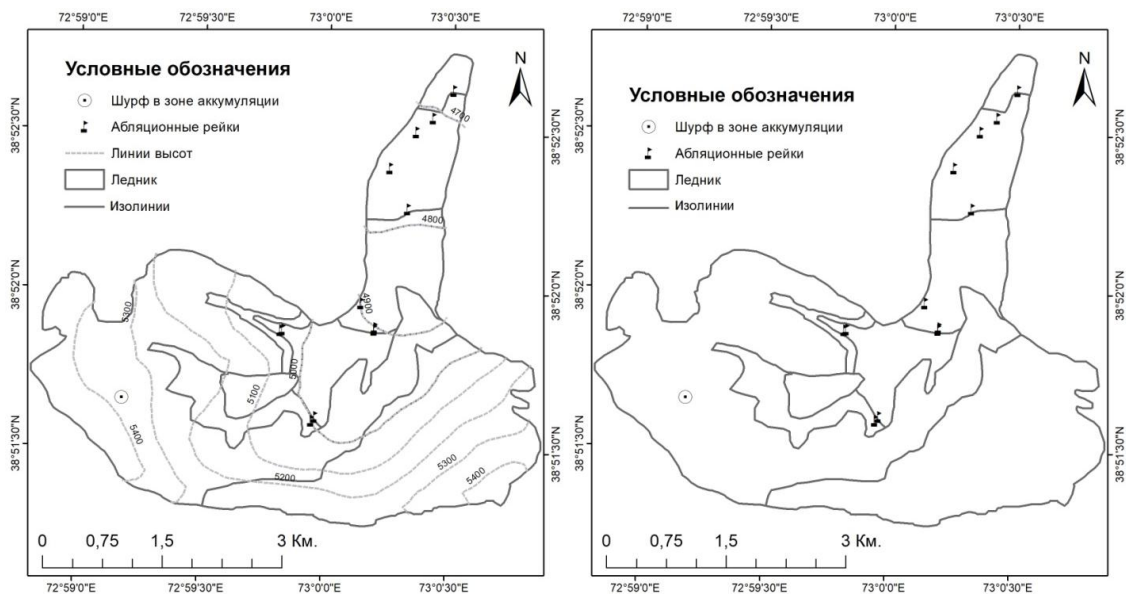


Рис. 2. Профильный метод (слева) и метод изолиний (справа).

Результаты

Полученные результаты показывают, что таяние по всей площади в зоне абляции в среднем составляет 1000 мм. Наибольшее таяние наблюдается на высотах 4600-4700 м, где в среднем оно составляет 1500 мм в.э. На высотах 4800-4900 м оно составляет 700 мм в.э., а на высоте 5000 м в среднем ледник тает на 200 мм в.э.

На графике (рис. 3) приведены данные рек, установленных на леднике, где каждая точка этих рек со средним значением за 4 года.

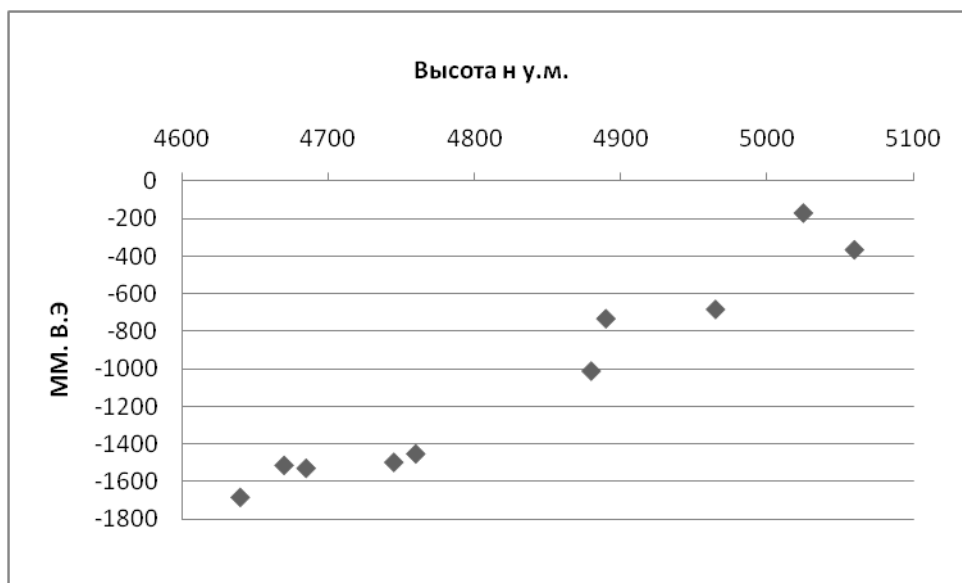


Рис. 3. Среднее значение 4 годичной абляции рек.

Данные с рек показывают, что поверхность ледника тает в некоторых зонах с низкой изменчивостью, а в некоторых сравнительно высокой, так на графике (рис. 4) приведены данные всех рек по годам и изменчивость поверхности ледника в водном эквиваленте.

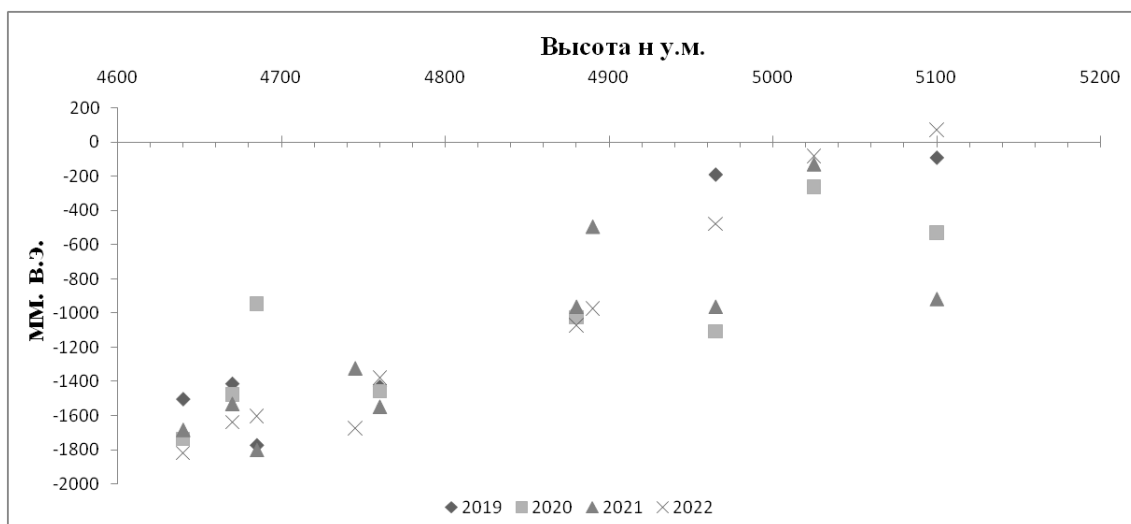


Рис. 4. Изменчивость поверхности ледника в зоне абляции по рейкам за 4 года.

По вышеуказанным данным и камеральным расчетам было определено, что ледник в 2019 г. имел баланс -260 мм в.э. и в последующие годы, то есть в 2020, 2021, 2022, соответственно, -210, -206, -310 мм в.э. Ниже представлены графики результатов расчета баланса массы профилем методом и методом изолиний.

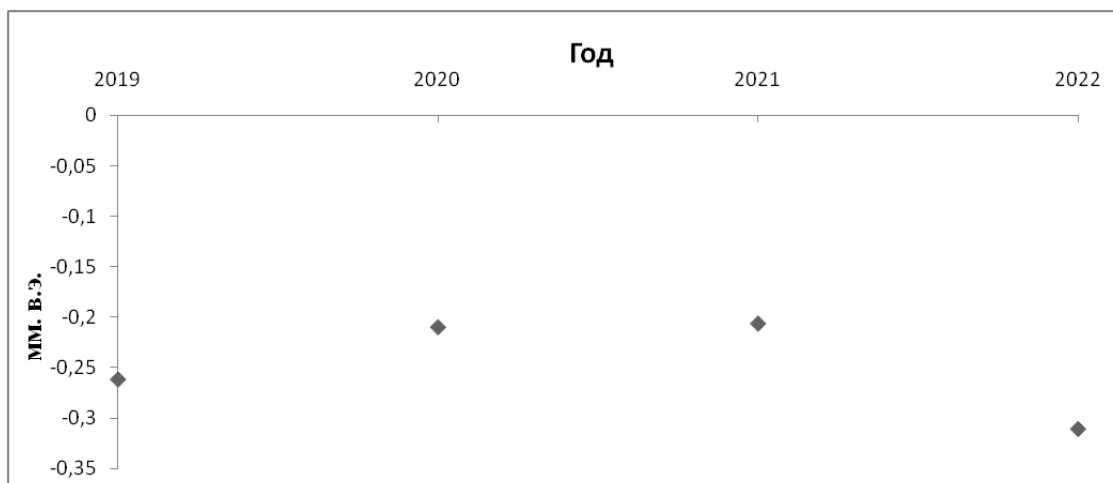


Рис. 5. Баланс массы методом изолиний.

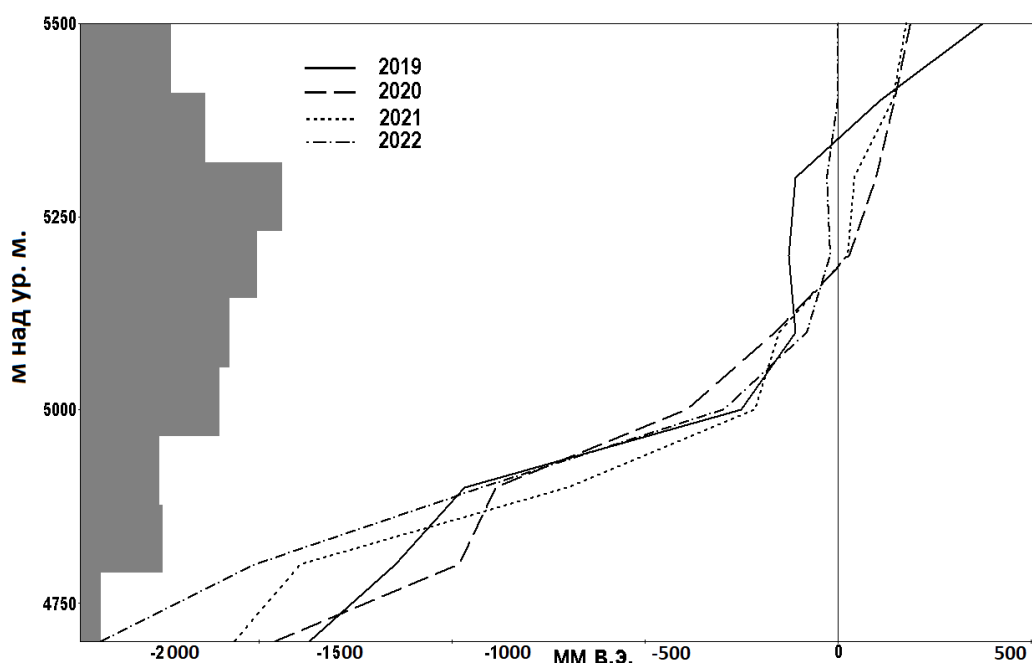


Рис. 6. Баланс массы профильным методом.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показывают, что средний баланс массы ледника за исследуемый период составил - 250 мм в.э. За исследуемый период годовой баланс массы изменялся незначительно, за исключением последнего года. В последнем году в зоне аккумуляции сезонный снег полностью растаял, и поэтому для зоны аккумуляции было присвоено значение 0, такое положение показало баланс массы - 310 мм в.э. Несмотря на нулевую аккумуляцию баланс массы изменился не столь критично и был в пределах общей тенденции динамики ледника. В целом, данные результаты показывают, что ледник Восточный Зулмарт находится в состоянии отрицательного баланса массы за последние 4

года. Можно предположить, что при умеренных метеорологических условиях, если зимние осадки будут больше, а летняя температура не будет критически высокой, то при текущих условиях абляции можно будет увидеть и положительный баланс массы на данном леднике.

Баланс массы профильным методом позволяет нам определить динамику ледника по высотам. Наиболее устойчивыми по изменчивости являются высоты с 4900-5100 м, что считается центром данного ледника. Ниже высоты 4900 м это языковая часть, где ледник тает интенсивнее, чем в других частях, а выше 5100 м уже начинается зона аккумуляции ледника.

Выводы

Баланс массы ледника Восточный Зулмарт (№139) за период 2018-2022 гг. отрицательный, в среднем -250 мм в.э. Наибольшее отрицательное значение баланса массы (-310 мм в.э.) пришлось на 2021/22 балансовый год.

Анализ динамики ледника по высотам показал, что наиболее устойчивыми по изменчивости являются высоты с 4900-5100 м, что считается центром данного ледника. Ниже высоты 4900 м это языковая часть, где ледник тает более интенсивно.

За анализируемый период фронтальная часть ледника отступила на 40 м, площадь уменьшилась на 0.08 км², при этом баланс массы ледника по годам составил: 2018-2019 (-260) мм в.э., 2019-2020 (-210) мм в.э., 2020-2021 (-206) мм в.э. и 2021-2022 (-310) мм в.э.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Хмелевской И.Ф. Реконструкция баланса массы ледника Гарабаши (1800–2005 гг.) по дендрохронологическим данным.
2. Каюмов А. Махмадалиев Б., Новиков В. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. - Душанбе, 2014, 167 с.
3. Каталог ледников СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1975, т. 14, вып. 3, ч. 17–18, 37 с.
4. Рототаева О.В., Носенко Г.А., Керимов А.М., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Никитин С.А., Керимов А.А., Тарасова Л.Н. Изменения баланса массы ледника Гарабаши (Эльбрус) на рубеже XX–XXI вв.
5. Сайт gp5.ru. Климатические данные. Дата обращения 05.10.2022. https://gp5.ru/Архив_погоды_в_Каракуле_Таджикистан.
6. Чернов Р.А., Кудиков А.В., Вшивцева Т.В., Осокин Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген).
7. Эрменбаев Б., Маматканов Д., Сатылканов Р., Поповнин В.В. Изменение подходов к расчету баланса масс ледников внутреннего Тянь-Шаня.
8. Jackson M., Tenzin S., & Tashi T. (2014). Glacier Mass Balance measurements in Bhutan. 16(c), 16069.
9. Haerberli W. Glacier fluctuations and climate change detection //Geogr. Fis. Dinam. Quat. 1995, т. 18, с. 191-199.

10. Kenzhebaev, R., Barandun, M., Kronenberg, M., YanningChen, Usabaliev, R., Hoelzle, M. (2017). Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016. Cold Regions Science and Technology, 135, pp. 76-89.
11. Kronenberg, M. (2016). From point measurements to glacier wide mass balance. Дата обращения 10.04.2022.
12. Oerlemans, J. and J.P.F. Fortuin. 1992. Sensitivity of glaciers and small ice caps to greenhouse warming. Science, 258(5079), pp. 115–117.
13. Ruslan Kenzhebaev, Martina Barandun, Marlene Kronenberg, Yanning Chen, Ryskul Usabaliev, Martin Hoelzle Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016.
14. Thibert E., Blanc R., Vincent C., Eckert N. Glaciological and volumetric mass-balance measurements: error analysis over 51 years for Glacier de Sarennes, French Alps 2008.

А.ҚАЙУМОВ, Х.Қ.КАБУТОВ, М.ХОЭЛЗЛЕ*, Т.САКС*, М.БАРАНДУН**

ТАВОЗУНИ ҲАЧМИ ПИРЯХИ ЗУЛМАРТИ ШАРҚИ (№ 139)

ДАР СОЛҲОИ 2018-2022

*Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази омӯзиши пирияхҳои
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон»,*

**Кафедраи илми замин, Донишгоҳи Фрибург, Фрибург, Швейтсария,*

***Институту мушоҳидаи Замин, Eurac Research, Итолиё*

Ҳадафи тадқиқот ин муайян намудани тавозуни ҳаҷми солонаи пирияхи №139 дар солҳои 2018-2022. Ин пириях дар Помири Шарқӣ, ҳавзаи кӯли Қароқӯл ҷойгир аст. Натиҷаҳои ба даст оварда нишон доданд, ки арзиши миёнаи аблятсия дар тамоми майдон 1000 мм аст. Бузургтарин аблятсия дар баландии 4600-4700 м мушоҳида мешавад, ки дар ин ҷо ба ҳисоби миёна 1500 мм эквиваленти об ва дар баландии 5000 метр абляцияи миёнаи пириях ба 200 мм баробар аст.

Тавозуни оммавие, ки бо усули профили ёфта шудааст, ба мо имкон дод, ки динамикаи пирияхро аз руи баландӣ муайян намоем. Дар баландии 4900-5100 м тағйирпазирии ками масса мушоҳида мешавад. Натиҷаҳо нишон дод, ки барои солҳои 2018-2022 тавозуни массаи пирияхи Зулмарти Шарқи (№ 139) манфӣ буда, ба ҳисоби миёна -250 мм буд. Бузургтарин арзиши манфӣ тавозуни солонаи масса (-310 мм) ба соли тавозуни 2021-22 рост омад.

Калимаҳои калидӣ: тавозуни ҳаҷм, пирияхҳо, усули профилӣ, усули глясиологӣ, Помири Шарқӣ, кӯли Қароқӯл.

A.KAYUMOV, H.K.KABUTOV, M.HOELZLE*, T.SAKS*, M.BARANDUN**

MASS BALANCE OF THE EAST ZULMART GLACIER (No. 139)

FOR 2018-2022

*State Scientific Institution «Center for Research of Glaciers
of the National Academy of Sciences of the Tajikistan»,*

**Department of Geosciences, University of Fribourg, Switzerland,*

***Institute of Earth Observation, Eurac Research, Italy*

The aim of the work is to determine the annual mass balance of glacier No. 139 in the Eastern Pamir, in the Karakul Lake basin for the period 2018-2022. The results obtained show that the average value of ablation over the entire area is 1000 mm. The greatest ablation is observed at altitudes of 4600-4700 m, where on average it is 1500 mm of water equivalent, and at an altitude of 5000 meters, the average ablation of the glacier is 200 mm w.e.

The mass balance found by the profile method allowed us to determine the dynamics of the glacier in terms of heights. Low mass variability is observed at altitudes of 4900-5100 m. The measurement results showed that for the period 2018-2022. the mass balance of the East Zulmart Glacier (No. 139) is negative, on average -250 mm w.e. The largest negative value of the annual mass balance (-310 mm w.e.) fell on the 2021-22 balance year.

Key words: Mass balance, glacier, profile method, glaciological method, Eastern Pamir, Karakul lakes.

УДК 621.382

Х.М.АХМЕДОВ, Х.С.КАРИМОВ*, Н.ФАТИМА*, Н.Ш.ЮСУФБЕКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ НА ОСНОВЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Центр инновационного развития науки и новых технологий
Национальной академии наук Таджикистана,*

**Институт инженерных наук и технологий имени Гулам Исхак Хана*

Поступила в редакцию 10.05.2022 г.

В работе описан способ изготовления и исследования свойства эластичного датчика вибрации на основе композита органических материалов фталоцианина никеля (NiPc) и углеродных нанотрубок (УНТ). Показано, что при действии вибрации частотой 10 Гц сопротивление датчика увеличивается в 4.8 раз. Установлено, что изготовленные датчики отличаются методикой получения, обладают конструкционной новизной и отличительными свойствами по сравнению с аналогами. Датчики вибрации могут быть использованы как в практике, так и в демонстрационных целях в учебном процессе.

Ключевые слова: датчик вибрации, фталоцианин никеля, углеродные нанотрубки, органические материалы, подложка, композит, сопротивление датчика, входное напряжение.

В настоящее время существует огромное количество датчиков вибрации или вибродатчиков, в которых в качестве чувствительного элемента датчика используются различные неорганические полупроводниковые материалы.

Вибродатчик или датчик вибрации это чувствительный аппарат, реагирующий на вибрационные явления и исследуемые величины, такие как виброперемещение, виброскорость, виброускорение. В указанных датчиках основным параметром виброприбора является чувствительность.

Адрес для корреспонденции: Юсуфбеков Наримон Шодихонович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Рудаки, 33 Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ.
E-mail: nyusufbekov@gmail.com.

Любой вибродатчик конструктивно состоит из двух блоков: блока вибропреобразователя, предназначенного для преобразования механического вибрационного движения в электрический сигнал; в зависимости от задействованного механизма преобразования различают модели оптические, пьезоэлектрические и вихретоковые; и электронного блока для принятия, расшифровки и обработки сформированного электросигнала и вывода информации по внешнему интерфейсу, и на сегодняшний день эти устройства позволяют проводить обработку данных в цифровом формате.

Многообразные виды датчиков вибрации используются для измерения вибрационных параметров при лабораторных исследованиях и в диагностических системах. На сегодня известны вибродатчики с довольно широкой чувствительностью. В зависимости от поставленной задачи выбирают аппараты с различной чувствительностью. Миниатюрные вибродатчики имеют чувствительность в диапазоне 0.5 мВ/г - 33 мВ/г. Приборы общего назначения (чувствительность порядка 100 мВ/г, частотный диапазон — 0.5 Гц-10кГц); высокочувствительные датчики (свыше 500 мВ/г) используются для измерения колебаний инженерных конструкций и сооружений (механические и сейсмические вибрации).

Для датчиков вибрации характерны высокие показатели ударной стойкости и собственной частоты и низкое значение собственного шума. Большинство вибродатчиков используют технологию TEDS (международный стандарт IEEE P1451.4), которая позволяет определять тип и технические характеристики устройства в автоматическом режиме.

Однако, наряду с разработкой и изучением датчиков вибрации с чувствительным элементом на основе неорганических материалов и их композиций, большое значение имеет разработка и исследования датчиков вибрации, чувствительным элементом которого являются органические материалы в связи с дешевизной исходных материалов, технологичностью, гибкостью и эластичностью.

В работе [1] были описаны устройства для создания вибрации. В работе [2] были указаны возможности для улучшения параметров и характеристики данных устройств. Механические свойства органических полупроводников были исследованы в работах [4] и [5], были изучены свойства полупроводников при вибрации в частности слоистых полупроводниковых кристаллов AgInP_2S_6 . Следует отметить, что в настоящее время большинство датчиков вибрации основаны на неорганических полупроводниковых технологиях, которые могут иметь негативный эффект на окружающую среду. Органические полупроводники являются привлекательными для использования в электронике, если учесть их легкий вес и гибкость. Вследствие этого, учитывая технологические преимущества органических полупроводников и их дешевизну, изучение и изготовление датчиков вибрации на основе органических материалов является весьма актуальной задачей.

В работе [6] нами были приведены данные о величине сопротивления и ёмкости датчиков растяжения на основе УНТ. В [7] были описаны свойства датчиков на основе

композита графена, а в [8, 9] описаны свойства гибких датчиков и запатентованы конструкция и свойства датчиков на основе органических материалов.

Целью настоящей работы является изготовление и исследование свойств эластичных датчиков вибрации на основе органических материалов.

Образцы датчиков вибрации для исследования были изготовлены следующим образом. На пластмассовую подложку размерами 3 x 1 см, толщиной 0.15 мм вакуумным напылением была осаждена пленка алюминия, в середине которой был изготовлен прорез шириной 0.1 мм, который был заполнен композитом, состоящим из фталоцианина никеля (70 об.%), углеродных нанотрубок (15 об.%) и силиконового клея (15 об.%), что позволило изготовить образцы датчиков вибрации (Al/NiPc-УНТ/Al).

На рис.1 показана схематическая конструкция датчика вибрации.

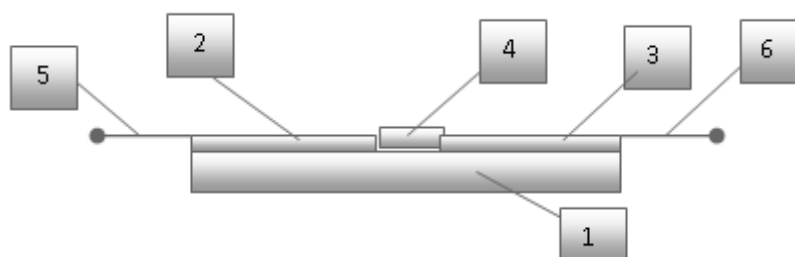


Рис. 1. Схематическая конструкция датчика вибрации Al/NiPc-УНТ/Al: пластмассовая подложка (1), пленки алюминия (2 и 3), прорез шириной 0.1 мм, заполненный композитом (4), 5 и 6 контактные электроды.

На рис.2 приведена блок-схема экспериментальной установки.

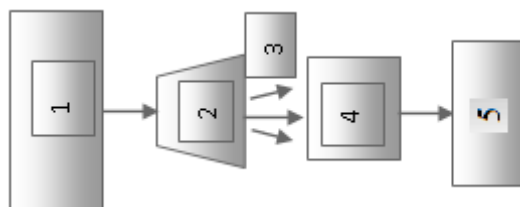


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – генератор EFG-3210, 2 – громкоговоритель, 3 – звук, 4 – датчик вибрации, 5 – LCR измеритель (MT-4090).

Для исследования свойств образцов были использованы генератор электрических сигналов Escort EFG-3210 и преобразователь электрических сигналов в акустические. Частота и амплитуда вибраций в среднем были равны 2Гц и 1.0 мм. Для измерения сопротивлений был использован цифровой LCR измеритель MT 4090.

На рис. 3 показана зависимость сопротивления датчика вибрации от входного напряжения вибратора: если входное напряжение вибратора возрастает, то сопротивление вибратора также монотонно возрастает. Это может быть в случае возрастания - во-первых, контактного и поверхностного сопротивления, во-вторых, объёмного сопротивления образцов вследствие возрастания концентрации дефектов – микротрещин, что мо-

жет быть использовано для разработки приборов и устройств для регистрации вибраций, а также вибраций, связанных с землетрясением, что особенно важно в условиях Таджикистана. Кроме того, данные устройства могут быть использованы в электронных генераторах в качестве сопротивления в цепи обратной связи.

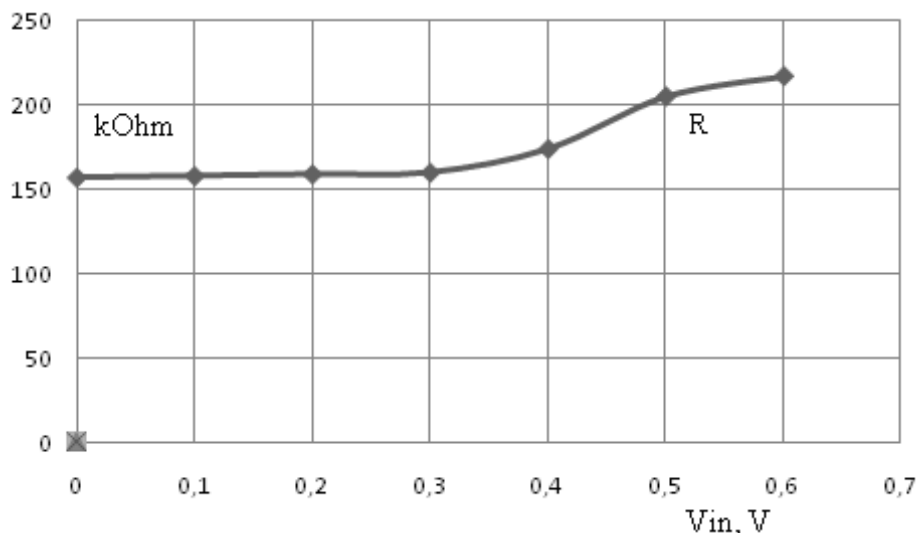


Рис. 3. Зависимость сопротивления датчика вибрации от входного напряжения вибратора.

На рис. 4 показана зависимость сопротивления датчика (Al/NiPc-УНТ/Al) от растяжения и сжатия, которое происходит при изгибе датчика (от 0 до 1.1). При изгибе датчика (от 0 до 1.1) вокруг цилиндрического прута сопротивление уменьшалось соответственно в 1.82.

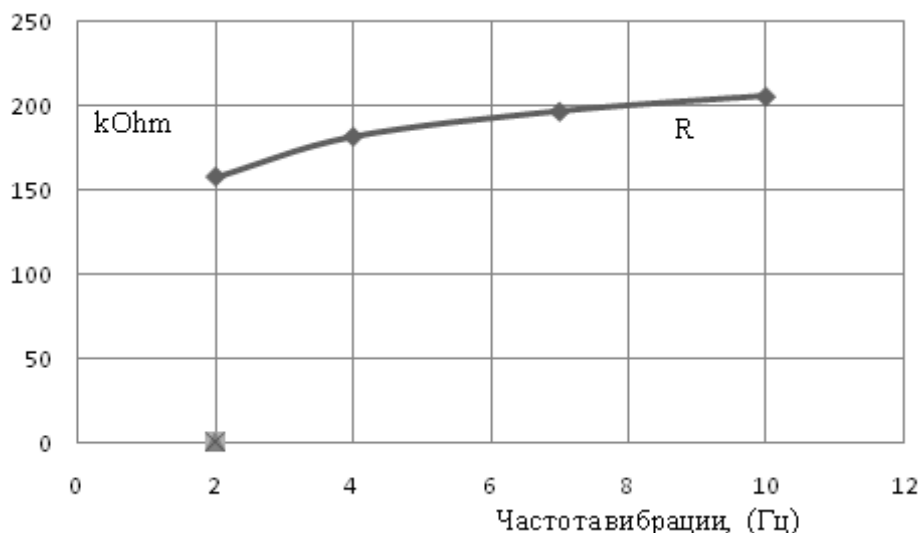


Рис. 4. Зависимость сопротивления датчика (Al/NiPc-УНТ/Al) от растяжения и сжатия.

Эти результаты могут быть объяснены изменением расстояния между частицами NiPc и УНТ, в первую очередь межмолекулярными и, во-вторых, межатомными расстояниями. Также было обнаружено, что при возрастании частоты до 200 кГц полное сопро-

тивление (impedance) уменьшается в 1.26 раз. Это свойство образцов может быть представлено в эквивалентной схеме, представляющей собой параллельное соединение сопротивления и ёмкости.

В работе [9] были описаны свойства гибких датчиков, а в [10] были запатентованы конструкция и свойства датчиков на основе органических материалов.

Таким образом, изготовлены датчики вибрации на основе органических материалов – NiPc и УНТ и исследованы их свойства. Показано, что датчик является гибким и чувствительным к регистрации вибрации, и может использоваться в практических целях. Установлено, что изготовленные датчики отличаются методикой получения, обладают конструкционной новизной и отличительными свойствами по сравнению с рядом датчиков вибрации, изготовленных также из органических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lu L. et.al. Vibration power generation, US20080036307A1, 2008-02-14.
2. Ahmad Sh. Organic semiconductors for device applications: current trends and future prospects. – Journal of polymers engineering, <http://doi.org/10.1515/polyeng-2013-0267>.
3. Kubo T. et.al. Suppressing molecular vibrations in organic semiconductors by inducing strain, Nature communications, 7, article number: 11156 (2016).
4. Root S.E. et.al. Mechanical properties of organic semiconductors for stretchable, highly flexible and mechanically robust electronics. – Chem.Rev., 2017, 117, 9, pp. 6467-6499.
5. Yu P.Y., Cardona M. Vibration properties of semiconductors, and electron-phonon interactions. – Fundamentals of semiconductors, pp.107-158.
6. Bakulin A.A. et.al. Mode-selective vibrational modulation of charge transport in organic electronic devices. – Nature communications, article number: 7880 (2015).
7. Babuka T. et.al. Structural, electronic, vibration and elastic properties of the layered AgInP₂S₆ semi-conducting crystal-DFT approach. – RSC Advances, Iss.13, 2018.
8. Fu Y. et.al. Effect of electrical properties on vibrations via electromechanical coupling in triboelectric energy harvesting. – Journal of Physics D: Applied Physics, 2020, V.53, №21, 2020.
9. Zimmerman Th.G. Optical flex sensor. - US4542291A, 1985-09

Х.М.АХМЕДОВ, Х.С.КАРИМОВ*, Н.ФАТИМА*, Н.Ш.ЮСУФБЕКОВ

ТАҲҚИҚИ ҚОСИДАКҲОИ ЛАРЗИШ ДАР АСОСИ МАВОДҲОИ ОРГАНИКӢ

Маркази рушди инновационии илм ва технологияҳои нави

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,

**Институти илмҳои бунёди ва технологияи ба номи Фулом Исҳоқ Хон*

Дар мақола сохтан ва таҳқиқи хосиятҳои қосидаки эластикӣ ларзиш дар асоси композити маводҳои органикӣ – фтаосианини никел ва нанонайчаҳои карбонӣ тасниф карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми таъсири ларзиш бо басомади 10 Гс муқовимати қосидак 4.8 маротиба меафзояд. Муқаррар карда шудааст, ки қосидакҳои сохташуда бо методикаи сохтан фарқ карда, соҳиби навигарии конструкторӣ ва хосиятҳои

фарққунанда нисбат ба ҳаммонанд (аналог)-ҳои худ мебошанд. Қосидаҳои ларзишро ҳам дар амалия ва ҳам бо мақсадҳои намоишӣ дар раванди таълим истифода кардан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: қосидаки ларзиш, фтаосианини никел, нанонайчаҳои карбонӣ, маводҳои органикӣ, чилд, композит, муковимати қосидак, шиддати вурудӣ.

KH.AKHMEDOV, Kh.S.KARIMOV*, N.FATIMA*, N.Sh.USUFBEKOV

INVESTIGATION OF VIBRATION SENSORS BASED ON ORGANIC MATERIALS

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

**Ghulan Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences and Technology*

The paper describes the manufacture and study of the properties of an elastic vibration sensor based on a composite of organic materials nickel phthalocyanine (NiPc) and carbon nanotubes (CNTs). It is shown that under the action of vibration with a frequency of 10 Hz, the resistance of the sensor increases by a factor of 4.8. It has been established that the manufactured sensors differ in the method of obtaining, have a structural novelty and distinctive properties compared to analogues. Vibration sensors can be used both in practice and for demonstration purposes in the educational process.

Key words: vibration sensor, nickel phthalocyanine, carbon nanotubes, organic materials, substrate, composite, sensor resistance, input voltage.

УДК 624.042

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

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ
ТЕОРИИ ПОДОБИЯ**

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии
НАН Таджикистана,*

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

Поступила в редакцию

В работе рассматривается применение теории подобия к моделированию фрагмента трёхэтажного здания на основе анализа дифференциальных уравнений, описывающих колебательные процессы. Получены коэффициенты подобия, соответствующие свободным и вынужденным колебанием трёхэтажной рамы.

Ключевые слова: подобие, сейсмоизолированная модель, физическое моделирование, константы подобия, геометрическое подобие, временное подобие, физическое подобие.

Введение. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты зданий и сооружений является сейсмоизоляция. Активный способ сейсмозащиты предусматривает снижение сейсмических нагрузок на сооружения за счёт регулирования их динамических характеристик во время колебательного процесса при землетрясениях. Основная идея сейсмоизоляции состоит в том, чтобы увеличить основной период свободных колебаний здания и выйти из области преобладающих периодов сейсмических воздействий. Все виды системы сейсмоизоляции соответствуют общему принципу, по которому структура разбивается на две части и между ними устанавливается сейсмоизоляция [1-5].

Адрес для корреспонденции: Низомов Джахонгир Низомович. 734029, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 267, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ. E-mail: ties@mail.ru

Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович, Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович. 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10А, Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими. E-mail: iftikhor791@mail.ru kalandarbekov-55@mail.ru

Теория подобия позволяет переносить на реальные объекты результаты экспериментальных исследований, получаемые на моделях. Решение этой задачи можно осуществить двумя способами: анализом размерностей [6-10] или анализом уравнений. Здесь мы будем использовать второй способ, где с целью получения критериев подобия, дифференциальные уравнения исследуемого объекта приводятся к безразмерному виду. Подобные объекты описываются одной системой дифференциальных уравнений и имеют подобные условия однозначности, которые включают в себя геометрическое подобие, временное подобие, подобие физических величин, подобие начальных и граничных условий. Если физическая модель подобна оригиналу, то результаты эксперимента через константы подобия могут быть пересчитаны на натуру. Безразмерные константы подобия, выражающие отношение одноименных величин в натуре и модели, изменяются от соотношения размеров природы и модели. Проведение модельных испытаний позволяет правильно оценить динамические характеристики будущей конструкции и внести соответствующие изменения в процессе проектирования.

Пример 1. Моделирование трехэтажного здания без сейсмоизоляции. Система дифференциальных уравнений вынужденных колебаний многоэтажных зданий представляется в матричной форме

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{W}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{W}} + \mathbf{K}\mathbf{W} = \mathbf{P} \sin \theta t, \quad (1)$$

где $\ddot{\mathbf{W}}, \dot{\mathbf{W}}, \mathbf{W}, \mathbf{P}$ – векторы ускорений, скоростей, перемещений и нагрузки, $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{K}$ – матрицы масс, затухания и жёсткости. Для исследуемого объекта в виде системы с тремя степенями свободы (рис. 1а), матрицы масс, затухания и жёсткости представляются в виде

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & & 0 \\ & m_2 & \\ 0 & & m_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & & 0 \\ & c_{22} & \\ 0 & & c_{33} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ 0 & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ P_3 \end{Bmatrix}.$$

Здесь предполагается, что матрица затухания по Релею [10] пропорциональна матрице масс.

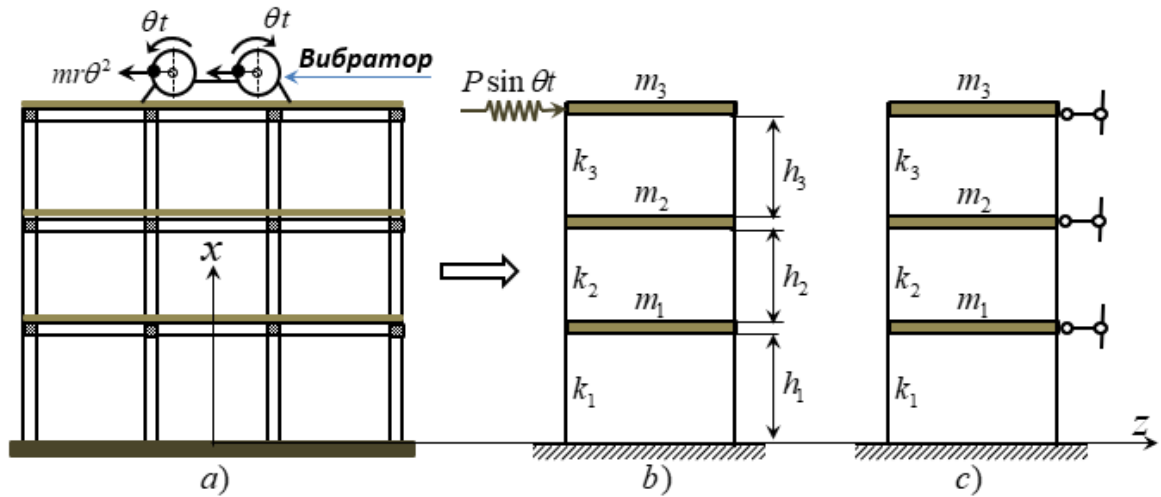


Рис. 1. Моделирование здания от действия гармонической нагрузки: *a* – исследуемый объект; *b* – расчетная модель; *c* – основная система метода перемещений.

Матричное уравнение (1) можно представить в безразмерной форме

$$\bar{\mathbf{M}}\ddot{\bar{\mathbf{W}}} + \bar{\mathbf{C}}\dot{\bar{\mathbf{W}}} + \bar{\mathbf{K}}\bar{\mathbf{W}} = \bar{\mathbf{P}} \sin \vartheta \bar{t}, \quad (1a)$$

где $\bar{\mathbf{M}}, \bar{\mathbf{C}}, \bar{\mathbf{K}}$ – безразмерные матрицы масс, затухания и жесткостей, $\ddot{\bar{\mathbf{W}}}, \dot{\bar{\mathbf{W}}}, \bar{\mathbf{W}}, \bar{\mathbf{P}}$ – безразмерные векторы ускорений, скоростей, перемещений и нагрузки. Для модели фрагмента здания с тремя степенями свободы (рис.1), с использованием безразмерных величин, систему уравнений (1a) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{m_0 w_0}{T_1^2} \bar{m}_1 \frac{\partial^2 \bar{w}_1}{\partial \bar{t}^2} + \frac{c_0 w_0}{T_1} \bar{c}_{11} \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} + k_0 w_0 \bar{k}_{11} \bar{w}_1 + k_0 w_0 \bar{k}_{12} \bar{w}_2 &= 0, \\ \frac{m_0 w_0}{T_1^2} \bar{m}_2 \frac{\partial^2 \bar{w}_2}{\partial \bar{t}^2} + \frac{c_0 w_0}{T_1} \bar{c}_{22} \frac{\partial \bar{w}_2}{\partial \bar{t}} + k_0 w_0 \bar{k}_{21} \bar{w}_1 + k_0 w_0 \bar{k}_{22} \bar{w}_2 + k_0 w_0 \bar{k}_{23} \bar{w}_3 &= 0, \\ \frac{m_0 w_0}{T_1^2} \bar{m}_3 \frac{\partial^2 \bar{w}_3}{\partial \bar{t}^2} + \frac{c_0 w_0}{T_1} \bar{c}_{33} \frac{\partial \bar{w}_3}{\partial \bar{t}} + k_0 w_0 \bar{k}_{32} \bar{w}_2 + k_0 w_0 \bar{k}_{33} \bar{w}_3 &= P_0 \bar{P}_3 \sin \theta_0 \bar{t}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\bar{t} = t/T_1, \quad \bar{w}_i = w_i/w_0, \quad \bar{c}_{ii} = c_{ii}/c_0, \quad \bar{k}_{ij} = k_{ij}/k_0, \quad \bar{P}_3 = P_3/P_0, \quad \bar{m}_i = m_i/m_0.$$

Здесь предполагается, что характерные параметры $t_0 = T_1, w_0, c_0, k_0, P_0, m_0$ имеют наибольшие значения для соответствующих величин. Например, за t_0 можно принять T_1 , равный основному периоду свободных колебаний, за w_0 – перемещение массы m_3 от действия амплитудного значения вибрационной нагрузки P_0 , а за m_0 следует принять

одну из масс, которая имеет наибольшее значение. Коэффициенты жёсткости k_{ij} определяются с использованием основной системы метода перемещений (рис.1с). В качестве k_0 принимается наибольшее из полученных значений:

$$k_{11} = 24EI_1 / h_1^3 + 24EI_2 / h_2^3, \quad k_{22} = 24EI_2 / h_2^3 + 24EI_3 / h_3^3, \\ k_{33} = 24EI_3 / h_3^3. \quad k_{12} = k_{21} = -24EI_2 / h_2^3, \quad k_{23} = k_{32} = -24EI_3 / h_3^3.$$

При $EI = const$ и $h = const$, коэффициент k_0 принимается равным $48EI / h^3$.

Поделив все члены системы уравнений (2) на $m_0 w_0 / T_1^2$, получаем

$$\bar{m}_1 \frac{\partial^2 \bar{w}_1}{\partial \bar{t}^2} + \frac{T_1 c_0}{m_0} \bar{c}_{11} \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{11} \bar{w}_1 + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{12} \bar{w}_2 = 0, \\ \bar{m}_2 \frac{\partial^2 \bar{w}_2}{\partial \bar{t}^2} + \frac{T_1 c_0}{m_0} \bar{c}_{22} \frac{\partial \bar{w}_2}{\partial \bar{t}} + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{21} \bar{w}_1 + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{22} \bar{w}_2 + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{23} \bar{w}_3 = 0, \quad (2a) \\ \bar{m}_3 \frac{\partial^2 \bar{w}_3}{\partial \bar{t}^2} + \frac{T_1 c_0}{m_0} \bar{c}_{33} \frac{\partial \bar{w}_3}{\partial \bar{t}} + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{32} \bar{w}_2 + \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_{33} \bar{w}_3 = \frac{T_1^2 P_0}{m_0 w_0} \bar{P}_3 \sin(\theta_0 T_1 \bar{t}).$$

Систему уравнений (2a) представим в виде

$$\bar{m}_1 \frac{\partial^2 \bar{w}_1}{\partial \bar{t}^2} + \pi_1 \bar{c}_{11} \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} + \pi_2 (\bar{k}_{11} \bar{w}_1 + \bar{k}_{12} \bar{w}_2) = 0, \\ \bar{m}_2 \frac{\partial^2 \bar{w}_2}{\partial \bar{t}^2} + \pi_1 \bar{c}_{22} \frac{\partial \bar{w}_2}{\partial \bar{t}} + \pi_2 (\bar{k}_{21} \bar{w}_1 + \bar{k}_{22} \bar{w}_2 + \bar{k}_{23} \bar{w}_3) = 0, \quad (26) \\ \bar{m}_3 \frac{\partial^2 \bar{w}_3}{\partial \bar{t}^2} + \pi_1 \bar{c}_{33} \frac{\partial \bar{w}_3}{\partial \bar{t}} + \pi_2 (\bar{k}_{32} \bar{w}_2 + \bar{k}_{33} \bar{w}_3) = \pi_3 \bar{P}_3 \sin(\pi_4 \bar{t}),$$

где параметры подобия записываются в виде

$$\pi_1 = \frac{c_0 T_1}{m_0}, \quad \pi_2 = \frac{k_0 T_1^2}{m_0}, \quad \pi_3 = \frac{T_1^2 P_0}{m_0 w_0}, \quad \pi_4 = \theta_0 T_1. \quad (3)$$

Полученные параметры подобия (3) позволяют определить динамические характеристики исследуемого объекта в натуре. Например, из равенства $\pi_{2n} = \pi_{2m}$, получаем период свободных колебаний натуре

$$\frac{k_{0n} T_{1n}^2}{m_{0n}} = \frac{k_{0m} T_{1m}^2}{m_{0m}}, \quad \rightarrow \quad T_{1n} = T_{1m} \sqrt{\frac{k_{0m} m_{0n}}{k_{0n} m_{0m}}}, \quad k_0 = \frac{48EI}{h^3},$$

где предполагается, что период свободных колебаний модели известен.

Пример 2. Трёхэтажная модель с сейсмоизоляцией. Для модели, представленной на рис. 2а, которая состоит из суперструктуры, сейсмоизоляции и субструктуры, в дополнение к системе уравнений (1), записывается уравнение, соответствующее движению массы m_b , которая связана с сейсмоизоляцией [1-5]

$$m_b \ddot{w}_b + f_b - k_1 w_1 - c_1 \dot{w}_1 = 0, \quad (4)$$

здесь f_b – восстанавливающая сила сейсмоизоляции, k_1 , c_1 – коэффициенты жёсткости и демпфирования первого этажа. Следовательно, здесь мы имеем систему с четырьмя степенями свободы.

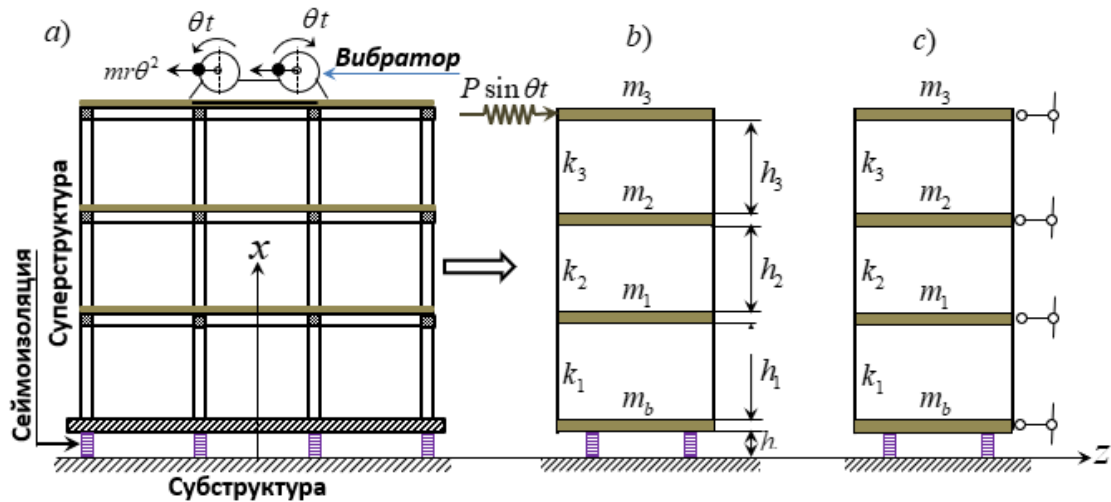


Рис. 2. Моделирование сейсмоизолированного здания.

Восстанавливающая сила f_b , в зависимости от перемещения изоляции, в общем имеет нелинейный характер изменения (рис. 3). Согласно [11] нелинейный закон изменения восстанавливающей силы в (4) может быть заменён эквивалентной линейной моделью на основе эффективной упругой жёсткости и эффективного вязкого затухания

$$f_b = k_{eff} w_b + c_{eff} \dot{w}_b, \quad (5)$$

$$k_{eff} = f_2 / \Delta_2 = |f_2 = f_0 + k_{12} \Delta_2, \quad k_{12} = (f_2 - f_0) / \Delta_2| = k_{12} + f_0 / \Delta_2,$$

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

здесь w_b , \dot{w}_b – относительные перемещение и скорость массы фундаментной плиты m_b , M – масса суперструктуры, k_{eff} , ξ_{eff} , T_{eff} – эффективные коэффициенты жёсткости, затухания и основной период свободных колебаний изоляции, $N = Mg$ – вес суперструктуры.

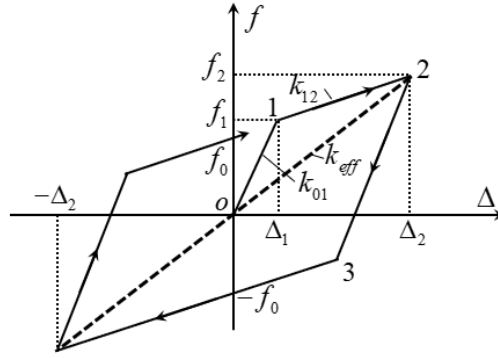


Рис. 3. Билинейный график " $f - \Delta$ " .

Диссипативная энергия, равная площади петли гистерезиса $E = 4 f_0 (\Delta_2 - \Delta_1)$.

Эффективный параметр вязкого затухания сейсмоизоляции

$$\xi_{eff} = \frac{4 f_0 (\Delta_2 - \Delta_1)}{2 \pi k_{eff} \Delta_2^2}.$$

Уравнение (4) с учетом (5) представляется в виде

$$m_b \ddot{w}_b + k_{eff} w_b + c_{eff} \dot{w}_b - k_1 w_1 - c_1 \dot{w}_1 = 0. \quad (6)$$

Введём дополнительные характерные величины k_{is} , c_{is}

$$\bar{k}_{eff} = k_{eff} / k_{is}, \quad \bar{c}_{eff} = c_{eff} / c_{is}, \quad \bar{m}_b = m_b / m_0,$$

соответствующие сейсмоизоляции, и уравнение (6) представим в безразмерном виде

$$\frac{m_0 \bar{m}_b w_0}{T_1^2} \frac{\partial^2 \bar{w}_b}{\partial \bar{t}^2} + k_{is} \bar{k}_{eff} w_0 \bar{w}_b + \frac{c_{is} \bar{c}_{eff} w_0}{T_1} \frac{\partial \bar{w}_b}{\partial \bar{t}} - k_0 \bar{k}_1 w_0 \bar{w}_1 - \frac{c_0 \bar{c}_1 w_0}{T_1} \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} = 0. \quad (6a)$$

Поделив все члены уравнения (6a) на величину $m_0 w_0 / T_1^2$, имеем

$$\bar{m}_b \frac{\partial^2 \bar{w}_b}{\partial \bar{t}^2} + \frac{T_1^2 k_{is}}{m_0} \bar{k}_{eff} \bar{w}_b + \frac{T_1 c_{is}}{m_0} \bar{c}_{eff} \frac{\partial \bar{w}_b}{\partial \bar{t}} - \frac{T_1^2 k_0}{m_0} \bar{k}_1 \bar{w}_1 - \frac{T_1 c_0}{m_0} \bar{c}_1 \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} = 0,$$

а затем, вводя соответствующие параметры подобия, окончательно получим

$$\bar{m}_b \frac{\partial^2 \bar{w}_b}{\partial \bar{t}^2} + \pi_{2b} \bar{k}_{eff} \bar{w}_b + \pi_{1b} \bar{c}_{eff} \frac{\partial \bar{w}_b}{\partial \bar{t}} - \pi_2 \bar{k}_1 \bar{w}_1 - \pi_1 \bar{c}_1 \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial \bar{t}} = 0, \quad (7)$$

где параметры подобия приобретают вид

$$\pi_{2b} = \frac{T_1^2 k_{is}}{m_0}, \quad \pi_{1b} = \frac{T_1 c_{is}}{m_0}, \quad \pi_2 = \frac{T_1^2 k_0}{m_0}, \quad \pi_1 = \frac{T_1 c_0}{m_0}. \quad (8)$$

Как следует из (7) в модели с сейсмоизоляцией дополнительно к параметрам подобия (3) появляются параметры π_{1b} и π_{2b} (8). Если в результате эксперимента на модели с сейсмоизоляцией мы получили записи свободных колебаний, то, используя π_{1b} или π_{2b} , в зависимости от заданных характеристик c_{is} или k_{is} , мы сможем определить период свободных колебаний природы.

Следует здесь также отметить, что из совместного рассмотрения (7) и (2б) мы получим систему дифференциальных уравнений сейсмоизолированного объекта в безразмерном виде. Результаты численного решения этой задачи, полученные для модели, можно будет применить к натурному объекту.

Вывод. На основе теории подобия получены результаты моделирования фрагмента трёхэтажного здания с учетом и без учета сейсмоизоляции. Получены коэффициенты подобия, которые позволяют переходить от модели объекта к его оригиналу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И. Моделирование зданий с учетом нелинейной работы сейсмоизоляции. Материалы VIII международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». – Душанбе, 2016 г., часть 1, с. 234-238.
2. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.К., Ходжибоев А.А. Численный анализ модели сейсмоизолированного многоэтажного здания. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Москва, 2017, № 3, с. 16-20.
3. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И. Исследование свободных колебаний сейсмоизолированных зданий с учетом кручения и поворота инерционных масс. – Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018, № 4 (44), с. 165-170.
4. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И. Численное моделирование сейсмоизолированных зданий с сухим трением. – ДАН РТ 2018, т. 61, № 1, с. 47-53.
5. Низомов Д.Н. Численное моделирование динамических задач по расчету сейсмоизолированных зданий. Материалы международной научной конференции. НАНТ. - Душанбе, 14-15 сентября 2020, с. 62-70.
6. Кирпичев М.В. Теория подобия. – М.: Изд-во АН СССР, 1953, 96 с.
7. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977, 440 с.
8. Баренблатт Г. И. Анализ размерностей. – М.: МФТИ, 1987, 168 с.
9. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций. – М.: Машиностроение, 1990, 288 с.
10. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М.: Стройиздат, 1979, 320 с.
11. Uniform Building Code, International conference of building officials. – Whittier; California, USA, 1997, 1079 p.

Ҷ.Н.НИЗОМОВ, И.И.ҚАЛАНДАРБЕКОВ*, И.Қ.ҚАЛАНДАРБЕКОВ*

**МОДЕЛКУНОНИИ БИНОҲОИ ДОРОИ МАҲДУДКУНАКҲОИ
СЕЙСМИКӢ ДАР АСОСИ НАЗАРИЯИ МОНАНДӢ**

*Институти геология, сохтмони ба заминҷунбӣ тобовар ва сейсмологияи
АМИ Тоҷикистон,*

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

Дар мақола татбиқи назарияи монандӣ ба моделсозии порчаи бинои сеошёна дар асоси таҳлили муодилаҳои дифференсиалӣ, ки равандҳои ларзишро тавсиф мекунад, баррасӣ мекунад. Коэффисиентҳои шабоҳат ба ларзишҳои озод ва маҷбурии чаҳорошёна сеошёна ба даст оварда мешаванд.

Калимаҳои калидӣ: монандӣ, модели дорои маҳдудкунакҳои сейсмикӣ, моделсозии физикӣ, доимӣҳои монандӣ, монандии геометрӣ, монандии вақт, монандии физикӣ.

D.N.NIZOMOV, I.I.KALANDARBEKOV*, I.K.KALANDARBEKOV*

**SIMULATION OF SEISMIC ISOLATED BUILDINGS BASED
ON THE THEORY OF SIMILARITY**

Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, NAS Tajikistan,

**Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi*

The paper considers the application of the theory of similarity to the modeling of a fragment of a three-story building based on the analysis of differential equations describing oscillatory processes. Similarity coefficients corresponding to free and forced vibrations of a three-story frame are obtained.

Key words: similarity, seismically isolated model, physical modeling, similarity constants, geometric similarity, temporal similarity, physical similarity.

УДК:504.064.2+504.43

УДК:623.454.862

М.З.АХМЕДОВ

ОБЗОР РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТАДЖИКИСТАНЕ

*Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности
Национальной академии наук Таджикистана
Поступила в редакцию 26.12.2022 Г.*

В данной статье приведён обзор радиационной безопасности в Республике Таджикистан. Во время проведения исследований были учтены сферы применения источников ионизирующего излучения в стране, анализ законодательной базы, обязательства Республики Таджикистан, регулирование деятельности использования источников ионизирующего излучения, системы учёта и контроля, государственный регистр источников ионизирующего излучения, управление радиоактивными отходами, образование и обучение по радиационной безопасности, предотвращение незаконного трафика ядерных и радиоактивных материалов, сотрудничество с правоохранительными органами.

Ключевые слова: радиационная безопасность, источники ионизирующего излучения, радиация, законодательная база, учёт и контроль, ядерные и радиоактивные материалы.

В Республике Таджикистан широко используются источники ионизирующего излучения (далее ИИИ) в таких сферах, как промышленность, медицина, сельское хозяйство, наука и т.д.

Как и другие технологии, радиационные технологии связаны со значительными выгодами для человечества и одновременно с определёнными рисками. Высокие дозы облучения могут повредить здоровью человека, вызвать раковые заболевания или генетические врожденные дефекты. Поэтому, исходя из принципа обоснования, очень важно, чтобы получаемая польза от источников ионизирующего излучения, применяемых в медицине, промышленности, научных исследованиях значительно превышала потенциальный вред, связанный с облучением человека [1].

Адрес для корреспонденции: Ахмедов Матин Зафарджонович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Агентство по ХБРЯ безопасности НАНТ. E-mail: info@cbrn.tj

С целью регулирования деятельности, связанной с использованием ИИИ, в 2003 году было создано Агентство по ядерной и радиационной безопасности при Академии наук Республики Таджикистан, как единый независимый регулирующий орган страны для обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Основными функциями регулирующего органа были определены лицензирование, проведение проверок, разработка нормативных правовых актов, наложение штрафных санкций и др. Указанные выше функции соответствуют требованиям МАГАТЭ для становления регулирующего органа, согласно документам GSR part 1 и GSR part 2.

Применение радионуклидов и различного типа излучений в медицине способствовало появлению новых, более эффективных методов профилактики, диагностики и лечения многих заболеваний. В дистанционной лучевой терапии определённые части тела пациента облучаются одним или несколькими пучками излучения. Пучок формируется таким образом, чтобы свести к минимуму облучение здоровых клеток и, в то же время, либо остановить распространение раковых клеток, либо уничтожить их. Пучок может состоять из электронов и/или рентгеновских лучей, гамма-лучей, а при терапии заряженными частицами – из протонов или ионов углерода.

В Таджикистане источники ионизирующего излучения широко используются в медицине в качестве диагностики и терапии. В качестве диагностики в основном используются рентгеновские лучи (рентгенография, рентгеноскопия, маммография, компьютерная томография и т.д.). В терапевтических целях в основном для лечения онкологических заболеваний используются дистанционные гамма-терапевтические установки и брахитерапевтические установки, в которых используются такие источники, как кобальт-60 (^{60}Co) и цезий-137 (^{137}Cs). Помимо этого, в дистанционной лучевой терапии используются медицинские линейные ускорители заряженных частиц.

Согласно Государственному регистру Республики Таджикистан по источникам ионизирующего излучения, из всех лицензируемых видов деятельности по стране 85% составляют медицинские объекты [2].

В Таджикистане создана и функционирует государственная система учёта и контроля ИИИ. Для обеспечения учёта и контроля ИИИ проводится их регистрация в Государственном регистре в соответствии с документом «Порядок организации государственной системы учёта и контроля ядерных материалов и источников ионизирующего излучения».

По состоянию на 2022 год в базу данных Регистра внесена информация о 2264 ИИИ. Из них 1237 – закрытые, 35 – открытые и 992 – генерирующие устройства.

Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной (ХБРЯ) безопасности НАН Таджикистана при поддержке МАГАТЭ проводит регулярную деятельность по гармонизации нормативных правовых документов, обеспечению безопасности и сохранности ИИИ. По результатам миссии МАГАТЭ было отмечено следующее:

- обеспечивается Государственная система учёта и контроля ИИИ;
- полностью осуществляется надзор и лицензирование деятельности по использованию ИИИ;
- совершенствуются лицензионные условия для лицензиатов;
- внедряется система контроля и учёта индивидуальных доз облучения.

При этом все объекты, согласно законодательству Республики Таджикистан, проводят свою деятельность на основе соответствующей лицензии.

Другим важным моментом состояния радиационной безопасности является обращение с радиоактивными отходами. Широкое использование ядерной энергии, начавшееся в конце 40-х годов прошлого века в Советском Союзе, привело к образованию большого количества радиоактивных отходов переработки урановой руды на территории ряда Союзных республик. В том числе Таджикистан унаследовал большое количество радиоактивных отходов, образовавшихся в результате деятельности ураноперерабатывающей промышленности на территории северного Таджикистана.

Производство уранового концентрата в Советском Союзе впервые началось в Таджикистане в 1944 году на опытном заводе в г. Гафурове. А затем на территории Согдийской области было построено еще 6 заводов по добыче закиси-оксида урана. В течение почти 50 лет в Таджикистане было произведено около 100 тыс. тонн уранового концентрата, в результате чего на территории 6 районов Согдийской области в хвостохранилищах накопилось более 55 млн. тонн отходов с суммарной активностью более 6.5 тыс. Кюри. Состояние многих хвостохранилищ представляет на сегодня опасность для окружающей среды и здоровья людей [3].

С этой целью в 2013 году были приняты Закон Республики Таджикистан «Об обращении с радиоактивными отходами», «Национальная Концепция Республики Таджикистан по реабилитации отходов урановой промышленности для 2014-2024 годы» и «План реализации Национальной Концепции Республики Таджикистан по реабилитации отходов урановой промышленности для 2016-2024 годы» [4].

Также были разработаны необходимые подзаконные акты, и существующая законодательная база по мере возможности была гармонизирована с международными требованиями в области управления радиоактивными отходами. Принятые нормативные документы стали основой для сотрудничества с международными партнерами для решения проблем реабилитации отходов урановой промышленности.

С октября 2022 года в рамках «Межгосударственной целевой программы» государств СНГ по мирному использованию атомной энергии начались работы по реабилитации хвостохранилищ отходов урановой промышленности в г. Истиклол Согдийской области.

Также в ближайшие годы намечается проведение реабилитационных работ в хвостохранилищах г.Истиклол (оставшиеся территории), а также п.Дигмай, Бободжон Гафуровского района в рамках «Стратегического мастер-плана», финансируемого Экологическим фондом Европейского банка развития и реконструкции [4].

Таджикистан строит свою регулируемую деятельность по обеспечению радиационной безопасности на базе принципов безопасности, рекомендованных МАГАТЭ. Таджикистан в 2001 году стал членом МАГАТЭ, и за это время были подписаны и ратифицированы следующие соглашения:

1. Договор о нераспространения ядерного оружия;
2. Дополнительный протокол к соглашению о всеобъемлющих гарантиях МАГАТЭ;
3. Соглашение между Таджикистаном и МАГАТЭ по протоколу о малом количестве;
4. Конвенция о физической защите ядерного материала;
5. Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии;
6. Конвенция о помощи в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации;
7. Объединённая конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами;
8. Пересмотренное Дополнительное соглашение об оказании технической помощи МАГАТЭ и другие.

На сегодняшний день, с целью создания соответствующей законодательной базы по регулированию ядерной и радиационной безопасности и гармонизации её с требованиями и рекомендациями МАГАТЭ, были разработаны и приняты соответствующие законы, положения, постановления Правительства, нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности [5].

При разработке некоторых нормативных правовых документов были учтены соответствующие документы стран СНГ, которые не охватывают отдельные вопросы радиационной безопасности или охватывают их частично. В частности, ситуации с существующим облучением, планированным облучением и аварийным облучением охватываются не в полном объёме. Поэтому, есть необходимость внесения дополнений и изменений в существующие документы с целью их гармонизации с требованиями и рекомендациями МАГАТЭ.

С целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности, Агентство тесно работает с соответствующими министерствами и ведомствами страны. Для более тесного сотрудничества заключены меморандумы о взаимопонимании и соглашения в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, включая аварийное реагирование – с Комитетом по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне РТ, безопасность границ – с Пограничными войсками ГКНБ РТ, экспорт, импорт и транзит ядерных и радиоактивных материалов, а также продуктов двойного назначения – с Таможенной службой РТ и Министерством экономического развития и торговли РТ.

В рамках сотрудничества Агентством проводится ряд обучающих курсов по нераспространению оружия массового уничтожения и экспортного контроля для сотрудников правоохранительных органов.

Проведённые оценки показали, что, согласно международным требованиям, в особенности Международного Агентства по атомной энергии, в Республике Таджикистан создан единый регулирующий орган в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Регулирующему органу даны основные полномочия, в частности, лицензирование, проведение проверок, разработка нормативных правовых актов, наложение штрафов, подготовка соответственных кадров, реагирование на аварийные ситуации и координирование деятельности других министерств и ведомств в данной области.

В Регулирующем органе функционирует единая государственная система учёта и контроля ядерных материалов и источников ионизирующего излучения. Создана база данных, которая своевременно обновляется с учётом новой полученной информации. С соответствующими министерствами и ведомствами страны заключены меморандумы о взаимопонимании и другие соглашения в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, включая аварийное реагирование, безопасность границ, экспорт, импорт, транзит ядерных и радиоактивных материалов, а также продуктов двойного назначения.

В связи с этим, для имплементации международных обязательств, требований необходимо гармонизировать остальные нормативные правовые акты страны с международными требованиями, а также продолжить сотрудничество с другими министерствами и ведомствами по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, в частности, с правоохранительными органами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамидов Ф.А., Ахмедов М.З., Назаров Ф.А. и др. Использование источников ионизирующего излучения в Таджикистане. – III Международная научно-практическая конференция «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий». – Гулистан, Республика Таджикистан, 2022, с. 99-103.
2. Реестр лицензий и ИИИ в базе компьютерной программы “ARIS”.
3. Национальная Концепция Республики Таджикистан по реабилитации хвостохранилищ отходов переработки урановых руд на 2014-2024 гг.
4. Отчет Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности за 2022 год.
5. Сборник Законов (в области ядерной и радиационной безопасности) Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ. – Душанбе, 2022, 258 с.

М.З.АХМЕДОВ

ШАРҲИ БЕХАТАРИИ РАДИАТСИОНӢ ДАР ТОҶИКИСТОН

Агентии бехатарии химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар ин мақола шарҳи бехатарии радиатсионӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст. Хангоми баррасӣ самтҳои асосии истифодабарии манбаъҳои афканишоти ионифар дар кишвар, таҳлили пояи қонунгузорӣ, ӯҳдадорихои Ҷумҳурии Тоҷикистон, танзими

фаъолияти истифодабарии манбаъҳои афканишоти ионофар, системаи баҳисобгирӣ ва назорат, феҳристи давлатии манбаъҳои афканишоти ионофар, муомилот бо партовҳои радиоактивӣ, таълим ва тадрис дар соҳаи бехатарии радиатсионӣ, пешгирии гардиши ғайриқонунии маводи ядрӣ ва радиоактивӣ, ҳамкорӣ бо мақомоти ҳифзи ҳуқуқ ба назар гирифта шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: бехатарии радиатсионӣ, манбаъҳои афканишоти ионофар, радиатсия, заминаи ҳуқуқӣ, баҳисобгирӣ ва назорат, маводи ядрӣ ва радиоактивӣ.

M.Z.AKHMEDOV

OVERVIEW OF RADIATION SAFETY IN TAJIKISTAN

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

This article provides an overview of radiation safety in the Republic of Tajikistan. During the review, the areas of application of ionizing radiation sources in the country, was taking in to account analysis of the legislative framework, obligations of the Republic of Tajikistan, regulation of the use of sources of ionizing radiation, accounting and control systems, the state register of sources of ionizing radiation, management of radioactive waste, education and training in radiation safety, prevention of illegal traffic of nuclear and radioactive materials, cooperation with law enforcement agencies.

Key words: radiation safety, ionizing radiation sources, radiation, legal framework, accounting and control, nuclear and radioactive materials.

УДК 614.73+65.011.56

З.Н.САЙФИЕВА, С.В.МУМИНОВ, О.А.АЗИЗОВ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ПРИ КОНТРОЛЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТАДЖИКИСТАНА**

*Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности
НАН Таджикистана*

Поступила в редакцию 06.06.2022 г.

В работе дано описание программы автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) окружающей среды на территории Республики Таджикистан. Разработанная современная аппаратно-программная база и открытая структура построения базового комплекса позволит путём расширения охватить всю территорию республики непрерывным радиационно-метеорологическим контролем с организацией необходимой иерархии центров контроля и реагирования.

Ключевые слова: автоматизированная система, контроль радиационной обстановки, радионуклиды, миграция радионуклидов, мониторинг гамма-излучения.

Введение

Радиоактивное загрязнение является одним из самых опасных видов загрязнения окружающей среды, как с точки зрения негативного воздействия на здоровье населения, так и последующего включения радионуклидов искусственного происхождения в биогеохимические природные циклы и их долгосрочного воздействия на элементы биосферы [1].

Исследования последствий испытаний ядерного оружия для окружающей среды сформировали новый, по сравнению с классической геохимией, уровень научных представлений о поведении радиоактивных элементов искусственного происхождения в био-

Адрес для корреспонденции: Сайфиева Зарина Назаровна. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки 33, Агентство по ХБРЯ химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ. E-mail: z.sayfieva@cbrn.tj

сфере, а радиоактивное загрязнение вследствие катастрофы потребовало дальнейшего их развития [1].

Проанализируем и определим степени риска некоторых действующих угроз радиационной безопасности на территории Республики Таджикистан в разные временные периоды от влияния разных источников. Так, из-за глобального выпадения изотопов цезия-137, стронция-90 и изотопов плутония вследствие испытаний ядерного оружия в окружающую среду во второй половине 20-го века, сегодня степень риска может быть оценена, всё таки, как относительно «низкая». С другой стороны, из радиоактивных хвостохранилищ, образовавшихся во времена Советского Союза в северной части Таджикистана, неизбежна миграция радионуклидов в любое время. Также неизбежны выбросы АЭС, строящихся в соседних государствах.

Цель нашей работы – разработка и создание программы автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) окружающей среды на территории Республики Таджикистан.

Программа АСКРО позволяет:

- а) контролировать состояние воздушной среды в нормальных условиях для обнаружения чрезвычайно низких уровней повышенной радиоактивности;
- б) проводить контроль загрязнения воздуха и почвы при возникновении аварий с целью контроля выброса радиоактивных веществ, позволяя принимать соответствующие решения по защите населения и окружающей среды [2].

Методика

Нами было запланировано установить АСКРО на пяти точках (станциях) на всей территории страны, то есть в каждом регионе по одной станции. Монтаж станций будет выполнен на высоте 3 м от поверхности земли (рис.).

АСКРО представляет собой измерительную систему непрерывного действия для обнаружения исключительно низких уровней гамма-излучения, а также замеров высоких уровней гамма-излучения. Устройство может выполнять спектрометрический анализ проб для идентификации обнаруженных радионуклидов. АСКРО используют для мониторинга гамма-излучения в том случае, если стандартный монитор мощности дозы гамма-излучения недостаточно эффективен, и если необходимо качественно определить природу гамма-излучения. Система должна иметь датчики включения всего оборудования, необходимого для обеспечения постоянной работы при исключительно малом объёме работ по техническому обслуживанию и в экстремальных условиях.

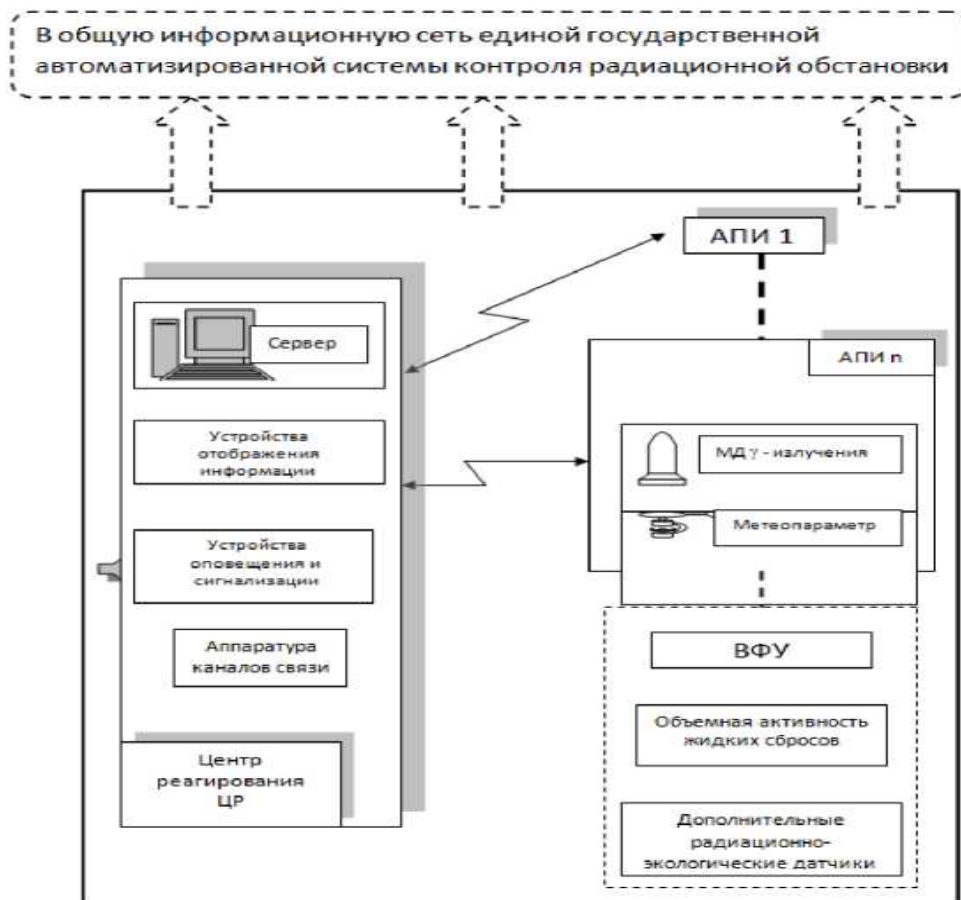


Рис. Структура автоматизированной системы контроля радиационной обстановки [3].

АСКРО послужит отправной точкой для создания современной комплексной системы контроля радиационной обстановки в зоне наблюдения территории и создания Единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки. Разработанная современная аппаратно-программная база и открытая структура построения базового комплекса позволит путём расширения охватить всю территорию республики непрерывным радиационно-метеорологическим контролем с организацией необходимой иерархии центров контроля и реагирования [3].

Выводы

АСКРО обеспечивает радиационный контроль (мониторинг) на территории Таджикистана, и полученная с помощью отечественных приборов информация позволит реально оценить радиационную обстановку в окружающей среде. Дополнительно посты могут быть оснащены приборами для радиоактивного (α - и β -излучения) анализа проб воды, почвы, растительности, донных отложений и пищевых продуктов, измерения концентраций радиоактивных аэрозолей и радиоактивных выпадений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герменчук М.Г. Управление системой радиационного мониторинга окружающей среды: Учебно-методическое пособие. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018, 120 с.
2. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. SpectroTRACER. – FW-версия 5.21, 2019, 98 с.
3. Новик А.Н., Кучинский П.В., Белый И.В., Тамашевич С.Г. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки окружающей среды с открытой архитектурой построения. – Доклады БГУИР, 2915, №2(88), с. 131-134.

З.Н.САЙФИЕВА, С.В.МУМИНОВ, О.А.АЗИЗОВ

ИСТИФОДАИ СИСТЕМАҲОИ АВТОМАТИКУНОНИДАШУДА ҲАНГОМИ НАЗОРАТИ ВАЪБИ РАДИАТСИОНИИ МУҲИТИ ЗИСТИ ТОҶИКИСТОН

*Агентии бехатарии химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон*

Дар мақола тавсифи барномаи автоматикунонидашудаи системаи назорати вазъи радиатсионии (АСНВР) муҳити зист дар ҳудуди Тоҷикистон дода шудааст. Базаи ҳозиразамони таҷҳизотию барномавӣ ва сохтори кушодаи барпо намудани маҷмӯи асосӣ имкон медиҳад, ки бо роҳи васеъ кардани он тамоми ҳудуди ҷумҳуриро бо назорати доимии радиатсионӣ метеорологӣ бо ташкили зинаи зарурии марказҳои назорат ва эътино фаро гирирад.

Калимаҳои калидӣ: системаи автоматикунонидашуда, назорати вазъи радиатсионӣ, радионуклидҳо, ҷойивазкунии радионуклидҳо, мониторинги гамма-афканишот.

Z.N.SAYFIEVA, S.V.MUMINOV, O.A.AZIZOV

USE OF AUTOMATED SYSTEMS FOR MONITORING OF RADIATION SITUATION OF ENVIRONMENT IN TAJIKISTAN

*Chemical, biological, radiological and nuclear safety and security agency
of National academy of sciences of the Republic of Tajikistan*

The paper describes the program of automated system for monitoring the radiation situation (ASMRS) of environment of territory of the Republic of Tajikistan. The developed modern hardware and software base and open structure of the base complex construction will allow by expanding to cover the entire territory of the republic with continuous radiation and meteorological monitoring with formation of necessary hierarchy of control and response centers.

Key words: automated system, radiation situation control, radionuclides, radionuclide migration, gamma radiation monitoring.