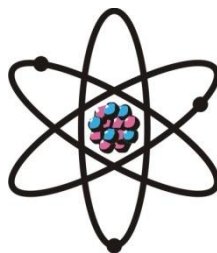


**ОТДЕЛЕНИЕ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ,
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Журнал основан
в январе 1952 г.



№ 4 (185)
2021 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

А.А.Эшонкулов. Об одной алгебре двумерных интегральных операторов с нечетной характеристикой со сдвигом.....	7
Е.М.Мухсинов. Разрешимость задачи преследования для одной дифференциальной игры нейтрального типа с интегральными ограничениями.....	14

ФИЗИКА

Ф.Холмуродов. Критические явления вблизи фазового перехода смектик- изотропная жидкость..... 25

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.М.Илолов. Катализ и синтез катализаторов 29

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А.С.Курбонов, М.М.Тагоев, Ш.Д.Отаев, А.П.Тагаев, А.М.Каюмов, У.М.Мирсаидов. Сравнительная оценка и особенности процесса спекания бор- и алюмосиликатных руд с хлоридами натрия и кальция 39

Б.И.Асроров, Ш.Б.Бахриддинзода, Г.Т.Насымов, З.Х.Гайбуллаева. Гетерогенный катализ получения гидрида алюминия водородом от газификации угля 45

Ш.Р.Самихов, Ф.М.Тошов, Ш.А.Курбанов, М.С.Исмоилова, С.Ш.Сафаров. Механизм и кинетика разложения фосфоритных минералов растворами соляной кислоты..... 53

А.Бадалов, Ф.А.Хамидов, Д.Т.Исозода, Д.Н.Эшов, У.М.Мирсаидов. Моделирование закономерности изменения термодинамических свойств борогидридов лантанидов 60

У.Р.Джобиров, И.Н.Ганиев, М.Ч.Ширинов, З.Р.Обидов. Окисление цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного эрбием, в твёрдом состоянии..... 66

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

М.М.Тагоев. Переработка бор- и алюмосиликатных руд Таджикистана 72

МЕТАЛЛУРГИЯ

З.С.Назаров. Совместная переработка отходов шламового поля алюминиевого производства с нефелиновым сиенитом месторождения Турпи..... 78

ГЕОХИМИЯ

М.М.Мамадзафоев, Д.А.Давлатшоев. Сера в интрузивных комплексах Кафандарского рудного поля (Центральный Таджикистан)..... 84

А.К.Ходжиев, Дж.Х.Аминов. К геохимии и геодинамической позиции Ходжамафраского плагиогранитоидного интрузива Южно-Гиссарской зоны, Южный Тянь-Шань 92

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Х.С.Каримов, Тарик Чани, Батул Хайдер, А.С.Кодиров, Дж.Ш.Рахматов, Х.М.Ахмедов. Электрические свойства гибкого датчика на основе углеродной нанотрубки и композита с оранжевым красителем 102

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Д.Н.Низомов, И.К.Каландарбеков, И.И.Каландарбеков. О методах расчёта несущих систем многоэтажных зданий на основе дискретных моделей..... 110

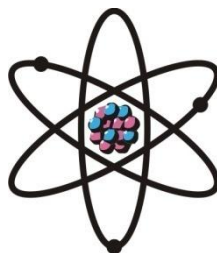
ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Хайдаров Карим Хайдарович..... 118

НОВЫЕ КНИГИ..... 123

ШҮЪБАИ
ИLMҲОИ ФИЗИКАЮ МАТЕМАТИКА,
ХИМИЯ, ГЕОЛОГИЯ ВА ТЕХНИКА

Маҷалла аз моҳи
январӣ соли 1952
нашр мешавад



№ 4 (185)
с. 2021

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

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

МУНДАРИҶА

МАТЕМАТИКА

А.А.Эшонқулов. Дар бораи як алгебраи операторҳои дученакаи сингулярӣ бо хarakterистикаи тоқ бо ғeчиш	7
Е.М.Мухсинов. Ҳалшавандагии масъалаи таъкибкунӣ барои бозии дифференсиалии хаттии навъи нейтралӣ бо маҳдудиятҳои интегралӣ	14

ФИЗИКА

Ф.Холмуродов. Ходисаҳои критикӣ дар наздикии гузариши фазавии смектик-мосъи изотропӣ.....	25
--	----

ХИМИЯИ ОРГАНИКӢ

А.М.Илолов. Катализ ва синтези катализаторҳо 29

ХИМИЯИ ФИЗИКАВӢ

А.С.Қурбонов, М.М.Тағоев, Ш.Д.Отаев, А.П.Тағаев, А.М.Қаюмов, У.М.Мирсаидов.

Арзёбии мукоисавӣ ва хусусиятҳои раванди пухтани маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ бо хлориди натрий ва калсий..... 39

Б.И.Асроров, Ш.Б.Бахриддинзода, Г.Т.Насымов, З.Х.Ғайбуллоева. Ҳосилшавии каталитикии гидриди алюминий бо истифодаи гидрогени газноккунии ангишт 45

Ш.Р.Самихов, Ф.М.Тошов, Ш.А.Қурбонов, М.С.Исмоилова, С.Ш.Сафаров. Механизм ва кинетикаи таҷзияи минералҳои фосфордор тавассути маҳлули кислотаи хлорид..... 53

А.Бадалов, Ф.А.Ҳамидов, Д.Т.Исозода, Д.Н.Эшов, Ӯ.М.Мирсаидов. Моделсозии қонунияти тағйирёбии хусусиятҳои термодинамикии борогидридҳои лантаноидҳо 60

У.Р.Қобиров, И.Н.Ғаниев, М.Ч.Ширинов, З.Р.Обидов. Оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо эрбий чавхаронидашуда, дар ҳолати саҳт..... 66

ТЕХНОЛОГИЯИ МОДДАҲОИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ

М.М.Тағоев. Коркарди маъданҳои бор- ва алюмосиликати Тоҷикистон 72

МЕТАЛЛУРГИЯ

З.С.Назаров. Коркарди якҷояи партовои истехсоли алюминий бо нифелинҳои сиенитӣ кони

Турпӣ 78

ГЕОХИМИЯ

М.М.Мамадвафоев, Д.А.Давлатшоев. Сульфур дар комплексҳои интрузивии майдони маъдандори Кафанбар (Тоҷикистони Марказӣ)..... 84

А.К.Ҳочиев, Ч.Ҳ.Аминов. Оид ба геохимия ва мавқеи геодинамикии интрузивии плагиогранитоидии Ҳочамафрачи минтақаи Ҳисори Чанубӣ, Тиён-Шони Чанубӣ..... 92

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ҳ.С.Каримов, Тарик Чани, Батул Хайдер, А.С.Қодиров, Ч.Ш.Раҳматов, Ҳ.М.Аҳмедов.

Ҳосиятҳои электрикии қосидак (датчик)-и чандир дар асоси нанонайчаи карбонӣ ва композит бо рангунандаи зард 102

МЕХАНИКАИ СОҲТОРӢ

Ч.Н.Низомов, И.Қ.Қаландарбеков, И.И.Қаландарбеков. Оид ба методҳои ҳисоби

системаҳои борбардори биноҳои бисёррошён дар асоси моделҳои дискретӣ 110

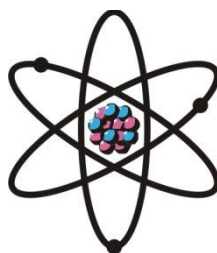
ЁДБУДИ ОЛИМ

Хайдаров Карим Хайдарович..... 118

КИТОБҲОИ НАВ 123

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

The journal was established
in January 1952



№ 4 (185)
2021

EDITORIAL BOARD

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

CONTENTS

MATHEMATICS

- A.A.Eshonqulov**. On one algebra of two-dimensional integral operators with an odd characteristic with a shift **7**
- E.M.Mukhsinov**. Solvability of the pursuit problem for a linear differential game of a neutral type with integral restrictions **14**

PHYSICS

- F.Kholmurodov**. Critical phenomena near the smectic-isotropic liquid phase transition **25**

ORGANIC CHEMISTRY

- A.M.Ilolov**. Catalysis and synthesis of catalyst **29**

PHYSICAL CHEMISTRY

A.S.Kurbonov, M.M.Tagoev, Sh.D.Otaev, A.P.Tagae, A.M.Kayumov, U.M.Mirsaidov. Comparative assessment and characteristics of the sintering process of boron and aluminosilicate ore with sodium and calcium chloride.....	39
B.I.Asrorov, S.B.Bahridinzoda, T.Nasimov, Z.H.Gaibullaeva. The catalytic process of obtaining hydride aluminum from hydrogen from coal gasification	45
Sh.R.Samikhov, F.M.Toshov, Sh.A.Kurbanov, M.S.Ismoilova, S.Sh.Safarov. Mechanism and kinetics of decomposition of phosphorite minerals with hydrochloric acid solutions	53
A.Badalov, F.A.Khamidov, D.T.Isozoda, D.N.Eshov, U.M.Mirsaidov. Modeling of change regularity of thermodynamic properties of lanthanide borohydrides	60
U.R.Jobirov, I.N.Ganiev, M.Ch.Shirinov, Z.R.Obidov. Oxidation of Zn _{0.5} Al zinc alloy, doped with erbium, in the firm condition.....	66

INORGANIC TECHNOLOGY

M.M.Tagoev. Processing of boron and aluminosilicate ore of Tajikistan	72
--	-----------

METALLURGY

Z.S.Nazarov. Co-processing of waste slurry field aluminum production with nepheline syenite of the Turpi deposit.....	78
--	-----------

GEOCHEMISTRY

M.M.Mamadvafoev, D.A.Davlatshoev. Sulfur in the intrusive complexes of the Kafandara ore field (Central Tajikistan)	84
A.K.Khodzhiev, J.H.Aminov. To geochemistry and geodynamic position of the Khojamafrach plagiogranitoid intrusive of the South Gissar zone, South Tien-Shan	92

ELECTROTECHNOLOGY

Kh.S.Karimov, M.Tariq Chani, Batool Haider, A.C.Kodirov, J.Sh.Rahmatov, Kh.M.Akhmedov. Electric properties of the flexible sensor based on carbon nano tube and orange dye composite.....	102
--	------------

STRUCTURAL MECHANICS

J.N.Nizomov, I.K.Kalandarbekov, I.I.Kalandarbekov. On the calculation methods of loading systems of multi-storey buildings based on discrete models	110
--	------------

MEMORY OF SCIENTIST

Haydarov Karim Haydarovich	118
---	------------

NEW BOOKS	123
------------------------	------------

УДК 517.968.2

А.А.ЭШОНКУЛОВ

ОБ ОДНОЙ АЛГЕБРЕ ДВУМЕРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ С
НЕЧЕТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ СО СДВИГОМ

Таджикский национальный университет

Поступила в редакцию 27.04.2021 г.

В работе изучается алгебра двумерных сингулярных интегральных операторов с нечетной характеристикой со сдвигом, новых классов поликэрн операторов Бергмана в лебеговом пространстве. Найдены необходимые и достаточные условия нетеровости указанных операторов и получена формула для подсчета индекса.

Ключевые слова: поликэрн-функция, поликэрн-оператор Бергмана, сингулярный интеграл, символ оператора, индекс оператора, нетеровость оператора.

Пусть D – конечная односвязная область комплексной плоскости, ограниченная простой замкнутой кривой Ляпунова Γ . В данной работе в векторном лебеговом пространстве $L^{v,p}(D)$ ($1 < p < \infty$) изучаются операторы вида

$$A = a(z)I + b(z)WS_{2m+1} + \sum_{l=0}^m c_l(z)B_{2l+1} + T, \quad m \geq 0 - \text{целое}, \quad (1)$$

где $a(z), b(z), c_l(z)$ – непрерывные в \bar{D} квадратные матрицы-функции порядка v , T – вполне непрерывный оператор,

$$(S_n f)(z) = \frac{|n|}{2\pi i^{|n|}} \iint_D \frac{e^{in\theta}}{|\zeta - z|^2} f(\zeta) ds_\zeta$$

$\theta = \arg(\zeta - z)$, B_n – поликэрн оператор Бергмана

Адрес для корреспонденции: Эшонкулов Алишер Алигулович. 734027, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Буни Хисорак, корпус 17, Таджикский национальный университет. e-mail: vakhon-04@mail.ru

$$(B_n f)(z) = \iint_D B_n(z, \bar{\zeta}) f(\zeta) ds_\zeta, \quad (2)$$

где ядро оператора B_n в случае единичного круга с центром в начале координат определяется по формуле (см.[1])

$$B_n(z, \bar{\zeta}) = \frac{e^{-in\alpha}}{\pi |1 - z\bar{\zeta}|^2} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} k C_n^k C_n^k \frac{1}{2} \frac{1}{2^{n+k-1}} \left| \frac{\zeta - z}{1 - z\bar{\zeta}} \right|^{2(k-1)}; \quad (3)$$

оператор W – является оператором антиконформного сдвига, то есть

$$(Wf)(z) = f(\alpha(z)),$$

где $\alpha(z)$ антиконформное отображение области D на себя, удовлетворяющее условию Карлемана $\alpha(\alpha(z)) = z$ для $\forall z \in \bar{D}$ и $\exists z_0 \in \bar{D}$ такое, что $\alpha(z_0) \neq z_0$.

Отметим, что некоторые классы уравнений со сдвигом, содержащих операторы S_n , изучены в работах [2-6]. Все указанные работы касаются случая, когда оператор S_n имеет четную характеристику. Операторы со сдвигом и с нечетной характеристикой ранее не были исследованы.

Лемма. Пусть $f(z) \in L^{v,p}(D)$ ($1 < p < \infty$). Если $\alpha(z)$ является антиконформным отображением области D на себя, удовлетворяющим условию Карлемана $\alpha(\alpha(z)) = z$ для $\forall z \in \bar{D}$, тогда оператор

$$(\alpha'(z) / \overline{\alpha'(z)})^{m+1/2} WS_{2m+1} - S_{-(2m+1)} W$$

и

$$WB_{2l+1} - B_{-(2l+1)} W, \quad B_{-(2l+1)} WS_m, \quad WS_m B_{-(2l+1)} \quad (l = 1, 2, \dots, m)$$

вполне непрерывны в $L^{v,p}(D)$.

Доказательство. Рассмотрим оператор WS_{2m+1} :

$$(WS_{2m+1} f)(z) = \frac{(2m+1)}{2\pi i^{2m+1}} \iint_D \frac{(\zeta - \alpha(z))^{m-1/2}}{(\zeta - \alpha(z))^{m-3/2}} f(\zeta) ds_\zeta.$$

Произведя в интеграле замену переменных $\zeta = \alpha(\sigma)$ и учитывая некоторые свойства конформного отображения (см. [7], стр. 399, 411), получим

$$(WS_{2m+1} f)(z) = \frac{(2m+1)}{2\pi i^{2m+1}} \iint_D \frac{(\alpha(\sigma) - \alpha(z))^{m-1/2}}{(\alpha(\sigma) - \alpha(z))^{m+3/2}} |\alpha'(\sigma)|^2 f(\alpha(\sigma)) ds_\sigma =$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(2m+1)}{2\pi i^{2m+1}} \iint_D \left[\frac{\left(\frac{\alpha(\sigma) - \alpha(z)}{\bar{\sigma} - \bar{z}} \right)^{m-1/2}}{\left(\frac{\alpha(\sigma) - \alpha(z)}{\bar{\sigma} - \bar{z}} \right)^{m+3/2}} - \frac{\overline{(\alpha'(z))}^{m-1/2}}{(\alpha'(z))^{m+3/2}} \right] |\alpha'(\sigma)|^2 \times \\
& \times \frac{(\sigma - z)^{m-1/2}}{(\bar{\sigma} - \bar{z})^{m+3/2}} f(\alpha(\sigma)) ds_\sigma + \frac{(2m+1)}{2\pi i^{2m+1}} \iint_D \frac{\overline{(\alpha'(z))}^{m-1/2}}{(\alpha'(z))^{m+3/2}} |\alpha'(\sigma)|^2 \times \\
& \times \frac{(\sigma - z)^{m-1/2}}{(\bar{\sigma} - \bar{z})^{m+3/2}} f(\alpha(\sigma)) ds_\sigma = \overline{(\alpha'(z) / \alpha'(z))}^{m+1/2} (S_{-(2m+1)} W) f(z) + T.
\end{aligned}$$

Поэтому

$$WS_{2m+1} = \left(\frac{\overline{\alpha_z(z)}}{\alpha_z} \right)^{m+1/2} S_{-(2m+1)} W + T.$$

Прежде чем перейти к доказательству других утверждений относительно операторов $B_{-(2l+1)}$, отметим, что, как показано в работе [1], в случае единичного круга $D = \{z : |z| < 1\}$ оператор $B_{-(2l+1)}$ ($l = 1, 2, \dots, m$) локально эквивалентен оператору с ядром $e^{i(2l+1)\theta} / 2\pi |1 - z\bar{\zeta}|^2$, где $\theta = \arg(1 - z\bar{\zeta})$. Теперь, если D – произвольная односвязная область комплексной плоскости z , то оператор B_{2l+1} , $l = 1, 2, \dots, m$ представляется в виде

$$(B_{-(2l+1)} f)(z) = \frac{1}{2\pi} \iint_D \frac{\omega'(z) \overline{\omega'(\zeta)} (1 - \overline{\omega(z)\omega(\zeta)})^{l-1/2}}{(1 - \omega(z)\overline{\omega(\zeta)})^{l+3/2}} f(\zeta) ds_\zeta,$$

где $\omega(z)$ – однолистное конформное отображение области D на единичный круг с центром в начале координат. Учитывая это, будем иметь

$$\begin{aligned}
(WB_{-(2l+1)} f)(z) &= \frac{1}{2\pi} \iint_D \frac{\omega'(\alpha(z)) \overline{\omega'(\zeta)} (1 - \overline{\omega(\alpha(z)\omega(\zeta))}^{l-1/2}}{\alpha_z(z) (1 - \omega(\alpha(z))\overline{\omega(\zeta)})^{l+3/2}} f(\zeta) ds_\zeta = \\
&= \frac{1}{2\pi} \iint_D \frac{\omega'(\alpha(z)) \overline{\omega'(\alpha(\sigma))} (1 - \overline{\omega(\alpha(z)\omega(\alpha(\sigma)))}^{l-1/2}}{\overline{\alpha_z(z)\alpha_\sigma(\sigma)} (1 - \omega(\alpha(z))\overline{\omega(\alpha(\sigma))})^{l+3/2}} |\alpha'(\sigma)|^2 f(\alpha(\sigma)) ds_\sigma = \\
&= \frac{1}{2\pi} \iint_D \frac{\psi'(z) \overline{\psi'(\sigma)} (1 - \overline{\psi(z)\psi(\sigma)})^{l-1/2}}{(1 - \psi(z)\overline{\psi(\sigma)})^{l+3/2}} f(\alpha(\sigma)) ds_\sigma + T \equiv (B_{2l+1} Wf)(z) + T,
\end{aligned}$$

где функция $\psi(z) = \overline{\omega(\alpha(z))}$ является конформным отображением области D в себя.

Другие утверждения леммы доказываются аналогичным образом.

Теперь рассмотрим множество всех операторов вида (1) в пространстве $L^{v,p}(D)$ ($1 < p < \infty$). Указанное множество обозначим через \mathcal{R} . Покажем, что множество представляет собой алгебру в $L^{v,p}(D)$ ($1 < p < \infty$). Действительно, пусть $\mathcal{A}_k \in \mathcal{R}$, $k = 1, 2$ так, что

$$\mathcal{A}_k = a_k(z)I + b_k(z)WS_{2m+1} + \sum_{l=0}^m c_{k,l}(z)B_{2l+1} + T_k,$$

тогда

$$\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2 = (a_1 + a_2)I + (b_1 + b_2)WS_{2m+1} + \sum_{l=0}^m (c_{1,l} + c_{2,l})B_{2l+1} + T,$$

и $\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2 \in \mathcal{R}$. Далее,

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_1 \mathcal{A}_2 &= \left(a_1 I + b_1 WS_{2m+1} + \sum_{l=0}^m c_{1,l} B_{2l+1} + T_1 \right) \times \\ &\times \left(a_2 I + b_2 WS_{2m+1} + \sum_{l=0}^m c_{2,l}(z) B_{2l+1} + T_2 \right). \end{aligned}$$

Пользуясь доказанной выше леммой, результатами лемм 1-3 из [1], свойствами $W^2 = I$, $S_n S_{-n} = I - B_n + T$, а также учитывая, что композиция вполне непрерывного и ограниченного операторов есть вполне непрерывный оператор, установим, что коэффициенты композиции $\mathcal{A}_1 \mathcal{A}_2 = \mathcal{A}_3$ определяются равенствами

$$\begin{aligned} a_3(z) &= a_1(z)a_2(z) + b_1(z)b_2(\alpha(z))\overline{(\alpha'(z)/\alpha'(z))}^{m+1/2}, \\ b_3(z) &= a_1(z)b_2(z) + b_1(z)b_2(\alpha(z)), \\ c_{3,m} &= a_1 c_{2,m} + a_2 c_{1,m} + c_{1,m} c_{2,m} - b_1 b_2 \alpha'(z)^{m+1/2}, \\ c_{3,m-1} &= a_1 c_{2,m-1} + a_2 c_{1,m-1} + c_{1,m-1} c_{2,m-1} + c_{1,m-1} c_{2,m} + c_{2,m-1} c_{1,m}, \\ &\dots\dots\dots \\ c_{3,0} &= c_{1,0} \sum_{l=0}^m c_{2,l} + c_{2,0} \sum_{l=0}^m c_{1,l} + a_1 c_{2,0} + a_2 c_{1,0}. \end{aligned} \tag{4}$$

Таким образом, композиция двух сингулярных интегральных операторов вида (1) является оператором такого же типа. Итак нами доказано, что множество операторов вида (1) из \mathcal{R} является алгеброй.

Теперь каждому оператору $\mathcal{A} \in \mathcal{R}$ сопоставим в качестве символа блочную квадратную матрицу-функцию

$$\sigma_{\mathcal{A}}(z, t) = \begin{pmatrix} a(z) & b(z)(\alpha'(z)/\overline{\alpha'(z)})^{m+1/2} & 0 \\ b(\alpha(z)) & a(\alpha(z))(\alpha'(z)/\overline{\alpha'(z)})^{m+1/2} & 0 \\ 0 & 0 & c(t) \end{pmatrix},$$

где

$$c(t) = \begin{pmatrix} a(t) + \sum_{l=1}^m c_l(t) & 0 & 0 \dots & 0 \\ c_1(t) & a(t) + \sum_{l=2}^m c_l(t) & 0 \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_1(t) & c_2(t) & \dots & a(t) + c_m(t) \end{pmatrix},$$

$z \in \overline{D}, t \in \Gamma$. Таким образом, матрица-функция $\sigma_{\mathcal{A}}(z, t)$ непрерывна на компакте $\overline{D} \times \Gamma$. Обозначим через \mathcal{M} множество всех символов операторов из \mathcal{R} . Непосредственной проверкой устанавливается, что имеют место равенства

$$\sigma_{\mathcal{A}_1 + \mathcal{A}_2}(z, t) = \sigma_{\mathcal{A}_1}(z, t) + \sigma_{\mathcal{A}_2}(z, t), \quad \sigma_{\mathcal{A}_1 \mathcal{A}_2}(z, t) = \sigma_{\mathcal{A}_1}(z, t) \cdot \sigma_{\mathcal{A}_2}(z, t),$$

то есть сопоставление оператору $\mathcal{A} \in \mathcal{R}$ его символа $\sigma_{\mathcal{A}}(z, t)$ задает гомоморфизм алгебр \mathcal{R} и \mathcal{M} . При этом ядром гомоморфизма является множество вполне непрерывных операторов в $L^p(D)$. Наконец, если $\sigma_{\mathcal{A}}(z, t)$ – невырожденная матрица-символ, то непосредственным построением устанавливается, что матрица $\sigma_{\mathcal{A}}^{-1}(z, t)$ является символом некоторого оператора из \mathcal{R} .

Таким образом, по теореме 6.4.1 из [8], оператор \mathcal{A} из алгебры \mathcal{R} нетеров тогда и только тогда, когда его символ $\sigma_{\mathcal{A}}(z, t)$ невырожден для всех $z \in \overline{D}, t \in \Gamma$. Итак, мы приходим к утверждению

Теорема. *Для того чтобы сингулярный интегральный оператор \mathcal{A} с антиконформным сдвигом Карлемана $\alpha(z)$ из (1) был нетеровым в пространстве $L^{p,p}(D)$ ($1 < p < \infty$), необходимо и достаточно выполнение условий*

$$\det \sigma_{\mathcal{A}}(z, t) \equiv \begin{vmatrix} a(z) & b(z)(\alpha'(z)/\overline{\alpha'(z)})^{m+1/2} & 0 \\ b(\alpha(z)) & a(\alpha(z))(\alpha'(z)/\overline{\alpha'(z)})^{m+1/2} & 0 \\ 0 & 0 & c(t) \end{vmatrix} \neq 0, \quad \forall z \in \overline{D},$$

$$\prod_{j=1}^m \det(a(t) + \sum_{k=j}^m c_k(t)) \neq 0, \quad \forall t \in \Gamma.$$

При выполнении этих условий индекс оператора A вычисляется по формуле

$$\mathcal{H} = \sum_{j=1}^m \text{Ind}_{\Gamma} \det(a(t) + \sum_{k=j}^m c_k(t)).$$

Замечание. Полученные результаты сохраняются в лебеговом пространстве $L_{\beta-2/p}^{v,p}(D)$ ($1 < p < \infty$, $0 < \beta < 2$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Джангибеков Г. Эшонкулов А.А. Об алгебре некоторых двумерных сингулярных интегральных операторах с нечетной характеристикой. – Доклады НАНТ, 2020, т. 63, № 11-12, с. 697-707.
2. Джангибеков Г. Об алгебре, порожденной поликern операторами со сдвигом. – ДАН Тадж.ССР, 1991, т. 34, № 7, с. 399-405.
3. Джангибеков Г. О некоторых двумерных сингулярных интегральных операторах со сдвигом. – ДАН Тадж.ССР, 1991, т. 34, № 9, с. 545-550.
4. Дудучава Р.В., Сагинашвили А.И., Шаргородский Е.М. О двумерных сингулярных интегральных операторах со сдвигом. – Труды Тбилисского математического института им.Размадзе А.М., 1995, т. 103, с. 3-13.
5. Duduchava R., Saginashvili A., Shargorodsky E. On two-dimensional singular integral operators with conformal Carleman shift. – Journal Operator Theory, 1997, v. 37, pp. 263-279.
6. Джангибеков Г., Эшонкулов А.А. Об одном классе систем двумерных сингулярных интегральных операторов со сдвигом. – ДАН РТ, 2018., т. 61, № 1, с. 19-26.
7. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. – М.:Наука, 1966, 626 с.
8. Михлин С.Г. Линейные уравнения в частных производных. – М.: Высшая школа, 1977, 431 с.

А.А.ЭШОНҚУЛОВ

ДАР БОРАИ ЯК АЛГЕБРАИ ОПЕРАТОРҲОИ ДУЧЕНАКАИ СИНГУЛЯРӢ БО ХАРАКТЕРИСТИКАИ ТОҚ БО ҒЕҶИШ

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Дар мақола алгебраи баъзе операторҳои интегралӣ сингулярии дученака бо характеристикаи тоқ ва синфи нави поликern операторҳои Бергман омӯхта шудааст. Барои онҳо шартҳои зарурӣ ва кифоягии нетеровӣ будан, ёфт гардида формула барои ҳисоб намудани индекс низ ҳосил карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: поликern-функсия, поликern-оператори Бергмана, интегралӣ сингулярӣ, симболи оператор, индекси оператор, нетеровӣ будани оператор.

A.A.ESHONQULOV

**ON ONE ALGEBRA OF TWO-DIMENSIONAL INTEGRAL OPERATORS
WITH AN ODD CHARACTERISTIC WITH A SHIFT**

Tajik National University

The paper studies the algebra of two-dimensional singular integral operators with odd characteristic with shift, new classes of polykernels of Bergman operators in Lebesgue space. Necessary and sufficient conditions are found for the above operators to be noetherian, and a formula is obtained for calculating the index.

Key words: polykern-function, polykern-Bergman operator, singular integral, operator symbol, operator index, operators noetherian.

УДК 519,837.2

Е.М.МУХСИНОВ

РАЗРЕШИМОСТЬ ЗАДАЧИ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОДНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЫ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики

Поступила в редакцию 25.01.2021 г.

В гильбертовом пространстве рассматривается задача преследования для линейной дифференциальной игры нейтрального типа с интегральными ограничениями на управление игроков. Доказаны две теоремы о разрешимости задачи преследования.

Ключевые слова: задача преследования, дифференциальная игра нейтрального типа, гильбертово пространство, интегральные ограничения, время преследования.

В гильбертовом пространстве X рассмотрим линейную дифференциальную игру, описываемую дифференциальным уравнением нейтрального типа

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^n B_i \dot{x}(t-h_i) + Ax(t) - Cu(t) + Dv(t), \quad (1)$$

и терминальным множеством M , где $t \geq 0$, $0 < h_1 < h_2 < \dots < h_n = h$, $x(t) \in X$, управления преследования $u(\cdot)$ из класса измеримых отображений, действующих из $[0, \infty)$ в гильбертово пространство Y , управления убегания $v(\cdot)$ из класса измеримых отображений, действующих из $[0, \infty)$ в гильбертово пространство Z , операторы $B_i : X \rightarrow X$, $C : Y \rightarrow X$, $D : Z \rightarrow X$ линейны и ограничены, а $A : D \rightarrow X$ – линейный замкнутый оператор, имеющий плотную в X область определения D , порождает сильно непрерыв-

Адрес для корреспонденции: Мухсинов Едгор Мирзоевич. 735700, Республика Таджикистан, г.Худжанд, 17 мкр-н, д. 2. E-mail: yodgor.mukhsinov@gmail.com.

ную полугруппу $T(t)$ ([1], 316). Учитывая эту полугруппу, можно строить фундаментальное решение $\Phi(t)$ ([2], с.267), для которого справедливо равенство

$$\dot{\Phi}(t) = \sum_{i=1}^n B_i \dot{\Phi}(t-h_i) + A\Phi(t) \quad (2)$$

и $\Phi(0) = I$ – единичный оператор, $\Phi(t) = 0$ при $t < 0$.

В данной работе, терминальное множество M , где заканчивается игра, является замкнутым линейным подпространством пространства X . Через M^\perp обозначим ортогональное дополнение к M в X , а через π обозначим оператор ортогонального проектирования из X на M^\perp . Понятно, что $x \in X$ тогда и только тогда, когда $\pi x = 0$. При этом на управления $u(\cdot)$ и $v(\cdot)$ наложены интегральные ограничения:

$$\int_0^\infty \|u(s)\|^2 ds \leq \rho^2, \quad \int_0^\infty \|v(s)\|^2 ds \leq \sigma^2, \quad \text{где } \rho, \sigma > 0. \quad (3)$$

В дальнейшем предполагаем, что операторы C и D такие, что для любых управления преследования $u(\cdot)$, управления убегания $v(\cdot)$ и непрерывного начального положения $\varphi(\cdot): [-h, 0] \rightarrow X$, задача Коши

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^n B_i \dot{x}(t-h_i) + Ax(t) - Cu(t) + Dv(t), \quad (4)$$

с начальным условием $x(s) = \varphi(s)$, $-h \leq s \leq 0$ имеет единственное абсолютно непрерывное решение ([2], с.268).

Справедлива следующая

Лемма. Если $\varphi(\cdot)$ – абсолютно непрерывно, то задача Коши (4) имеет следующее абсолютно непрерывное решение

$$x(t) = \left[\Phi(t) - \sum_{i=1}^n \Phi(t-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(t-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds - \int_0^t \Phi(t-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds \quad (5)$$

Доказательство. Как известно ([2], с.268) однородная задача Коши

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^n B_i \dot{x}(t-h_i) + Ax(t)$$

имеет следующее абсолютно непрерывное решение

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t) = & \left[\Phi(t) - \sum_{i=1}^n \Phi(t-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\ & + \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(t-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds \end{aligned} \quad (6)$$

Учитывая (6), докажем, что неоднородная задача Коши (4) имеет решение вида (5). Действительно,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = & \left(\tilde{x}(t) - \int_0^t \Phi(t-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds \right)' = \\ = & \dot{\tilde{x}}(t) - Cu(t) + Dv(t) - \int_0^t \dot{\Phi}(t-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds = \\ = & \sum_{i=1}^n B_i \dot{\tilde{x}}(t-h_i) + A\tilde{x}(t) - Cu(t) + Dv(t) - \\ & - \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n B_i \dot{\Phi}(t-s-h_i) + A\Phi(t-s) \right] \cdot (Cu(s) - Dv(s)) ds = \\ = & - \sum_{i=1}^n B_i \int_0^t \dot{\Phi}(t-s-h_i) (Cu(s) - Dv(s)) ds - \\ & - A \int_0^t \Phi(t-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds + \sum_{i=1}^n B_i \dot{\tilde{x}}(t-h_i) + A\tilde{x}(t) - \\ & - Cu(t) + Dv(t) = A \left(\tilde{x}(t) - \int_0^t \Phi(t-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds \right) + \\ & + \sum_{i=1}^n B_i \left(\dot{\tilde{x}}(t-h_i) - \int_0^t \dot{\Phi}(t-s-h_i) (Cu(s) - Dv(s)) ds \right) - Cu(t) + Dv(t) = \\ = & Ax(t) + \sum_{i=1}^n B_i \left[\dot{\tilde{x}}(t-h_i) - \left(\int_0^t \Phi(t-s-h_i) (Cu(s) - Dv(s)) ds \right)' + \Phi(-h_i) (Cu(t) - Dv(t)) \right] - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -Cu(t) + Dv(t) = \\
& = Ax(t) + \sum_{i=1}^n B_i \left[\tilde{x}(t-h_i) - \int_0^t \Phi(t-s-h_i) (Cu(s) - Dv(s)) ds \right]' - Cu(t) + \\
& + Dv(t) = Ax(t) + \sum_{i=1}^n B_i \dot{\tilde{x}}(t-h_i) - Cu(t) + Dv(t),
\end{aligned}$$

то есть неоднородная задача Коши (4) имеет решение вида (5).

Лемма доказана.

Для дифференциальной игры (1) дадим определение о возможности завершения преследования, то есть привести решение $x(t)$ задачи (4) на терминальное множество M за некоторое конечное время T_1 и рассмотрим задачу преследования ([3], с. 308; [4], с. 130, [5], с. 233).

Определение (о возможности завершения преследования). Будем говорить, что в игре (1) из начального положения $\varphi(s)$, $-h \leq s \leq 0$, $\varphi(0) \in X \setminus M$ возможно завершение преследования, если существует число $T = T(\varphi) \geq 0$ такое, что для любого измеримого управления убегания $v(\cdot): [0, T] \rightarrow Z$ в каждый момент $t \in [0, T]$, зная уравнение (1) и значения $v(t)u x(s)$, $0 \leq s \leq t$, можно выбрать значение $u(t)$ таким образом, что управление преследования $u(\cdot): [0, T] \rightarrow Y$ удовлетворяет ограничению (3) и решение $x(t)$ задачи (4), соответствующее управлениям $u(\cdot)$ и $v(\cdot)$, при некотором $T_1 \in [0, T]$, удовлетворяет соотношению $x(T_1) \in M$. При этом число $T = T(\varphi)$ называется гарантированным временем преследования.

Задача преследования. Найти множество начальных положений, из которых в игре (1) возможно завершение преследования.

Справедлива следующая

Теорема 1. Допустим, что:

1) существует линейный оператор $L(t): Z \rightarrow Y$, непрерывно зависящий от

$$t \geq 0 \text{ и } \pi\Phi(t)D = \pi\Phi(t)CL(t);$$

2) если

$$\lambda^2(t) = \sup \left\{ \int_0^t \|L(s)\mathcal{G}(t-s)\|^2 ds : \int_0^t \|\mathcal{G}(s)\|^2 ds \leq \sigma^2 \right\},$$

то при всех $t \geq 0$ имеет место неравенство $\rho \geq \lambda(t)$;

3) начальное положение φ и число $T = T(\varphi(0))$ такие, что имеет место включение

$$\begin{aligned} & \pi \left[\Phi(T) - \sum_{i=1}^n \Phi(T-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\ & + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(T-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds \in \\ & \in \left\{ \int_0^T \pi \Phi(T-s) C p(s) ds : \int_0^T \|p(s)\|^2 ds \leq (\rho - \lambda(T))^2 \right\}. \end{aligned}$$

Тогда в игре (1) из начального положения $\varphi(s)$, $-h \leq s \leq 0$, возможно преследование за время $T = T(\varphi(0))$.

Доказательство. Для доказательства теоремы для любого допустимого измеримого управления убегания $v(\cdot)$ выбираем такое допустимое измеримое управление преследования $u(\cdot)$, что для решения $x(\cdot)$ задачи Коши (4), соответствующего управлениям $u(\cdot)$, $v(\cdot)$, выполняется равенство $\pi x(T) = 0$.

В силу 3) существует такое отображение $p(\cdot)$, что выполняется равенство

$$\begin{aligned} & \pi \left[\Phi(T) - \sum_{i=1}^n \Phi(T-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\ & + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(T-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds = \int_0^T \pi \Phi(T-s) C p(s) ds \end{aligned} \quad (7)$$

Для любого допустимого измеримого управления убегания $\mathcal{G}(\cdot)$ соответствующее управление преследования выбираем по формуле

$$u(t) = \begin{cases} p(t) + L(T-t)\mathcal{G}(t), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t > T \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая 1) и 2) покажем, что выбранное по формуле (8) управление преследования $u(\cdot)$ удовлетворяет ограничению (3). Действительно,

$$\begin{aligned}
& \int_0^{\infty} \|u(s)\|^2 ds = \int_0^T \|u(s)\|^2 ds + \int_T^{\infty} \|u(s)\|^2 ds = \int_0^T \|u(s)\|^2 ds = \\
& = \int_0^T \|p(s) + L(T-s)\mathcal{G}(s)\|^2 ds = \int_0^T \langle p(s) + L(T-s)\mathcal{G}(s), p(s) + \\
& + L(T-s)\mathcal{G}(s) \rangle ds = \int_0^T \|p(s)\|^2 ds + 2 \int_0^T \langle p(s), L(T-s)\mathcal{G}(s) \rangle ds + \\
& + \int_0^T \|L(T-s)\mathcal{G}(s)\|^2 ds \leq (\rho - \lambda(T))^2 + 2 \sqrt{\int_0^T \|p(s)\|^2 ds} \times \\
& \times \sqrt{\int_0^T \|L(T-s)\mathcal{G}(s)\|^2 ds} + \lambda^2(T) = \rho^2 - 2\rho\lambda(T) + \lambda^2(T) + \\
& + 2(\rho - \lambda(T)) \cdot \lambda(T) + \lambda^2(T) = \rho^2,
\end{aligned}$$

то есть выбранное управление преследования $u(\cdot)$ удовлетворяет ограничению (3).

Теперь, учитывая 1), (7) и (8), докажем, что $\pi x(T) = 0$. Действительно, для решения $x(\cdot)$ задачи (4) имеем:

$$\begin{aligned}
\pi x(T) &= \pi \left[\Phi(T) - \sum_{i=1}^n \Phi(T-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\
& + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(T-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds - \int_0^T \pi \Phi(T-s) (Cu(s) - Dv(s)) ds = \\
& = \int_0^T \pi \Phi(T-s) Cp(s) ds - \int_0^T \pi \Phi(T-s) Cu(s) ds + \int_0^T \pi \Phi(T-s) D\mathcal{G}(s) ds = \\
& = \int_0^T \pi \Phi(t) Cp(T-t) dt - \int_0^T \pi \Phi(t) Cu(T-t) dt + \\
& + \int_0^T \pi \Phi(t) CL(t)\mathcal{G}(T-t) dt = \\
& = \int_0^T \pi \Phi(t) C [p(T-t) - u(T-t) + L(t)\mathcal{G}(T-t)] dt =
\end{aligned}$$

$$= \int_0^T \pi \Phi(t) C [p(T-t) - p(T-t) - L(t) \mathfrak{G}(T-t) + L(t) \mathfrak{G}(T-t)] dt = 0,$$

то есть $\pi x(T) = 0$. А это, означает, что $x(T) \in M$.

Теорема доказана.

Справедлива следующая

Теорема 2. Допустим, что:

- 1) непрерывно дифференцируемая строго возрастающая функция $J: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ такая, что $J(0) = 0$, $J(t) \geq t$ при всех $t \geq 0$;
- 2) существует линейный оператор $L(t): Z \rightarrow Y$, непрерывно зависящий от $t \geq 0$ и $\pi \Phi(J(t)) D = \pi \Phi(t) CL(t)$;
- 3) если функция $\lambda(t)$ задается равенством

$$\lambda^2(t) = \sup \left\{ \int_0^t \|L(s)(J(t) - J(s)) \cdot J'(s)\|^2 ds : \int_0^{J(t)} \|\mathfrak{G}(s)\|^2 ds \leq \sigma^2 \right\},$$

то числа $\tau \geq 0$, $T = T(\varphi(0))$ такие, что $J(T) = \tau + T$ и при всех $t \geq 0$ имеет место нера-

венство $\alpha \geq \lambda(t)$, где $\alpha^2 = \rho^2 - \int_0^t \|\bar{u}(s)\|^2 ds$, $\bar{u}(s)$ – некоторое допустимое управления

преследования;

- 4) начальное положение φ такое, что имеет место включение

$$\begin{aligned} & \pi \left[\Phi(\tau + T) - \sum_{i=1}^n \Phi(\tau + T - h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\ & + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(\tau + T - s - h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds \in \\ & \in \pi \int_0^{\tau} \Phi(\tau + T - s - h_i) C \bar{u}(s) ds + \Omega(T), \end{aligned}$$

где

$$\Omega(t) = \left\{ \int_0^t \pi \Phi(t-s) C p(s) ds : \int_0^t \|p(s)\|^2 ds \leq (\alpha - \lambda(t))^2 \right\}.$$

Тогда в игре (1) из начального положения $\varphi(s)$, $-h \leq s \leq 0$, возможно преследование за время $\tau + T$.

Доказательство. Пусть $\mathcal{G}(\cdot)$ – произвольное допустимое управление убегания.

Тогда соответствующее управление преследования $u(\cdot)$ выбираем по формуле:

$$u(t) = \begin{cases} \bar{u}(t) \text{ нпу } t \in [0, \tau), \\ p(t-\tau) + L(\tau+T-t) \cdot \mathcal{G}(J(T) - J(\tau+T-t)) \times \\ \times J'(\tau+T-t) \text{ нпу } t \in [\tau, \tau+T], \\ 0 \text{ нпу } t > \tau+T. \end{cases} \quad (9)$$

Докажем, что данное отображение $u(\cdot)$ удовлетворяет ограничению (3). Действительно, в силу 3), 4) имеем:

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \|u(s)\|^2 ds &= \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \int_{\tau}^{\tau+T} \|u(s)\|^2 ds = \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \\ &+ \int_0^T \|u(\tau+T-t)\|^2 dt = \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \\ &+ \int_0^T \|p(T-t) + L(t)\mathcal{G}(J(T) - J(t)) \cdot J'(t)\|^2 dt = \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \\ &+ \int_0^T \langle p(T-t) + L(t)\mathcal{G}(J(T) - J(t)) \cdot J'(t), p(T-t) + \\ &+ L(t)\mathcal{G}(J(T) - J(t)) \cdot J'(t) \rangle dt = \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \\ &+ \int_0^T \|p(T-t)\|^2 dt + 2 \cdot \int_0^T \langle p(T-t), L(t)\mathcal{G}(J(T) - \\ &- J(t))J'(t) \rangle dt + \int_0^T \|L(t)\mathcal{G}(J(T) - J(t)) \cdot J'(t)\|^2 dt \leq \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \\ &+ (\alpha - \lambda(T))^2 + 2(\alpha - \lambda(T))\lambda(T) + \lambda^2(T) = \int_0^{\tau} \|\bar{u}(s)\|^2 ds + \alpha^2 = \rho^2, \end{aligned}$$

то есть

$$\int_0^{\infty} \|u(s)\|^2 ds \leq \rho^2.$$

Теперь, учитывая 1), 2), 4), (9), докажем, что $\pi x(\tau+T) = 0$. Действительно для решения $x(\cdot)$ задачи (4) имеем:

$$\begin{aligned}
\pi x(\tau+T) &= \pi \left[\Phi(\tau+T) - \sum_{i=1}^n \Phi(\tau+T-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\
&\quad + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(\tau+T-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds - \\
&\quad - \int_0^{\tau+T} \pi \Phi(\tau+T-s) (Cu(s) - D\mathcal{G}(s)) ds = \\
&= \pi \left[\Phi(\tau+T) - \sum_{i=1}^n \Phi(\tau+T-h_i) B_i \right] \varphi(0) + \\
&\quad + \pi \sum_{i=1}^n \int_{-h_i}^0 \Phi(\tau+T-s-h_i) B_i \dot{\varphi}(s) ds - \\
&\quad - \int_0^{\tau} \pi \Phi(\tau+T-s) C\bar{u}(s) ds - \int_{\tau}^{\tau+T} \pi \Phi(\tau+T-s) Cu(s) ds + \\
&\quad + \int_0^{\tau+T} \pi \Phi(\tau+T-s) D\mathcal{G}(s) ds = \int_0^T \pi \Phi(T-s) Cp(s) ds - \\
&\quad - \int_{\tau}^{\tau+T} \pi \Phi(\tau+T-s) Cu(s) ds + \int_0^{\tau+T} \pi \Phi(\tau+T-s) D\mathcal{G}(s) ds = \\
&\quad = \int_0^T \pi \Phi(T-s) Cp(s) ds - \int_0^T \pi \Phi(T-t) Cu(t+\tau) dt + \\
&\quad + \int_0^{\tau+T} \pi \Phi(t) D\mathcal{G}(\tau+T-t) dt = \int_0^T \pi \Phi(T-t) Cp(t) dt - \\
&\quad - \int_0^T \pi \Phi(T-t) Cu(t+\tau) dt + \int_0^T \pi \Phi(J(s)) D\mathcal{G}(J(T)-J(s)) J'(s) ds = \\
&\quad = \int_0^T \pi \Phi(s) Cp(T-s) ds - \int_0^T \pi \Phi(s) Cu(\tau+T-s) ds +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^T \pi \Phi(s) CL(s) \mathcal{G}(J(T) - J(s)) J'(s) ds = \\
& = \int_0^T \pi \Phi(s) C \left[p(T-s) - u(\tau + T - s) + L(s) \mathcal{G}(J(T) - J(s)) J'(s) \right] ds = \\
& = \int_0^T \pi \Phi(s) C [p(T-s) - p(T-s) - L(s) \mathcal{G}(J(T) - J(s)) J'(s) + \\
& \quad + L(s) \mathcal{G}(J(T) - J(s)) J'(s)] ds = 0,
\end{aligned}$$

то есть $x(\tau + T) \in M$. Следовательно, из начального положения $\varphi(s)$, $-h \leq s \leq 0$, возможно преследование за время $\tau + T$.

Теорема доказана.

Замечание 1. Аналогичные результаты можно получить, когда на управления игроков наложены смешанные ограничения типа

$$\int_0^\infty \|u(s)\|^2 ds \leq \rho^2, \mathcal{G}(t) \in K,$$

где $\rho > 0$ и K – некоторое выпуклое замкнутое ограниченное множество из Z .

Замечание 2. В работе ([6], с. 10) результаты о разрешимости задачи преследования получены для дифференциальной игры вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) - Cu(t) + Dv(t) \tag{10}$$

в конечномерном пространстве R^n . В работе ([7], с. 432) результаты относятся играм вида (10) с замкнутым оператором A в гильбертовом пространстве. А результаты работы ([5], с. 234) относятся играм запаздывающего типа

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bx(t-h) - Cu(t) + Dv(t)$$

В силу того, что дифференциальная игра вида (1) охватывает вышеуказанные игры, то полученные нами результаты обобщают соответствующие результаты из работ ([5], с. 234; [6], с. 10; [7], с. 432).

ЛИТЕРАТУРА

1. Хилле Э., Филлипс Р. Функциональный анализ и полугруппы. – М.: ИИЛ, 1962, с. 832
2. Datko R. Linear Autonomous Neutral Differential Equations in a Banach Space. – Journal of Differential equations. 1977, № 25, pp. 258-274.
3. Понтрягин Л.С. Линейные дифференциальные игры преследования. – Математический сборник. 1980, т.112 (154), № 3, с. 307-331.

4. Мамадалиев Н. Об одной задаче преследования с интегральными ограничениями на управления игроков. – Сибирский математический журнал. 2015, т. 56, № 1, с. 129-148.
5. Мухсинов Е.М., Муродова М.Н. Линейные дифференциальные игры преследования при наличии запаздываний в гильбертовом пространстве. – Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2016, № 1/1(192), с. 233-236.
6. Азимов А.Я., Гусейнов Ф.В. О некоторых классах дифференциальных игр с интегральными ограничениями. – Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1972, № 3, с. 9-16.
7. Мухсинов Е.М. О дифференциальных играх преследования с интегральными ограничениями. – ДАН ТаджССР, 1985, т. 28, № 8, с. 431-434.

Е.М.МУХСИНОВ

**ҲАЛШАВАНДАГИИ МАСЪАЛАИ ТАЪҚИБКУНӢ БАРОИ БОЗИИ
ДИФФЕРЕНСИАЛИИ ХАТТИИ НАВӢИ НЕЙТРАЛӢ БО
МАҲДУДИЯТҲОИ ИНТЕГРАЛӢ**

Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон

Дар фазои Гилберт масъалаи таъқибкунӣ барои бозии дифференсиалии хаттии навӣи нейтралӣ бо маҳдудиятҳои интегралӣ ба идоракуниҳои бозигарҳо дида шудааст. Ду теорема оиди ҳалшавандагии масъалаи таъқибкунӣ исбот карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: масъалаи таъқибкунӣ, бозии дифференсиалии навӣи нейтралӣ, фазои Гилберт, маҳдудиятҳои интегралӣ, вақти таъқибкунӣ.

E.M.MUKHSINOV

SOLVABILITY OF THE PURSUIT PROBLEM FOR A LINEAR DIFFERENTIAL GAME OF A NEUTRAL TYPE WITH INTEGRAL RESTRICTIONS

Tajik state university of law, business and politics

In a Hilbert space, we consider the pursuit problem for a linear differential game of neutral type with integral constraints on the players' controls. Two theorems on the solvability of the pursuit problem are proved.

Key words: pursuit problem, differential game of neutral type, Hilbert space, integral constraints, pursuit time.

УДК 536. 631: 537.312.62

Ф.ХОЛМУРОДОВ

**КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ВБЛИЗИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА
СМЕКТИК- ИЗОТРОПНАЯ ЖИДКОСТЬ**

*Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана
Поступила в редакцию 30.03.2021 г.*

В данной работе рассматривается влияние фазового перехода смектик А на предпереходные явления в изотропной фазе нематического жидкого кристалла. Показано, что при уменьшении ширины нематической зоны регулярная часть теплоемкости растет, что приводит к отклонениям от закона Кюри – Вейса для восприимчивости от корневой расходимости от теплоемкости.

Ключевые слова: фазовый переход, нематическая зона, изотропная жидкость, смектическая фаза, параметр порядка.

Исследование критических явлений, возникающих вблизи различных фазовых переходов второго рода и критических точек, является одной из фундаментальных проблем современной физики конденсированного состояния. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в этой области для ряда систем, в настоящее время представляется важным выяснение степени универсальности предпереходных явлений в жидкокристаллических объектах.

Ключевым моментом в описании любого фазового перехода является идентификация параметра порядка. Традиционный подход к жидким кристаллам состоит во введении параметров порядка независимо для фазовых переходов нематик (N), смектик А (A) и смектик С (C) фаз.

Теоретическая ситуация вблизи перехода в смектическую А фазу довольно запутанная. Недаром Любенски назвал этот переход одним из наиболее интригующих среди фазовых переходов вообще. В этом случае адекватность интерпретации существующих

Адрес для корреспонденции: Холмуродов Фитрат. 734065. Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни 299/1. Физико-технический институт НАНТ. E-mail: fitratk@mail.ru

экспериментов приобретает особое значение. С этой целью необходимо с самого начала выделить эффекты, связанные с близостью особых точек на фазовых диаграммах, появляющихся вследствие взаимодействия параметров порядка. Эти эффекты являются более грубыми по сравнению с различиями тех или иных вариантов флуктуационной теории, поэтому их рассмотрение должно предшествовать любому подробному анализу эксперимента.

Близость смектической А-фазы заметно влияет на характер предпереходных явлений в изотропной фазе нематического жидкого кристалла вблизи N-I (нематик N - изотропная жидкость I) перехода. Это влияние обнаруживается в следующих эффектах:

восприимчивость отклоняется от закона Кюри-Вейса тем сильнее, чем уже ширина нематической зоны [1];

регулярная часть теплоемкости растет при уменьшении ширины нематической зоны, появляется как бы «отрицательный скачок» в регулярной части C_p при $T=T_{NI}$ [2];

теплота N-I (нематик N - изотропная жидкость I) перехода растет при приближении к тройной точке, хотя скачок нематического параметра порядка существенно не меняется.

Первые два эффекта можно качественно объяснить следующим. Фазовый объем, связанный с флуктуациями одноосной смектической моды в изотропной фазе, становится аномально большим (эффект Бразовского), хотя амплитуда и радиус корреляции смектических флуктуаций могут быть здесь гораздо меньшими, чем в нематической фазе.

В связи с этим в теплоемкости появляется добавка

$$\delta C_p \sim (t + \Delta_0)^{-3/2}, \quad (1)$$

расходящаяся при температуре T_{A1} лежащей гораздо ниже температуры N-I перехода.

Поэтому аномалию (1) можно рассматривать как добавку к регулярной части теплоемкости изотропной фазы. Эксперимент показывает, что подобная добавка действительно существует. Аномально большой фазовый объем смектических флуктуаций приводит, кроме того, к перенормировке характера нематических флуктуаций в изотропной фазе и, следовательно, к изменению температурной зависимости восприимчивости. Зависимость (1) для перенормированной восприимчивости и для теплоемкости

$$\delta C_p \sim (\chi a)^{1/2} \quad (2)$$

качественно согласуются с экспериментом. Более того, для каждого отдельного случая можно количественно согласовать результаты эксперимента и расчета. Однако не следует переоценивать такое согласие. Константы, входящие в зависимости (1) и (2), при отработке эксперимента являются подгоночными. Нет никакой уверенности в том, что влияние смектических флуктуаций – это единственный эффект, приводящий к отклонениям от закона Кюри – Вейса для восприимчивости от корневой расходимости от теплоемкости.

Результаты теоретического исследования влияния собственно нематических флуктуаций на восприимчивость и теплоемкость изотропной фазы показывают, что соответст-

вующие отклонения от нулевого приближения носят такой же характер и имеют тот же порядок величины. Поэтому количественному анализу должно предшествовать аккуратное разделение эффектов, связанных собственно с N-I переходом, и эффектов, зависящих от близости перехода в смектическую фазу. Так, например, в работе Зинка и де Же [3] на основе интерпретации эксперимента по светорассеянию в гомологическом ряду nCB было высказано мнение об отсутствии заметной корреляции между отклонениями от закона Кюри – Вейса и близостью смектической фазы. В этой связи представляет интерес эксперимент в смеси двух жидких кристаллов, один из которых непосредственно переходит из изотропной в смектическую А-фазу, а другой обладает нематической фазой. В этом случае маскирующие явление чет-нечетные эффекты исключаются.

В работе [4] было исследовано рассеяние света в смеси 606NO₂ – 6010. Во всех случаях были обнаружены значительные отклонения от закона Кюри-Вейса. Можно было бы просто сравнить амплитуды таких отклонений для различных образцов при одинаковых расстояниях от температуры перехода. Однако такая процедура не вполне корректна. Степень первородности N-I и особенно А-I переходов зависит от концентрации смеси и значительно больше для 606NO₂, чем для 6010. Поэтому различные образцы в точке фазового перехода находятся на различных расстояниях от предела стабильности изотропной фазы. Поэтому эффективные отклонения от закона Кюри – Вейса увеличиваются при движении от 6010 к 606NO₂. Кроме того, обработка температурной зависимости восприимчивости на эмпирическую формулу

$$R_c^{-1} = A[(T - T^*)/ T^*]^\gamma \quad (3)$$

показала, что эффективный параметр γ , характеризующий кривизну температурной зависимости обратной восприимчивости, имеет резкий минимум в районе тройной точки NAI. Этот результат качественно согласуется с теоретическими представлениями.

Рост теплоты перехода вблизи тройной точки NAI (нематик (N), смектик А (A) и изотропная жидкость I (I)) также можно объяснить изменением характера смектических флуктуаций в изотропной фазе по сравнению с нематической. Энтропия N-фазы будет ниже, чем энтропия I-фазы на величину

$$S_I - S_N = \int \delta C_P dT, \quad (4)$$

где δC_P – аномальная (флуктуационная) часть теплоемкости в N-фазе вблизи N-A перехода

$$\delta C_P \sim [(T - T_{NA})/ T_{NA}]^{-\alpha} \quad (5)$$

при $T > T_{NA}$ эта аномалия отсутствует. Количественные оценки затруднительны, так как нужно задаться определенным видом зависимости аномальной части теплоемкости, связанной со смектическими флуктуациями, в нематической фазе и, главное, правильно выбрать верхний предел интегрирования T_o в (4). Это температура, при которой вклад аномальной части должен был бы исчезнуть даже в отсутствие N-I перехода. Противополож-

ная тенденция – уменьшение энтропии изотропной фазы вследствие эффекта Бразовского, по-видимому, менее существенная, так как температура расходимости смектических флуктуаций в изотропной фазе T_{AI}^* лежит значительно ниже, чем T_{NA} . Качественные (по порядку величины) оценки, выполненные для ряда веществ, согласуются с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gohin A., Destrade C., Gasparoux H., Prost J. – J. de Phys., 1983, v. 44, p. 427.
2. F. Kholmurodov. The experimental evidence of the behavior of heat capacity in the vicinity of the de Gennes tricritical point. – SELCC. Abstracts. Vilnius University. Lithuania. 1991, v. 2, F15.
3. Zink H., de Jeu W.H. – Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1983, v.8, p. 406.
4. Anisimov M.A., and et all. – Mol. Cryst. Liq. Cryst. Letters 1985, v. 2, p. 77.

Ф.ХОЛМУРОДОВ

ҲОДИСАҲОИ КРИТИКӢ ДАР НАЗДИКИИ ГУЗАРИШИ ФАЗАВИИ СМЕКТИК-МОЕЪИ ИЗОТРОПӢ

*Институту физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон*

Дар кори мазкур таъсири гузариши фазавии смектик А ба ходисаҳои пешазгузаришӣ дар фазаи изотропии кристалли моеъшакли нематикӣ таҳқиқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки дар ҳолати камшавии паҳнии минтақаи нематикӣ ҳиссаи доимии гармиғунҷоиш меафзояд, ки ин ба майлқунӣ аз қонуни Кюри-Вейс барои таъсирпазирӣ аз дуршавандаи решагии гармиғунҷоиш меорад.

Калимаҳои калидӣ: гузариши фазавӣ, минтақаи нематикӣ, моеъи изотропӣ, фазаи смектикӣ, андозаи тартиб.

F.KHOLMURODOV

CRITICAL PHENOMENA NEAR THE SMECTIC-ISOTROPIC LIQUID PHASE TRANSITION

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

In this paper, we consider the influence of the smectic A phase transition on the pre-transition phenomena in the isotropic phase of a nematic liquid crystal. It is shown that as the width of the nematic zone decreases, the regular part of the heat capacity increases, which leads to deviations from the Curie – Weiss law for the susceptibility from the root divergence from the heat capacity.

Key words: phase transition, nematic zone, isotropic liquid, smectic phase, order parameter.

УДК 544.4; 54.052; 54.057

А.М.ИЛОЛОВ

КАТАЛИЗ И СИНТЕЗ КАТАЛИЗАТОРОВ

Таджикский технический университет им. М.С.Осими

Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

В данной работе приведены основные аспекты катализа. Рассмотрен синтез наногетерогенных цеолитных катализаторов. Приведен синтез катализаторов, основанный на пропитке носителя солями металлов с формированием «корочкового» слоя вдоль зерна. Показан золь-гель метод синтеза бинарного Mg-Si образца катализатора.

Ключевые слова: катализ, нано-катализаторы, гетерогенный катализ, золь-гель метод.

Понятие “катализ” имеет древнюю историю, что связано в первую очередь с процессом ферментации (брожением), абсолютно все биохимические процессы ускоряются белковыми макромолекулами называемыми ферментами (ферментами). Впервые в 1814 г. К.Кирхгофом ферментативный катализ был исследован на примере реакции конверсии крахмала в углеводы. Затем И.Берцелиус и Э.Мичерлиха определили природу ферментативного катализа и отнесли его к классу химических каталитических реакций. Немецкий ученый химик Э.Фишер в 19 в. выдвинул гипотезу о стерическом соответствии между субстратом и активным центром ферментов [1]. На сегодняшний день исследование ферментативного катализа и применение его в получении таких соединений как ацетон, низшие спирты, топливо различного назначения, синтетическая нефть и благоприятные экологические характеристики процессов на его основе делают биокатализ привлекательным для промышленности и науки. В наши дни это подтверждается тем, что за последнее десятилетие количество научных публикаций, посвященных биокатализу, составляет около 5000 тыс. научных статей на платформе «Elsevier» [2].

Принцип ферментативного катализа учеными – химиками был перенесен в органическую химию, где успешно закрепился и более 70% новых соединений

Адрес для корреспонденции: Илолов Ахмадишо Мамадишоевич, 734042 Душанбе, пр. академиков Раджабовых 10, ТТУ им. М.С.Осимӣ. E-mail: ilolov2@gmail.com

получаются именно каталитическими процессами. Затем так называемый химический катализ разделился на два основных направления гомогенный и гетерогенный, также существует фото-катализ, электрокатализ.

Гомогенный катализ

Гомогенный катализ происходит в единой фазе жидкой, либо газовой, где катализаторы и реагенты взаимодействуют с получением целевых соединений. В гомогенном катализе обычно используют блочные реакторы – Сларри реактор, автоклав. После завершения процесса необходимо отделить катализатор от продуктов. Гомогенный катализ в основном разделяется на кислотный и металлокомплексный, где в качестве катализаторов используют протонные кислоты (азотная кислота HNO_3 , уксусная кислота CH_3COO , угольная кислота H_2CO_3 , фосфорная кислота H_3PO_4 и др.), выделяющие протон H^+ и комплексы металлов HgSO_4 - H_2SO_4 - $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Ni}[\text{P}(\text{OR})_3]$, ZnCl_2 , $\text{Pd}(\text{II})$, $\text{Cu}(\text{I})/\text{Cu}(\text{II})$.

Одним из ярких примеров является стереорегулярная полимеризация олефинов и диенов, впервые выполненная Циглером и Натта на гомогенных металлоорганических каталитических комплексах TiCl_4 — AlEt_3 , TiCl_3 - AlR_3 (C_5H_5) $\text{TiCl}_2\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, за что в 1963 г. они были удостоены Нобелевской премии. Гомогенный способ синтеза винилацетата был предложен советскими учеными на палладиевых комплексах $\text{Pd}(\text{II})$ в 1960г – реакция Моисеева [3].

Гетерогенный катализ

Гетерогенный катализ имеет три фазы: газовая, жидкая, твердая. Катализатором служит твердая фаза, и в зависимости от реакции подбирается носитель (подложка), с определенной удельной поверхностью, промотируется металлами. Важным также является размер пор взятого образца в случае цеолитов, молекулярный – ситовой эффект, где в зависимости от диаметра пор подбирается исходное вещество, размер молекулы которого “проходит” через пору с максимальной конверсией и селективностью [4].

Образование целевых веществ в гетерогенном катализе происходит в три стадии 1 – испарение, 2 – контактирование-адсорбция, 3 – конденсация-десорбция. При стадии контактирования испарившиеся молекулы взаимодействуют с поверхностью образца (адсорбция) и затем, проникая через поры (каналы) катализатора, превращаются наряду с целевым продуктом в побочные вещества. В отсутствие катализатора реакция не идет, либо идет с очень медленной скоростью, катализатор не расходуется, его масса намного меньше перерабатываемого на нем сырья. Однако по истечении определенного времени, необходимо его регенерировать и удалить из его пор и поверхности кокс (продукты уплотнения).

До оценки “годности” реакции для проведения ее именно в рамках гетерогенного и гомогенного катализа используют термодинамический расчет где выясняется свободная энергия ΔG^0 по формуле:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_o$$

и определяется температурный диапазон, в котором осуществима реакция. Исходя из приведенной формулы, если полученные значения являются отрицательными, то реакция осуществима, а в случае положительных цифр соответственно нет. То есть катализатор не может вызвать реакцию, если она термодинамически недопустима. Так как катализатор в процессе реакции не расходуется и не влияет на свободную ΔG^0 и соответственно на константу равновесия, то катализатор не сдвигает равновесия реакции в сторону образования продуктов, а только лишь увеличивает скорость достижения этого равновесия.

Ранее для определения механизма реакций и промежуточных веществ использовалась аналитика после реакторного блока, с помощью которой выявляют основные продукты реакций и микропримеси, используя газовую, газожидкостную хроматографию. Это, естественно, показывает неполную картину, и получался некий «черный ящик». В начале XXI века физико-химические методы анализа катализаторов настолько продвинулись, что промежуточные соединения, образующиеся на поверхности катализаторов, определяются с учетом СЭМ, РФА, РФЭС, ЯМР, ИК-спектроскопии *in situ*, что вносит ясность в понятие «черного ящика». Однако вышеперечисленные методики анализа структурных и поверхностных характеристик имеют свои ограничения, связанные с условиями изучения образца катализатора. Дело в том, что среда, образованная в реакционных условиях (каталитическая система) отличается от той, которая создается в аналитических приборах.

Сегодня передовые технологии позволяют наблюдать работу катализатора в течение реакции и в нано масштабе тоже.

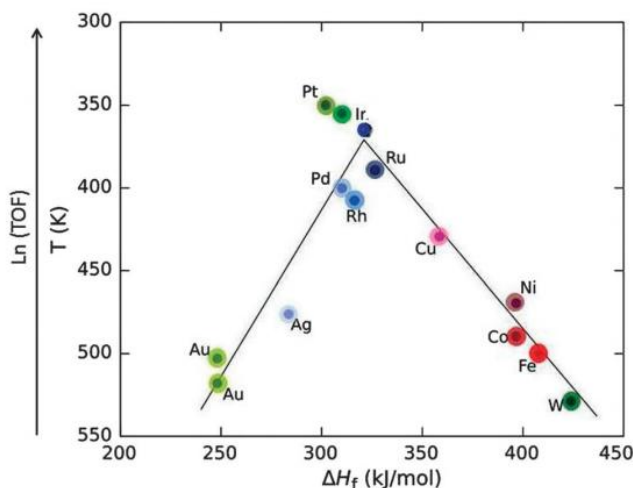


Рис. 1. Вулканический график: температура разложения с определенной скоростью – функцией теплоты образования соли формиата.

Нанокатализаторы имеют новые качественные характеристики, в первую очередь это наибольшая площадь поверхности, во-вторых – расположение металла (промотора) оказывается более доступным, чем у монокристаллитов. Для каждого процесса необходимо подбирать наноразмерность и промоторы.

Контактирование сырья с катализатором имеет следующие этапы а) адсорбция, б) реакция, в) десорбция, и в зависимости от условий реакций процесс «адсорбция-десорбция» происходит в разной степени. Немецкий ученый – химик Сабатье наглядно на графике изобразил “вулкан” зависимости температуры (и $\ln TOF$ от частоты оборотов) от теплоты образования формиата. Как видно из графика (рис.1) прямой зависимости температуры от ΔH_f теплоты образования нет, и при увеличении ее наблюдается максимум при средних значениях, что говорит о средней - оптимальной энергии адсорбции, при которой сохраняется приемлемая активность катализатора [5-7].

Наногетерогенный катализ

Наногетерогенный катализ как отдельное направление катализа был определен в работе Хаджиева С.Н. [8], где основной предпосылкой являлось влияние размерного эффекта на активность, стабильность катализатора, само влияние данного эффекта заключалось в изменении: 1 – скорости образования продуктов, 2 – энергии связи, 3 – удельной каталитической активности.

За последние десятилетия наиболее используемыми катализаторами с положительным размерным эффектом считаются цеолиты (молекулярные сита), где доведенные до наноразмеров поры и кристаллы обеспечивают высокую активность и селективность процессов.

Авторами [9, 10] впервые получены образцы наноразмерных цеолитных катализаторов типа Y и ZSM-5 с суперкислотными центрами, аналогичные жидким суперкислотам Ола структурные характеристики, которые были обоснованы квантово-химическими расчетами [11]. Высокая активность кислотных центров наноцеолитов легко разрывает С-С связь углеводородов по сравнению с классическими аморфными алюмосиликатами, в связи с чем цеолиты вытеснили их с промышленных процессов нефтепереработки и нефтехимии. Наноразмерная структура цеолитных катализаторов обеспечивает активность не только поверхностными характеристиками, но и за счет диффузии реагентов в поры с дальнейшим преобразованием-конфигурационная селективность (shape selectivity). В порах могут находиться кислотные центры Бренстеда, ионы переходных металлов или металлических кластеров. Чтобы образовать четыре связи, атому Al нужен дополнительный электрон. Таким образом, каркас несет отрицательный заряд, который сбалансирован катионами, не входящими в состав связующего звена и, следовательно, легко обменивающимися. Обмен H^+ приводит к кислотным центрам Бренстеда, которые очень активны в алкилировании и реакции изомеризации. Интересно, что продукты реакции не встречаются в их термодинамическом равновесном распределении, даже если реакции проводятся при высоких температурах. Это объясняется конфигурационной селективностью, которая накладывается на реагенты, переходные состояния и продукты, принцип которой схематически представлен на рис. 2.

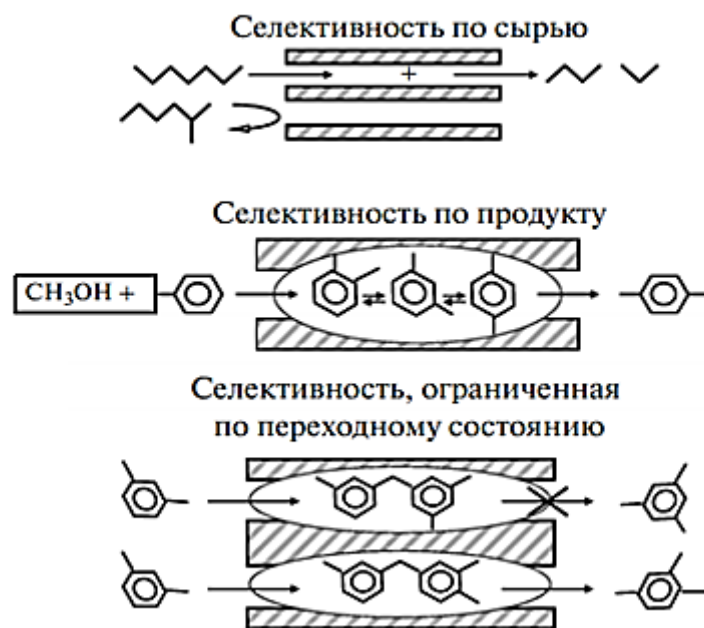


Рис. 2. Различные типы формоселективности.

Показано, что механизм реакции с участием углеродного “бассейна” также приводит к образованию продуктов уплотнения - коксу. Несколько таких коксовых частиц могут полностью заблокировать и дезактивировать одномерную пору, в то время как трехмерные цеолиты могут оставаться селективными за счет дополнительных плоскостей.

Синтез гетерогенных катализаторов

Гетерогенные катализаторы это твердые образцы оксидов металлов и неметаллов и их смесей с заданной удельной поверхностью, пористостью, структурой. Синтез катализаторов осуществляется на заводах для промышленных процессов и в лабораториях для исследования его основных параметров новых реакций или для улучшения конверсии и селективности известного процесса. Катализатор в основе своем имеет две активные фазы – носитель и модификатор.

Носитель имеет такие характеристики как пористость, структурный каркас, удельная поверхность, и они являются участниками реакции. Подбирая или изменяя значения характеристик, можно изменить ход реакции – увеличить скорость целевых маршрутов для получения нужного соединения.

Модификатор – это активные металлы, которые наносятся на носитель различными методами, где за основу берутся соли (карбонаты) металлов и на формирование структуры осадка влияют концентрация растворов, скорость процесса, температура сушки. Метод осаждения используется часто для получения бинарных систем методом воздействия аммиака на азотнокислые металлы. В результате получают аморфные гели, которые необходимо сушить для получения устойчивой структуры, но следует избегать высоких

температур во избежание кристаллизации, что негативно может влиять на активность катализатора.

Термическое разложение

Для получения высокодисперсных катализаторов – оксидов металлов осуществляется нагрев гидроокисей и карбонатов тяжелых металлов при высоких температурах с выделением воды и углекислого газа, для получения рыхлой структуры при умеренных температурах, окислы металлов также можно получать при термическом разложении органических солей, нитратов тяжелых металлов [12].

Пропитка в кислой среде

Для синтеза многокомпонентной фазы катализатора используют метод пропитки растворами солей активных компонентов в кислой среде взятого носителя. Распределение фаз в пространстве зерна можно наблюдать физико-химическими методами (спектрофотометрия, РФА in situ, термогравиметрия, ИК-спектроскопия, ЭСМ). В зависимости от степени сорбируемости активных фаз метод пропитки может быть сорбционным и импрегнированным. Сорбционная пропитка подразумевает наиболее крепкую фиксацию активных компонентов (не нарушается во время термообработки) на носитель с определенным профилем макроскопического распределения. При импрегнированном методе происходит диффузия активного компонента во внутренние поры – капилляры носителя и дальнейшая термическая обработка приводит к перемещению активного компонента, к радиусу зерна, образуя многофазную систему. Существуют четыре типа макроскопического распределения активной фазы внутри гранулы (рис.)

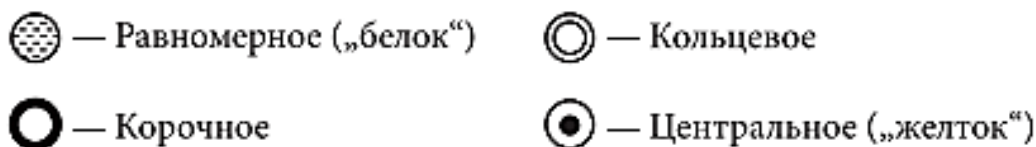
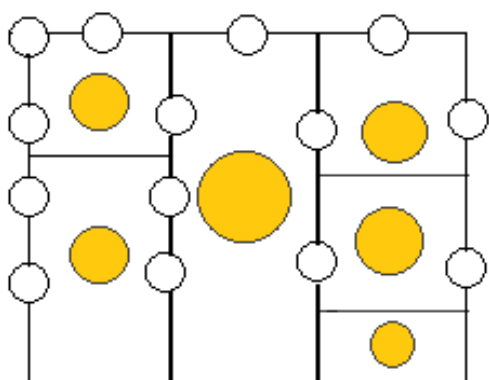


Рис. 3. Типы макроскопического распределения активных компонентов в сферической грануле катализатора.

Для «вывода» на поверхность образца катализатора активных металлов (ионов) используется конкурентная адсорбция Маатмана, которая заключается в ослаблении связей предшественника с поверхностью. Её можно осуществить с помощью электролитов. Структура $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ выглядит следующим образом O-Al-OH и при влиянии ионов Cl^- , OSCl^- , OH^- , H^+ происходит замещение OH групп, их блокировка и модификация, что дает возможность регулирования кислотности по Льюису и Бренстеду носителя.

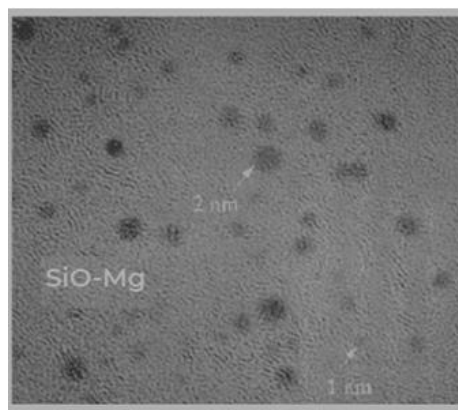
Синтез катализаторов, основанный на золь-гель методе

Синтез нанокатализаторов с использованием золь-гель метода на основе тетроэтоксисилана (ТЕОС) с дальнейшим получением трехмерной кремниевой сетки проводят в три стадии: а) – гидролиз ТЭОСа ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{H}_2\text{O} : \text{HNO}_3$ в соотношении 1 : 1,6 : 2,5 : 0,001); б) – ввод легирующей добавки $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ и в) – для получения геля со встроенной в его сетку Mg полученный золь выдерживается при комнатной температуре в течение одной недели, после чего формируется следующий кластер $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Mg}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ [13].



а)

а)



б)

б)

Рис. 4. Схема структурной сетки геля с распределенными в ее петлях наночастиц металла-допанта (а); фотография с использованием сканирующего электронного микроскопа с указанием размерности в нанометрах (б)

Процесс сушки прекурсора происходит в муфельном шкафу при ступенчатом нагреве от 100°C до 350°C в течение 15 ч. Полученный порошок белого цвета MgO/SiO_2 формовали в таблетки в ротационном таблетпрессе. Распределение металлов в кремниевой матрице показано на рис. 2. В виде схемы желтыми кругами показаны наночастицы металла а) фотография сканирующего электронного микроскопа где черными точками видно равномерное распределение металла по всему объему взятого образца б).

Наноцеолиты – гидротермальный синтез

Цеолитные катализаторы играют ключевую роль в процессах нефтехимии и нефтепереработки. Более эффективными оказались (лучшая стабильность, высокая селективность) наноразмерные цеолиты на основе микро-мезопористых материалов, что обусловлено доступностью активных кислотных центров и уменьшением диффузионных ограничений. Наиболее известными, в плане использования в нефтехимической и газохимической промышленности, являются цеолиты со следующими структурами FAU, BEA, MFI,

MOR. Основой синтеза данных цеолитов является гидротермальная кристаллизация с использованием различных темплатов для получения нужных нанокристаллитов с определёнными порами для направленного синтеза нужных углеводов.

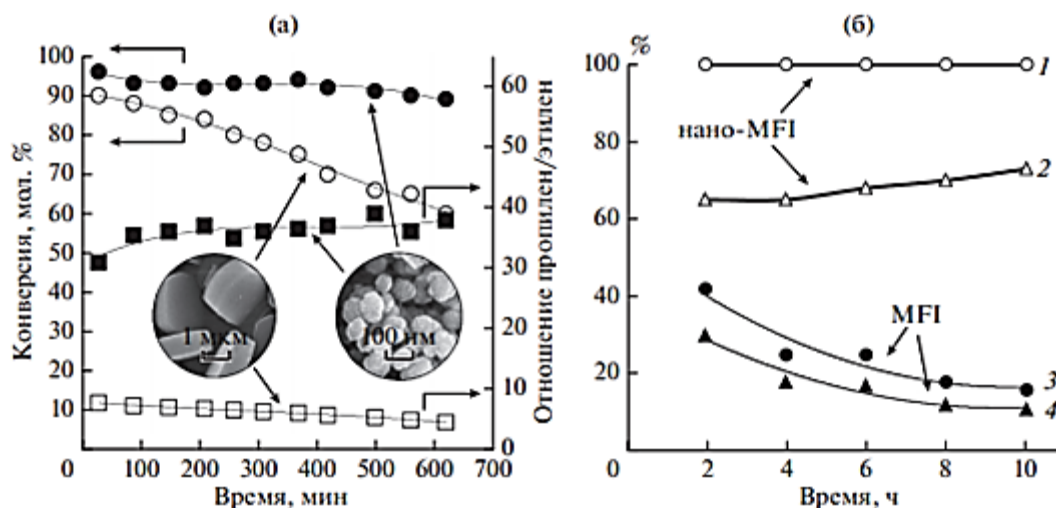


Рис. 5. Влияние размера кристаллов на его каталитические свойства в процессах нефтехимии: а – цеолит Fe-MFI, конверсия метанола, б – цеолит MFI, дегидратация глицерина. Кривые 1,3 – конверсия глицерина, 2,4 – селективность образования глицерина.

В зависимости от специфики синтеза наноцеолитов размер кристаллов находится в диапазоне от 20 до 300 нм, в то же время имеет место образование агломератов с размерами от 100 до 600 нм. Улучшение основных свойств катализаторов на нано-уровне продемонстрировано на рис. 5, где видно явное преимущество в процессах конверсии метанола и дегидратации глицерина на цеолите Fe-MFI с размером кристаллов 100 нм.

Гидротермальный синтез наноцеолитов проводили в автоклавах типа Мори, куда помещали гель, полученный из растворов $\text{Al}(\text{O}-i\text{-Pr})_3$ - ТЭАОН и $\text{NaOH} - \text{SiO}_2 - \text{ТЭАОН}$ (взятых в необходимых соотношениях). Полученные нанокристаллы сушили при 100°C в течение 12 часов. Доступность активных центров и рост селективности по целевым веществам в таких процессах, как каталитический крекинг, гидрокрекинг, олигомеризация, конверсия оксигенатов на полученных наноцеолитов, является одним из новых и перспективных направлений в катализе, которые открывают новые возможности не только в рамках синтеза нанокатализаторов на основе цеолитов, но и других известных гетерогенному катализу каталитических систем [14-16].

Заключение

За два века катализ сформировался как отдельное научно-промышленное направление, на базе которого существуют многие промышленные процессы нефтепереработки, нефтехимии и органической химии. В рамках фундаментальной науки большое внимание уделяется квантово-химическому моделированию каркасов – структур гетерогенных ката-

лизаторов. Привлечение спектрометров для изучения поверхности с целью установления промежуточных продуктов, которые внесены в базу данных дает более полную информацию с учетом структурных характеристик и привлечением физических приборов (РФА, РФЭС, ЯМР, ЭСМ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин И.В. Исследования в области ферментативного катализа и инженерной этимологии, - М., 1990, 382 с.
2. Shuke Wu., Radka Snajdrova, Jeffrey C.Moore, Kai Baldenius, Uwe T. – Bornscheuer Biocatalysis: Enzymatic synthesis for industrial applications. Wiley-vch. 2010, pp. 1-31
3. Темкин О.Н. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты. – М., 2008, 918 с.
4. Ж.Жермен. Гетерогенный катализ. 1961, 254 с
5. Emil Roduner Understanding catalysis. – The Royal Society of Chemistry. Chem. Soc. Rev. 2014, pp. 1-18,
6. А.А.Баландин. Modern State of the Multiplet Theory of Heterogeneous Catalysis. 1969, 209 p.
7. Третьяков В.Ф., Илолов А.М., Талышинский Р.М. Иницирование гетерогенно-каталитических процессов. – Lambert Academic Publishing, 2018, 352 с.
8. Хаджиев С.Н. Наногетерогенный катализ – новый сектор нанотехнологий в химии и нефтехимии. – Нефтехимия, 2011, т. 51 (1), с. 3-15.
9. Хаджиев С.Н., Агабалян Л.Г., Зюба Б.И. Сб. материалов 1 Всесоюзной конференции “Применение цеолитов в катализе”. – Новосибирск, 1976, ч. 1, с. 16.
10. Хаджиев С.Н., Гайрбеков Т.М., Топчиева К.В., Россинский А.М. – Доклады АН СССР, 1985, т. 281, № 4, с. 864.
11. Ола Г.А. – Успехи химии. 1975, т. 15, с. 793
12. Казанский Б.В. – Успехи химии. 1988, т. 57, № 12, с. 1937.
13. Долгова О.В. Использование золь-гель методов получения катализаторов пиролиза для синтеза углеводородных наноструктур. – Университет им. В.И.Вернадского. 2006, № 3(5), с. 191-195.
14. Сашкина К.А. Разработка методов синтеза и исследование физико-химических и каталитических свойств новых материалов на основе цеолитов и SiO₂ с иерархической системой пор. Дисс... к.х.н., 2016, 111 с.
15. Мамедова Г.А. Гидротермальный синтез цеолита ZSM-10. – Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2018, № 5, с. 125-133
16. Князева Е.Е., Коннов С.В., Иванова И.И. Перспективы применения наноразмерных цеолитов в нефтехимии: синтез и каталитические свойства (обзор). – Нефтехимия. 2019, т. 59, № 3, с. 333-349.

А.М.ИЛОЛОВ

КАТАЛИЗ ВА СИНТЕЗИ КАТАЛИЗАТОРҲО

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Дар мақола чанбаҳои асосии катализ оварда мешаванд. Синтези катализаторҳои нано-гетерогенӣ сеолитӣ баррасӣ шудааст. Синтези катализаторҳо дар асоси

обгузаронии интиқолдиҳанда бо намакҳои металлӣ бо ташаккули қабати "пӯстак" қадқ-қади дона амалӣ мегардад. Усули зол-гел барои синтези намунаи катализатори бинарии Mg-Si нишон дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: катализ, нано-катализаторҳо, катализи гетерогенӣ, усули зол-гел.

A.M.ILOLOV

CATALYSIS AND SYNTHESIS OF CATALYST

Academician M.S.Osimi Tajik technical university

In this article summarizes the basic aspects of catalysis. The synthesis of nano-heterogeneous zeolites - catalysts are considered. Synthesis of catalysts based on the impregnation method of the carrier with metal salts with the formation of a «crust» layer along the grain is shown. Sol-gel method used for formation binary Mg-Si catalyst are considered.

Key words: catalysis, nano-catalysts, heterogeneous catalysis, sol-gel method

УДК 544

А.С.КУРБОНОВ, М.М.ТАГОЕВ, Ш.Д.ОТАЕВ, А.П.ТАГАЕВ, А.М.КАЮМОВ,
У.М.МИРСАИДОВ

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ
БОР- И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД С ХЛОРИДАМИ НАТРИЯ И
КАЛЬЦИЯ**

*Институт химии им. В.И.Никитина Национальной академии наук Таджикистана
Поступила в редакцию 04.02.2021 г.*

Приведены результаты сравнительной оценки и особенностей процесса спекания боросиликатных руд и каолиновых глин с хлорсодержащими реагентами. Найдены оптимальные параметры спекания борной руды Ак-Архарского месторождения с хлоридами натрия и кальция и спекания каолиновых глин месторождения Чашма-Санг с CaCl_2 с последующей солянокислотной обработкой спёка.

Даны сравнительные оценки процесса спекания бор- и алюмосиликатных руд с хлоридами натрия и кальция.

Ключевые слова: хлорид натрия, хлорид кальция, борная руда, каолиновая глина, оптимальные параметры, сравнительная оценка.

Переработка минерального сырья путём спекания является важным процессом, в котором происходят разрушения нерастворимых минералов в минеральных кислотах.

В работах [1-7] изучен процесс спекания бор- и алюмосиликатных руд различными реагентами. Найдены оптимальные параметры процесса спекания с последующей кислотной обработкой спёка и получением полезных компонентов (B_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др.).

В настоящей работе изучены особенности процесса спекания бор- и алюмосиликатных руд с хлоридами натрия и кальция, как эффективными реагентами.

Для исследования использованы хлорид натрия и кальция с содержанием основного вещества более 98%. В качестве бор- и алюмосиликатных руд использованы борная

Адрес для корреспонденции: Курбонов Амишо Сохибназарович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. Институт химии НАНТ. E-mail: amirsho_77@mail.ru

руда Ак-Архарского месторождения и каолиновые глины месторождения Чашма-Санг Таджикистана.

Химический состав борной руды Ак-Архарского месторождения приведён в табл.1

Таблица 1

Химический состав боратных руд Ак-Архарского месторождения

Содержание, мас%	Компоненты												
	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.
	10.4	59.8	1.27	2.2	1.39	19.6	0.75	0.15	0.29	0.1	0.03	0.11	3.91

Определение химического состава каолиновых глин Чашма-Сангского месторождения показало следующие количества компонентов в составе указанных руд (мас%): Al₂O₃–24.84; Fe₂O₃– 10.98; SiO₂ - 50.0; Na₂O– 0.3; K₂O - 2.65; CaO – 1.0; MgO -1.0; п.п.п. – 6.3.

В составе каолиновых глин Чашма-Сангского месторождения имеются минералы монтмориллонита, гематита, кварца, каолинита, иллита, гётита, гидраргиллита, гидрослюды.

Степень извлечения компонентов определяли путём разложения спёка соляной кислотой. Оптимальные параметры разложения спёка соляной кислотой составляют: температура – 95-98°C; концентрация кислоты – 20%; продолжительность разложения спёка – 60 мин; размер частиц – 0.1-0.2 мм.

Исходя из оптимальных параметров, степень извлечения компонентов для CaCl₂ при солянокислотной обработке составляет:

- для исходного борного сырья (в %): B₂O₃ – 84.3; Al₂O₃ - 87.3; Fe₂O₃– 84.1;
- для концентрата борного сырья (в %): B₂O₃ – 93.2; Al₂O₃ – 95.3; Fe₂O₃– 88.6.

Исходя из оптимальных параметров, степень извлечения компонентов для NaCl при солянокислотной обработке составляет:

- для исходного борного сырья (в %): B₂O₃ – 82.6; Al₂O₃ – 84.1; Fe₂O₃– 91.3;
- для концентрата борного сырья (в %): B₂O₃ – 93.2; Al₂O₃ – 92.2; Fe₂O₃– 97.7.

Каолиновую глину спекали при температуре 780-800°C в соотношении CaCl₂: сырьё = 1:1, размер частиц - 0.1 мм, длительность спекания составила 60 мин.

Спёк, полученный после термообработки каолиновой глины, подвергали последовательно сначала водной, затем солянокислотной обработке. Эти два последовательных процесса проводили при одинаковых условиях: обрабатывали спёк водой, затем соляной кислотой при t=98°C в течение 1 часа, концентрацию кислоты варьировали в пределах от

18 до 20%. Спёк обрабатывали водой, чтобы удалить избыток хлорида кальция, солянокислотная обработка проводилась с целью выделения из каолиновой глины оксидов алюминия и железа. В процессе данной переработки были получены Fe_2O_3 40-44%, Al_2O_3 88-90%.

На рис.1 приводятся результаты разложения спёка, полученного после термообработки каолиновой глины солянокислотной обработкой. Целью данной серии опытов было изучение зависимости степеней извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 данного процесса, от температуры, продолжительности процесса и концентрации соляной кислоты.

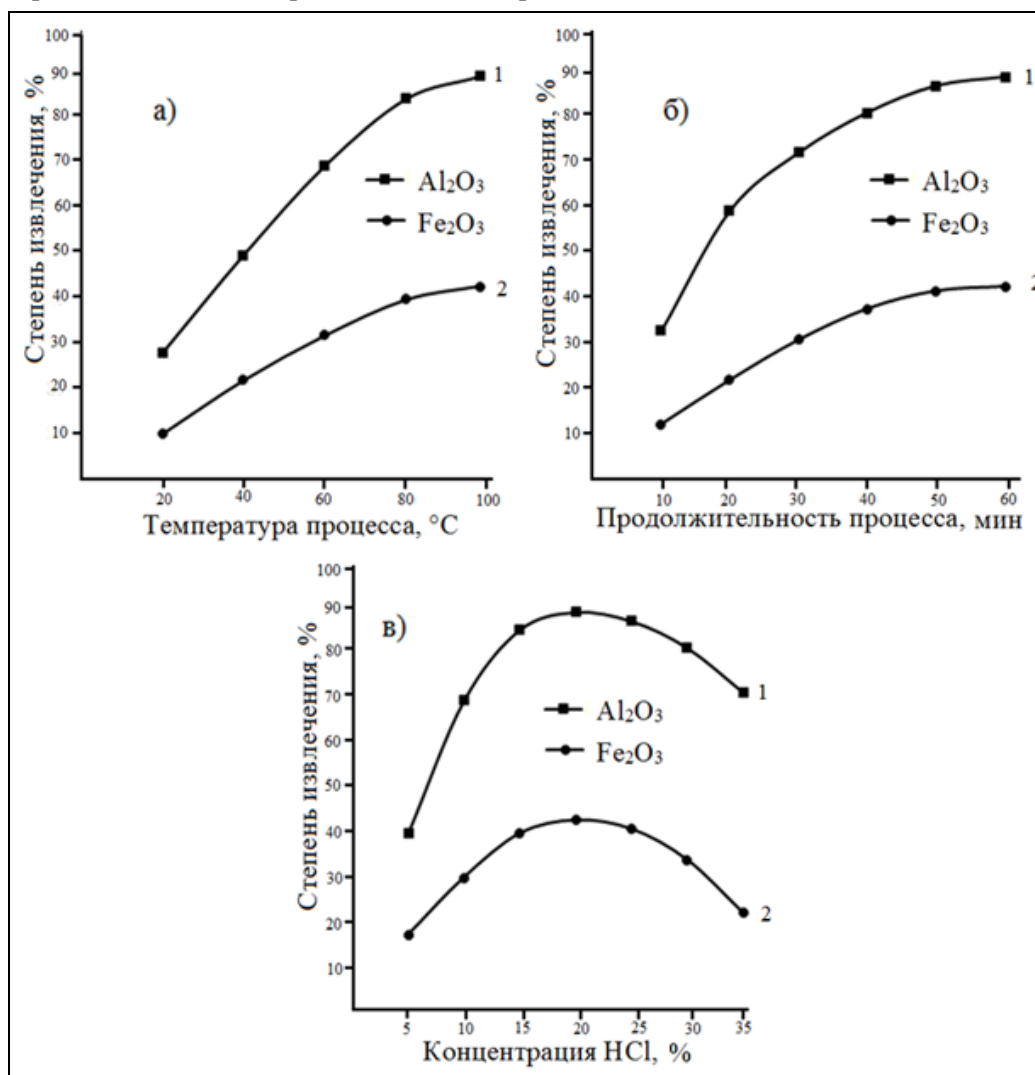


Рис. 1. Зависимость степени извлечения Al_2O_3 и Fe_2O_3 в растворе от: температуры (а), продолжительности процесса (б) и концентрации HCl (в) при солянокислотном разложении каолиновых глин месторождения Чашма-Санг.

На основании проведённого цикла опытов можно констатировать, что для разложения каолиновой глины оптимальными параметрами являются: разложение HCl в течение 1 часа при $t=98^\circ\text{C}$, концентрация HCl от 18 до 20%, тонкость помола <0.1 мм.

Извлечения глинозёма при спекании с NaCl и CaCl₂ для исходного борного сырья составили от 78.7 до 87.3% (рис.1, табл.2). Максимальное извлечение оксида железа составляет при спекании с NaCl 98%.

Таблица 2

Извлечение B₂O₃, Al₂O₃ и Fe₂O₃ в процессе спекания борного сырья с NaCl и CaCl₂

Извлечение компонентов, %	NaCl, исходная руда	CaCl ₂ , исходная руда	NaCl, концентрат	CaCl ₂ , концентрат
B ₂ O ₃	82.1	84.3	91.1	93.2
Al ₂ O ₃	78.7	87.3	94.0	95.3
Fe ₂ O ₃	91.7	94.1	98.0	88.6

Извлечение борного ангидрида, полученного при спекании концентрата боросиликатного сырья с CaCl₂ составляет 93.2%.

Таким образом, особенность процесса разложения боросиликатного сырья с хлоридами натрия и кальция заключается в том, что при использовании CaCl₂ наблюдается высокое извлечение полезных компонентов, кроме оксида железа.

Как видно из результатов исследования, наиболее перспективным реагентом является CaCl₂.

На рис. 2 представлены степени извлечения полезных компонентов из борного сырья.

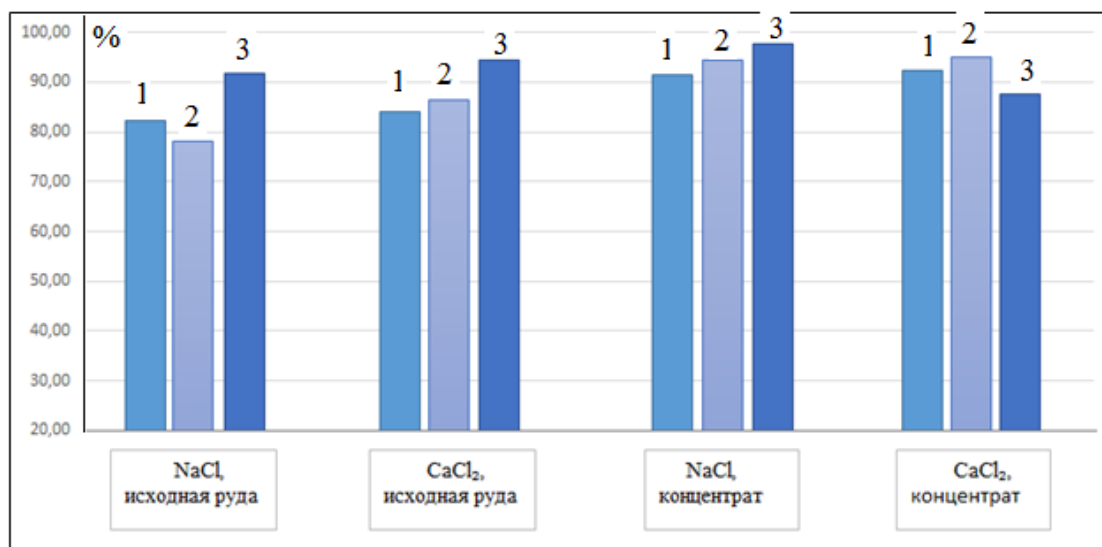


Рис. 2. Извлечение полезных компонентов из борного сырья (1 - B₂O₃; 2 - Al₂O₃; 3 - Fe₂O₃).

Особенности спекания бор- и алюмосиликатных руд (каолиновых глин) с CaCl₂ заключаются в следующем: для борного сырья наблюдается постепенное увеличение степени извлечения компонентов в зависимости от температуры, продолжительности процесса и соотношения реагентов. Для каолиновых глин извлечение оксида железа незначительно (~ 44%), а глинозёма составляет ~ 90% (рис. 1). Эти особенности, по-видимому, объясняются минералогическим составом указанных руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маматов Э.Д., Тагоев М.М., Мирсаидов У.М. Спекание боросиликатной руды с нитратом натрия. – ДАН РТ, 2015, т. 59, № 3, с. 232-234.
2. Тагоев М.М., Баротов А.М., Назаров Ш.Б., Курбонов А.С., Мирсаидов У.М. Оценка процесса спекания боросиликатных руд с натрийсодержащими реагентами. – Изв. АН РТ, 2017, № 4(169), с. 91-96.
3. Назаров Ш.Б., Тагоев М.М., Мирсаидов У.М. Высокотемпературная переработка боросиликатной руды с сульфатом натрия. – Вестник ТНУ, 2019, № 1, с. 250-257.
4. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д., Мисратов Ж.А., Якубов З.Т. Извлечение борного ангидрида из боросиликатных руд. – Изв. АН РТ, 2015, № 2, с. 21-24.
5. Отаев Ш.Д., Мирзоев Д.Х., Джамолов Н.Н., Мирсаидов У.М. Физико-химические основы переработки каолиновых глин месторождения Чашма-Санг Таджикистана спеканием с гидроксидом натрия. – Докл. НАНТ, 2020, т. 63, № 3-4, с. 219-224.
6. Назаров Ф.А., Курбонов А.С., Баротов А.М., Назаров Ш.Б., Мисратов Ж.А., Мирсаидов У.М. Переработка боросиликатной руды методом спекания. – ДАН РТ, 2017, т. 60, № 7-8, с. 329-333.
7. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Назаров Ф.А., Тагоев М.М. Спекательные методы переработки боросиликатных руд Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2020, 124 с.

А.С.ҚУРБОНОВ, М.М.ТАҒОЕВ, Ш.Д.ОТАЕВ, А.П.ТАҒАЕВ, А.М.ҚАЙУМОВ,
У.М.МИРСАИДОВ

АРЗЁБИИ МУҚОИСАВӢ ВА ХУСУСИЯТҲОИ РАВАНДИ ПУХТАНИ МАЪДАНҲОИ БОР ВА АЛЮМИНОСИЛИКАТӢ БО ХЛОРИДИ НАТРИЙ ВА КАЛСИЙ

Институти кимиёи ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмии Тоҷикистон

Натиҷаҳои арзёбии муқоисавӣ ва хусусиятҳои раванди пухтани маъданҳои боросиликатӣ ва гилҳои каолинӣ бо реагентҳои хлордор пешниҳод шудаанд. Чузҳои мусоидаттарини пухтани маъдани бории кони Ак-Архар бо хлоридҳои натрий ва калсий ва пухтани гилҳои каолинии кони Чашма-Санг бо CaCl_2 бо коркарди минбаъдаи пухта дар кислотаи хлорид муайян карда шуданд.

Инчунин, арзёбии муқоисавии раванди пухтани маъданҳои бор ва алюмосиликатӣ бо хлориди натрий ва калсий дода шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: хлориди натрий, хлориди калсий, маъдани бор, гилҳои каолинӣ, чузҳои мусоидаттарин, арзёбии муқоисавӣ.

A.S.KURBONOV, M.M.TAGOEV, Sh.D.OTAEV, A.P.TAGAEV, A.M.KAYUMOV,
U.M.MIRSAIDOV

**COMPARATIVE ASSESSMENT AND CHARACTERISTICS OF THE SINTER-
ING PROCESS OF BORON AND ALUMINOSILICATE ORE WITH SODIUM
AND CALCIUM CHLORIDE**

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

The results of a comparative assessment and characteristics of the sintering process of borosilicate ores and kaolin clays with chlorine-containing reagents are presented in the article. The optimal parameters of sintering of boric ore of the Ak-Arkhar deposit with sodium and calcium chlorides and sintering of kaolin clays of the Chashma-Sang deposit with CaCl_2 with subsequent hydrochloric acid treatment of the sinter have been found.

Comparative assessments of the process of sintering boron and aluminosilicate ores with sodium and calcium chlorides are given as well.

Key words: sodium chloride, calcium chloride, boric ore, kaolin clay, optimal parameters, comparative assessment.

УДК 621.762.242

Б.И.АСРОРОВ, Ш.Б.БАХРИДДИНЗОДА, Г.Т.НАСЫМОВ*, З.Х.ГАЙБУЛЛАЕВА

**ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ
ВОДОРОДОМ ОТ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ**

Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими,

**Дангаринский национальный университет, Таджикистан*

Поступила в редакцию 31.03.2021 г.

В статье рассмотрен гетерогенный каталитический процесс получения гидрида алюминия водородом от газификации угля.

В качестве катализатора процесса получения гидрида алюминия применена палладиевая чернь. В исследованиях использован водород, полученный способом газификации угля Фон-Ягнобского месторождения (Таджикистан) следующего состава, масс. %: влажность – 4.0; летучие компоненты – 0.98%; смолы – 4.5%; С – 81.0; Н – 5.2; N – 1.0; O – 2.0; S – 1.4; зола – 5.3. Полученные результаты дают основание утверждать, что при переработке хлорида алюминия в присутствии палладиевого катализатора атомами водорода в потоке газового разряда формируется ромбическая модификация гидрида алюминия с параметрами решётки: $a=0.534\pm 0.005$ нм; $b=0.744\pm 0.005$ нм; $c=0.575\pm 0.005$ нм.

Ключевые слова: катализатор, палладий, гидрид алюминия, водород, восстановление, водяной газ, газификация.

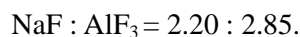
Введение

В работах [1-3] показаны первые исследовательские программы по синтезу кристаллической формы AlH_3 . За последние годы гидрид алюминия использовался как взрывчатое вещество, восстановитель, ракетное топливо, источник водорода для переносных энергосистем и для осаждения пленок Al [4]. Исследования по хранению водорода в портативных системах питания транспортных средств вызвали возобновление интереса к AlH_3 из-за легкой массы и невысокой температуры его разложения [5].

Адрес для корреспонденции: Гайбуллаева Зумрат Хабибовна. 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. акад. Раджабовых, 10, Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими. E-mail: zumratihabib@rambler.ru

Для образования AlH_3 основными реагентами являются Al и H_2 , оба эти реагенты имеют источник сырья в промышленном производстве Таджикистана. Водород можно получить электролизом воды, газификацией угля, конверсией природного газа и другими способами. В условиях нашей республики, наиболее безальтернативным сырьем является уголь, который сейчас широко применяется в промышленности и энергетических отраслях страны. Нами разработан способ газификации угля для получения водорода [6], осуществляемый по сравнительно малоэнергоёмкой технологии без выбросов в атмосферу с утилизацией всех попутно образующихся веществ.

Алюминий в Таджикистане производят в ГУП ТАЛКО. Производственная мощность компании по выпуску алюминия сырца составляет 421.5 тысяч тонн. Металлический алюминий производят электролизом раствора глинозема (технический Al_2O_3) в расплавленном криолите $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ при 960-970°C. Состав электролита 75-90% масс. $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$, 5-12% AlF_3 , 2-10% CaF_2 , 1-10% Al_2O_3 с молярным отношением

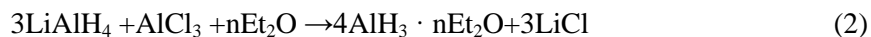
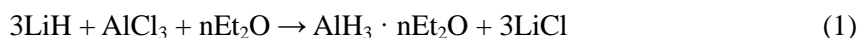


Решения проблем охраны природы и окружающей нас среды сегодня актуальны. Технические и технологические развития в области получения новых материалов, в том числе и гидридов металлов, должны отвечать требованиям времени как в экологическом, так и в экономическом аспекте. Соглашаясь с мнением в работе [7] считаем, что экологический императив — это не допустить нарушения равновесия природы и разрабатывать технологии получения новых материалов (в нашем случае гидрида алюминия) без ущерба природе.

Способы получения гидрида алюминия

Одним из первых опубликованных работ по синтезу гидрида алюминия появился в 1942 г. [1], когда Стехер и Виберг получили соединение AlH_3 в неочищенной форме с малым выходом комплекса алана амина $\text{AlH}_3 \cdot 2\text{N}(\text{CH}_3)_3$.

В 1947 году Финхолт [2] получил эфирный раствор гидрида алюминия по реакции между LiH (или LiAlH_4) и AlCl_3 в диэтиловом эфире (Et_2O)



В то время считалось, что эфир не может удаляться из алана без потери водорода. Однако в 1955 году Чизинский впервые получил несольватированную форму AlH_3 из эфирного раствора алана фильтрованием в инертной жидкости с последующей сушкой при высоком вакууме не менее 12 ч [3]. Позже этот материал был идентифицирован как γ – AlH_3 [8]. С середины 50-х годов опубликованы ряд работ по получению семи различных полиморфных AlH_3 α , $\acute{\alpha}$, β , γ , δ , ϵ , ζ .

На рис. 1 и 2 показаны морфология и структура полиморфов α - AlH_3 , $\acute{\alpha}$ - AlH_3 , β - AlH_3 , γ - AlH_3 .

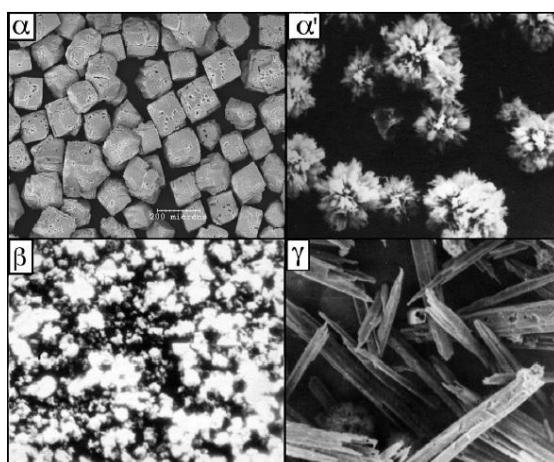


Рис. 1. Морфология различных полиморфов AlH_3 .

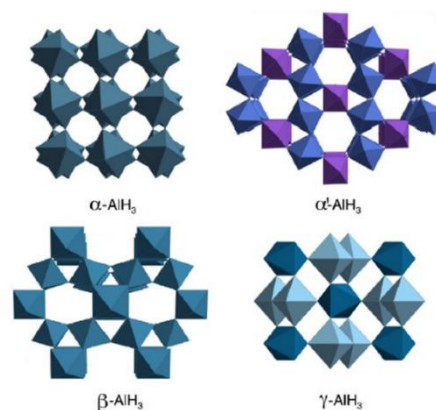


Рис. 2. Структура полиморфов AlH_3

В исследованиях для газификации угля и получения водорода использована проба углей Фон-Ягнобского месторождения (Таджикистан) следующего состава, масс. %: влажность – 4.0; летучие компоненты – 0.98%; смолы – 4.5%; С – 81.0; Н – 5.2; N – 1.0; O – 2.0; S – 1.4; зола – 5.3. Способ газификации углеродистого вещества для получения водорода описан в работах [6, 9].

Получение гидрида алюминия

Для получения гидрида алюминия в потоке газового разряда хлорид алюминия бомбардировали атомами водорода. Установлено, что на поверхности технологической подложки образуются хлоралюминиды. Бомбардировка хлорида алюминия потоком частично атомизированного водорода протекает по схеме: при рекомбинации атомов водорода на поверхности хлорида алюминия выделяется 434 кДж/моль энергии, которая поглощается механической смесью и расходуется на разрыв связи хлора и алюминия [10].

Это даёт основание предположить, что при создании необходимых условий можно получить стехиометрический гидрид алюминия. Необходимо отметить, что основным фактором протекания химической реакции в потоке низкотемпературной плазмы является высокая концентрация атомов водорода на поверхности зёрен механической смеси хлорида алюминия.

Показано, что процесс восстановления зависит от формирования плотного металлического слоя на поверхности реакционной смеси соли. Результат проведенных работ показал получение металлического слоя алюминия на поверхности реакционной смеси. Металлический слой становится главным препятствием на пути к доставке атомов водорода с границ зёрен хлорида алюминия в их объём. В ряде работ [11-13] приведены пути предотвращения образования твердого слоя из алюминия, где нами в целях предотвраще-

ния данного процесса использованы соединения оксида алюминия. Однако, применение химического соединения Al_2O_3 существенных результатов в сторону образования гидрида алюминия не показало, хотя устранило образование металлического слоя. Причиной этого процесса является потеря значительной части кинетической энергии атомов H_2 до начала реакции на поверхности реакционной смеси. Доставка атомов водорода к границам зёрен обрабатываемого материала происходит, но основная ее энергия затрачивается на поверхности и не способна замещать атомы хлора в молекуле хлорида алюминия.

Применение палладиевой черни в качестве катализатора

Известна [14] каталитическая активность палладиевой черни в реакциях гидрирования металлов и перехода электронов от H_2 к оксидам металлов. Данное свойство позволило нам исследовать гетерогенный катализ получения стехиометрического гидрида алюминия в химической реакции восстановления хлорида алюминия водородом в присутствии палладиевой черни.

Палладий является активным поглотителем водорода, способным в одном объёме поглощать до 700 объёмов H_2 . Поглощённый палладием водород может находиться в трёх состояниях: прочно адсорбированный (β^-), слабосвязанный (β^+) атомарный водород с соответствующими энергиями десорбции $E_{дес}^I = 100 \div 133$ и $E_{дес}^{II} = 42 \div 100$ кДж/моль и молекулярный водород [10]. Следовательно, при внешнем воздействии с энергией $E \geq E_{дес}^{I,II}$ на палладий можно генерировать ту или иную форму активного водорода при низкотемпературной плазме. В данной работе принят следующий порядок проведения исследования: смесь хлорида алюминия $AlCl_3$ с катализатором из палладиевой черни перемешивали и загружали в кварцевую подложку. Диссоциированный водород получали пропусканием молекулярного водорода через электроды присоединенных к генератору ЛГД-12. Диссоциированный водород направляли на подложку, расположенную в центре реактора, в который загружена механическая смесь. В ходе исследования определялись: степень превращения, содержание алюминия, гидрида водорода, содержание хлора. Для определения количества полученных продуктов использованы такие методы анализов, как: трилонометрический метод для определения алюминия, йодометрический метод по Фелкину для определения гидрида водорода, обратным титрованием по Фольгардту для определения хлора. Кристаллизацию гидрида алюминия проводили в среде эфир-толуола по стандартной методике.

В наших исследованиях отмечается роль диффузии атомарного водорода с палладиевых центров к поверхности хлорида алюминия, так как роль катализатора переходит от палладия к гидриду алюминия. Результаты влияния дисперсности палладиевого катализатора на степень образования гидрида алюминия приведены на рис. 3. Как видно из кривой зависимости, с увеличением размера микрочастиц палладиевой черни уменьшается степень образования гидрида алюминия. и приводит к возрастанию величины адсорбированного водорода. С уменьшением размера частиц катализатора из палладиевой черни (Pd), равномерно распределенной по всему объёму подложки плазмотрона

приводит к большому соприкосновению микрокристаллов палладиевой черни с зёрнами хлорида алюминия. Плазмохимическая реакция, протекающая при непрерывной бомбардировке механической смеси из хлорида алюминия атомами водорода, вносит энергию в количестве 434 кДж/моль. Внесение тепловой энергии в поры смеси, тесный контакт и равномерность распределения палладиевого катализатора стимулирует протекание процесса формирования гидроксида алюминия по всему объёму.

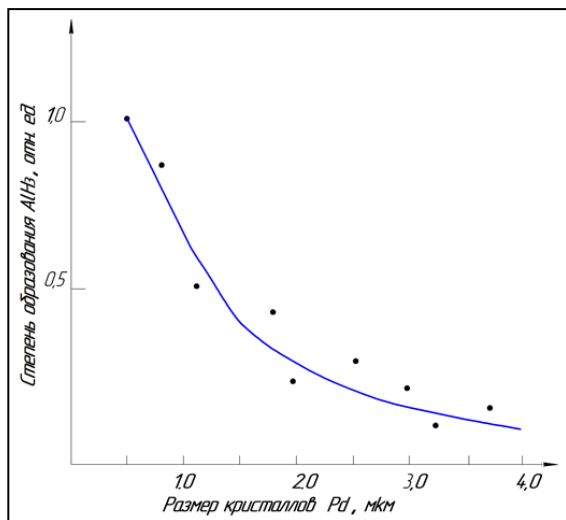


Рис. 3. Зависимость степени образования гидроксида алюминия от размера измельчённой палладиевой черни.

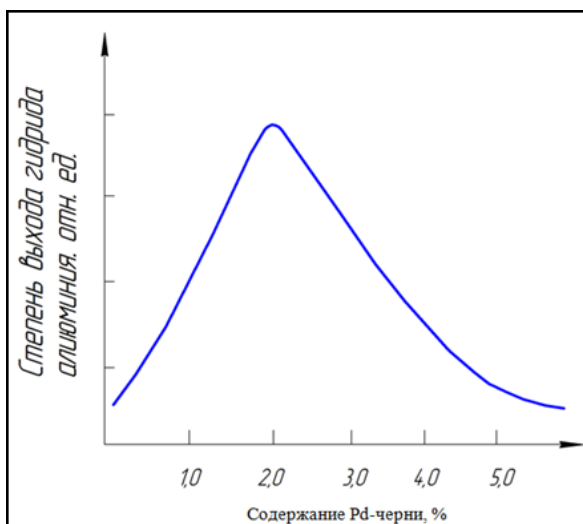


Рис. 4. Зависимость степени образования AlH₃ от содержания катализатора.

Исследования показали, что для исключения отрицательного фактора формирования металлического слоя алюминия на поверхности механической смеси достаточно увеличить дисперсность палладиевого катализатора.

Следующим этапом исследования являлось определение зависимости степени образования гидроксида алюминия от концентрации катализатора. Для количественного определения зависимости выхода гидроксида алюминия от катализатора концентрацию брали от 1.0 до 6.0 %. Опыты проводились при одинаковых условиях. Основные условия протекания реакций: давление в реакторе, время взаимодействия, концентрационная зависимость атомов водорода от полного тока разряда, температура газа и другие параметры электрического разряда. Результаты исследований представлены на рис. 4. Кривая зависимости степени выхода гидроксида алюминия от концентрации катализатора показывает, что с увеличением содержания палладиевого катализатора до 2 % увеличивается степень образования гидроксида алюминия и при этой концентрации показывает максимальную величину. Дальнейшее его увеличение не вносит изменений в процесс образования гидроксида алюминия, а, наоборот, наблюдается уменьшение его образования.

В рамках электронно-химической схемы катализа, можно объяснить причину спада кривой зависимости. Медленным этапом реакции становится процесс диффузии атомов водорода в твёрдой фазе. На скорость диффузии атомарного водорода в механическую смесь увеличение концентрации катализатора не влияет и к дополнительному ускорению степени образования продукта реакции не приводит. Анализ показал преобладание молекулярного водорода при высоком содержании катализатора с десорбцией неактивной формы. Полученные результаты дают основание утверждать, что при плазмохимической переработке хлорида алюминия в присутствии палладиевого катализатора атомами водорода формируется ромбическая модификация гидрида алюминия. Подтверждением тому могут служить результаты рентгенофазовых исследований (табл.).

Таблица

Результаты рентгенофазового анализа продукта бомбардировки $\text{AlCl}_3 + 2\% \text{Pd}$ - черни атомами водорода

$\Theta \pm 0.05$ нм	$\text{Sin } \Theta$	J, отн%	$d \pm 0.05$ нм	Hkl
1.131	0.1962	85	0.385	101
1.242	0.2103	80	0.365	020
1.757	0.3018	40	0.255	102
1.962	0.3364	100	0.229	211
2.068	0.3543	30	0.218	220
2.222	0.3760	50	0.205	221
2.619	0.4401	30	0.175	222

Методом наименьших квадратов рассчитаны параметры решётки, которые составили: $a=0.534 \pm 0.005$ нм; $b=0.744 \pm 0.005$ нм; $c=0.575 \pm 0.005$ нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ctether O., Wiberg E. - Ber. Dtsch. Chem. Ges. 75B (1942) 2003.
2. Finholt A.E., Bond A.C., Schlesinger H.I. – Am J. Chem. Soc. 69 (1947) 1199.
3. Chizinsky G. – Am J. Chem. Soc. 77 (1953) 3164.
4. Brower F.M., Matzek N.E., Reigler P.F., Rinn H.W., Roberts C.B., Schmidt D.L., Snover J.A., Terada K., Am J. – Chem. Soc. 98 (1976) 2450.
5. Graetz J., Reilly J.J., Yartus V.A., Maehlen J.P., Bulychev B.M., Antonov V.E., Tarasov B.P., Gabis E. Aluminum hydride as a hydrogen and energy storage material. – Journal of Alloys and Compounds. 509S. 2011, pp. 517-528.
6. Гайбуллаева З.Х., Насимов Г.Т., Шарифов А. и др. – Способ газификации угля для производства тепла и химических веществ. Евразийский патент по заявке №201900081/26. Заявлено 21.08.2019.
7. Джамолов А.А., Пулатова З. – Экология и экономика. Материалы восьмой Международной теплофизической школы. – Душанбе. 8-13 октября 2012. с. 473-477.
8. Graetz J, Reily J. Alloys Compound. 424 (2006) 262.
9. Гайбуллаева З.Х., Шарифов А., Хамроев Ф.Х., Шодиев Г.Т. Высокоэффективные технологии газификации угля. – Материалы республиканской научно практической конференции «Инновационное развитие науки» с участием международных организаций 10 декабря 2020 г. – Душанбе, с. 188-193.

10. Малнинг Д. Кинетика диффузии атомов в кристаллах. Пер. с англ. под ред. Б.Я. Любова. – М.: Мир, 1971, 320 с.
11. Лавренко В.А., Зенков В.С., Тикуш В.Л., Уварова И.В. О механизме каталитического действия палладия при восстановлении окиси молибдена в водороде. – Известия АН СССР. Серия: Металлы. 1975, № 4, с. 7-10.
12. Aston I.G. The nature of adsorbed monolayer of oxygen and hydrogen on platinum. – J. Phys. Chem. 1963, v. 67. pp. 2043-2045.
13. Соколовский Д.В., Гильдебранц Б.Н. Адсорбция водорода на низкотемпературных катализаторах и в жидкой фазе. – Доклады АН СССР, 1960, т.133, с. 608-612.
14. Petrella R.V., Spink N.L. Pyrolysis and conduction of metal hydrides analysis by kinetic spectroscopy. – J. Chem. Phys. 1968, v.48, № 4, pp. 1445-1450.

Б.И.АСРОРОВ, Ш.Б.БАХРИДДИНЗОДА, Г.Т.НАСЫМОВ*, З.Х.ФАЙБУЛЛОЕВА

ҲОСИЛШАВИИ КАТАЛИТИКИИ ГИДРИДИ АЛЮМИНИЙ БО ИСТИФОДАИ ГИДРОГЕНИ ГАЗНОККУНИИ АНГИШТ

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осими,

**Донишгоҳи миллии Данғара*

Дар мақола раванди гетерогенӣ-каталитикии ҳосилшавии гидриди алюминий бо истифодаи гидрогени газноккунии ангишт, муҳокима карда мешавад.

Ба ҳайси катализатор дар реаксияи ҳосилшавии гидриди алюминий палладий ва барои ҳосилкунии гидроген ангиштсанги Кони Фон Яғноби Тоҷикистон истифода бурда шудаанд. Таркиби ангиштсанг чунин аст, %: намнокӣ – 4.0; компонентҳои бухоршаванда – 0.98 %; қатрон – 4.5; С – 81.0; Н – 5.2; N – 1.0; О – 2.0; S – 1.4; хокистарнокӣ – 5.3. Натиҷаҳо нишон доданд, ки ҳангоми ба реаксия рафтани хлориди алюминий бо гидроген дар ҳузури катализатори палладий дар селайи разряди газӣ гидриди алюминийи модификатсияи ромбии дорои панҷараи $a=0.534\pm 0.005$ нм; $b=0.744\pm 0.005$ нм; $c=0.575\pm 0.005$ нм ҳосил мешавад.

Калимаҳои калидӣ: катализатор, палладий, гидриди алюминий, гидроген, барқароршавӣ, газкунии ангишт.

В.И.АСРОРОВ, Ш.Б.БАХРИДДИНЗОДА, Т.НАСИМОВ*, З.Х.ГАЙБУЛЛАЕВА

THE CATALYTIC PROCESS OF OBTAINING HYDRIDE ALUMINUM FROM HYDROGEN FROM COAL GASIFICATION

M.S.Osimy Tajik Technical University,

**Dangara National University*

The article discusses the heterogeneous catalytic process of obtaining hydride aluminum hydrogen from coal gasification.

A palladium mobile was used as a catalyst for the preparation of aluminum hydride. Research used hydrogen obtained by coal gasification method. The work was used to be a sample of coal of the background-Yagnobskoye field (Tajikistan) of the following composition, masses. %: Humidity – 4.0; volatile components – 0.98 %; resin – 4.5 %; C – 81.0; H – 5.2; N – 1.0; O – 2.0; S – 1,4; ash – 5.3. The results obtained suggest that when processing aluminum chloride in the presence of a palladium catalyst atoms of hydrogen in the gas discharge stream, a rhombic modification of aluminum hydride with grid parameters are formed: $a=0.534\pm 0.005$ нм; $b=0.744\pm 0.005$ нм; $c=0.575\pm 0.005$ нм.

Key words: catalyst, palladium, hydride aluminum, hydrogen, restoration, water gas, gasification.

УДК 622.364:622.765

Ш.Р.САМИХОВ, Ф.М.ТОШОВ, Ш.А.КУРБАНОВ, М.С.ИСМОИЛОВА, С.Ш.САФАРОВ

**МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ФОСФОРИТНЫХ
МИНЕРАЛОВ РАСТВОРАМИ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ**

*Институт химии им. В.И.Никитина Национальной академии наук Таджикистана
Поступила в редакцию 15.02.2021 г.*

Представлены результаты исследований по солянокислотному разложению фосфорсодержащих концентратов месторождения Риват. Определены кинетические параметры данного процесса.

Ключевые слова: концентрат, месторождение, солянокислотное разложение, температура процесса, продолжительность разложения, степень извлечения.

Кислотная переработка фосфатного сырья является основным способом получения фосфорных удобрений. Наиболее широко использовались серная и фосфорная кислоты. Также используют азотную и соляную кислоту.

До настоящего времени метод разложения соляной кислотой фосфатного сырья не получил широкого распространения по ряду причин. Чаще всего внимание уделяется созданию коррозионной среды в процессе переработки. Существенной проблемой способа является необходимость рециркуляции или использования побочного продукта соляной кислоты, фосфат-хлорид кальция. В настоящее время при наличии крупных промышленных предприятий по производству минеральных удобрений найти применение образующего хлористого кальция, не представляется возможным.

В то же время дешевизна соляной кислоты и необходимость ее использования в качестве побочного продукта в отдельных отраслях делают её применение перспективным, в отраслях по производству удобрений. В литературе данные о промышленной кислотной переработке бедных фосфоритов, представлены в основном в виде разработок.

Адрес для корреспонденции: Самихов Шонавруз Рахимович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии им. В.И.Никитина НАНТ. E-mail: samikhov72@mail.ru

Однако глобальные тенденции, как правило, снижают нагрузку высокосортного фосфатного сырья за счет привлечения к переработке низкосортного сырья. В настоящее время низкосортное сырье используется в основном не как самостоятельный компонент, а как добавка к высокосортному сырью при производстве суперфосфата [1, 2]. Имеются исследования, направленные на поиск способов прямой переработки фосфоритов при получении фосфорсодержащих удобрений, в том числе комплексных и экстракционных фосфорных кислот [3-5].

Разложение фосфатного сырья соляной кислотой происходит с образованием высоко растворимых веществ: карбонатов кальция и магния, содержащихся в фосфоритах, и полученные соединения полуторных оксидов превращают в хлориды.

Скорость раскрытия кислоты растворами соляной кислоты очень высока. Из вятских фосфоритов при 20-30°C 10% HCl экстрагируют в раствор 97-99% P₂O₅ уже через 1 ч. При этом в раствор извлекаются оксиды в количестве, не превышающем 27% [6].

Авторы [7] исследовали возможность производства комплексных удобрений различных марок, путем совместного кислотного вскрытия апатита и марокканского фосфорита. При общих условиях разложения: стехиометрическая скорость кислоты с концентрацией 15-20% и температурой 20-30°C получены удобрения марок 16:11:20 и 6:16:32. При производстве пульпу дополнительно обогащали азотом, фосфорсодержащими компонентами и хлоридом калия.

В работе [8, 9] приводятся результаты работ по разложению фосфоритной руды месторождения Риват и превращению фосфорита в водорастворимую фосфорную кислоту с последующей фильтрацией и получением из него фосфорного удобрения.

Нами были проведены исследования по флотации из фосфоритов руды месторождения Риват [10-11]. На основании проведенных предварительных исследований по флотации были подобраны следующие условия: тонина помола составила 42.5% класса «-0.063мм»; для создания рН среды использовалась сода из расчетов 1.5 кг/т, которая подавалась в голову флотации; для депрессии пустой породы подавалось жидкое стекло (1.5 кг/т) в голову флотации вместе с содой. При этом получен концентрат с содержанием в нем P₂O₅ – 20.8%, который был подвергнут соляно-кислотному разложению.

Опыты по разложению фосфоритов проводились в стеклянных стаканах емкостью 500 мл при перемешивании, с помощью стеклянной мешалки с двумя лопастями. Навеска руды для исследований бралась – 50 г. Отношение Т:Ж – 1:2. Навеска фосфоритных концентратов помещалась в склянку, куда наливался раствор соляной кислоты и производилось перемешивание в течение определённого промежутка времени. Через каждые 10 минут после начала опыта, мешалку останавливали и производили отбор аликвоты для определения P₂O₅ до 78.6% фосфора, в виде фосфорной кислоты. Установлено, что при увеличении времени разложения от 30 до 60 минут степень извлечения фосфора увеличивается и достигает максимального значения 98.6%. Дальнейшее увеличение времени практически не влияет на процесс разложения.

Таблица 1

Зависимость степени извлечения фосфоритов (P_2O_5) в раствор
от продолжительности процесса

№ п/п	Время (τ), мин	Содержание P_2O_5 в концентрате, %		Степень извлечения P_2O_5 в растворе, %
		исходной	после разложения	
1	10	20.4	11.37	44.3
2	20		6.96	65.9
3	30		4.37	78.6
4	40		2.36	88.4
5	50		0.66	96.8
6	60		0.37	98.2
7	70		0.28	98.6

Изучалось влияние концентрации соляной кислоты на скорость разложения фосфоритов. Соляная кислота вводилась в раствор в количестве 5-20%. Опыты проводились с концентрациями соляной кислоты 5-20% при перемешивании в течение 60 минут.

Как следует из рис. 1, кривые разложения фосфоритов находятся в прямой зависимости от концентрации кислоты, по мере повышения концентрации соляной кислоты до 20%, скорость растворения фосфоритов возрастает, и при указанной концентрации степень извлечения составляет 94.2%. Таким образом, разложение следует вести при 20%-ной концентрации соляной кислоты в растворе.

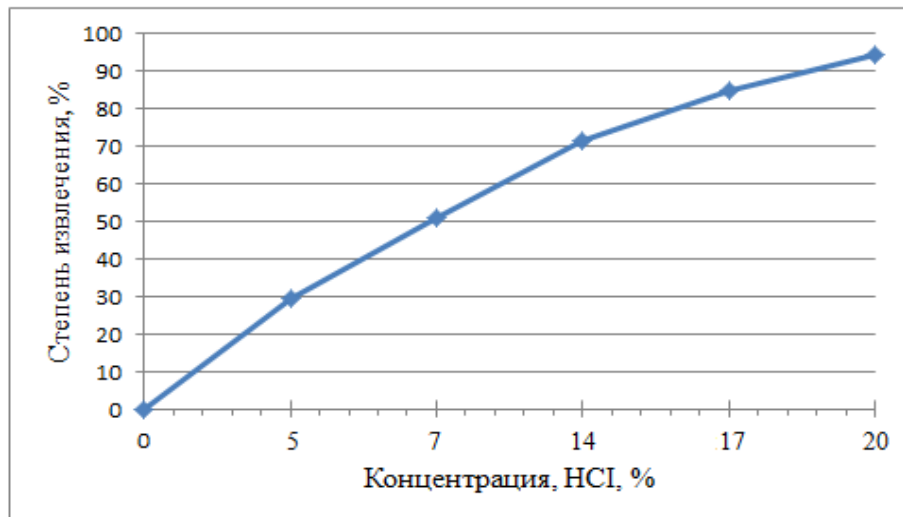


Рис. 1. Зависимость степени извлечения фосфоритов (P_2O_5) в растворе от концентрации соляной кислотой.

Влияние температуры на разложение фосфоритов изменялось в пределах 40-80°C при постоянной концентрации серной кислоты - 20% и продолжительности процесса 60 минут. Как показывают результаты опытов, представленные на рис. 2, скорость извлече-

ния фосфоритов зависит от подачи температуры в процесс разложения. Количество перешедшего в раствор фосфора достигает от 40.7 до 95.9%.

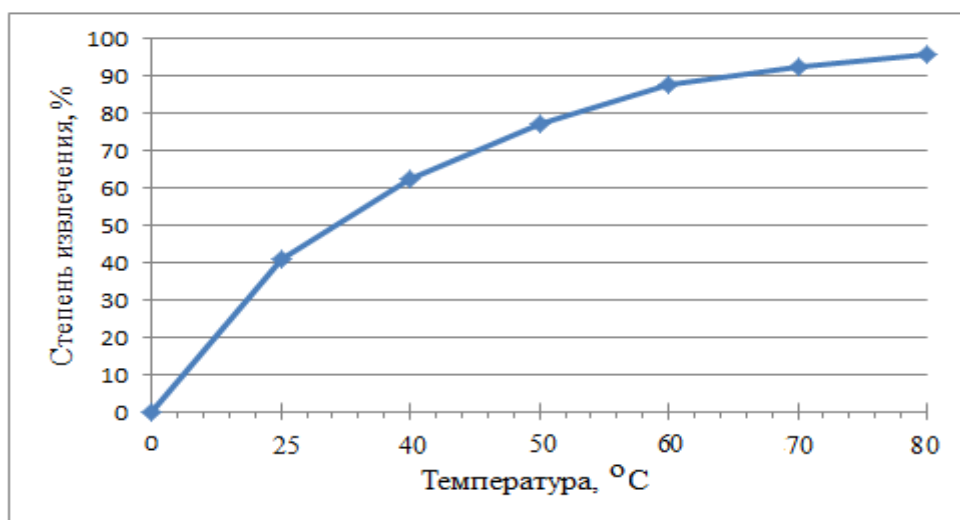


Рис. 2. Зависимость степени извлечения фосфоритов (P_2O_5) в растворе от температуры.

Влияние соотношения твердого к жидкому на процесс разложения фосфоритов (рис. 3) исследовали при концентрации, соляной кислоты 20% при продолжительности процесса 60 минут и температуре процесса $80^{\circ}C$. Как видно из графика, оптимальным соотношением является Т:Ж = 1:2, при этом степень извлечения фосфора достигла 98.2%. При дальнейшем увеличении разжижения пульпы степень извлечения фосфора практически не меняется.

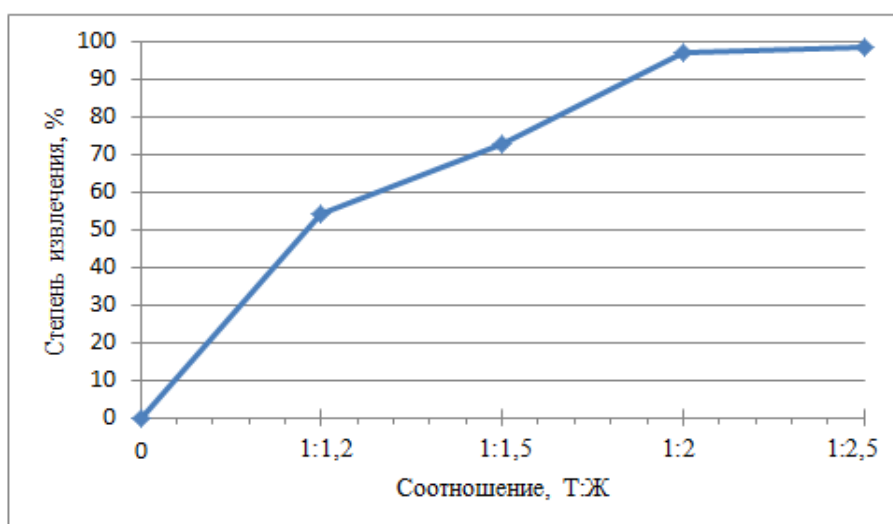


Рис. 3. Зависимость степени извлечения фосфоритов (P_2O_5) от соотношения Т:Ж.

Рентгеновские порошковые дифрактограммы исходных фосфоритных концентратов и продуктов после солянокислотного разложения концентратов приведены на рис. 4,5.

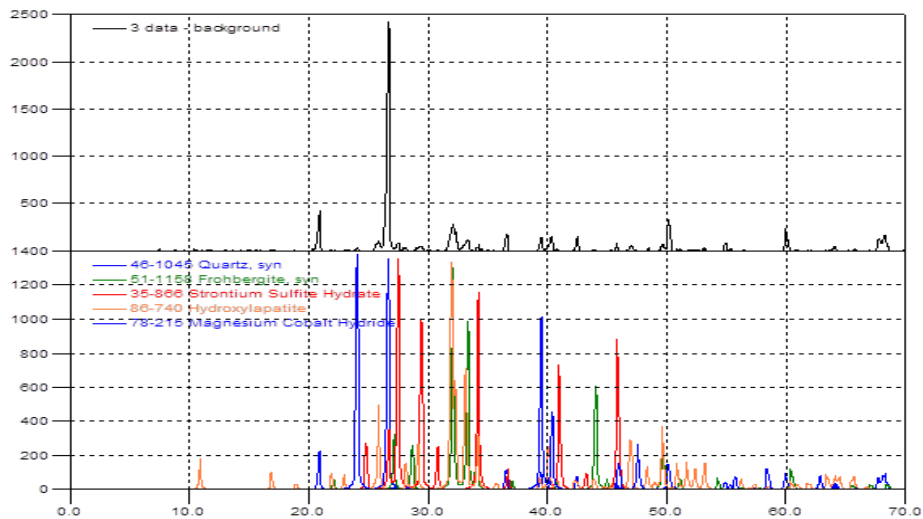


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма исходных фосфоритовых концентратов месторождения Риват

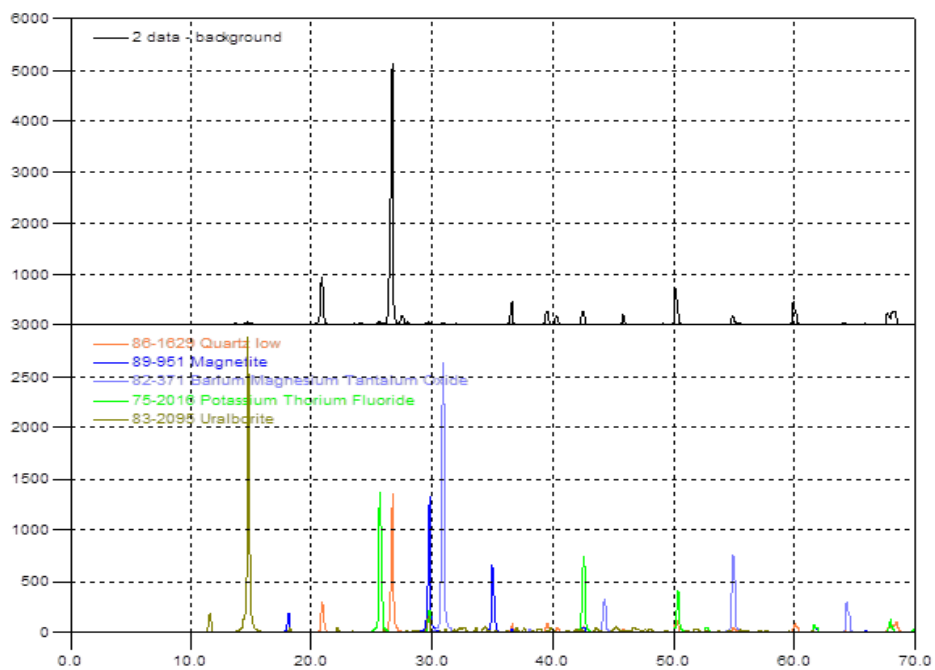


Рис. 5. Рентгеновская дифрактограмма продуктов после солянокислотного разложения концентратов месторождения Риват.

Как видно из рентгенограммы исходного фосфоритного концентрата, основными минералами, присутствующими в нем является: кварц, теллуриды железа, гидросульфат стронция, гидроксиапатит и гидрокобальт магния.

На рис. 5 представлены дифрактограммы продуктов после солянокислотного разложения концентратов Риватского месторождения. Как видно из рисунка, линии фосфо-

рита отсутствуют, это объясняется тем, что при солянокислотной обработке основные минералы поэтапно разлагаются и фосфор переходит в раствор в виде фосфорной кислоты.

Таким образом, на основании проведенных исследований найдены следующие оптимальные условия разложения концентрата месторождения Риват: концентрация серной кислоты – 20%, температура процесса 80°C, соотношение Т:Ж = 1:2, продолжительность выщелачивания – 60 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алосманов М.С., Алиев А.М., Биннетова Н.М., Ибрагимова С.М., Кулиев Р.Х. Исследование процесса получения суперфосфата на основе смеси апатитового концентрата и мазыдагского фосфорита. – Химическая промышленность. 2010, т. 87, № 2, с. 59-65.
2. Левин Б.В., Давыденко В.В., Суцев С.В., Ракчеева Л.В., Кузьмичева Т.Н. Актуальность и практические шаги по вовлечению низкосортного фосфатного сырья в переработку на сложные удобрения. – Химическая промышленность сегодня. 2006, № 11, с. 11-18.
3. Классен П.В., Суцев С.В., Кладос Д.К. и др. Изучение возможности использования отечественных фосфоритов (на примере Егорьевских) для получения экстракционной фосфорной кислоты и фосфорсодержащих удобрений. – Химическая промышленность сегодня. 2011, № 2, с. 24-31.
4. Рассохина Л.Ю., Белова Н.П., Леонов В.Т. О возможности производства сложных удобрений из фосфоритов Кимовского месторождения. – Химия и химическая технология. 2009, т. 52, вып. 6, с. 46-48.
5. Раджабов Р.Р., Намазов Ш.С., Беглов Б.М. Промышленное освоение и перспективные направления технологии переработки фосфоритов Кызылкумов на фосфорсодержащие минеральные удобрения. – Химическая промышленность, 2006, т. 83, № 9, с. 403-410.
6. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты. Л.: Химия, 1981, 224 с.
7. Крутько Н.П., Шевчук В.В., Островский Л.К. и др. Получение комплексных удобрений с использованием обогащенных фосфатов, активированных соляной кислотой. – Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. «Современные тенденции в производстве и применении фосфорсодержащих удобрений и неорганических кислот». Сост. В.И. Суходолова; НИУИФ. М., 2015, с. 46-54.
8. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Курбонов Ш.А., Сафаров С.Ш., Исмоилова М.С., Горенкова Л.Г. Изучение обогащения фосфатной руды месторождения Риват. – Доклады АН Республики Таджикистан, 2018, т. 61, № 2, с. 190-193.
9. Тошов Ф.М., Карамбахшов Х.З., Курбонов Ш.А., Самихов Ш.Р., Горенкова Л.Г., Сафаров С.Ш., Мухидинов З.К. Обогащение фосфоритной руды Риватского месторождения соляной кислотой. – Политехнический вестник Серия: Инженерные исследования, 2018, № 3(43), с. 34-37.
10. Курбонов Ш.А., Хочахон М.И., Кабков Х., Мухидинов З.К., Абулхаев В.Дж., Самихов Ш.Р., Рахими Ф. Минералогический состав фосфоритных руд месторождений Риват и Каратаг. – Доклады АН Республики Таджикистан, 2017, т. 60, № 7-8, с. 349-355.
11. Курбонов Ш.А., Исмоилова М.С., Самихов Ш.Р. Флотация фосфоритной руды с помощью олеиновой кислоты. – Политехнический вестник Серия: Инженерные исследования, 2019, № 1 (45), с. 156-160.

Ш.Р.САМИҲОВ, Ф.М.ТОШОВ, Ш.А.ҚУРБОНОВ, М.С.ИСМОИЛОВА, С.Ш.САФАРОВ
**МЕХАНИЗМ ВА КИНЕТИКАИ ТАҶЗИЯИ МИНЕРАЛҲОИ ФОСФОРДОР
ТАВАССУТИ МАҲЛУЛИ КИСЛОТАИ ХЛОРИД**

Институти кимиёи ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Натиҷаи таҳқиқотҳои таҷзияи концентрати фосфордори кони Риват бо таъсири кислотаи хлорид оварда шудааст. Параметрҳои кинетикии раванди номбурда муайян карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: концентрат, кон, таҷзия бо кислотаи хлорид, ҳарорати раванд, давомнокии таҷзия, дараҷаи ҷудошавӣ.

Sh.R.SAMIKHOV, F.M.TOSHOV, Sh.A.KURBANOV, M.S.ISMOILOVA, S.Sh.SAFAROV
**MECHANISM AND KINETICS OF DECOMPOSITION OF PHOSPHORITE
MINERALS WITH HYDROCHLORIC ACID SOLUTIONS**

Institute of Chemistry named after V.I.Nikitin National Academy of Science of Tajikistan

The results of studies on hydrochloric acid decomposition of phosphorus-containing concentrates of Rivat deposit are presented. The kinetic parameters of this process are defined.

Key words: concentrate, deposit, hydrochloric acid decomposition, process temperature, decomposition duration, extraction degree.

УДК 661.663:661.665

А.БАДАЛОВ, Ф.А.ХАМИДОВ, Д.Т.ИСОЗОДА*, Д.Н.ЭШОВ, У.М.МИРСАИДОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРОГИДРИДОВ ЛАНТАНИДОВ

Агентство по ядерной и радиационной безопасности

Национальной академии наук Таджикистана,

**Бохтарский энергетический институт*

Поступила в редакцию 12.05.2021 г.

Полуэмпирическим методом уточнены и/или определены термодинамические характеристики борогидридов всего ряда лантанидов. Проведён системный анализ и установлено, что закономерность их изменения в зависимости от природы лантанидов имеет сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а. Составлены математические модели установленных закономерностей для борогидридов цериевой и иттриевой подгрупп.

Ключевые слова: борогидриды лантаниды, термодинамические характеристики, системный анализ, закономерности изменения, математическое моделирование.

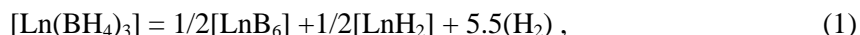
Борогидриды лантанидов с общей формулой $Ln(BH_4)_3$ представляют интересную область химии неорганического синтеза. Борогидриды лантанидов являются активными катализаторами и восстановителями для процессов полимеризации при получении плёночных покрытий и различных полупроводников. Как носители BH_4 -группы, борогидриды лантанидов применяются для получения высших борводородов [1-2].

Настоящая работа является продолжением исследований физико-химических и термодинамических свойств борогидридов лантанидов [3-4].

Синтез борогидридов лантаноидов проводили по методике, описанной в работах [1-2]. Нами получены несольватированные борогидриды лантана, празеодима, церия, неодима в среде толуола. Процесс термического разложения несольватированных борогид-

Адрес для корреспонденции: Хамидов Фарход Абдуфатович, 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33, Агентство по ядерной и радиационной безопасности НАН Таджикистана. E-mail: f.khamidov@nrta.tj

ридов лантанидов изучен методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром [5] в равновесных условиях [6-8]. Процесс протекает в одну стадию по следующей схеме:



где обозначение [] – твёрдое, () – газообразное состояния веществ, Ln – La, Nd, Gd, Er и Lu. Схема процесса (1) установлена по результатам химического и рентгенонофазового анализов и количественным измерением объёма газа методом тензиметрии.

Экспериментальные данные давления пара водорода (P) от температуры (T, K), приведённые в виде $LqP=f(1/T)$ выражаются уравнениями, которые приведены в табл. 1. По этим уравнениям, с учётом справочных сведений [6-8] теплоёмкости борогидридов и других компонентов изученных систем, были рассчитаны стандартные термодинамические характеристики процесса термического разложения борогидридов лантанидов. При расчётах использованы уточнённые и/или определённые нами термодинамические характеристики гексаборидов (LnB_6) и бинарных гидридов (LnH_2) [3-4]. Из-за отсутствия высокотемпературных составляющих теплоёмкости $\text{Ln}(\text{BH}_4)_3$ нами сделано допущение о постоянстве значения изменения теплоёмкости процесса (1) для лантанидов в пределах интегрирования. Расчёты показывают, что разность теплоёмкости в процессе разложения борогидридов составляет в среднем 135.3 ± 4 для всего ряда $\text{Ln}(\text{BH}_4)_3$.

На основе данных табл. 1 и рассчитанных нами термодинамических свойств LnB_6 и LnH_2 [3-4] определены стандартные термодинамические характеристики борогидридов изученных лантанидов (табл. 2, отмеченные *). В более ранних наших работах [6-9] теплоёмкость борогидридов лантанидов была рассчитана методом сравнительного расчёта [4], который не в полной мере отражает особенности электронного строения лантанидов и изменения свойств соединений в пределах их группы. Поэтому дальнейшие расчёты и системный анализ изменения термодинамических характеристик борогидридов всего ряда лантанидов произведён полуэмпирическим методом, разработанным авторами работ [9,10].

Таблица 1

Уравнения и стандартные термодинамические характеристики процесса разложения $\text{Ln}(\text{BH}_4)_3$: (ΔH° и ΔG° , кДж/моль; ΔS° и ΔC_p° , Дж/мольК)

$\text{Ln}(\text{BH}_4)_3$	$LgP_{H_2, \text{атм.}} = B - \frac{A \cdot 10^3}{T}$		ΔT , К	ΔH°	ΔS_{298}°	ΔG_{298}°	ΔC_p
	A \pm 0,1	B					
$\text{La}(\text{BH}_4)_3$	4.3	8.3 ± 0.5	430-450	441.1 ± 20	806.0 ± 40	200.9	-134.0
$\text{Nd}(\text{BH}_4)_3$	4.3	9.1 ± 0.5	420-500	518.8 ± 25	823.0 ± 50	269.7	-134.9
$\text{Gd}(\text{BH}_4)_3$	3.1	5.6 ± 0.3	440-550	462.7 ± 20	786.0 ± 40	228.5	-131.0
$\text{Er}(\text{BH}_4)_3$	4.1	7.4 ± 0.3	450-530	489.6 ± 25	810.0 ± 50	248.2	-137.4
$\text{Lu}(\text{BH}_4)_3$	4.3	7.3 ± 0.4	470-630	530.3 ± 25	804.0 ± 50	290.7	-139.0
Среднее: -135.3 ± 4							

Расчёт искомых характеристик борогидридов лантанидов произведён по корреляционному уравнению:

$$A_{Ln(BH_4)_3} = A_{La(BH_4)_3} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{(Ce-Eu)} \gamma'' L_{(Tb-Yb)}, \quad (2)$$

где Ln – лантаноиды, кроме La, Gd и Lu; A – определяемые термодинамические характеристики борогидридов лантанидов; N_f – число 4f-электронов, S – спиновых и L – орбитальных моментов движения ионов лантанидов. Коэффициенты относятся: γ' – к лантанидам цериевой подгруппы, а γ'' – к металлам иттриевой подгруппы. Определённые характеристики борогидридов La, Gd и Lu являются опорными величинами при обработке данных.

Значения коэффициентов уравнения (2), приведённые в табл. 3, указывают о доле влияния каждого компонента в определяемую характеристику соединения. Для величины энтальпии образования борогидридов доминирующее значение имеет число 4f-электронов (α) и орбитальные моменты движения (γ') для ионов лантанидов цериевой подгруппы. Для энтропии – спиновые составляющие (β).

Таблица 2

Стандартные термодинамические характеристики $Ln(BH_4)_3$:
(ΔfH° , кДж/моль; S° и C_p° , Дж/мольК, * - экспериментальные данные)

Ln	$-\Delta fH^\circ_{298}$	S°_{298}	C_p°	Ln	$-\Delta fH^\circ_{298}$	S°_{298}	C_p°
La	506.9±25*	227±30*	369.0±4	Gd	552.6±25*	263±30*	371±4
Ce	566.4	226.8	369.7±4	Tb	569.2	264.7	371.7±5
Pr	603.9	227.2	370.0±4	Dy	578.1	264.1	372±5
Nd	604.6±30* 625.9	230±20* 230.	370.3±4	Ho	585.8	262.9	372.4±5
Pm	632.4	235.1	370.6±4	Er	595.4±30* 592.3	261±30*	72.8±5
Sm	641.1±40* 623.5	252±30* 242.6	370.9±4	Tm	597.6	258.5	373.3±5
Eu	547.0	240	370±4	Yb	588.0 532.9±30*	245±30*	372±5
				Lu	621.5±25* 598.0	250±30*	374±5

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения (2)

Термодинамическая функция	α	β	γ'	γ''
$-\Delta fH^\circ_{298}$	-6.507	-0.043	-15.48	-1.2
S°_{298}	1.642	7.00	-2.345	0.63
C_p°	0.357	-0.142	0.0142	-0.042

Графики закономерности изменения термодинамических характеристик (ΔH и S) борогидридов лантанидов в зависимости от природы лантаноидов, приведённые на рис. 1(а) и (б), наглядно показывают характерные особенности установленных закономерностей в пределах подгрупп лантанидов – цериевого и иттриевого и, в целом, в пределах

всего ряда лантанидов с проявлением «тетрад-эффект»-а. Закономерность изменения теплоемкости для борогидридов лантанидов имеет прямолинейный характер роста (рис. 2). Общим в установленных закономерностях изменения характеристик является четкое разделение их по цериевой и иттриевой подгруппам и различный характер этих изменений в подгруппах. Металлы европия и иттербия и их ионы выпадают из общей закономерности.

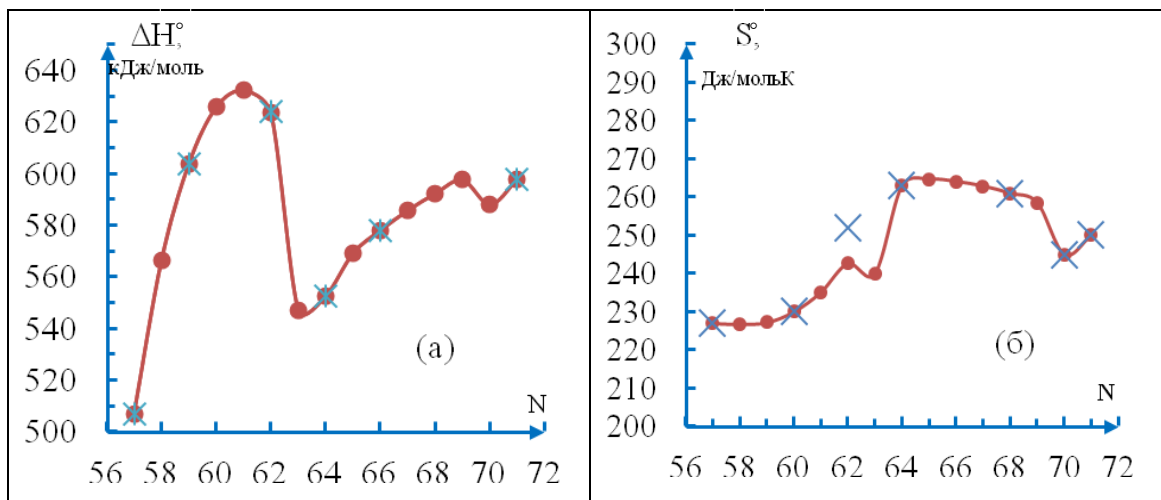


Рис. 1. График закономерности изменения энтальпии образования (а) и энтропии (б) борогидридов лантанидов в зависимости от природы лантанидов (N).

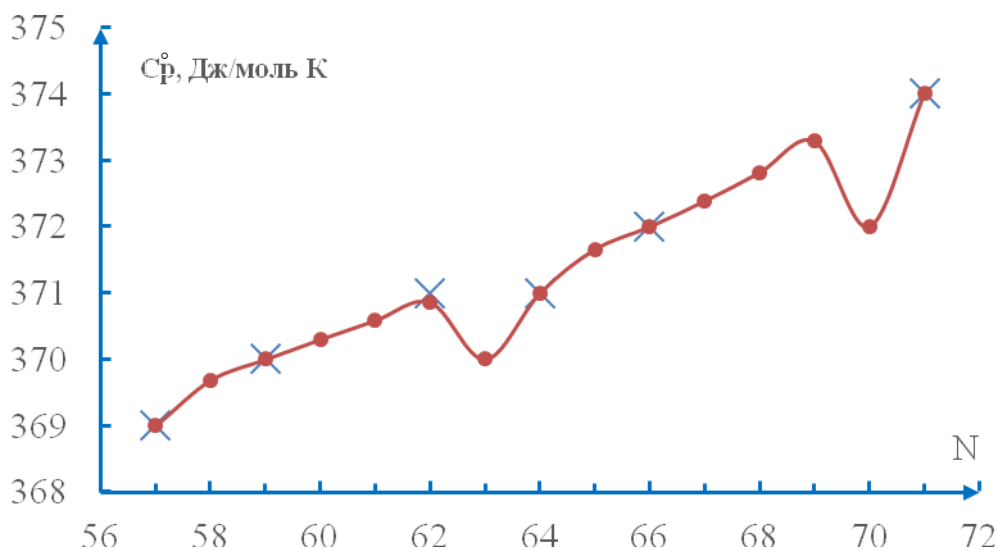


Рис. 2. График закономерности изменения теплоемкости борогидридов в зависимости от природы лантанидов (N).

Полученные полные сведения термодинамических характеристик борогидридов лантанидов позволили провести математическое моделирование закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов. Моделирование результатов проведено по стандартной программе MICROSOFT EXCEL. Исходя из разного характера закономерностей в изменениях свойств борогидридов, обработка данных и расчёты произведены отдельно для цериевой и иттриевой подгрупп лантанидов. При расчётах не учтены

значения термодинамических характеристик борогидридов европия и иттербия, так как они выпадают из общих закономерностей. Отличие обусловлено особенностями электронного строения атомов данных металлов.

Математическим моделированием получены уравнения (табл. 4), которые с высокой достоверностью выражают закономерности изменения термодинамических характеристик борогидридов по подгруппам лантанидов.

Таблица 4

Уравнения закономерности изменения термодинамических характеристик борогидридов в зависимости от природы лантанидов

Объект	Функция	Вид уравнений	T	R ^{2*}	
Ln(BH ₄) ₃	ΔH° _{пл}	(a)	$y = -8.3214x^2 + 1013.2x - 30208$	П	0.999
		(б)	$y = -1.164x^2 + 163.46x - 5139.5$	П	0.995
	S°	(a)	$y = 1.0259x^2 - 119.05x + 3680.1$	П	0.997
		(б)	$y = -0.4569x^2 + 59.78x - 1691.1$	П	0.996
	C°p	(a)	$y = -0.039x^2 + 4.9957x + 211.12$	П	0.989
		(б)	$y = -0.0093x^2 + 1.6766x + 301.93$	П	0.996

Примечание: - (a) – цериевой; (б) – иттриевой подгруппы; R² – степень достоверности; x – порядковый номер лантанида; y – соответствующая характеристика веществ, T – линия тренда, П – полиномиальная.

Заключение

Полуэмпирическим методом уточнены и/или определены термодинамические характеристики борогидридов всего ряда лантанидов. Обобщённые сведения позволили провести системный анализ и установить закономерности изменения термодинамических свойств борогидридов лантанидов. Закономерности изменения энтальпии образования и энтропии борогидридов от порядкового номера сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а, а для теплоемкости закономерность имеет монотонный прямолинейный рост. Математическим моделированием составлены уравнения, которые описывают закономерности изменения термодинамических свойств борогидридов лантанидов цериевой и иттриевой подгрупп.

Полученные сведения пополняют банк термодинамических величин новыми данными, полученные уравнения способствуют научно обоснованному применению борогидридов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирсаидов У.М., Дымова Т.Н. Борогидриды переходных металлов. – Душанбе: Дониш, 1985, 120 с.
2. Мирсаидов У.М. Борогидриды металлов. – Душанбе: Дониш, 2004, 140 с.
3. Мирсаидов У.М., Гафуров Б.А., Бадалов А. Термическая устойчивость и термодинамические характеристики простых и комплексных гидридов редкоземельных металлов. – Душанбе: Дониш, 2014, 84 с.

4. Мирсаидов, У.М. Гафуров Б.А., Бадалов А. Термическая устойчивость и термодинамические характеристики борогидридов металлов. – Душанбе: Дониш, 2014, 107 с.
5. Жарский И.М., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии. – М.: Высшая школа, 1988, 271 с.
6. Термические константы веществ. Справочник. Вып.Х, ч.1, – М.: АН СССР, ВИНТИ, ИВТ, 1991, 229 с.
7. Термические константы веществ. Справочник. Вып.Х, ч.2. – М.: АН СССР, ВИНТИ, ИВТ, 1991, 441 с.
8. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. – М.: Современная школа, 2005, 608 с.
9. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамических химических реакциях. – М.: Химия, 1975, 535 с.
10. Полуэктов Н.С., Мешкова С.Б., Коровин Ю.В., Оксиденко И.И. Корреляционный анализ в физико-химии соединений трёхвалентных ионов лантаноидов. – Докл. АН СССР, 1982, т. 266, № 5, с. 1157-1160.

А.БАДАЛОВ, Ф.А.ҲАМИДОВ, Д.Т.ИСОЗОДА, Д.Н.ЭШОВ, Ҷ.М.МИРСАИДОВ
**МОДЕЛСОЗИИ ҚОНУНИЯТИ ТАҒИЙРЁБИИ ХУСУСИЯТҲОИ
 ТЕРМОДИНАМИКИИ БОРОГИДРИДҲОИ ЛАНТАНОИДҲО**

Агентии амнияти ядрой ва радиационии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Бо усули нимэмпирикӣ хусусиятҳои термодинамикии борогидридҳои ҳамаи қатори лантаноидҳо саҳеҳ муайян карда шудааст. Таҳлили систематикӣ гузаронида шуд ва муайян карда шудааст, ки қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо дорой хусусияти мураккаб бо зухури "тетрад-эффект" мебошад. Модели математикии қонуниятҳои муайянкардашуда барои борогидридҳои зергурӯҳи серий ва иттрий тартиб дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: борогидридҳо лантанидҳо, хусусиятҳои термодинамикӣ, таҳлили систематикӣ, қонуниятҳои тағйирёбӣ, моделсозии математикӣ.

A.BADALOV, F.A.KHAMIDOV, D.T.ISOZODA, D.N.ESHOV, U.M.MIRSAIDOV
**MODELING OF CHANGE REGULARITY OF THERMODYNAMIC
 PROPERTIES OF LANTHANIDE BOROHYDRIDES**

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

Thermodynamic characteristics of all line borohydrides have been clarified and/or determined by means of semiempirical method. The system analysis has been carried out and it has been determined that regularities of their changes depending on nature of lanthanides has complicated character with revealing of "tetrad-effect". The mathematical models of determined regularities for the borohydrides of cerium and yttrium subgroups have been composed.

Key words: lanthanide borohydrides, thermodynamic characteristics, system analysis, changes regularities, mathematic modeling.

УДК 669.76+542.943

У.Р.ДЖОБИРОВ, И.Н.ГАНИЕВ, М.Ч.ШИРИНОВ, З.Р.ОБИДОВ

**ОКИСЛЕНИЕ ЦИНКОВОГО СПЛАВА Zn0.5Al,
ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ, В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ**

Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана

Поступила в редакцию 29.03.2021 г.

Термогравиметрическим методом исследовано взаимодействие цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, с кислородом воздуха в интервале температур 523 – 623 К, в твёрдом состоянии. Определены кинетические параметры процесса высокотемпературного окисления сплавов. Показано, что добавки эрбия в пределах 0.01÷1.0 мас.% незначительно увеличивают окисляемость цинкового сплава, а продуктами окисления сплавов являются оксиды ZnO, Al₂O₃, Al₂O₃·ZnO, ErO.

Ключевые слова: сплав Zn0.5Al, эрбий, термогравиметрический метод, высокотемпературное окисление, скорость окисления, энергия активации.

Вопросы взаимодействия металлических сплавов с газообразными и различными агрессивными средами при высоких температурах являются ключевыми в современном материаловедении.

Сплавы цинка с алюминием используются как анодные материалы для защиты от коррозии стальных изделий, конструкций и сооружений [1, 2]. Известно, что для защиты стали от коррозии разработано несколько типов Zn-Al протекторов [3-5] и покрытий [6-11].

Исследование влияния температуры и химического состава на кинетику высокотемпературного окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в твёрдом состоянии, проводили методом термогравиметрии с непрерывным взвешиванием образцов на воздухе по методике, описанной в работах [12-14].

Адрес для корреспонденции: Джобиров Умед Рустамович. 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, Институт химии НАНТ. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Термогравиметрическое исследование кинетики окисления сплавов Zn0.5Al-Er проводилось при температурах 523, 573 и 623К. Взаимодействие цинкового сплава Zn0.5Al с эрбием различной концентрации с кислородом газовой фазой при исследованных температурах несколько отличается от окисления базового сплава Zn0.5Al. Линейная зависимость сохраняется в течение 12-15 мин, далее по мере образования оксидной плёнки характер окислительного процесса переходит в параболический и формирование защитной оксидной поверхности заканчивается к 30 мин (рис. 1).

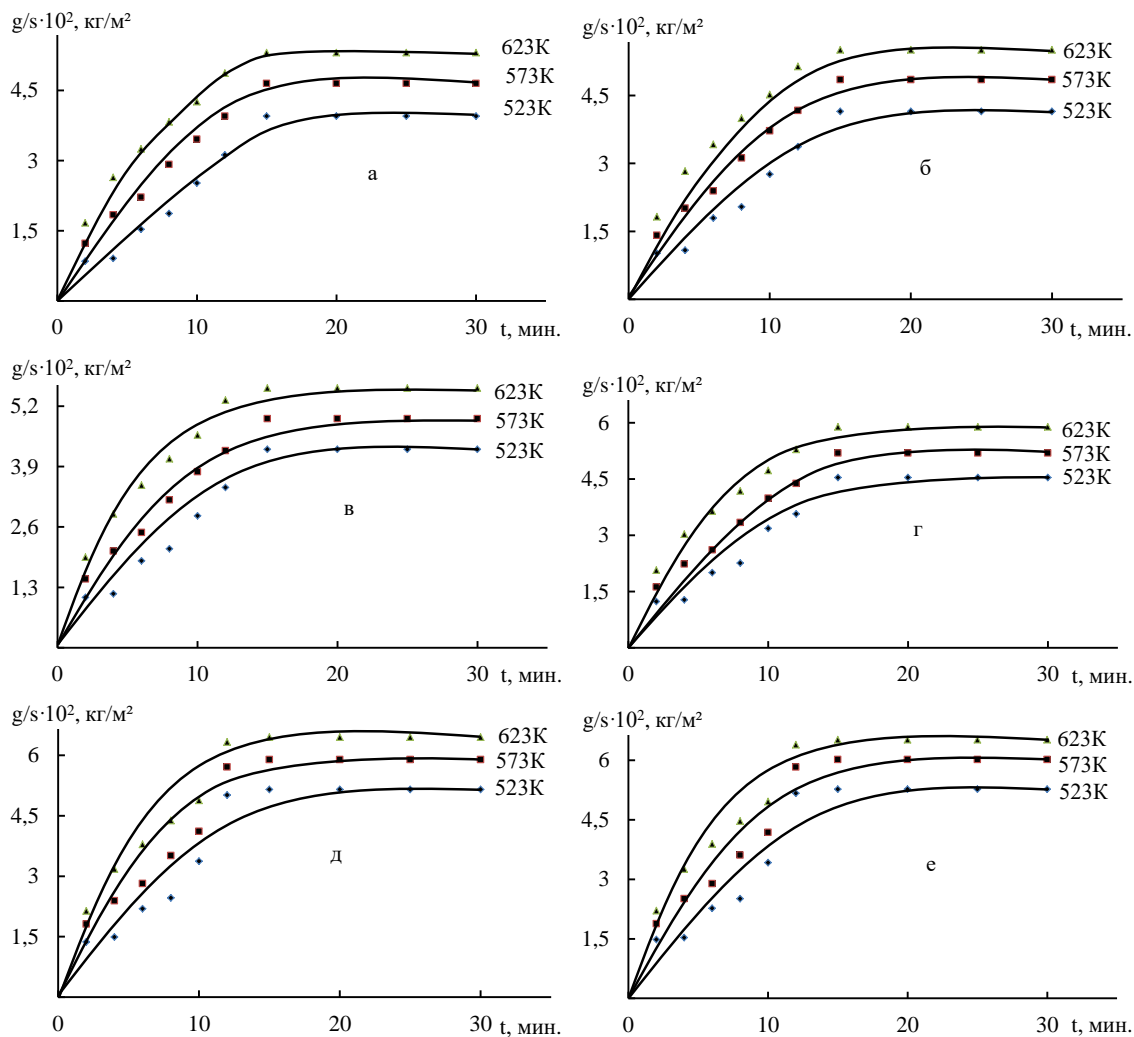


Рис. 1. Кинетические кривые окисления цинкового сплава Zn0.5Al(a), легированного эрбием, мас.%.: 0.01(б); 0.05(в); 0.1(г); 0.5(д); 1.0(е).

Легирование цинкового сплава Zn0.5Al эрбием (в диапазоне 0.01-1.0 мас.%) способствует некоторому увеличению истинной скорости окисления. Добавка более 0.5 мас.% эрбия нецелесообразна, так как приводит к повышению скорости окисления и, соответственно, уменьшению энергии активации окисления цинкового сплава. Эффективная энергия активации процесса окисления исследованных сплавов изменяется от 168.4 до 144.8 кДж/моль (таблица).

Таблица

Кинетические и энергетические параметры процесса окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в твёрдом состоянии

Добавки эрбия в сплаве, мас. %	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Эффективная энергия активации окисления, кДж/моль
0.0	523	3.68	168.4
	573	3.91	
	623	4.11	
0.01	523	3.75	164.7
	573	4.06	
	623	4.21	
0.05	523	3.83	159.5
	573	4.14	
	623	4.39	
0.1	523	3.98	156.0
	573	4.25	
	623	4.46	
0.5	523	4.18	151.3
	573	4.61	
	623	5.02	
1.0	523	4.29	144.8
	573	4.78	
	623	5.13	

Исследуя продукты окисления сплавов, в частности оксидную плёнку, которая формируется при нагреве на поверхности образцов, можно получить важную информацию об их механизме окисления. Продукты окисления, образующиеся при окислении цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, исследованы методом рентгенофазового анализа [15]. Видно, что продукты окисления цинкового сплава Zn0.5Al (рис. 2а) и легированного 0.1 мас.% эрбием сплава (рис. 2б) состоят из оксидов ZnO, Al₂O₃, Al₂O₃·ZnO, ErO (рис. 2).

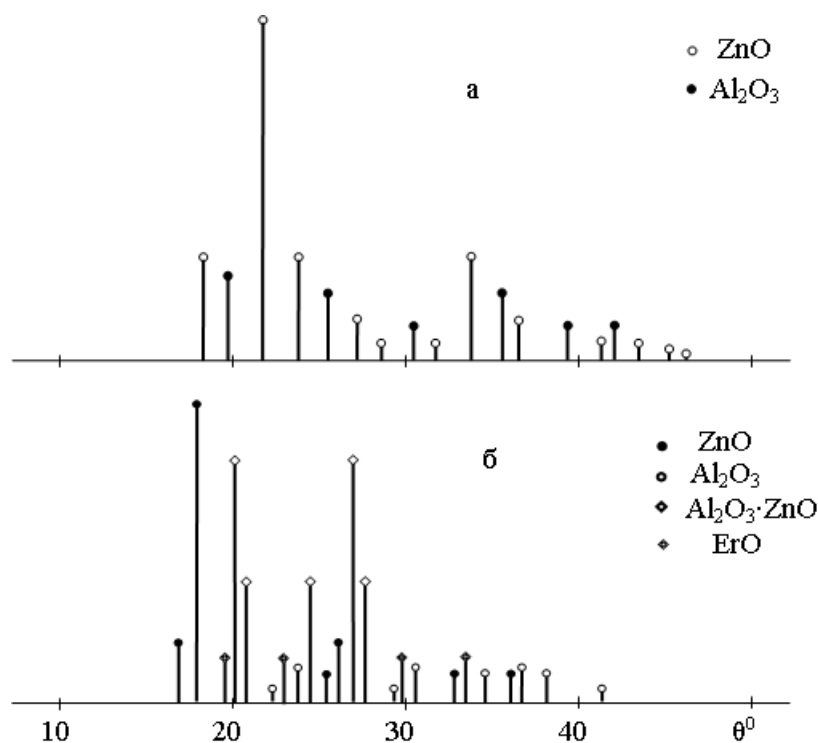


Рис. 2. Штрихдифрактограммы продуктов окисления цинкового сплава Zn0.5Al (а), легированного 0.1 мас.% эрбием (б).

В целом, по данным экспериментальных исследований кинетики высокотемпературного окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в твёрдом состоянии кислородом газовой фазы, установлено, что сплавы с 0.5 и 1.0 мас.% эрбием, по сравнению с низколегированными сплавами (0.01-0.1 мас.%) обладают наибольшим значением истинной скорости окисления и наименьшей величиной эффективной энергии активации. Выявлено, что легирующий компонент несколько увеличивает окисляемость цинкового сплава Zn0.5Al в пределах 0.01-1.0 мас.% эрбия. Определено, что защитные оксидные плёнки, образующихся на поверхности исследованных сплавов при окислении, состоят из оксидов ZnO, Al₂O₃, Al₂O₃·ZnO, ErO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виткин А.И., Тейндл И.И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. – М.: Металлургия, 1971, 493 с.
2. Кечин В.А., Люблинский Е.Я. Цинковые сплавы. – М.: Металлургия, 1986, 247 с.
3. Алиханова С.Д., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Кинетика окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированного неодимом. – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. н., 2012, № 3(148), с. 92-97.
4. Obidov Z.R. Anodic behavior and oxidation of strontium-doped Zn5Al and Zn55Al alloys. – Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2012, v. 48, № 3, pp. 352-355.
5. Одинаева Н.Б., Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Амини Р.Н. Потенциодинамическое исследование сплава Zn+0.5% Al, легированного таллием. – ДАН РТ, 2014, т. 57, № 8, с. 686-689.

6. Обидов З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных барием. – Известия СПбГТИ (ТУ), 2015, № 31(57), с. 51-54.
7. Амини Р.Н., Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Ганиева Н.И. Анодное поведение сплава Zn55Al, легированного бериллием, в среде электролита NaCl. – ДАН РТ, 2010, т. 53, № 2, с. 131-134.
8. Obidov Z.R. Thermophysical properties and thermodynamic functions of the beryllium, magnesium and praseodymium alloyed Zn-55Al alloy. – High Temperature, 2017, v. 55, № 1, pp. 150-153.
9. Амини Р.Н., Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Ганиева Н.И. Влияние добавок магния на анодное поведение сплава Zn55Al, в среде электролита NaCl. – Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. н., 2009, № 4(137), с. 78-82.
10. Amini R.N., Irani M.B., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Galfan I and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys. – Oriental Journal of Chemistry, 2014, v. 30, № 3, pp. 969-973.
11. Обидов З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn5Al, легированного бериллием и магнием. – Известия СПбГТИ (ТУ), 2015, № 32(58), с. 52-55.
12. Amini R.N., Obidov Z.R., Ganiev I.N., Mohamad R.B. Potentiodynamical research of Zn-Al-Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure. – Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, 2012, v. 2, № 2, pp. 110-114.
13. Обидов З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn55Al, легированного бериллием и магнием. – Журнал прикладной химии, 2015, т. 88, № 9, с. 1306-1312.
14. Обидов З.Р., Амонова А.В., Ганиев И.Н. Кинетика окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием. – Журнал физической химии, 2013, т. 87, № 4, с. 717-719.
15. Васильев Е.К., Назмансов М.С. Качественный рентгеноструктурный анализ. – Новосибирск: Наука, 1986, 200 с.

У.Р.ЧОБИРОВ, И.Н.ГАНИЕВ, М.Ч.ШИРИНОВ, З.Р.ОБИДОВ

ОКСИДШАВИИ ХЎЛАИ РУҲ Zn0.5Al, КИ БО ЭРБИЙ

ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

Институту кимиёи ба номи В.И.Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Бо усули термогравиметрӣ таҳқиқоти баҳамтаъсироти хӯлаи руҳ Zn0.5Al, ки бо эрбий чавҳаронидашуда, бо оксигени ҳаво дар ҳудуди ҳароратии 523-623К ва ҳолати сахт анҷом дода шудааст. Нишондиҳандаҳои кинетикии раванди оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо муайян карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои эрбий дар ҳудуди 0.01÷1.0%-и вазн оксидшавии хӯлаи руҳро начандон зиёд менамоянд ва маҳсули оксидшавии хӯлаҳо аз оксидҳои ZnO, Al₂O₃, Al₂O₃·ZnO, ErO иборат аст.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи Zn0.5Al, эрбий, усули термогравиметрӣ, оксидшавии баландҳароратӣ, суръати оксидшавӣ, энергияи фаъол.

U.R.JOBIROV, I.N.GANIEV, M.CH.SHIRINOV, Z.R.OBIDOV

**OXIDATION OF Zn_{0.5}Al ZINC ALLOY, DOPED WITH ERBIUM,
IN THE FIRM CONDITION**

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

The thermo gravimetric method investigates interaction of Zn_{0.5}Al zinc alloy, doped with erbium, with air oxygen in an interval to temperature 523 – 623K in the firm condition. Kinetic parameters of process of high-temperature oxidation of alloys are defined. Showed, that additives of erbium within 0.01÷1.0 wt.% slightly increase oxidability of an zinc alloy, and products of oxidation of alloys are oxides ZnO, Al₂O₃, Al₂O₃·ZnO, ErO.

Key words: Zn_{0.5}Al alloy, erbium, thermo gravimetric method, high-temperature oxidation, speed of oxidation, energy of activation.

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

№4 (185), 2021 г.

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

УДК 521.633-546.273

М.М.ТАГОЕВ

ПЕРЕРАБОТКА БОР- И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА

Институт химии им.В.И.Никитина НАН Таджикистана

Поступила в редакцию 11.06.2021 г.

В статье изложены результаты переработки бор- и алюмосиликатных руд. Для борного сырья найдены пути переработки методом спекания с натрийсодержащими реагентами. Определены наиболее рациональные параметры процесса спекания.

Для алюмосиликатного сырья также найдены методы переработки, определены оптимальные параметры переработки и разработаны технологические схемы получения ценных продуктов.

Ключевые слова: переработка, боросиликатная руда, алюмосиликатная руда, технологическая схема, оптимальные параметры.

Бор и его соединения применяются во многих областях промышленности, сельского хозяйства, техники, науки, медицины и в ядерной технике. Используются главным образом такие свойства бора и его соединений, как высокая твердость, тугоплавкость, теплопроводная способность, химическая стойкость, легирующие и дезинфицирующие качества, повышение урожайности сельхоз культур [1-4].

При создании производства борных соединений необходимо исходить из обстоятельства, что наиболее эффективны будут относительно небольшие производства, гибкие по своему технологическому процессу, выпускающие продукцию высокой стоимости. Именно такого рода продуктами могут быть борные удобрения, борные стекла, эмали и борогидриды [3,4].

В настоящее время известны различные способы переработки борсодержащего сырья, такие как кислотные, щелочные, термические и комплексные [2, 5, 6].

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

В кислотных способах переработки низкокачественного боросодержащего сырья обычно используют минеральные кислоты (серную, соляную и азотную), которые позволяют относительно просто осуществить селективное разделение оксида бора и кремнезёма до стадии кислотной переработки руды с предварительным обжигом, что является своего рода химическим обогащением боросодержащей руды. Кислотные способы требуют специфического оборудования, применение которых связано с некоторыми трудностями. Полнота извлечения полезных компонентов силикатной руды в большинстве кислотных методов недостаточно высока [5].

Поэтому разработка эффективных способов переработки боросиликатных руд Таджикистана с максимальным извлечением составляющих их полезных компонентов методом спекания с натрийсодержащими реагентами, а также установление механизмов разрастания упорных минералов сырья, химические реакции, протекающие при каждой ветви технологической стадии переработки сырья, которые служат основой для разработки технологии их переработки, является актуальной задачей.

В настоящей работе изучен метод переработки борного сырья спеканием с натрийсодержащими реагентами: NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , а также переработки алюмосодержащих руд хлорным методом.

Ниже приводится схема действий переработки боросиликатных руд и их концентратов с натрийсодержащими реагентами (рис. 1).

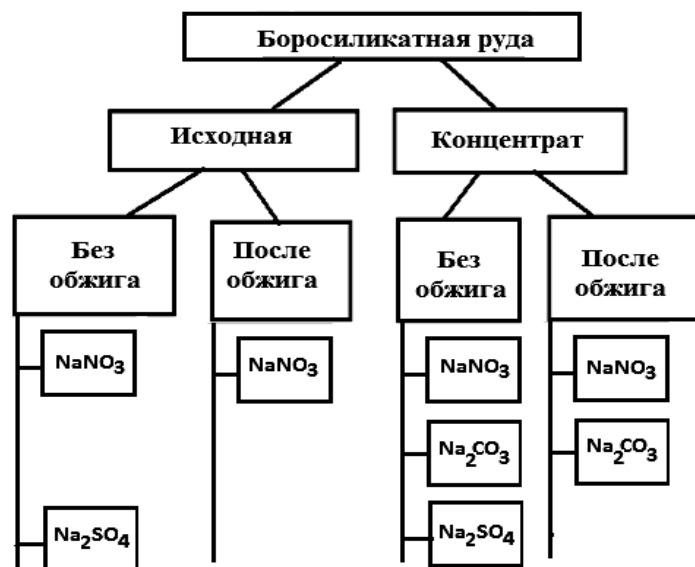


Рис. 1. Схема спекания боросиликатной руды и её концентрата с различными натрийсодержащими реагентами.

Химический и минералогический состав борной руды приведен в работе [5].

Использование при спекании боросиликатных руд различных неорганических солей относится к твёрдофазным процессам. В качестве реагента для переработки боросиликатных

руд часто используют NaOH. В качестве неорганических солей с целью получения хлоридных компонентов можно использовать NaCl, CaCl₂, KCl и другие.

Реакции твёрдых фаз определяются скоростью диффузии основных ионов в зоне контакта, температурой и энергией активации спексообразования, а также процессом восстановления поверхности реагирующих соединений. Все эти факторы были учтены нами при разработке технологической схемы по переработке боросиликатной руды методом спекания.

Используя полученные результаты спекания боросиликатных руд с натрийсодержащими реагентами и кислотного выщелачивания спека, предложена принципиальная технологическая схема переработки боросиликатных руд спеканием с NaNO₃, Na₂SO₄, Na₂CO₃. (рис. 2).

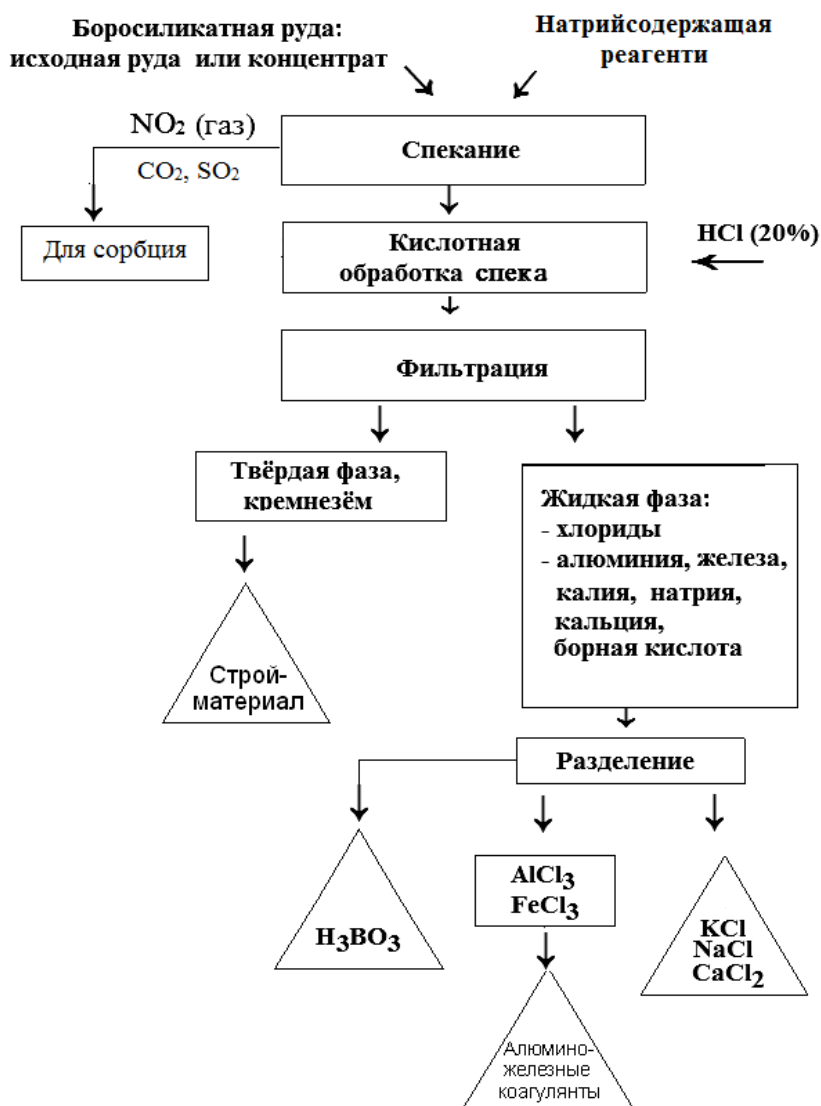


Рис. 2. Общая принципиальная технологическая схема переработки боросиликатных руд спеканием с NaNO₃, Na₂SO₄, Na₂CO₃.

Предварительно обожжённая боросиликатная руда и NaNO_3 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 в соотношениях 1:2 смешиваются, с помощью ленточного транспортёра загружаются в реактор, в котором происходит спекание смеси при $t =$ от 800 до 900°C, спекание проводится в течение 1 часа. Далее смесь измельчают до тонкости помола руды 0.1 мм.

Полученный спёк обрабатывают кислотой для разделения образовавшихся продуктов.

Кислотную обработку спёка проводят при температуре 80-90°C, при этом полезные компоненты переходят в раствор, в осадке остаётся большое количество кремнезёма, который облегчает переработку раствора путём кристаллизации и разделения с получением полезных продуктов.

Необходимо отметить, что при кислотной обработке тонкость помола частиц спёка составляла 0.1 мм, соотношение жидкой и твёрдой фаз – от 3:1 до 4:1. Пульпа, полученная при этом, была перекачана на нучт-фильтр, где происходило разделение жидкой и твёрдой фазы. В жидкую фазу переходили бор- и алюмосодержащие компоненты. Степень извлечения полученных компонентов зависит от соблюдения оптимальных параметров процесса спекания.

Таким образом разработаны технологические схемы по переработке боратных руд и их концентратов спеканием с натрийсодержащими реагентами – нитратами-, карбонатами- и сульфатами натрия по отдельности, ключевыми фазами в которых являются: спекание сырья, водная обработка спека, кислотное разложение твёрдого остатка от водной обработки спёка, разделение продуктов переработки.

Переработка алюмосиликатных руд. Основным сырьём для получения алюминия в настоящее время являются высококачественные бокситы с содержанием глинозёма (Al_2O_3) до 50%.

В Таджикистане имеются большие количества низкокачественных алюминийсодержащих руд (содержание Al_2O_3 до ~25%). Эти руды представляют интерес и при комплексном использовании из них можно получать ряд ценных компонентов для нужд страны.

В лаборатории комплексной переработки минерального сырья и отходов Института химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана в течение 30 лет проводятся работы по исследованию физико-химических основ переработки алюмосиликатных руд хлорным и кислотными методами.

Разработаны новые безотходные и экологически безопасные кислотные способы переработки нефелиновых сиенитов, каолиновых глин, аргиллитов, сиаллитов и другого алюмосодержащего сырья с получением эффективных коагулянтов, высококачественного сырья для фарфорового производства, жидкого стекла и др [7-10].

При использовании хлорного метода переработки можно получить эфират хлористого алюминия – ценный продукт для тонкого органического синтеза и синтеза ряда энергоёмких веществ (рис. 3).

Таким образом, для алюмосиликатных руд разработаны технологическая схема переработки сырья различными методами: кислотный, спекательный, хлорированный.

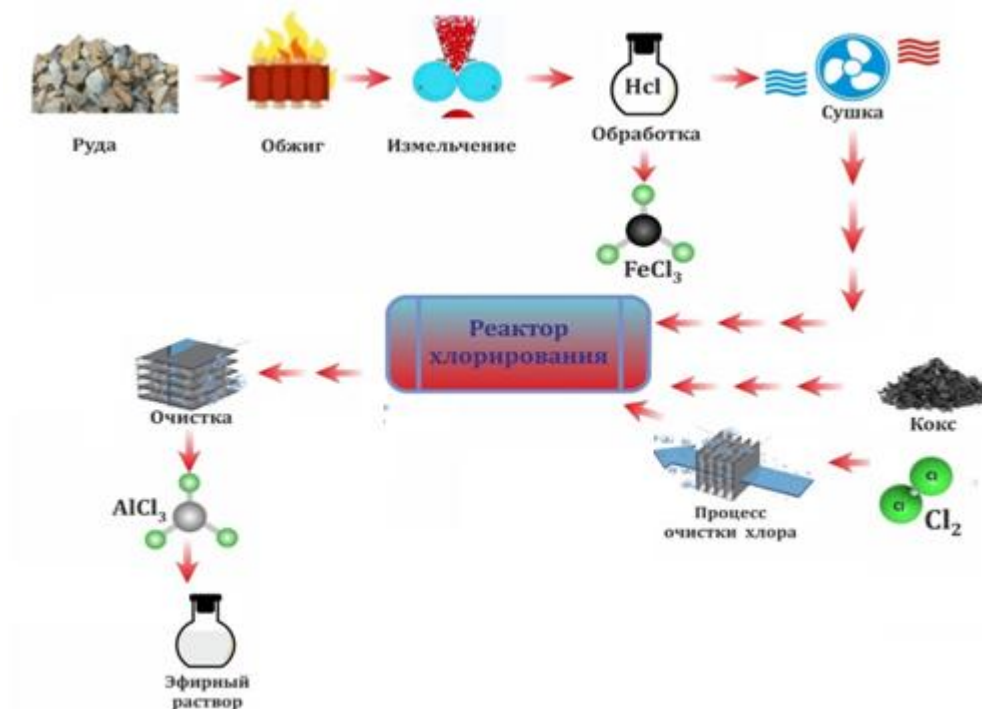


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема переработки алюмосиликатных руд с получением эфирата $AlCl_3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А.В. Физико-химическое изучение природных боратов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947, 240с.
2. Годе Г.К. Синтезы боратов. – Рига, 1971, ч.1, 58 с.
3. Ткачев К.В., Плышевский Ю.С. Технология неорганических соединений бора. – Л.: Химия, 1983, 208с.
4. Бораты народному хозяйству. Сборник научных трудов под ред. Г.К.Годе. – Рига, 1982, 135 с.
5. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Маматов Э.Д. Кислотное разложение боросиликатных руд. – Душанбе: Дониш, 2015, 97 с.
6. Мирсаидов У.М., Курбонов А.С., Назаров Ф.А., Тагоев М.М. Спекательные методы переработки боросиликатных руд Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2020, 124 с.
7. Мирсаидов У.М., Сафиев Х.С. Комплексная переработка низкокачественного алюминийсодержащего сырья. – Душанбе: Дониш, 1998, 238 с.
8. Мирсаидов У.М., Маматов Э.Д., Сафиев Х.С. Особенности процесса хлорного разложения бор- и алюмосиликатных руд. – Душанбе: Дониш, 2013, 75 с.
9. Мирсаидов У.М. Переработка алюмосиликатных руд Таджикистана спекательными методами. – Душанбе: Дониш, 2021, 75 с.
10. Мирсаидов У.М., Мирзоев Д.Х., Бобоев Х.Э. Комплексная переработка аргиллитов и каолиновых глин Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 2011, 92 с.

М.М.ТАҒОЕВ

КОРКАРДИ МАЪДАНҲОИ БОР- ВА АЛЮМОСИЛИКАТИИ ТОҶИКИСТОН

Институти кимиёи ба номи В.И.Никитин АМИТ

Дар мақола натиҷаҳои коркарди маъданҳои бор-ва алюмосиликати оварда шудааст. Барои маъдани бордошта роҳҳои коркард бо реагентҳои натрийдор ёфт гардидаанд. Параметрҳои беҳтарини равандҳои худозиш муайян карда шуда аст.

Барои маъданҳои алюмосиликати низ усулҳои коркард, муайян намудани параметрҳои оптималӣ ва тарҳи нақшаи технологияи ба даст овардани маҳсулоти пурарзиш ёфта шудааст.

Калимаҳои калидӣ: коркард, маъдани боросиликати, маъдани алюмосиликати, нақшаи технологӣ, параметрҳои мусоид.

M.M.TAGOEV

PROCESSING OF BORON AND ALUMINOSILICATE ORE OF TAJIKISTAN

V.I.Nikitin Institute of Chemistry, National Academy of Sciences of Tajikistana

The article presents the results of the laboratory of complex processing of mineral raw materials and wastes of the V.I.Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan in the field of processing boron and aluminosilicate ores. Acidic, chlorine and sintering processing methods have been found for boron raw materials. Basic technological schemes for processing raw materials with the production of boric acid, enamel, BCl_3 and other useful components have been developed.

Processing methods have been found for aluminosilicate raw materials as well, optimal processing parameters have been determined and technological schemes for obtaining valuable products have been developed.

Key words: processing, borosilicate ore, aluminosilicate ore, technological scheme, optimal parameters.

УДК 669.054:669.071

З.С. НАЗАРОВ

**СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ШЛАМОВОГО ПОЛЯ
АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА С НЕФЕЛИНОВЫМ СИЕНИТОМ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУРПИ**

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

Поступила в редакцию 15.02.2021 г.

В данной статье приведены результаты совместного спекания отходов шламового поля ОАО «ТалКо» и нефелиновых сиенитов Турпи и найдены оптимальные режимы спекания: $t=900-950^{\circ}\text{C}$, соотношение нефелинового сиенита и отходов =1:2, продолжительность спекания 40-60 мин. А также проведено разложение твёрдого остатка серной кислотой после водной обработки спека с получением полезных компонентов для производства алюминия.

Ключевые слова: отмытый шлам, промышленные отходы, водонерастворимая часть, спёк, серно-кислотное разложение.

Промышленные предприятия, в особенности предприятия горнодобывающей и металлургической промышленности – главные источники твёрдых отходов. Свалки и отвалы твёрдых отходов занимают огромные площади пахотных земель, нарушают ландшафт, отравляют окружающую среду.

Поэтому большое количество исследовательских работ [1-6] посвящено изучению физико-химических основ переработки отходов ОАО «ТалКо» спеканием с фтор- и алюминийсодержащими компонентами. Работы проводились в нескольких направлениях – определение оптимальных соотношений компонентов шихты и фтор- и алюминийсодержащих компонентов; определение оптимальных параметров выщелачивания получаемых спёков; карбонизация алюминатно-фторидных растворов; параметры термической обработки криолит-гидрагиллитовой смеси; разработка принципиальных технологических

Адрес для корреспонденции: Назаров Зафар Саидмуродович. 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Х.Хакимова, 17, Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» ГУП «ТалКо». E-mail: nazarov.zaf@gmail.com

схем получения криолит-глинозёмных концентратов из местных сырьевых материалов и отходов шламовых полей алюминиевого производства [5-6].

В результате проведенного анализа литературных источников выяснилось, что спекание местных глинозёмсодержащих руд - нефелинового сиенита с твёрдыми нерастворимыми остатками отходов шламового поля ОАО «ТалКо» авторами практически не изучено.

Для переработки нефелинового сиенита месторождения Турпи совместным спеканием с отходами шламового поля ОАО «ТалКо» проводили в следующем технологическом цикле (рис. 1). Как показали исследования, в температурном диапазоне от 800 до 950°C (рис. 1а) извлечения оксидов приобретали более монотонный характер, но, в целом, в указанном диапазоне температур от 600 до 950°C извлечение оксидов состава спёка было высоким, составляя значения (в %): Al_2O_3 – от 77.2 до 92.5; Fe_2O_3 – от 92.2 до 97.2; Na_2O – от 80.1 до 91.6; K_2O – от 83.9 до 95.8.

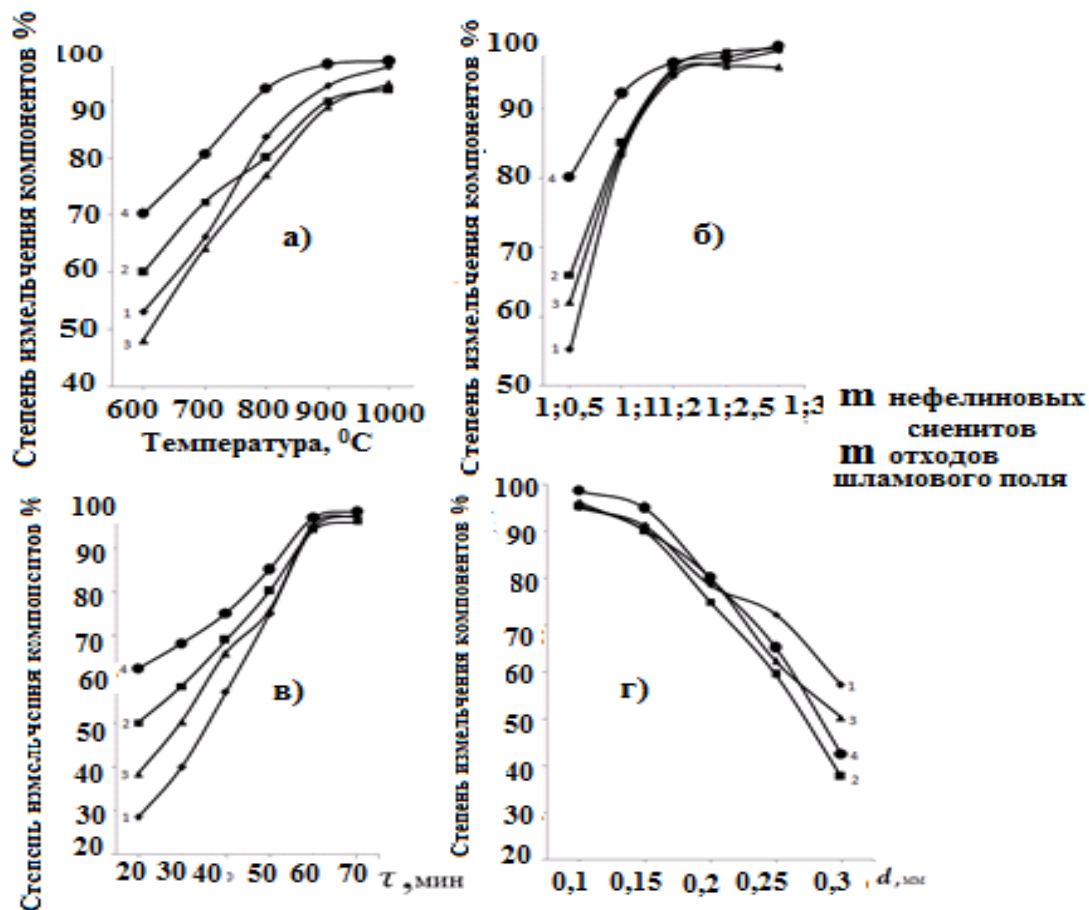


Рис. 1. Извлечение компонентов из спёка от различных физико-химических факторов: а) температуры спекания; б) массового соотношения нефелиновых сиенитов и отходов шламового поля; в) продолжительности процесса спекания; г) крупности частиц исходной руды (1 – K_2O ; 2 – Na_2O ; 3 – Al_2O_3 ; 4 – Fe_2O_3).

Оптимальным соотношением нефелина и отходов, при котором были отмечены максимальные извлечения оксидов является соотношение (рис. 1б): $m_{\text{сырьё}}:m_{\text{отходы шламового поля}} = 1,0:2,5$, при данном соотношении извлечение основных оксидов составляет: $K_2O - 94.8\%$, $Na_2O - 96.0\%$, $Al_2O_3 - 95.5\%$, $Fe_2O_3 - 96.8\%$.

Оптимальным условием длительности процесса спекания можно считать 50-60 минут (рис. 1в). При спекании нефелинового сиенита и отходов шламового поля в течение 60 минут извлечение основных оксидов составляет: $K_2O - 94.3\%$, $Na_2O - 96.2\%$, $Al_2O_3 - 97.8\%$, $Fe_2O_3 - 98.9\%$.

Оптимальным размером частиц можно считать размер частиц 0.1-0.15 мм (рис. 1г). При спекании нефелинового сиенита и отходов шламового поля с размерами частиц 0,1-0,15 мм извлечение основных оксидов составляет: $Al_2O_3 - 92.3-98.2\%$, $Fe_2O_3 - 95-98.2\%$, $CaO - 90.5-96.8\%$, $K_2O - 91.8-97.5\%$, $Na_2O - 91.0-92.8\%$. Размер частиц сырья свыше 0.2 мм не обеспечивает полного разложения его компонентов.

По результатам проведения рентгенофазовых анализов спека, полученного при спекании нефелинового сиенита с отходами шламового поля, можно констатировать, что минерал трон, входящий в состав шламов, взаимодействует с нефелиновым сиенитом, при этом происходит разложение минералов, как нефелина, так и минералов отходов шламового поля.

Полученный спек дробился и измельчался до размеров менее 0.2 мм и подвергался сернокислотному разложению при различных параметрах кислотного разложения.

Влияние температуры процесса спекания рассматривалось в диапазоне от 40 до 100°C. В данном исследовании варьировалась температура проведения процесса, остальные факторы оставались постоянными: время разложения спека один час, концентрация H_2SO_4 20%, дозировка кислоты 125% от стехиометрии разложения щелочных соединений (рис. 2).

Показано, что при увеличении концентрации серной кислоты извлечение основных оксидов спека значительно возрастает (рис. 2а). Отмечается, что оптимальной концентрацией серной кислоты для извлечения оксидов из спека является концентрация в диапазоне 15-20%, при этом достигаются максимальные извлечения оксидов: $Na_2O - 92.2\%$, $K_2O - 98.2\%$. При увеличении концентрации кислоты выше 20% извлечение оксидов снижается, составляя 85-90%, это можно объяснить тем, что при увеличении концентрации серной кислоты снижается соотношение твёрдой и жидкой фаз вследствие затруднения перемешивания получаемой пульпы.

Установлено, что при увеличении времени сернокислотного разложения спека извлечение основных оксидов спека значительно возрастает (рис. 2б) и отмечается, что при разложении спека в течение 50 минут отмечаются максимальные выходы всех оксидов, которые составляют 98.7% и более.

Выявлено, что максимальное извлечение оксидов происходит при $t=95-98^{\circ}\text{C}$, при этой температуре извлечение оксидов Na_2O , K_2O , Al_2O_3 и Fe_2O_3 находится на уровне 97.8-99.8% (рис. 2в).

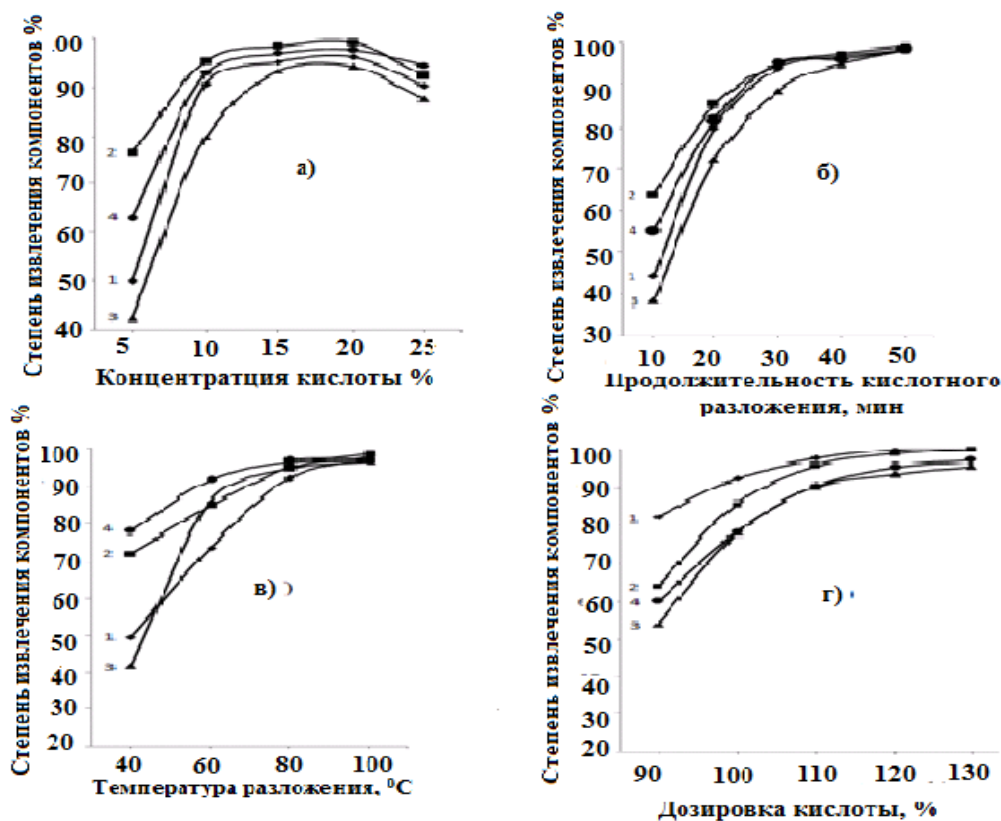


Рис. 2. Извлечение оксидов из спёка нефелинового сиенита и шлама от концентрации серной кислоты (а), температуры разложения (б), времени обработки H_2SO_4 (в), дозировки кислоты H_2SO_4 (г). 1 – Na_2O ; 2 – Al_2O_3 ; 3 – K_2O ; 4 – Fe_2O_3 .

Показано, что при увеличении дозировки H_2SO_4 до 130% извлечения оксидов составили: Na_2O – 98.7%, K_2O – 95.4%, Al_2O_3 – 96.7%, Fe_2O_3 – 98.5%. Дозировка кислоты выше 130% обеспечивает полное извлечение железа, однако такой расход кислоты нецелесообразен.

В результате проведенных исследований установлены оптимальные режимы процесса совместного спекания отходов шламового поля ОАО «ТалКо» и нефелиновых сиенитов Турпи: спекание при $t=900-950^{\circ}\text{C}$, соотношение нефелинового сиенита и отходов =1:2, продолжительность спекания 40-60 мин. А также проведено разложение твёрдого остатка серной кислотой после водной обработки спёка с получением полезных компонентов для производства алюминия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рузиев Д.Р., Азизов Б.С., Сафиев Х.С., Раджабов Ф. Физико-химическое изучение криолит-глинозёмсодержащих отходов алюминиевого производства. – ДАН РТ, 1998, т. 41, № 1-2, с. 56-58.
2. Мирсаидов У.М., Абдуллоев М.М., Азизов Б.С. и др. Комплексная переработка отходов алюминиевого производства. Международный конгресс (юбилейная научно-практическая конференция) «Производство. Технология. Экология (ПРОТЭК-2000)». – М., 2000, с. 449-455.
3. Мирсаидов У.М., Азизов Б.С., Рузиев Д.Р. и др. Технологические основы получения криолит-глинозёмного концентрата из местных сырьевых материалов и отходов производства алюминия. Международный конгресс (юбилейная научно-практическая конференция) «Производство. Технология. Экология (ПРОТЭК-2000)». – М., 2000, с. 760-763.
4. Мирсаидов У.М., Азизов Б.С., Рузиев Д.Р. и др. Кинетика процесса спекания производства криолит-глинозёмной смеси из отходов ТадАЗа и местного минерального сырья. Международный конгресс (юбилейная научно-практическая конференция) «Производство. Технология. Экология (ПРОТЭК-2000)». – М., 2000, с. 764-766.
5. Азизов Б.С., Рузиев Д.Р., Сафиев Х.С., Лангариева Д.С. Получение криолит-глинозёмной смеси из отходов производства алюминия и местного минерального сырья. Научно-практический семинар «Внедрение разработок учёных Таджикистана в промышленность»: Сборник трудов. – Душанбе, 2001, с. 91-92.
6. Мирсаидов У.М., Азизов Б.С., Рузиев Д.Р., Сафиев Х.С. Физико-химические и технологические основы получения криолит-глинозёмного концентрата из местных сырьевых материалов и отходов алюминиевого производства. – Изв. АН РТ, отд. физ.-мат., хим. и геол. наук, 2001, №1, с. 133-141.

З.С. НАЗАРОВ

КОРКАРДИ ЯКЧОЯИ ПАРТОВОИ ИСТЕҲСОЛИ АЛЮМИНИЙ БО НИФЕЛИНҲОИ СИЕНИТӢ КОНИ ТУРПӢ

МД «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ҶСК «ШАТ»

Дар ин мақола натиҷаи якҷоя пухтани партовҳои тағшонии аз системаи истехсоли алюминий бо сиенитҳои нифелинии кони Турпи ва тартиботи оптималии пухтан ёфт шуд: $t=900-950^{\circ}\text{C}$ таносуби сиенити нифелинӣ ва партовҳо =1:2, давомнокии пухтан 40-60 дақиқа. Инчунин таъзияи боқимондаҳои сахти кислотаҳои сулфат баъди коркарди обӣ ва пухтан бо гирифтани компонентҳои фоиданок барои истехсоли алюминий гузаронида шуд.

Калимаҳои калидӣ: тағшини шусташуда, партовҳои истехсолӣ, қисми дар об ҳалнашаванда, пухтан, таъзияи кислотаи сулфат.

Z.S.NAZAROV

**CO-PROCESSING OF WASTE SLURRY FIELD ALUMINUM PRODUCTION
WITH NEPHELINE SYENITE OF THE TURPI DEPOSIT**

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

This article presents the results of joint sintering waste from the “Talko” sludge field and nepheline Turpi and the optimal sintering mode: $t=900-950^{\circ}\text{C}$, the ratio of nepheline syenite and waste =1:2, the sintering duration 40-60 minutes, The solid residue was also decomposed with sulfuric acid after water treatment of the sinter to obtain useful components for the production of aluminum.

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

УДК 550.4 (575.3)

М.М.МАМАДВАФОЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

**СЕРА В ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСАХ КАФАНДАРСКОГО РУДНОГО
ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТАДЖИКИСТАН)**

*УП «Геологическая поисково-съёмочная экспедиция» Главного управления геологии
при Правительстве Республики Таджикистан
Поступила в редакцию 25.05.2021 г.*

В статье впервые рассматривается функция распределения серы, её распространённость и корреляционная связь с железом в 34 петрохимически разнотипных, геологически разновозрастных и тектонически разнорежимных интрузивных горных породах Южного Тянь-Шаня в позиции Кафандарского рудного поля в Центральном Таджикистане.

Ключевые слова: сера, функция распределения, распространённость в горных породах, корреляционная связь с железом, Кафандарское рудное поле.

1. Введение. Наиболее общие особенности геохимии серы, в том числе её рассеянное распределение в горных породах и концентрированное – в месторождениях, известны из работ В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана, В.М.Гольдшмидта, А.П.Виноградова, К.К.Турекьяна, К.Н.Ведополя, К.В.Краускопфа, В.В.Щербины, А.А.Беуса, С.Т.Бадалова и других известных учёных. Однако, как ни парадоксально, отсутствуют исследования по геохимии серы интрузивных пород рудных районов, рудных полей и рудных месторождений металлогенических зон герцинид Южного Тянь-Шаня, фрагментом которого является Кафандарское рудное поле. На площади последнего наряду с скарново-магнетитовым железооруденением развито полиметалльное (Pb, Zn, Ag, Cu, Bi, Sn, Sb, Hg), практически перспективное, но слабоизученное сульфидное оруденение, местами наложенное на него. Это обстоятельство делает актуальным изучение геохимии серы интрузивных пород, осо-

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

бенно инверсионных (C_2 - C_3) гранитоидов, как источников серы, - осадителя тяжёлых металлов в рудных объектах.

Кафандарское рудное поле охватывает бассейн одноимённой реки – правой составляющей р. Сардаи-Миёна, правого притока р. Кафирниган [1].

В основании выполненного исследования лежат 261 химических анализов серы, из которых 143 анализа опубликованы [2], остальные анализы заимствованы из фондовых источников Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан и принадлежат Е.А.Космынину, В.Г.Нестерову (1971 г.), В.С.Колесниченко (1987 г.). Геолого-петрографическая характеристика интрузивных комплексов рудного поля освещена в работах [1, 2].

2. Распространённость серы в породах интрузивных комплексов. Результаты математико-статистической обработки исходных анализов серы в виде SO_3 представлены в табл. 1. Здесь же, в скобках, даны средние содержания элементарной серы в интрузивных комплексах, что представляется удобным при сравнениях с её кларками в различных типах горных пород земной коры. Рассмотрение данных табл. 1 показывает, что сера в породах интрузивных комплексов устанавливается анализами с различной частотой встречаемости ($W = n_i / N \cdot 100\%$, где n_i – количество проб, в которых элемент установлен, N – общее количество анализируемых проб). С учётом неравнозначности количества анализов по отдельным интрузивным комплексам и образующим их типам пород, всё же допустимо привести здесь некоторые предварительные сведения по частоте встречаемости серы в тех и других. Так, частота встречаемости (W) серы в инверсионных, средне- и позднекарбонатовых гранитоидах низка, соответственно 21 и 18%, и в первом приближении допустимо принять за 20%. В постинверсионно-орогенных, раннепермских субвулканических гранитоид-порфирах дацит-липаритовой формации [5] она заметно выше – 63%, и опускается до 30% (табл. 1) в тафрогенном, позднепермском комплексе базальтоидов и щелочных базальтоидов [6, 7]. Промежуточная, между этими двумя комплексами пород, частота встречаемости серы устанавливается в инверсионных лампрофирах диоритового ряда, – вогезитах, керсангитах, спессартитах и минеттах – 40%. Различна частота встречаемости серы и в отдельных типах пород, – от «нулевой» до стопроцентной (табл. 1), и, очевидно, зависящая от чувствительности метода анализа на исходный определяемый компонент (0.01% SO_3), кларка серы в исследуемых породах, а также количества проанализированных проб. Так, сера не установлена ни в одной из 14 проанализированных проб среднекарбонатовых диоритов, слагающих краевые фации гранитоидных интрузий. Частота её встречаемости в кварцевых диоритах, гранодиоритах и гранодиорит-порфирах, вкупе с диоритами, слагающих 15% от общей площади инверсионных гранитоидов, соответственно составляет 35, 23 и 17%. В сравнительно менее развитых метасоматических монцонитоидах [8], равно как в тоналитах и кварцевых кератофирах, в силу недостаточности анализов, судить о распространённости серы по её частоте встречаемости, к сожалению, затруднительно.

Таблица 1

Распространённость серы в породах интрузивных комплексов Кафандарского рудного поля

Название пород	\bar{X} SO ₃ (S), %	От- До	W, %	Fe, %	Название пород	\bar{X} SO ₃ (S), %	От - До	W, %	Fe, %
1.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. Инверсионный, C ₂ , диорит-гранодиоритовый комплекс					Дайковые варьиты позднекарбонных гранитоидов				
1. Диориты, n = 14	0.00	0-0	0	4.73	18. Вогезиты, n = 11	0.03	0.00-0.14	27	5.87
2. Кварцевые диориты, n = 26	0.01	0.00-0.09	35	4.32	19. Спессартиты, n = 26	0.09	0.00-0.68	39	5.61
3. Гранодиориты, n = 26	0.05	0.00-0.51	23	3.48	20. Керсантиты, n = 17	0.11	0.00-0.34	53	5.61
4. Гранодиорит-порфиры, n = 6	0.02	0.00-0.10	17	2.70	21. Минетты, n = 1	0.00	-	-	5.78
5. Монцитоны, n = 1	0.00	-	-	4.53	<i>Среднее</i>	<i>0.08(0.032)</i>		<i>40</i>	<i>5.78</i>
6. Кварцевые монцитоны, n = 5	0.06	0.00-0.20	40	2.90	<i>Кларки средних пород по [3]</i>	<i>0.04</i>			<i>5.50</i>
7. Кварцевые монциодориты, n = 2	0.00	0-0	0	4.85	III. Постинверсионно-орогенный, P ₁ , комплекс порфировой формации				
8. Тоналиты, n = 1	0.00	-	-	4.33	22. Дацитовые порфиры, n = 1	0.00	-	-	3.40
9. Кварцевые кератофиры, n = 1	0.10	-	-	1.48	23. Кварцевые латит-порфиры, n = 14	0.07	0.00-0.46	36	3.51
<i>Среднее по комплексу</i>	<i>0.025(0.01)</i>		<i>21</i>	<i>3.95</i>	24. Гранит-порфиры, n = 9	0.11	0.00-0.46	50	1.98
<i>Кларки средних пород по [3]</i>	<i>0.04</i>			<i>5.50</i>	25. Кварцевые порфиры, n = 16	0.05	0.00-0.54	98	1.86
II. Инверсионный, C ₃ , гранитный комплекс					<i>Среднее</i>	<i>0.07(0.028)</i>		<i>63</i>	<i>2.50</i>
10. Бiotит-роговообманковые, n = 8	0.02	0.00-0.11	38	2.94	<i>Кларки гранита по [3]</i>	<i>0.04</i>			<i>1.83</i>
11. Роговообманково- биотитовые, n = 19	0.03	0.00-0.16	32	3.29	IV. Тафrogenный, P ₂ , комплекс базальтоидов и щелочных базальтоидов				
12. Аплитовидные, n = 30	0.002	0.00-0.04	7	1.57	26. Лимбургиты, n = 5	0.22	0.00-0.54	60	6.52
13. Плаггиограниты биотит-роговообманковые, n = 1	0.00	-	-	5.48	27. Диабазы, n = 1	0.00	-	-	5.97
<i>Среднее по гранитам</i>	<i>0.014(0.006)</i>			<i>2.39</i>	28. Банакиты, n = 1	0.10	-	-	5.65
<i>Кларки гранитов [3]</i>	<i>0.04</i>			<i>1.83</i>	29. Анальцимовые диабазы, n = 1	0.35	-	-	7.21
14. Сиениты слюдяные, известково-щелочные, n = 1	0.10	-	-	4.52	30. Эссекситовые порфириты, n = 3	0.28	0.09-0.54	100	7.26
15. Сиениты роговообманковые, известково-щелочные, n = 1	0.00	-	-	4.65	31. Эссекситовые габбро, n = 2	0.00	0	0	6.45
16. Сиенит-порфиры трахитоидные, n = 3	0.00	0-0	0	3.48	32. Трахиандезиты, n = 1	0.05	-	-	10.92
<i>Среднее по сиенитоидам</i>	<i>0.03(0.012)</i>			<i>3.92</i>	33. Камптониты, n = 2	0.35	0.00-0.76	67	4.60
<i>Кларк сиенита по [4]</i>	<i>(0.03)</i>			<i>3.63</i>	34. Мончикиты, n = 4	0.17	0.00-1.02	17	5.74
17. Шошониты, n = 1	0.00	-	-	5.69	<i>Среднее</i>	<i>0.17(0.07)</i>		<i>30</i>	<i>6.46</i>
<i>Среднее по комплексу</i>	<i>0.015(0.006)</i>		<i>18</i>	<i>2.56</i>	<i>Кларки основных пород по [3]</i>	<i>0.03</i>			<i>8.40</i>

В позднекарбонных биотит-роговообманковых, роговообманково-биотитовых и аплитовидных гранитах, слагающих центральные части интрузий, и почти 80% площади выходов инверсионных гранитоидов, в свою очередь занимающих 75% площади рудного поля, частота встречаемости серы соответственно составляет 38, 32 и 7% при количестве проб в них соответственно 8, 19 и 30. Содержание SO_3 в единичных пробах этих пород соответственно изменяется в пределах 0.00-0.11; 0.00-0.16 и 0.00-0.04%, а средние содержания составляют соответственно 0.02, 0.03 и 0.002 %. Таким образом, бедность серой аплитовидных лейкогранитов в сравнение с другими инверсионными средне- и позднекарбонными гранитоидами вполне очевидна (табл.1). Допустимо предположить, что если сульфидное рудообразование в рудном поле генетически связано с инверсионным магматизмом, то оруденение следует за становлением наиболее поздней фазы гранитоидного плутона, – за аплитовидными лейкогранитами. Следовательно, вполне вероятно, что сера была отторгнута от магмы аплитовидных лейкогранитов на формирование сульфидного оруденения рудного поля. Что касается мало распространённых метасоматических сиенитов [8], то в силу единичности числа анализов, вынести сколько-нибудь достоверные выводы о поведении серы в них не представляется возможным. В этом аспекте в более выгодном положении находятся инверсионные лампрофиры диоритового ряда, – вогезиты, керсантиты и спессартиты, в которых частота встречаемости серы составляет 27, 39 и 53%, соответственно, при диапазоне вариации содержаний SO_3 соответственно 0.00-0.014, 0.00-0.68 и 0.00-0.34% и средних содержаний соответственно 0.03, 0.09 и 0.11%. В лампрофирах, в сравнении с предшествующими их формированию инверсионными гранитоидами, обращает внимание повышенный верхний предел интервалов содержания SO_3 , а следовательно, и среднее содержание SO_3 – 0.08% или 0.032% S.

Сравнительно более высокая, чем в инверсионных гранитоидах, частота встречаемости серы устанавливается в постинверсионно-орогенных, раннепермских, субвулканических гранитоид-порфировых дайках дацит-липаритовой формации. Так, в ряду: кварцевые латит-порфиры, гранит-порфиры, кварцевые порфиры, частота встречаемости серы составляет, соответственно, 36, 50, 98 при диапазоне вариации содержаний SO_3 соответственно 0.00-0.46, 0.00-0.46, 0.00-0.54% и среднем содержании 0.07% или 0.028% S, что весьма близко среднему содержанию серы в инверсионных лампрофирах (0.032% S).

Данных анализов на серу по отдельным типам пород тафрогенного, позднепермского комплекса базальтоидов и щелочных базальтоидов рудного поля, к сожалению, недостаточно для достоверной их характеристики по типам пород, однако допускают вынести суждение о распространённости серы по породам комплекса в целом. Так, обращает на себя внимание резкое отличие базальтоидов и щелочных базальтоидов, прежде всего, от инверсионных гранитоидов, повышенным содержанием серы. Действительно, если в инверсионных среднекарбонных и позднекарбонных гранитоидах среднее содержание серы составляет соответственно 0.01 и 0.006%, при кларке для средних пород и гранитов 0.04% [3], то в комплексе базальтоидов и щелочных базальтоидов среднее составляет

0.07%, при кларке основных пород 0.03% [3]. Отсюда следует вывод об отрицательной геохимической специализации на серу комплексов инверсионных гранитоидов и положительной специализации комплекса базальтоидов и щелочных базальтоидов. Среднее содержание серы в последнем превышает такового инверсионных лампрофиров диоритового ряда и раннепермского комплекса субвулканических гранитоид-порфиров более, чем в два раза.

3. Поведение серы в ходе эволюции интрузивных комплексов. Усреднённые данные о содержаниях серы в интрузивных комплексах (табл.1) позволяют представить её график распределения (рис. 1), откуда очевидно некоторое подобие в поведении кривых распределения серы и железа в комплексах интрузивных пород, что свидетельствует, вероятнее всего, о связи серы в породах комплексов с аксессуарным сульфидом железа (пиритом) и железосодержащими сульфидами, – арсенопиритом и халькопиритом, устанавливаемые в искусственных шлихах протоочных проб пород [1]. Проверить это предположение допустимо корреляционным анализом, – расчётом коэффициента корреляции между SO_3 и Fe. Реализованные авторами, по рекомендуемым формулам [9], расчёты с использованием программы Excel, свидетельствуют о непротиворечивости распределения содержаний и SO_3 , и Fe гипотетической нормальной функции (табл. 2), что обеспечивает условие применимости коэффициента линейной корреляции к оценке характера и силы связи между серой и железом. В результате расчётов установлено, что коэффициент корреляции - R_{S-Fe} - положительный и численно равен 0.40, что меньше табулированного критического значения R_{xy} для 5%-ного уровня значимости – $R_{0,05} = 0.42$ [9]. Это свидетельствует об отсутствии связи между серой и железом с вероятностью 0.95. Однако, при 10%-ном уровне значимости, как следует из выражения: $R_{S-Fe} = 0.40 > R_{0,10} = 0.35$, связь статистически значима с вероятностью 0.90. Этот вывод допустимо принять, поскольку находится в согласии с геохимическим сродством серы с халькофильным железом, в противовес всем остальным петрогенным элементам – Si, Al, Mg, Ca, Na, K (Ti, Mn), как сильнейшим литофилам, для которых в обычных условиях земной коры образование сульфидных соединений, в сравнении с железом, не характерно. Кроме пирита, арсенопирита и халькопирита, некоторое количество серы идёт на формирование аксессуарных сфалерита, галенита, киновари и барита, которые установлены в искусственных шлихах протоочных проб [1].

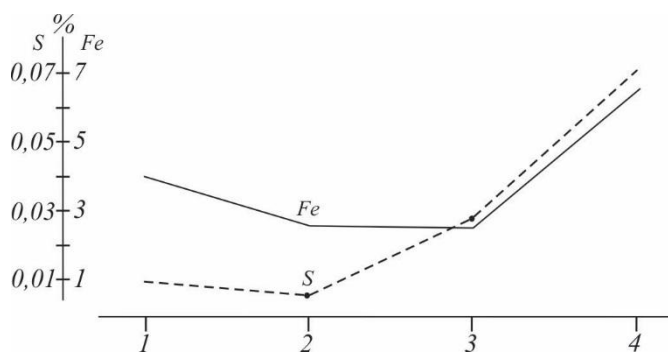


Рис. 1. Характер распределения серы и железа в интрузивных комплексах (1-4 на абсциссе графики): 1 – среднекарбонатный диорит-гранодиоритовый, 2 – позднекарбонатный гранитный, 3 – раннепермский гранитоид-порфировый, 4 – позднепермский базальтоидно-щёлочно-базальтоидный.

Таблица 2

Результаты проверки гипотез о согласованности эмпирического распределения содержаний SO_3 и Fe с теоретической нормальной функцией (законом)

Компоненты	$\bar{X} \pm \lambda_{5\%}$	S	A	$A/\sigma_{(A)}$	E	$E/\sigma_{(E)}$	V, %
SO_3	0.11 ± 0.04	0.10	1.22	2.34	0.29	0.28	0.96
Fe	4.52 ± 0.96	2.29	0.79	1.52	0.45	0.43	0.51

Примечание. $\bar{X} \pm \lambda_{5\%}$ – среднее арифметическое содержание и его точность, определённая с вероятностью 0.95; S – среднее квадратическое (стандартное) отклонение; A – асимметрия распределения, E – эксцесс распределения, $\sigma_{(A)}$ – стандартное отклонение асимметрии, $\sigma_{(E)}$ – стандартное отклонение эксцесса, V – коэффициент вариации содержаний. Количество анализов = 22.

Характер регрессии серы на железо иллюстрируется рисунком 2, откуда очевидно, что коэффициент регрессии R_2 составляет 0.163.

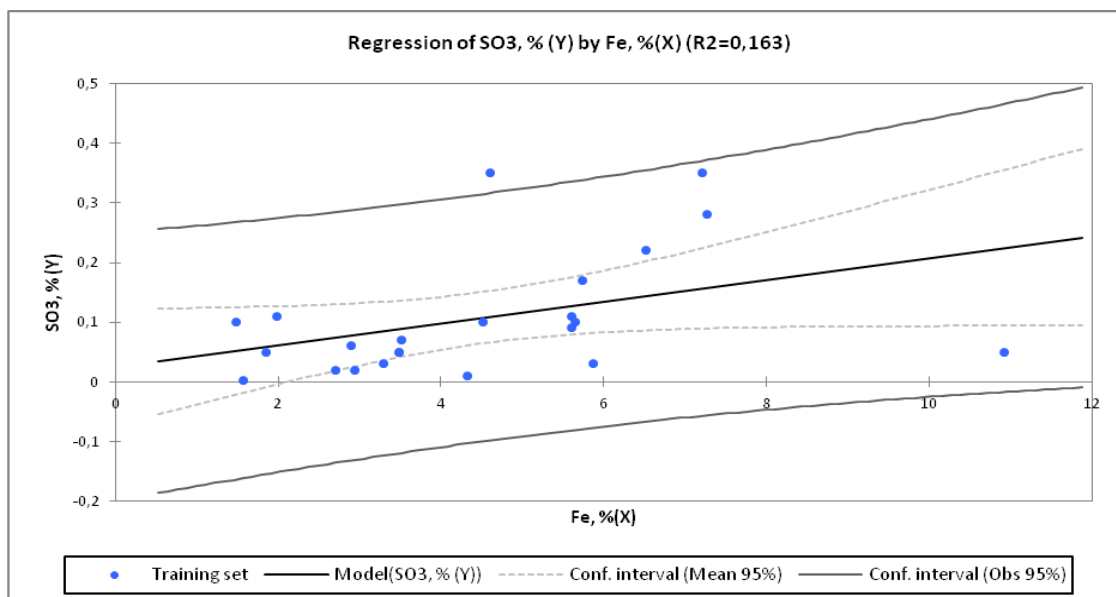


Рис. 2. Схема доверительной области с зависимым от Fe (X) разбросом SO_3 (Y) для линейной регрессии.

Заключение. Изложенные в статье фактические данные приводят к следующим основным выводам:

1. Распределение содержания серы в выборке, сформированной из всех типов интрузивных пород, не противоречит гипотетической нормальной функции;
2. Сера в интрузивных комплексах распределена неравномерно, от 0.006% в инверсионных позднекарбонных гранитах до 0.07% в тафrogenных, позднепермских, базальтоидах и щелочных базальтоидах;
3. Интрузивные комплексы с повышенной щелочностью в среднем содержат больше серы, чем породы нормальной щелочности;

4. Сера образует положительную корреляционную связь с железом, что обусловлено проявлением им халькофильных свойств в противовес другим петрогенным элементам с характерными литофильными свойствами;

5. Инверсионные гранитоиды, в том числе и рудоносные на сульфидно-многометалльное оруденение, бедны серой, возможно в силу её отторжения от материнской магмы в постмагматические рудообразующие растворы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамадзафоев М.М., Бахтдавлатов Р.Д., Давлатшоев Д.А. К характеристике интрузивных образований Кафандарского скарново-рудного поля (Восточный Гиссар) и их рудоносности. – Труды Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2019, вып. 2, с. 53-68.
2. Мамадзафоев М.М. Петролого-геохимические особенности интрузивных комплексов некоторых рудных полей Зеравшано-Гиссарской металлогенической зоны и связанное с ними оруденение. – Душанбе: Ирфон, 2017, 237 с.
3. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твёрдых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975, 280 с.
4. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. – Bull. Geol. Soc. Am., 1961, 72, pp.175-192.
5. Мамадзафоев М.М. Геохимические особенности и рудоносность пермских магматических комплексов Южного Гиссара (Центральный Таджикистан). – Душанбе, 2016, 208 с.
6. Баратов Р.Б., Кухтиков М.М., Мушкин И.В., Брейвинская В.М., Кутенец В.А. Вулканические трубки взрыва и некоторые особенности глубинного строения Южного Гиссара. – Душанбе: Дониш, 1970, 113 с.
7. Мамадзафоев М.М. Субщелочные раннегеосинклинальные и щелочные тафрогенные базальтоидные магматиты Восточного Гиссара и включения ультрабазитов в них. – Душанбе: Ирфон, 2019, 102 с.
8. Хасанов А.Х. Петрология и рудоносность метасоматических комплексов Центрального Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1976, 250 с.
9. Беус А.А., Григорян С.В., Ойзерман М.Т. и др. Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. – М.: Недра, 1965, 120 с.

М.М.МАМАДЗАФОЕВ, Д.А.ДАВЛАТШОЕВ

СУЛЬФУР ДАР КОМПЛЕКСҶОИ ИНТРУЗИВИИ МАЙДОНИ МАЪДАНДОРИ КАФАНДАР (ТОҶИКИСТОНИ МАРКАЗӢ)

*КВ «Экспедицияи ҷустуҷӯию аксардории геологӣ»- и
Саридораи геологӣ назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон*

Дар мақола функсияи тақсимшавӣ, паҳннокӣ ва алоқаи коррелясионии сульфур бо оҳан дар 34 ҷинсҳои интрузивии петрохимикӣ гуногунтип, геологӣ гуногунсол ва тектоникӣ гуногунречаи ҷинсҳои интрузивии Тёнъ-Шони Ҷанубӣ дар мавқеи майдони маъдандори Кафандар бори аввал аз назар гузаронида мешавад.

Калимаҳои калидӣ: сульфур, функцияи тақсимшавӣ, паҳннокӣ дар чинҳои қухӣ, алоқаи коррелясионӣ бо оҳан, майдони маъдандори Кафандар.

M.M.MAMADVAFOEV, D.A.DAVLATSHOEV

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

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

The article is the first to consider the distribution function of sulfur, its abundance and correlation with iron in 34 petrochemical different types, geologically different in age and tectonically different modes of intrusive rocks of the Southern Tien Shan in the position of the Kafandara ore field in Central Tajikistan.

Key words: sulfur, distribution function, abundance in rocks, correlation with iron, Kafandara ore field.

УДК 550.42+551.2(575.3)

А.К.ХОДЖИЕВ, ДЖ.Х.АМИНОВ

**К ГЕОХИМИИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЗИЦИИ
ХОДЖАМАФРАЧСКОГО ПЛАГИОГРАНИТОИДНОГО ИНТРУЗИВА ЮЖ-
НО-ГИССАРСКОЙ ЗОНЫ, ЮЖНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

Национальной Академии наук Таджикистана

Поступила в редакцию 22.01.2021 г.

В статье рассматриваются геохимические особенности интрузивных пород Ходжамафрачского массива, и эти особенности впервые интерпретируются в контексте теории тектоники плит. Проведённый анализ геохимических особенностей свидетельствует об островодужной геодинамической обстановке формирования пород Ходжамафрачского массива.

Ключевые слова: Южный Гиссар, Ходжамафрачский интрузив, геохимия, габбро-плагиогранитоиды, геодинамика.

Ходжамафрачский массив плагиогранитоидов ранне-среднекаменноугольного возраста, расположенный в междуречье Каратаг-Ханака на южном склоне Гиссарского хребта, прорывает осадочно-вулканогенные породы каратагской серии С₁₋₂. Существует общепринятое мнение о том, что в каменноугольное время Южно-Гиссарская зона входила в состав Гиссарского палеоокеанического бассейна и представляла собой островную дугу, в которой господствовал инициальный субдукционный магматизм.

Породы Ходжамафрачского интрузива изучались многими геологами во второй половине 20 века в связи с геолого-съёмочными, поисковыми работами, тематическими и научными исследованиями (Баратов Р.Б., Космынын В.А., Гопфауф Л.М., Лутков В.С. и др.). Предметом пристального внимания указанных авторов являлись геологическое, петрографо-минералогическое и петрохимическое изучение пород ходжамафрачского

Адрес для корреспонденции: Ходжиев Амриддин Кучакович старший научный сотрудник Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана; E-mail. petrology_tj@mail.ru

комплекса в целом, и Ходжамафрачского плагиогранитидного интрузива в частности [7; Гопфауф и др, 1982]. Однако в то время изучение петрографо-геохимических особенностей plutonic пород преследовало целью охарактеризовать и расчленить интрузивные породы Южно-Гиссарской зоны на разные возрастные комплексы и группы.

Геодинамическая позиция интрузивных пород ранее геологами не рассматривалась, и если разрабатывались геодинамические модели, то они базировались на идеях господствующей тогда геосинклинальной теории. В связи с этим, в данной статье нами обобщены и интерпретированы геохимические данные по плагиогранитоидам Ходжамафрачского интрузива, полученные группой геологов под руководством Л.М.Гопфауфа (1982), с целью выявления геодинамической обстановки их формирования с позиции теории тектоники плит.

Южно-Гиссарская зона представляет собой позднепалеозойское субдукционно-коллизонное сооружение с обнаженной длиной около 200 км и шириной в среднем 40 км, входящее в состав Южно-Тянь-Шаньской орогенной области. В англоязычной литературе Южно-Гиссарская зона упоминается как Гиссарский сегмент Южного Тянь-Шаня [1] и считается реликтом Гиссарского палеоокеанического бассейна [2, 3]. Океанические комплексы ныне сильно сближены и совмещены с другими структурными единицами Южного Тянь-Шаня, хотя в прошлом были удалены от них на достаточно значительные расстояния.

В геологическом отношении зона характеризуется широким развитием позднепалеозойских магматических образований, проявленных как в форме вулканических (толеитовая, андезитовая, риолитовая, шошонит-латитовая), так и plutonic гранитоидных серий каменноугольно-пермского возраста, образовавшихся в субдукционно-коллизонной геодинамической обстановке. В зоне также проявились широко пермотриасовые дайки и диатремы трубок взрыва южно-тяньшаньского комплекса.

Самым ранним среди интрузивных серий района исследования по времени проявления считается габбро-плагиогранитоидная серия (C_{1-2}), включающая в своем составе ширкентский габброидный и харангонский плагиогранитоидный комплексы C_2 [4]. Далее, за габбро-плагиогранитоидной островодужной серией, в возрастной последовательности следуют габбро-гранитоидная (C_{2-3} , гиссарский комплекс), гранит-лейкогранитная (C_3-P_1 , южно-варзобский комплекс) и монцонитоидная (P_1 , курук-джавонинский комплекс) серии. Массивы выделенных интрузивных серий являются plutonic комагматами соответствующих орогенных вулканических серий: толеитовой базальтовой (каратагская серия), андезитовой (шамольская свита и её аналоги), риодацит-риолитовой (лючобская серия) и шошонит-латитовой (ангорысайская свита) [5].

В габбро-плагиогранитоидную серию Южно-Гиссарской зоны нами включены интрузивные массивы, сложенные габбро, диоритами, кварцевыми диоритами, тоналитами, плагиогранитами и лейкоплагиогранитами. Самыми крупными по площади интрузивами сериями являются Харангонский и Ходжамафрачский массивы, каждый по 70 км². Изо-

топный возраст габбро-плагиогранитоидов данной серии, определяли разными методами: по соотношению K/Ar в амфиболах и биотитах 310-318 млн. лет [6], а по соотношению U/Th в цирконе тоналитов – плагиогранитов Харангонского массива – 314.7±1.2 млн. лет [1], что в целом указывает на С₂ время формирования серии. Геологический возраст пород серии считается ранне-среднекаменноугольным [5, 8].

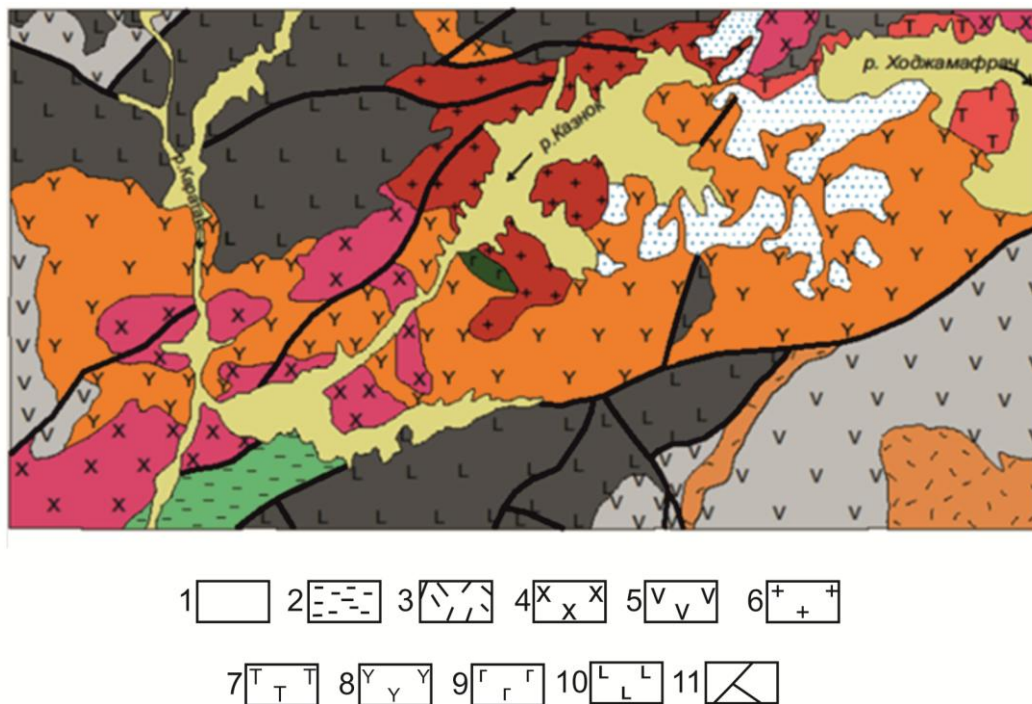


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ходжамафрачского интрузива.

1 – современные отложения русла рек, 2 – мезо-кайнозойские породы, 3 – риолиты лючобской свиты, С₃-Р₁, 4 – гранитоиды гиссарского комплекса, С_{2,3}, 5 – андезитоиды шамольской свиты, С₂, 6-9 – Ходжамафрачский интрузив, С_{1,2}: 6 – плагиограниты IV фазы, 7 – тоналиты III фазы, 8 – диориты и кварцевые диориты II фазы, 9 – габбро первой фазы, 10 – толеитовые базальты каратагской серии, С_{1,2} кг, 11 – разрывные нарушения.

Ходжамафрачский интрузив находится в междуречье Каратаг-Ханака и представляет собой удлиненное в широтном направлении тело. Это один из крупных по площади массивов габбро-плагиогранитоидной серии Южно-Гиссарской зоны. Породы харангонского комплекса формировались в последовательные пять интрузивных фаз внедрения. Первая фаза представлена небольшими телами габбро. Диориты и кварцевые диориты слагают вторую фазу, а тоналиты, плагиограниты и лейкоплагиограниты соответственно с третьей по пятую интрузивные фазы. В Ходжамафрачском интрузиве представлены только породы последних четырех фаз, и основную часть площади массива занимают диориты и кварцевые диориты второй фазы (рис. 1). Имеются сведения о наличии габбро среди базальтов каратагской серии (спилитовая толща намюра, Мушкин, 1969) – в верховьях реки Каратаг, близ устья ручья Пайрон. По материалам И.В.Карпенко и др. (2001), выходы габбро известны также в левобережье реки Тимурдара, но данные по ним отсутствуют.

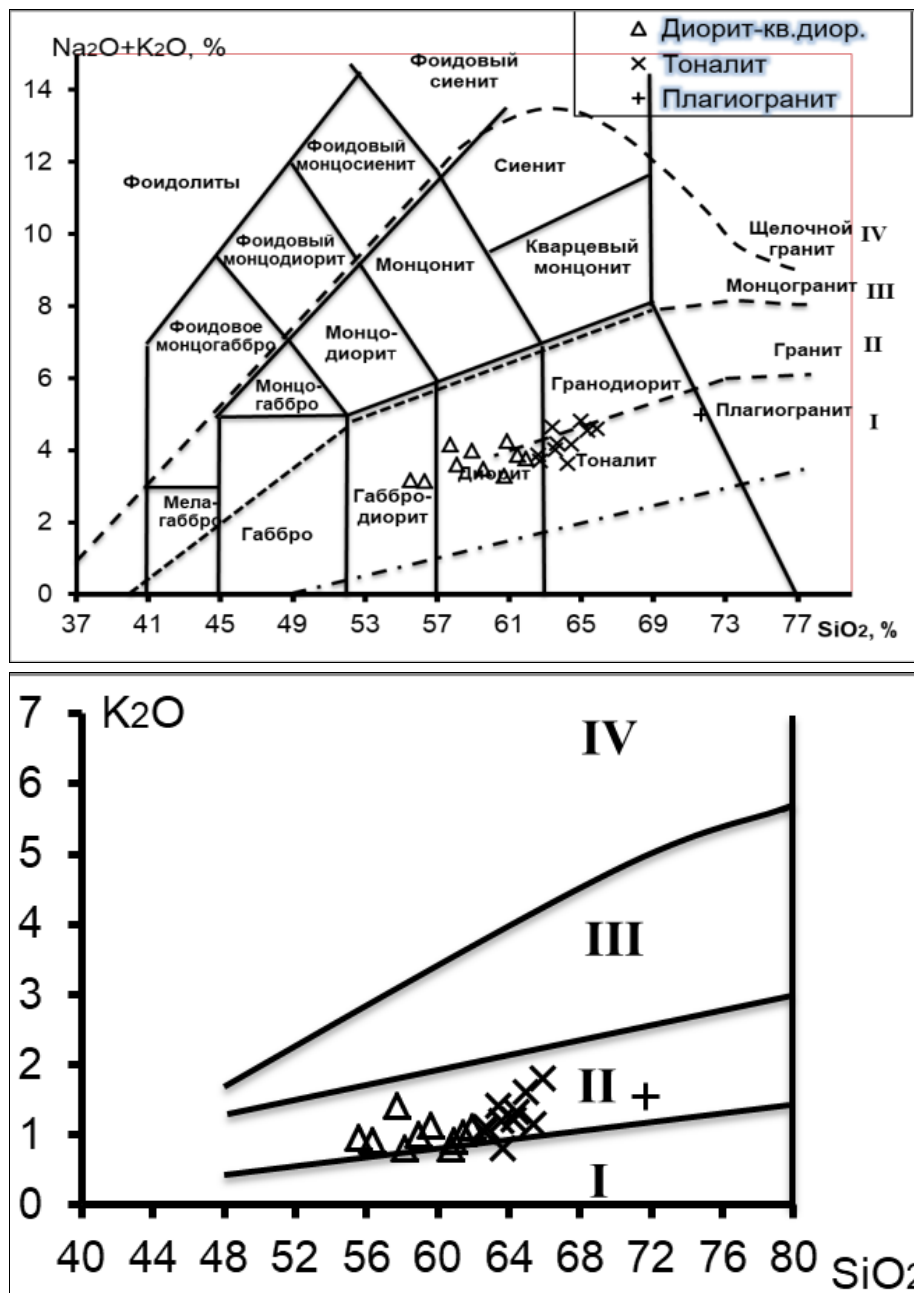


Рис. 2. Положение составов габбро-плагиогранитоидов Ходжамафрахского интрузива на $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ - SiO_2 диаграмме (а) [9,10]. I-III – поля известково-щелочных (I), субщелочных (II) и щелочных (III) магматических пород и на K_2O - SiO_2 диаграмме [11] (б) I-IV – поля низкокальцевой толеитовой (I), умеренно-кальцевой известково-щелочной (II), высококальцевой известково-щелочной (III) и шоссонитовой (IV) серии.

Диориты и кварцевые диориты, являющиеся преобладающими породами Ходжамафрахского интрузива, представляют собой мезократовые средне-равномернозернистые массивные породы, состоящие из андезина (45-65%), роговой обманки (10-25%), биотита (5.0-10%, реже 15%) и кварца (15-25%). Структура диоритов

гипидиоморфнозернистая. **Тоналиты** – это светло-серые, среднезернистые массивные породы. В отличие от кварцевых диоритов, тоналиты содержат меньше амфибола (роговая обманка) и биотита, и в их составе появляется микроклин. **Плагииграниты** – по содержанию темноцветных минералов являются породами биотитового и амфибол-биотитового состава. Акцессорные минералы в плагиигранитоидах характеризуемого массива представлены цирконом, апатитом, сфеном, рудным и др.

Геохимические составы представительных образцов Ходжамафрачского массива приведены в таблице. Содержание SiO_2 в плагиигранитоидах Ходжамафрачского массива варьирует в среднем от 55.51 (диориты II фазы) до 71.64 (плагииграниты IV фазы). Сумма щелочей ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) в интрузивных породах варьирует от 3.16 (II фаза) до 4.99 (IV фаза). При этом одновременно повышается содержание как оксида натрия, так и оксида калия. Значение отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ в породах серии низкое и колеблется в узком диапазоне (0.42-0.44), что соответствует гранитоидам натровой петрохимической серии (рис. 3).

На классификационной TAS – $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ диаграмме (рис. 2а), фигуративные точки составов пород Ходжамафрачского массива попадают в нижнюю часть поля известково-щелочных магматических образований - от габбродиоритов до низкощелочных гранитов – плагииоклазовых гранитов. Такое положение пород на диаграмме TAS свидетельствует о том, что породы являются продуктами эволюции низкокалиевой магматической системы и формируют непрерывный дифференцированный ряд. На диаграмме $\text{K}_2\text{O}\text{-SiO}_2$ (рис. 2б) породы характеризуемого интрузива занимают своеобразное положение и соответствуют промежуточной переходной области между полями толеитовой и низкокалиевой известково-щелочной серий.

Геохимические особенности плагиигранитоидов Ходжамафрачского интрузива указывают на их формирование в процессе кристаллизационной дифференциации. Так, в процессе кристаллизационной дифференциации от диоритов (габбро-диоритов) к плагиигранитам (рис. 3) с повышением содержания SiO_2 в породах закономерно увеличиваются количество Na_2O , K_2O и их соотношение ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ – 0.32-0.52), а концентрация TiO_2 , Al_2O_3 , ΣFeO , MnO , а также CaO и MgO , наоборот, уменьшается. Такое поведение петрогенных соединений на корреляционных диаграммах свидетельствует о важной роли Mg-Fe породообразующих минералов – пироксена, амфибола, а также плагииоклаза основного состава в процессе кристаллизационной дифференциации магматического расплава в интрузивной камере.

Таблица

Геохимический состав представительных образцов пород Ходжамафрачского интрузива, по Гопфауф и др., 1982.

№ обр.	A 4368	C 2205	53/58	7755	C93	7758	7757	7756	6436	6435	M 4582	2356/4
элементы	<i>Диорит</i>	<i>Диорит</i>	<i>Q-Диорит</i>	<i>Q-Диорит</i>	<i>Q-Диорит</i>	<i>Q-Диорит</i>	<i>Тоналит</i>	<i>Тоналит</i>	<i>Тоналит</i>	<i>Тоналит</i>	<i>Тоналит</i>	<i>Плагио-гранит</i>
SiO ₂	55.51	56.32	57.7	59.58	60.73	62.58	63.56	64.21	64.45	64.95	65.36	71.64
TiO ₂	0.67	0.70	0.63	0.48	0.58	0.56	0.52	0.53	0.47	0.58	0.50	0.40
Al ₂ O ₃	17.43	16.76	16.5	15.64	16.53	15.36	15.42	15.35	14.74	15.28	14.93	13.14
Fe ₂ O ₃	2.16	2.82	1.32	2.34	1.76	2.87	2.62	4.82	1.61	1.47	0.75	1.78
FeO	6.56	6.67	6.7	5.29	5.62	5.03	4.62	2.87	4.21	4.86	4.32	2.41
MnO	0.19	0.16	0.16	0.62	0.15	0.15	0.14	0.14	0.08	0.08	0.12	0.05
MgO	4.16	3.81	3.78	3.36	3.6	2.35	2.21	2.26	1.50	1.70	1.75	0.94
CaO	8.54	7.51	7.15	7.05	6.47	5.97	5.67	5.12	5.63	5.53	5.46	2.93
Na ₂ O	2.21	2.23	2.75	2.36	2.50	2.82	2.82	2.42	2.84	3.20	3.39	3.45
K ₂ O	0.95	0.92	1.42	1.13	0.80	1.05	1.20	1.22	1.32	1.60	1.15	1.54
P ₂ O ₅	0.19	0.28	0.12	0.06	0.15	0.08	0.07	0.08	0.04	0.11	0.1	0.05
П.п.п	0.93	1.41	1.32	2.15	1.16	1.44	1.55	2.14	1.69	0.82	1.07	1.58
Сумма	99.50	99.59	99.55	100.06	100.05	100.26	100.40	101.16	98.58	100.18	98.90	99.91
K ₂ O+ Na ₂ O	3.16	3.15	4.17	3.49	3.30	3.87	4.02	3.64	4.16	4.80	4.54	4.99
K ₂ O/ Na ₂ O	0.43	0.41	0.52	0.48	0.32	0.37	0.42	0.50	0.46	0.50	0.34	0.45
Rb	24	26	-	38	33	34	44	44	29	32	-	-
Sr	189	171	-	156	153	165	164	167	134	138	-	-
Zr	46	82	-	67	121	55	94	54	83	88	-	-
U	0.8	0.8	-	0.4	1.2	0.5	0.6	0.4	0.8	0.9	-	-
Th	0.5	1.5	-	5.0	2.0	2.0	5.0	5.0	4.0	2.0	-	-
Mo	2.0	1.5	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5	-	-
Nb	2.0	3.0	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5	2.0	-	-
Y	17	30	-	19	33	16	18	19	24	21	-	-
Pb	3.0	14	-	3.0	8.0	3.0	7.0	2.0	2.0	3.0	-	-

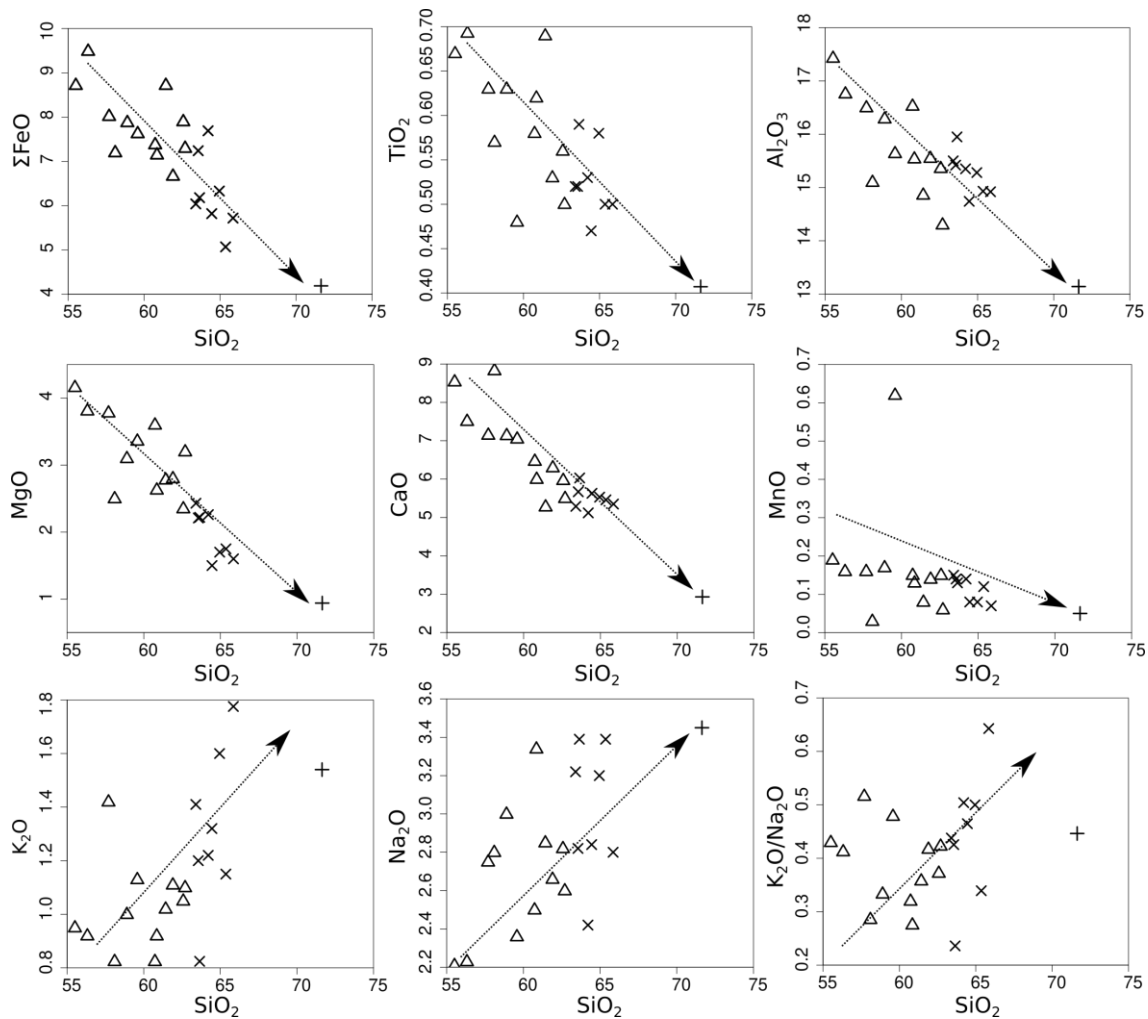


Рис. 3. Корреляционные диаграммы основных петрогенных соединений и соотношения K_2O/Na_2O с кремнезёмом (SiO_2) для интрузивных пород Ходжамафраичского массива. Стрелки указывают на направления тренда корреляции. Условные обозначения см. на рис. 2.

Содержание редких и рассеянных элементов в магматических породах часто используется для выявления источника магматического расплава и геодинамической обстановки формирования пород [12, 13]. Однако химический состав гранитоидов по сравнению с вулканическими породами, например, базальтами подвергается изменению в процессе эволюции магмы. Например, контаминация корового материала, кристаллизационная и ликвационная дифференциации приводят к изменению изначального химического состава пород, что делает эти породы менее эффективными геодинамическими индикаторами. С другой стороны, интрузивные породы менее подвержены химическому замещению, чем вулканические породы и поэтому мобильные и не мобильные элементы [12] могут быть использованы для дискриминации гранитоидов по геодинамической позиции.

Бинарные дискриминационные диаграммы, предложенные британским геологом Пирсом и его коллегами [12], используются исследователями для разделения гранитоидов по геодинамическим обстановкам их формирования. Эти геодинамические диаграммы основаны на использовании двух типов групп элементов – мобильных и не мобильных. Например, мобильный элемент Rb и не мобильный элемент Y. В связи с тем, что мобильные элементы, при низких степенях частичного плавления мантии, первыми переходят в магматический расплав, а их содержание в мантии намного меньше, чем в земной коре. Соответственно в тех магматических породах, которые сформировались при коллизии континентальных блоков или же во внутриплитной геодинамической обстановке, содержание мобильных элементов (например Rb) больше, чем в породах образовавшихся в других обстановках. Потому при коллизионном и внутриплитном магматизме в формировании магматического расплава значительное участие принимает материал корового субстрата, обогащенного мобильными подвижными элементами. В связи с этим, диаграммы, основанные на различии свойств мобильных и немобильных элементов, являются весьма эффективными для дискриминации гранитоидов, образовавшихся в разных геодинамических режимах.

Как видно на рис. 4а, фигуративные точки пород Ходжамафрадчского интрузива попадают в поле гранитоидов вулканических дуг и синколлизионных гранитов. Дальнейшая дискриминация пород, но с привлечением ниобия – ещё одного высокозарядного немобильного элемента, показывает, что породы не являются синколлизионными образованиями, потому что их фигуративные точки попадают только в поле гранитоидов вулканических дуг (VAG).

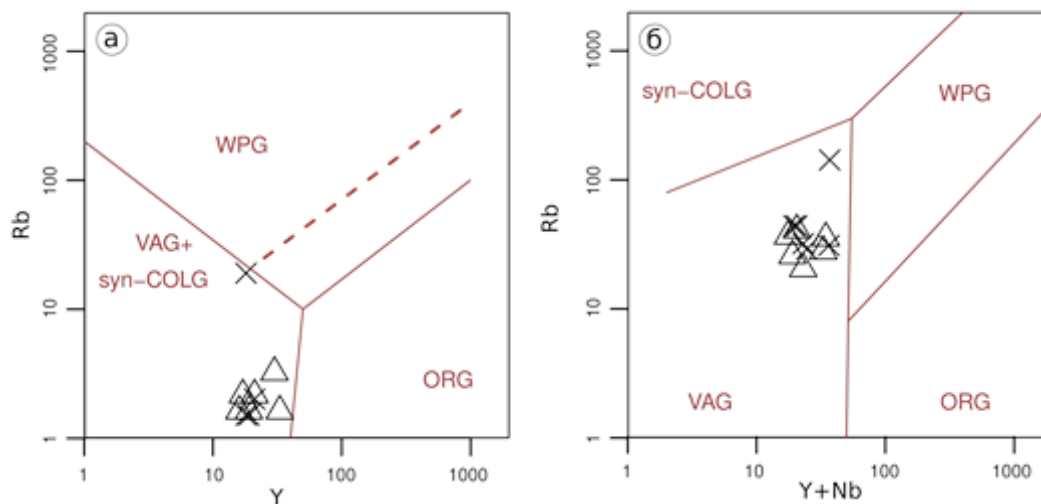


Рис. 4. Дискриминационные диаграммы интрузивных пород Ходжамафрадчского массива [12]. ORG — Гранитоиды COX; syn-COLG — синколлизионные гранитоиды; VAG — гранитоиды вулканических дуг (субдукционные); WPG — внутриплитные гранитоиды. Условные обозначения см. в рис 2.

Исходя из того, что породы Ходжамафрачского интрузива представляют собой непрерывный дифференцированный ряд от габбро-диоритов до плагиогранитов, можно предположить, что они формировались из мантийного магматического расплава основного состава. В образовании плагиогранитоидов большую роль сыграли процессы кристаллизационной дифференциации магматического расплава. Дискриминационные диаграммы, основанные на поведении мобильных и немобильных элементов в геохимическом процессе, при формировании и эволюции магматического расплава, свидетельствуют о том, что породы Ходжамафрачского массива относятся к образованиям субдукционного магматизма.

Таким образом, анализ геохимических особенностей интрузивных пород Ходжамафрачского массива и литературные данные по геологическому развитию Южно-Гиссарской зоны позволяют нам сделать вывод о том, что характеризуемые плагиогранитоиды формировались в S_{1-2} в островодужной геодинамической обстановке и являются продуктами субдукционного магматизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kopopelko D., Seltmann R., Mamadjanov Yu., Romer R.L., Rojas-Agramonte Y., Jeffries T., Fidaev D., Niyozov A. 2016. A geotraverse across two paleo-subduction zones in Tien Shan, Tajikistan. *Gondwana Research*, 2017, v.17, pp.110-130.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М. И., Натапов Л. М. Тектоника литосферных плит территории СССР. – М.: Недра, 1990, т. 1, 327 с.
3. Буртман В. С. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое. *Геотектоника*, 2015, № 4, с. 67-85.
4. Баратов Р.Б., Гопфауф Л.М., Лутков В.С. О гетерогенности Гиссарского гранитоидного плутона (Южный Тянь-Шань). – Докл. АН СССР, 1983, т. 268, № 4, с. 956-959.
5. Баратов Р.Б., Ходжиев А.К., Ниёзов А.С., Мамаджанов Ю. Петрогеохимические особенности и рудоносность островодужной габбро-плагиогранитоидной серии Южно-Гиссарской зоны Южного Тянь-Шаня. *Современные вопросы региональной геодинамики и минерагении Памиро-Тянь-Шаня*. – Душанбе: Дониш, 2012, с.149-164.
6. Мельниченко А.К. Тоналит – плагиогранитовая формация Южного Гиссара (Южный Тянь-Шань). – Тр. Института геологии АН РТ, нов. сер. вып. 2. – Душанбе, 2003, с. 116-126.
7. Баратов Р.Б. Интрузивные комплексы южного склона Гиссарского хребта и связанное с ними оруденение. – Душанбе: Дониш, 1966, 335 с.
8. Карта магматических комплексов Узбекской ССР. Коллектив. – Ташкент: Изд-во «ФАН» Уз.ССР, 1984, 345 с.
9. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. – М.: Недра, 1997, с. 248.
10. Классификация и номенклатура магматических горных пород. – М.: Недра, 1981, 160 с.
11. Morrison G.W. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rocks association. – *Lithos*, 1980, v.13, pp. 97-108.
12. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. – *Journal of Petrology*, 1984, v. 25, pp. 956-983.
13. Aminov J., Ding L., Mamadjonov Yu., Dupont-Nivet G., Aminov J., Zhang L.-Y., Yoqubov S., Aminov J., Abdulov S. Pamir Plateau formation and crustal thickening before the India-Asia colli-

sion inferred from dating and petrology of the 110–92 Ma Southern Pamir volcanic sequence. *Gondwana Research*, 2017, v. 51, pp. 310–326.

А.К.ҲОҶИЕВ, Ҷ.Ҳ.АМИНОВ

**ОИД БА ГЕОХИМИЯ ВА МАВҶЕИ ГЕОДИНАМИКИИ ИНТРУЗИВИ
ПЛАГИОГРАНИТОИДИИ ҲОҶАМАФРАҶИ МИНТАҚАИ ҲИСОРИ
ҶАНУБӢ, ТИЁН-ШОНИ ҶАНУБӢ**

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

Дар ин мақола хусусиятҳои геохимии чинсҳои интрузивии массиви Ҳоҷамафраҷ мавриди баррасӣ қарор гирифта, ин хусусиятҳо бори нахуст аз ҷиҳати назарияи тектоникаи тахтасангҳо интерпретатсия гаштаанд. Таҳлили иҷрогашта аз он шаҳодат медиҳад, ки чинсҳои интрузивии массиви Ҳоҷамафраҷ дар шароити геодинамикии камони вулкони қазирай ба вучуд омадаанд.

Калимаҳои калидӣ: Ҳисори Ҷанубӣ, интрузиви Ҳоҷамафраҷ, геохимия, габбро-плагиогранитоидҳо, геодинамика.

A.K.KHODZHIEV, J.H.AMINOV

**TO GEOCHEMISTRY AND GEODYNAMIC POSITION OF THE
KHOJAMAFRACH PLAGIOGRANITOID INTRUSIVE OF THE SOUTH
GISSAR ZONE, SOUTH TIEN-SHAN**

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

In this article the geochemical features of the Khojamafrach pluton are analyzed and for the first time interpreted in the context of the tectonic plates theory. The analysis of the geochemical features of the rocks suggests that the intrusive rocks of the Khojamafrach pluton formed in an island arc geodynamic conditions.

Key words: South Gissar, Khojamafrach intrusion, geochemistry, gabbro-plagiogranitoids, geodynamics.

УДК 621.382

Х.С.КАРИМОВ, ТАРИК ЧАНИ*, БАТУЛ ХАЙДЕР*, А.С.КОДИРОВ, ДЖ.Ш.РАХМАТОВ,
Х.М.АХМЕДОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ И КОМПОЗИТА С ОРАНЖЕВЫМ КРАСИТЕЛЕМ

Центр инновационного развития науки и новых технологий

Национальной академии наук Таджикистана,

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

Поступила в редакцию 27.04.2021 г.

Изготовлены и исследованы электрические свойства углеродных нанотрубок (УНТ), композита с оранжевым красителем и многофункциональных гибких датчиков давления, температуры и влажности. Датчики изготовлены путем нанесения на тканевую подложку полосы порошка оранжевого красителя (ОК) и с двух сторон порошка УНТ технологией втирания. Исследованы сопротивление и импедансы образцов датчиков на постоянном токе вплоть до 200 кГц под воздействием: давления, температуры и влажности. Показано, что в композите под воздействием давления до 73.2 гс/см² начальное сопротивление и импеданс (при 200 кГц) соответственно снижаются в 3 раза (контактное сопротивление) и в 5 раз (объемное сопротивление), а в диапазоне температур (30-86) °С при увеличении температуры, сопротивление и импеданс уменьшаются. Установлено, что температурный коэффициент сопротивления и импеданс находятся в диапазоне (1.27-1.77) %/С. Обнаружено, что в диапазоне влажности (50-91)% сопротивление и импеданс (при 200 кГц) снижаются с 1.08 до 1.43 раза.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, оранжевый краситель, сопротивление, импеданс, давление, температура, влажность, датчик, композит, температурный коэффициент сопротивления.

Исследование свойств многофункциональных датчиков, а именно датчиков давления, перемещения, температуры и влажности, важны в многочисленных областях для оценки различных параметров. Описан резистивный датчик давления на основе графена с

Адрес для корреспонденции: Ахмедов Хаким Мунавварович. 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 33 а, Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ. E-mail: ahmedovhakim48@gmail.com

записью, обладающий высокой чувствительностью в широком диапазоне давлений [1]. В работах [2-5] представлена информация о лазерных датчиках перемещения, расстояния и положения, сенсорах для зондовой микроскопии и силовой спектроскопии, математическом моделировании оптического волокна с модулированным по интенсивности изогнутым концом, а также датчик перемещения для промышленной автоматизации. В работе [6] представлены результаты исследований влияния температуры, влажности и давления на электрические свойства ячеек на основе органических полупроводников Poly[4,8-bis(5-(2-ethylhexyl) thiophen-2-yl) benzo[1,2-b;4,5-b'] dithiophene-2,6-diyl-alt-(4-(2-ethylhexyl)-3-fluorothieno[3,4-b]thiophene-)-2-carboxylate-2-6-diyl)] (PTB7-Th), 3'-Н-cycloproпа[1,9][5,6]fullerene-C60-Ih-3'-butanoic acid 3'-phenyl methyl ester (PC61BM) и графенового композита. Многофункциональные датчики давления, смещения и градиента температуры на основе углеродных нанотрубок, графенового порошка и оранжевого красителя описаны в работе [8].

Целью настоящей работы является изготовление и исследование электрических свойств многофункциональных гибких датчиков давления, температуры и влажности, на основе углеродной нанотрубки и композита с оранжевым красителем.

На рис. 1 показана молекулярная структура оранжевого красителя [9], который является типичным органическим полупроводником. Исследования дифракции рентгеновских лучей (ДРЛ) были выполнены для характеристики структурного расположения УНТ, ОК и композита на основе ткани (рис 2). Рентгеновская дифракция образцов проводилась на рентгеновской дифракционной системе Philips PW1830 в режиме сканирования Брэгга-Брентано (θ - 2θ) с использованием источника излучения Cu-K α при комнатной температуре [10]. Каждый образец анализировали три раза для получения воспроизводимых результатов.

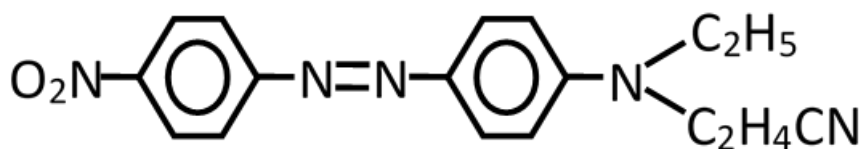


Рис. 1. Молекулярная структура оранжевого красителя.

Картина ДРЛ хлопчатобумажной ткани показывает заметные высокоинтенсивные дифракционные пики Брэгга при 2θ 16.42°, 23.17°, 34.7°, 38.28° и 44.24° соответственно. Пики при 2θ 16.42° и 23.17° полностью соответствуют стандартной базе данных ДРЛ (PDF 00-050-2242) аммиачной целлюлозы и литературным данным. Другие пики при 2θ 34.7°, 38.28° и 44.24° полностью соответствуют стандартной базе данных ДРЛ (PDF 00-033-0289) нативной целлюлозы.

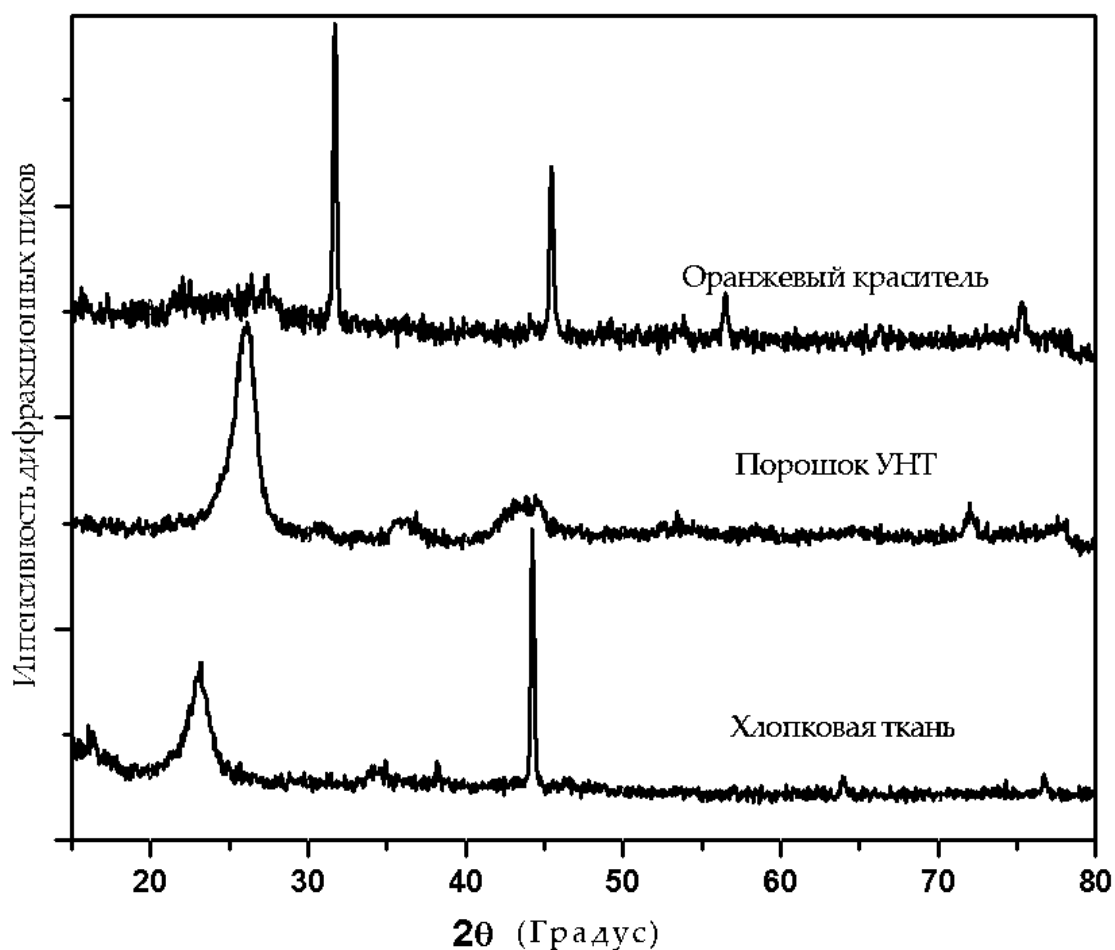


Рис. 2. Рентгенограммы хлопковой ткани, порошка УНТ и оранжевого красителя.

На дифрактограмме порошка УНТ широкий и главный пик УНТ наблюдался приблизительно при 26.2° (002), что приписывается гексагональной структуре графита, имеющей высокую электропроводность. Этот пик соответствует стандартным данным дифракции рентгеновских лучей (код ICSD: 031170). Один дополнительный пик также наблюдается при 38.4° в результате наличия другой функциональной группы. Широкий пик УНТ, согласующийся с другими исследованиями, также наблюдался при 2θ 44.3° . Пики диметилглиоксима ($C_4H_8N_2O_2$) соединения ОК сопоставлены со стандартной базой данных ДРЛ (PDF № 3-435) и согласуются с другими исследованиями [11].

Размеры подложки составляли: длина, ширина и толщина $30: 10: 0.6 \text{ мм}^3$. На рис. 3а показана принципиальная схема осаждения пленок УНТ и ОК на поверхность мягкой тканевой подложки методом втирания [12]. Ширина и длина пленки ОК были равны 1 мм и 10 мм. Ширина и длина двух слоев УНТ составляли 10 и 14.5 мм^2 . Все образцы были изготовлены при давлении 40 г/см^2 .

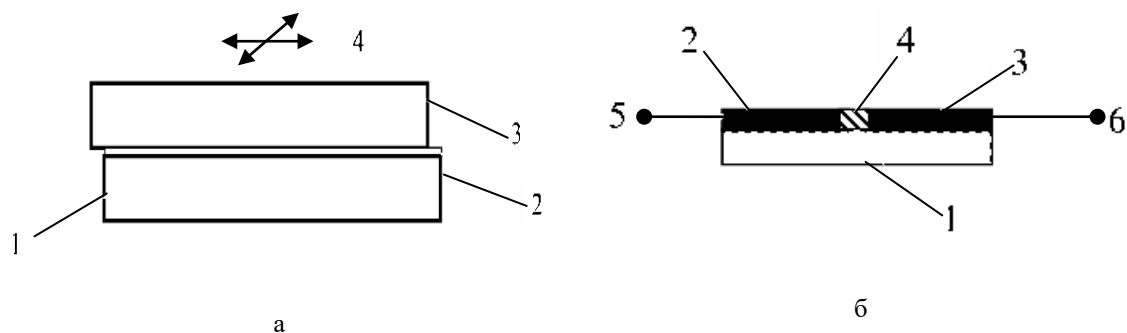


Рис. 3. Принципиальная схема а) нанесения пленок УНТ, ОК и УНТ на поверхность тканевой подложки по технологии втирания: тканевая подложка (1), nano порошки УНТ, ОК и УНТ (2), резиновый уплотнитель (3), движение уплотнителя (4); б) многофункционального датчика на основе УНТ, ОК и тканевой подложки, изготовленного методом втирания, вид сбоку: тканевая подложка (1), УНТ (2 и 3) и ОК (4), электроды (5 и 6).

На рис. 3б показана принципиальная схема гибкого многофункционального датчика на основе ткани, углеродной нанотрубки и композита оранжевого красителя (УНТ - ОК- УНТ).

Для измерения сопротивления и импеданса в диапазоне частот 0.1-200 кГц использовался цифровой измеритель LCR MT 4090. Для экспериментов, связанных с измерением смещения, использовался микрометрический механизм. При измерении давления использовалось простое лабораторное оборудование. Влияние температуры и влажности исследовалось с использованием специальной камеры. Температура и влажность измерялись на приборе ТЕСРЕL 322.

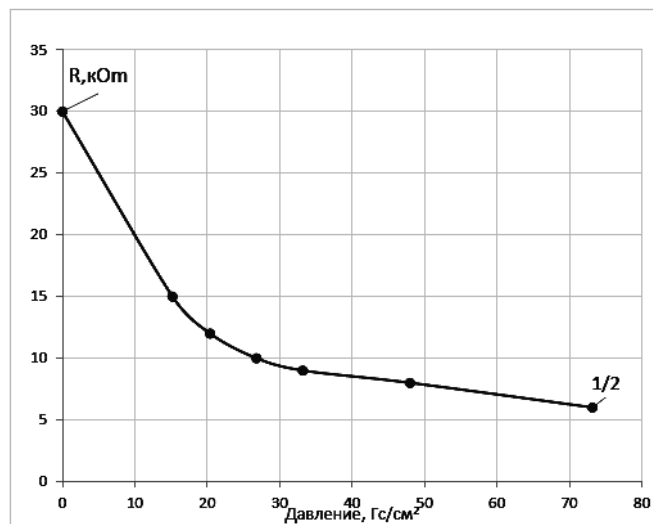


Рис. 4. Зависимость сопротивления гибкого датчика на основе углеродной нанотрубки и композита с оранжевым красителем от давления.

На рис. 4 представлены зависимость сопротивления от давления в случаях, когда одноосное давление прикладывалось перпендикулярно поверхностным электродам (контактам) и центру образца. Видно, что, с увеличением давления как контактное, так и объемное сопротивления уменьшаются. Изменение сопротивления образца из-за давления, приложенного в центре образца, выше, чем в случае приложения давления через контакты образца. Это легко понять, если рассматривать эквивалентную схему образца как последовательно соединенное объемное сопротивление с двумя подключенными с двух сторон контактными сопротивлениями. Понятно, что, если объемное сопротивление больше контактных сопротивлений, то изменение объемного сопротивления при одноосным давлением сильнее, чем контактных сопротивлений. Физически сопротивление может быть уменьшено, во-первых, под действием давления, в первую очередь, за счет уменьшения «контактных» сопротивлений между частицами в том числе УНТ - УНТ, ОК-ОК или УНТ - ОК, во-вторых, из-за уменьшения внутреннего или объемного сопротивления частиц.

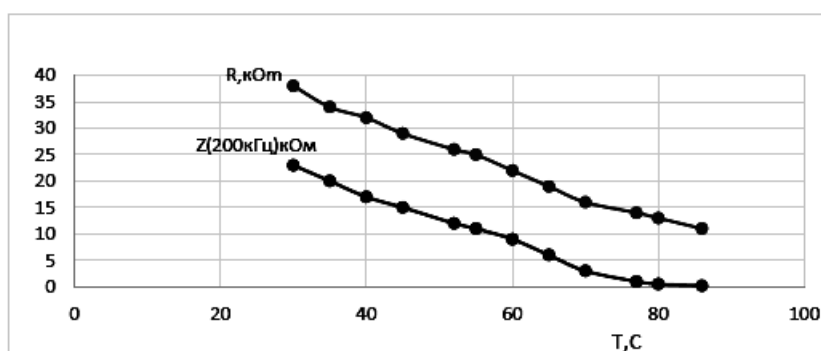


Рис. 5. Зависимость сопротивления и импеданса от температуры.

На рис. 5 показаны зависимости сопротивления и импеданса от температуры. Видно, что с увеличением температуры сопротивление и импедансы соответственно уменьшаются. Это может быть связано, прежде всего, с наличием и свойствами органического полупроводникового оранжевого красителя. Наклон кривых, представленных на рис. 5, можно охарактеризовать температурным коэффициентом сопротивления (ТКС):

$$\text{ТКС} = dR / R \cdot 100 / dT \text{ (\%/C)} \quad (1)$$

и то же самое для импеданса:

$$\text{ТКImp} = dZ / Z \cdot 100 / dT \text{ (\%/C)} \quad (2)$$

Значения ТКС были равны (-1.27) (%/C) для сопротивления, (-1.32) (%/C) для импеданса при $f = 0.1$ кГц, (-1.44) (%/C) при $f = 1$ кГц, (-1.6) (%/C) при 10 кГц, (-1.71) (%/C) при 100 кГц и (-1.77) (%/C) при 200 кГц.

Также были исследованы зависимость сопротивления и импеданса от относительной влажности (RV%). Было обнаружено, что с увеличением влажности сопротивление и импедансы на частоте 200 кГц уменьшались. Следующие коэффициенты (коэффициент

сопротивления влажности и коэффициент влажности импеданса) могут характеризовать изменения сопротивления от влажности:

$$КСВ = dR / dRH \cdot R (\%/RB) \quad (3)$$

и то же самое для импеданса:

$$КСImp = dZ / dRH \cdot Z (\%/RB) \quad (4)$$

Было рассчитано, что $КСВ = (-0.18\%) / RB\%$, $КСImp (100 \text{ Гц}) = (-0.31\%) / RB\%$, $КСImp (1 \text{ кГц}) = (-0.44\%) / RB\%$, $КСImp (10 \text{ кГц}) = (-0.51\%) / RB\%$, $КСImp (100 \text{ кГц}) = (-0.69\%) / RB\%$ и $КСImp (200 \text{ кГц}) = (-0.73\%) / RB\%$. Видно, что с увеличением частоты $КСImp$ увеличивается. Физически это можно объяснить увеличением емкостной составляющей из-за увеличения диэлектрической проницаемости сенсоров в связи с увеличением концентрации молекул воды в образцах.

Таким образом исследованы электрические свойства гибкого датчика на основе углеродной нанотрубки и композита с оранжевым красителем, полученного технологией втирания. Показано, что под действием давления до 73.25 гс/см^2 начальное сопротивление и импеданс датчиков при 200 кГц снижаются в три раза (контактное сопротивление) и в пять раз (объемное сопротивление). Повышение температуры от 30 до 86°C приводит к уменьшению сопротивления и импеданса датчиков. Установлено, что увеличение влажности от 50 до 91% приводит к снижению сопротивления и импеданса датчиков с 1.08 до 1.43 раза. Результаты исследования могут быть применены для понятия физических свойств композита на основе УНТ и органических полупроводников, в частности оранжевого красителя в электронных устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parikh D., Thibodeaux D., and Condon B. X-ray crystallinity of bleached and crosslinked cottons. – *Textile Research Journal*, 2007, 77(8), pp. 612-616.
2. Lu Y., et al. Hierarchical, porous CuS microspheres integrated with carbon nanotubes for high-performance supercapacitors. – *Scientific Reports*, 2015, 5, p. 16584.
3. Degertekin F.L., Onaran A.G. Sensors for probe microscopy and force spectroscopy. – US Patent, 2009, 7.637.149.
4. Puangmali P., et.al. Mathematical modeling of intensity modulated bent-tip optical fibre. – *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 2010, v.59, Iss.2, pp. 283-291.
5. Fericean S., Droxler R. Displacement Sensor for industrial automation. – *IEEE Sensors journal*, 2007, v.7, Iss. 11, pp. 1538-1545.
6. Karimov Kh. S., Fatima N., et.al. Flexible thermoelectric cells fabricated by rubbing-in technology with rubber-carbon nanotubes/Graphene composites. – *Materials Science for Energy Technologies*, 2019, 2(3), pp. 551-555.
7. Chani M.T., Karimov Kh.S., Asiri A.M. Carbon nanotubes and graphene powder based multifunctional pressure, displacement and gradient temperature sensors. – *Semiconductors*, 2020, v.54, No.1, pp. 85-90.
8. Ahmed Amin, Shoriful Islam Md. Importance of high order high pass and low pass filters. – *World Applied Sciences Journal*, 2016, 34 (9), pp. 1261-1268.

9. Chani M.Tariq, Karimov Kh.S., Akhmedov Kh.M., et.al. Humidity sensor based on orange dye and graphene solid electrolyte cells, – Russian Journal of Electrochemistry, 2019, v. 55, No.12, pp. 1577-1582.
10. Imran Murtaza, Karimov Kh.S., et.al. Transparent and Semitransparent Electrochemical Cells based on Aqueous Solutions of NaCl and Orange dye. – International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology (IJASEAT)-IJASEAT, 2019, v.7, Issue-1, Spl.Iss-2, pp. 1620-1625.
11. Karimov, K.S., et al. Phase microstructural analysis, and humidity-sensing properties of orange dye and cuprous-oxide composite. – Applied Physics A, 2017, 123(12), pp. 740-745.
12. Torquato S. Random heterogeneous materials in interdisciplinary. – Applied Materials, 2002, v.16, Springer, New York.

Ҳ.С.КАРИМОВ, ТАРИК ЧАНИ*, БАТУЛ ХАЙДЕР*, А.С.ҚОДИРОВ, Ҷ.Ш.РАҲМАТОВ,
Ҳ.М.АХМЕДОВ

ХОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ ҚОСИДАК (ДАТЧИК)-И ЧАНДИР ДАР АСОСИ НАНОНАЙЧАИ КАРБОНӢ ВА КОМПОЗИТ БО РАНГКУНАНДАИ ЗАРД

Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

**Институтуи илмҳои амалӣ ва технологияҳои нави*

ба номи Фулом Исҳоқ Хон, Покистон

Дар мақола хосиятҳои электрикии қосидак (датчик)-и чандир (қайиш) дар асоси нанонайчаи карбонӣ ва композит бо рангкунандаи зард, ки бо технологияи молиш ба даст омадааст, таҳқиқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо таъсири фишор то 73.25 гс/см² муқовимати ибтидоӣ ва импеданси қосидакҳо дар 200 кГс мутаносибан се маротиба (муқовимати тамосӣ) ва панҷ маротиба (муқовимати ҳаҷмӣ) кам мешаванд. Баландшавии ҳарорат аз 30 то 86°C боиси камшавии муқовимат ва импеданси қосидакҳо мегардад. Муқаррар карда шудааст, ки афзоиши намнокӣ аз 50 то 91% ба коҳишёбии муқовимат ва импеданси қосидакҳо аз 1,08 то 1,43 маротиба оварда мерасонад. Натиҷаҳои таҳқиқотро дар таҷҳизҳои электронӣ барои паст кардани хосиятҳои физикии композит дар асоси нанонайчаҳои карбон ва нимноқилҳои органикӣ, аз ҷумла рангкунандаи зард татбиқ кардан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: нанонайчаҳои карбон, рангкунандаи зард, муқовимат, импеданс, фишор, ҳарорат, намнокӣ, датчик, композит, коэффициентҳои ҳароратии муқовимат.

Kh.S.KARIMOV, M.TARIQ CHANI*, BATOOL HAIDER*, A.C.KODIROV,
J.Sh.RAHMATOV, Kh.M.AKHMEDOV

ELECTRIC PROPERTIES OF THE FLEXIBLE SENSOR BASED ON CARBON NANO TUBE AND ORANGE DYE COMPOSITE

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

**Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences and Technology, Pakistan*

The article investigates the electrical properties of a flexible sensor based on a carbon nanotube and a composite with an orange dye obtained by rubbing in. It was shown that under the action of pressure up to 73.25 gs/cm^2 , the initial resistance and impedance of the sensors at 200 kHz decreased three times (contact resistance) and five times (volume resistance). An increase in temperature from 30 to 86°C leads to a decrease in the resistance and impedance of the sensors. It was found that an increase in humidity from 50 to 91% leads to a decrease in the resistance and impedance of the sensors from 1.08 to 1.43 times. The research results can be used to lower the physical properties of a composite based on CNTs and organic semiconductors, in particular, an orange dye in electronic devices.

Key words: carbon nanotubes, orange dye composite, resistance, impedance, pressure, temperature, humidity, sensor, composite, temperature coefficient of resistance.

УДК 624.04

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

**О МЕТОДАХ РАСЧЁТА НЕСУЩИХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ
ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ**

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ,

**Таджикский технический Университет им. акад. М.С.Осими*

Поступила в редакцию 18.01.2021г.

Совершенствование методов расчёта является одной из основных задач строительной механики. Приведён сравнительный анализ численных методов расчёта несущих конструкций зданий. Изложены результаты сопоставительного анализа методов сосредоточенных деформаций и конечных элементов.

Ключевые слова: конструктивная схема, метод сосредоточенных деформаций, метод конечных элементов, дискретная модель, напряжённо-деформированное состояние, матрица жёсткости, сжатия-растяжения, податливость реальных связей, жёсткостная характеристика.

Конструктивная схема многоэтажного здания образуется колоннами, ригелями и вертикальными диафрагмами жесткости, связанными между собой горизонтальными дисками перекрытий, что соответствует рамно-связевой системе. Также используется связевая система, где основными несущими элементами являются диафрагмы жесткости.

В настоящее время для оценки несущей способности основных элементов зданий разработаны и используются различные численные методы: конечных элементов, конечных разностей, вариационно-разностных, граничных элементов и других.

Дискретная модель предусматривает разбивку конструкции на отдельные части, объединённые в единую пространственную расчётную систему с помощью уравнений равновесия или уравнений совместности деформаций. Дискретные модели дают возможность рассчитывать практически любые несущие системы с учётом их пространственной работы. В зависимости от принятой дискретизации можно описывать

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

напряжённно-деформированное состояние и учитывать жёсткостные характеристики отдельных участков конструкций, а также условия их нагружения.

Широкое распространение во всем мире получили расчёты по дискретным моделям с помощью метода конечных элементов (МКЭ), который на сегодняшний день является наиболее универсальным, теоретически отработанным, протестированным и практически апробированным. Основной причиной, способствующей популярности МКЭ при проектировании конструкций, является наличие большого количества прикладных программ и программных комплексов (ПК) с развитыми интерфейсами, позволяющими максимально автоматизировать расчетный процесс. Практически все современные ПК работают в диалоговом режиме для контроля и наглядности исходных данных, получаемых результатов и армирования.

Для расчета рамных систем, где несущими элементами являются колонны и ригеля, использование МКЭ является эффективным. В этом случае расчетная схема МКЭ достаточно удачно отражает конструктивную схему здания, где элементы каркаса моделируются стержневыми конечными элементами, каждый из которых, как и в реальной конструкции, соединен на концах с соседними элементами. При такой схеме соблюдение условий равновесия предусматривает и выполнение условия неразрывности деформаций. Отдельные плоскостные элементы каркасных зданий моделируются плоскими конечными элементами, размеры которых назначаются исходя из обеспечения необходимой точности расчетов. Так как, таких элементов в каркасных зданиях относительно немного, обычно несложно обеспечить требуемую частоту разбивки.

Для бескаркасных зданий (связевая система), в которых несущие конструкции состоят из плоскостных конструктивных элементов, расчетная схема МКЭ более условно отражает реальные соединения элементов здания. Поэтому требует выполнения дополнительных условий для обеспечения точности расчетов, поскольку МКЭ предусматривает соединения плоских элементов континуальной конструкции в отдельных узловых точках. Функции смещения должны быть подобраны таким образом, чтобы одинаковые перемещения узлов соседних элементов приводили к одинаковым смещениям по всей линии соприкосновения. С использованием функций смещения назначаются, как правило, и жёсткостные характеристики элементов, обычно в предположении однородности поля напряжений внутри каждого элемента. Обеспечение этого условия часто также требует увеличения частоты разбивки конструкции на конечные элементы, особенно в неоднородных конструкциях и при учете физической нелинейности. Кроме того, расчетная схема МКЭ предусматривает абсолютно неподатливые соединения соседних конечных элементов, а фактически, особенно в сборных конструкциях, часто в местах сопряжения элементов необходимо учитывать определенную податливость. При расчетах по МКЭ в этих случаях следует вводить дополнительные конечные элементы.

Подводя итоги, можно сказать, что расчеты многоэтажных, особенно бескаркасных зданий по МКЭ с подробным учетом характеристик плоскостных конструкций тре-

буют разбивки конструкции на значительное количество конечных элементов, а для учета податливости сопряжений необходимо введение дополнительных элементов. Следует отметить, что это приводит к очень большой трудоемкости ввода исходных данных и анализа результатов, возникает значительная вероятность ошибок. В результате становится более сложным расчет многоэтажных зданий с достаточно подробным учётом жёсткостных характеристик сборных элементов и податливостей их сопряжений. Кроме того, с увеличением количества конечных элементов увеличивается порядок систем уравнений, что становится актуальным при учёте геометрической и физической нелинейности.

Переходим к рассмотрению другого численного метода, который называется методом сосредоточенных деформаций (МСД). Этот метод по сравнению с МКЭ менее распространён из-за отсутствия программных комплексов с развитыми интерфейсами, но позволяет более эффективно учитывать особенности работы реальных связей в расчетах напряжённо-деформированного состояния многоэтажных зданий различных конструктивных систем.

Метод упругих сосредоточенных деформаций, предложенный профессором А.Р.Ржаницыным [1], исходит из того, что связь между элементами осуществляется по линиям, разделяющим жесткие конечные элементы. Величины относительных деформаций считаются бесконечно большими, поскольку они происходят по бесконечно малой длине нормали к поверхности или к линии сосредоточенных деформаций. В работе [1] рассмотрены два вида деформации: сосредоточенные деформации сдвига и сосредоточенные деформации удлинения – укорочения. Сосредоточенные деформации вызывают усилия сдвига и растяжения, передающиеся с двух соседних жестких элементов.

Известно, что в железобетонных конструкциях плоское напряжённое состояние не реализуется в явном виде, оно обычно сопровождается силовыми воздействиями из плоскости элементов при поперечных нагрузках. Это возможно при неизбежных расчетных или случайных эксцентриситетах действия сил из плоскости элементов, из-за конструктивной неоднородности сечений и проявления физической и геометрической нелинейности, вследствие сложных условий опирания конструкции, а также и по другим причинам.

Разбивка рассчитываемой конструкции по данному методу производится по линиям сосредоточенных деформаций формально аналогично методу конечных элементов. Однако в МСД размеры элементов между плоскостями сосредоточенных деформаций могут быть приняты гораздо большими, чем в МКЭ. Это объясняется тем, что в МСД, в отличие от МКЭ, допускается переменное поле перемещений, деформаций, напряжений и модулей деформаций. В элементах МСД дополнительными точками по аналогии с комплекс–элементами МКЭ служат точки, расположенные по граням элементов. В каждом направлении эти дополнительные точки связаны в своих перемещениях с перемещением центров элементов МСД и не осложняют, как это имеет место в МКЭ при составлении матрицы жесткости.

Следующим этапом в МКЭ выделен выбор функций перемещений по полю элемента. Как правило, в МКЭ поле перемещений задается в форме линейных функций локальных координат, поэтому при одинаковых перемещениях двух соседних узлов смежных конечных элементов по линии соприкосновения последних получают также одинаковые перемещения, то есть поле перемещений в рассчитываемой конструкции получается непрерывным. Вместе с тем поле деформаций, постоянное в пределах каждого конечного элемента, получает скачки (разрывы) по линиям контакта между смежными конечными элементами; то же относится и к напряжениям, а также и к жёсткостным характеристикам в случае неоднородных задач.

В МСД для плосконапряженного состояния общее поле перемещений в пределах каждого элемента допускает скачки по линиям локальных координат. Это поле перемещений, как правило, имеет разрывы по смежным граням между соседними элементами. Следовательно, поле перемещений в плосконапряжённой конструкции, рассчитываемой по МСД, менее спокойно, чем в МКЭ; однако оно, в отличие от МКЭ, имеет чётко выраженную физическую природу, являясь совокупностью элементарных напряжённых состояний; сжатия-растяжения в направлении локальных координатных осей, изгибов и сдвигов в плоскости конструкции. Поле деформаций в пределах каждого элемента МСД предполагается переменным по линейному закону, согласно гипотезе плоских сечений, что делает возможным вести расчёт с переменными жёсткостными характеристиками материалов в пределах каждого элемента МСД. Разумеется, поля деформации и напряжения будут иметь, как правило, разрывы по граням элементов и по линиям локальных координатных осей. Следовательно, поле деформаций в элементах МСД является более сложным, чем в МКЭ, то есть оно обладает большими возможностями.

Существенная разница между МКЭ и МСД прослеживается на третьем этапе при формировании матриц жёсткости. Согласно МКЭ для плосконапряжённых железобетонных конструкций, жёсткостные характеристики материалов в пределах каждого конечного элемента должны быть постоянными. Это требование с одновременным стремлением к наибольшей детализации в раскрытии напряжённо-деформированного состояния приводит к тому, что конечные элементы должны приниматься достаточно малыми, а их общее число и соответственно размерность системы алгебраических уравнений получаются большими.

МСД применительно к сборным железобетонным конструкциям был развит М.И.Додоновым [2]. В работе [3] этот метод был развит для расчёта дисков перекрытий многоэтажных зданий с учётом их конструктивных особенностей. В развитом варианте МСД [3] сущность его состоит в следующем: диск перекрытия расчленяется на жесткие элементы; этими элементами могут быть отдельные целые панели, ригели, колонны; все деформации сосредотачиваются в швах между конечными элементами, и последние рассматриваются абсолютно жесткими; их деформативность сконцентрирована по вышеуказанным соединениям. Деформативность швов в общем случае определяется расчётом

(иногда экспериментом); в результате разбивки деформируемого диска перекрытия на отдельные абсолютно жесткие элементы не нарушаются его общие свойства. Разбивка диска перекрытия на конечные элементы выполняется по линиям реальных соединений между ними. При этом сами исходные элементы рассматриваются как абсолютно жесткие. Если исходные элементы предполагаются деформируемыми, то их деформируемость «стекается» в расчётные швы. В этом случае характеристики последних зависят от свойств материала самих реальных швов, а также от свойств материала примыкающих к швам конструкций. Такой расчётный шов является комплексным, состоящим из реального шва заполнения и фиктивных швов, моделирующих свойства примыкающих конструкций. В некоторых случаях конечные элементы получают также путём дополнительной разрезки исходных натуральных элементов; в таком случае по линиям разрезки будут располагаться только фиктивные швы. Полученные конечные жесткие элементы закрепляются в их серединах от возможных перемещений. Внешние нагрузки остаются в местах их непосредственного приложения или сводятся к центрам элементов с сохранением статической эквивалентности. Уравнения равновесия выражают равенство нулю усилий в связях, накладываемых на каждый конечный жесткий элемент.

В работах М.И.Додонова и под его руководством [4-7] достаточно подробно и полно разработаны основные положения метода для расчёта стержневых и плоских железобетонных элементов и конструкций, показаны преимущества МСД, выполнены расчёты тестовых примеров и элементов зданий. Для стержневых элементов реализованы пути учёта геометрической и физической нелинейности.

Решение динамической задачи плоского напряжённого состояния по МСД базируется на алгоритме статического расчёта. Для этого, с использованием принципа Даламбера, составляется система динамических уравнений, где в правую часть входит вектор инерционных сил. Особенность динамического расчёта состоит в том, что путём сплайновой аппроксимации ускорения получим систему уравнений, которая решается шаговым методом.

В работах Д.Н.Низомова и И.К.Каландарбекова [8-24] достаточно подробно исследовано развитие метода сосредоточенных деформаций для статических и динамических задач строительной механики. В данных работах МСД был развит для расчёта различных систем. Впервые МСД был развит и применен к расчету пластинчатых систем при действии статических, динамических и сейсмических сил; при этом формирование матрицы внутренней жесткости в трехмерных задачах выполняется с учетом податливости реальных связей. Разработаны алгоритмы и компьютерные программы, на основе которых были получены новые результаты расчёта многомассовой системы с учётом физической нелинейности при динамических воздействиях. Для большей наглядности сопоставительного анализа в [11] получено решение задачи продольной деформации стержня с различными граничными условиями от действия распределённой нагрузки.

На основе изложенного можно сделать вывод. Некоторые ограничения возможностей МКЭ, вызванные особенностями используемой расчётной модели, привели к необходимости создания МСД, позволяющего описывать напряжённо-деформированное состояние несущих систем многоэтажных зданий с учетом податливости реальных связей. Учет нелинейной работы реальных соединений имеет большое значение для исследования и проектирования многоэтажных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницын А.Р. Расчёт сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций. – Стр. мех. и расчёт соор., 1980, № 5, с. 15 - 20.
2. Додонов М.И. Развитие и применение метода сосредоточенных деформаций к расчету проемных диафрагм многоэтажных зданий. – Стр. мех. и расчёт соор., 1984, № 6, с. 65 – 69.
3. Каландарбеков И. Железобетонные диски перекрытий многоэтажных каркасных зданий из плит безопалубочного формования. Дисс. канд. техн. наук. – М.: 1985, 209 с.
4. Додонов М.И. Каландарбеков И. Развитие расчетных моделей дисков сборных железобетонных перекрытий при действии на них горизонтальной (ветровой) нагрузки. – ВНИИИС Госстроя СССР, Ред. Журнал. Строительство и архитектура, 1983, сер. 11, вып. 9, № 4058, 20 с.
5. Додонов М.И., Каландарбеков И. Экспериментальное исследование моделей железобетонных дисков перекрытий многоэтажных зданий. Экспресс-информация, раздел (Строительства и архитектура) – М., 1984, серия 8, с. 5-8.
6. Николаев А. С. Соппротивление сборных железобетонных перекрытий в их плоскости неравномерным смещениям многоэтажного каркаса. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., 1987, 21 с.
7. Мамин А.Н. Автоматизированный расчет плосконапряженных железобетонных конструкций и элементов методом сосредоточенных деформаций. Совершенствование конструктивных решений многоэтажных зданий: Сб. науч. тр. – М.: ЦНИИ промзданий, 1992, с. 50-53.
8. Каландарбеков И. Развитие метода сосредоточенных деформаций применительно к расчетам конструкций с учетом податливости соединений. Дисс. докт. техн. наук – М., 2009, 425 с.
9. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. – Душанбе: изд-во Дошиш, 2015, 436 с.
10. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Сравнительный анализ методов сосредоточенных деформаций и конечных элементов. – Известия АН РТ. Отдел. физ-мат, хим, геол. и техн. наук, 2015, № 1(158), с. 84-92.
11. Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении динамических задач плоских стержневых конструкций. – ДАН РТ, 2006, т. 50, № 5, с. 483-490.
12. Каландарбеков И. К учёту продольной сжимающей силы. – ДАН РТ, 2007, т. 50, № 3, с. 291-296.
13. Каландарбеков И. Анализ поведение многоэтажных зданий на основе расчёта с учётом упругопластических деформаций при действии мгновенного импульса. – ДАН РТ, 2007, т. 50, № 6, с. 560-568.
14. Каландарбеков И. Применение метода сосредоточенных деформаций к динамическим нелинейным задачам. – Известия АН РТ. Отд. физ.-мат., хим. и геол. наук, 2007, № 3(128), с. 69-78.
15. Каландарбеков И. Некоторые результаты численного решения динамической задачи за пределом упругости. – ДАН РТ, 2008, т. 51, № 4, с. 305-310.

16. Каландарбеков И. Решение динамической задачи пластинчатой системы. – Вестник Московского государственного строительного университета, 2008, № 4, с. 88-92.
17. Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении задач теории сейсмостойкости. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2009, № 1, с. 22-24.
18. Каландарбеков И. Свободные колебания систем со многими степенями свободы с учётом упругопластических деформаций. Промышленное и гражданское строительство. – М., 2009, № 1, с. 37-38.
19. Каландарбеков И. Исследование сейсмической реакции здания методом сосредоточенных деформаций. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М., 2009, № 3, с. 27-28.
20. Низомов Д. Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении статических задач балок на упругом основании. – ДАН РТ, 2006, т. 49, № 2, с. 190-194.
21. Низомов Д. Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении одномерных динамических задач. – ДАН РТ, 2006, т. 49, № 3, с. 284-288.
22. Низомов Д. Н., Каландарбеков И. Динамический расчёт многоэтажных зданий на основе метода сосредоточенных деформаций. – Известия АН РТ. Отд. физ.-мат., хим. и геол. наук, 2007, № 1(126), с. 98-106.
23. Низомов Д. Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении статических задач теории упругости. – Известия АН РТ. Отд. физ.-мат., хим. и геол. наук, 2007, № 2(127), с. 98-106.
24. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Решение динамических задач с учётом гасителя колебаний. – ДАН РТ, 2011, т. 53, № 8.

Ч.Н.НИЗОМОВ, И.Қ.ҚАЛАНДАРБЕКОВ*, И.И.ҚАЛАНДАРБЕКОВ*

ОИД БА МЕТОДҲОИ ҲИСОБИ СИСТЕМАҲОИ БОРБАРДОРИ БИНОҲОИ БИСЁРОШЁНА ДАР АСОСИ МОДЕЛҲОИ ДИСКРЕТӢ

*Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ,
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осимӣ

Ташаққули методҳои ҳисоб, яке аз масъалаҳои асосии механикаи сохтмон ба ҳисоб меравад. Таҳлили муқоисавии методҳои адабии ҳисоби конструкцияҳои борбардори биноҳо оварда шудааст. Натиҷаи таҳлили муқоисавии методи мутамарказкунонии деформатсияҳо ва методи элементҳои охиринок мавриди муҳокима қарор дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: схемаҳои конструктивӣ, методи мутамарказкунонии деформатсияҳо, методи элементҳои охиринок, модели дискретӣ, ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ, матрисаи саҳтӣ, фишуриш-кашиш, нармии алоқаҳои воқеӣ, характеристикаи саҳтӣ.

J.N.NIZOMOV, I.K.KALANDARBEKOV*, I.I.KALANDARBEKOV*

**ON THE CALCULATION METHODS OF LOADING SYSTEMS OF MULTI-
STOREY BUILDINGS BASED ON DISCRETE MODELS**

*Institute of geology, earthquake engineering and seismology NAST,
Tajik Technical University named after acad. MS Osimi

The improvement of calculation methods is one of the main tasks of structural mechanics. A comparative analysis of numerical methods for calculating the load-bearing structures of buildings is presented. The results of a comparative analysis of the methods of concentrated deformations and finite elements are presented.

Key words: constructive scheme, lumped deformation method, finite element method, discrete model, stress-strain state, stiffness matrix, compression-tension, compliance of real bonds, stiffness characteristic.

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

ПАМЯТИ ОСНОВАТЕЛЯ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ И
ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ СТРАНЫ
ХАЙДАРОВА КАРИМА ХАЙДАРОВИЧА



7 июня 2021 года на 87 году жизни ушёл от нас известный учёный, педагог, воспитатель и наставник многих молодых учёных, добрый, отзывчивый и замечательный человек - академик Национальной академии наук Таджикистана, доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии имени Абуали ибн Сино, заслуженный изобретатель Республики Таджикистан, лауреат премии Совета Министров Таджикской ССР, обладатель многих патентов и авторских свидетельств

Хайдаров К.Х. родился 9 мая 1934 года в кишлаке Ходжа Бойкул Орджоникидзебадского (ныне Вахдат) района Республики Таджикистан. В 1953 году после завершения Душанбинского медучилища он поступает в Таджикский Государственный медицинский институт им. Абуали ибн Сино. После окончания мединститута неко-

торое время работает главным врачом Нурекской участковой больницы. В 1960-1963 годах учился в аспирантуре Института краевой медицины Академии наук Таджикской ССР и был прикомандирован во Всесоюзный Институт лекарственных и ароматических растений Министерства здравоохранения СССР. По завершении аспирантуры, являясь старшим научным сотрудником лаборатории фармакологии Института химии НАН Таджикистана, в 1964 году защищает кандидатскую диссертацию на тему «Сравнительное фармакологическое изучение триакантина и папаверина». В 1972 году защитил докторскую диссертацию на тему «Характеристика действия карбаматов ацетиленового и дигиропиранового рядов на центральную нервную систему». Вся дальнейшая научно-творческая

деятельность Хайдарова К.Х. была тесно связана с Институтом химии НАН Таджикистана, который является одним из ведущих научных центров Республики. Он с 1968 года до последних дней своей жизни в Институте занимал различные должности и все свои усилия и способности применял развитию фармакологической и фармацевтической науки республики.

С 1992 года К.Х.Хайдаров переходит на работу в Фармакологический комитет Минздрава Республики Таджикистан и становится его первым председателем. Возглавив Фармакологический комитет Минздрава, он приблизил академическую науку к производству. Под его непосредственным руководством на сегодня внедрено в медицинскую практику множество препаратов и аппаратов, разработанных учеными Института химии, Физико-технического института НАН Таджикистана, Таджикским медицинским госуниверситетом и рядом других учреждений, министерств и ведомств. Он уделял большое внимание развитию фармакологической индустрии в республике.

К.Х.Хайдаров – основатель школы специалистов-фармакологов в области поиска лекарственных препаратов среди продуктов органического синтеза. Организованная им в 1968 году лаборатория фармакологии Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана стала центром создания новых лечебных препаратов. Многолетние экспериментальные и теоретические исследования позволили К.Х.Хайдарову открыть новые направления в этой области. Было изучено сравнительное действие папаверина и его N-производных, дана фармакологическая характеристика алкалоидов аперфинового ряда, в частности – кабудина. Кабудин – новый апорфиновый алкалоид, выделенный впервые из василистника изопириодного в Институте химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана. Сульфат и иодметилат нового препарата впервые были подвергнуты фармакологическому анализу под руководством академика К.Х.Хайдарова. Они оказались веществами с ярко выраженными антиаритмическими и гипотензивными свойствами. К.Х.Хайдаров в плане поиска новых анестетиков изучил местноанестезирующие свойства ряда новых В-аминокетонов, производных тиохроманов и тиаинданов. Исследована фармакологическая активность и холагонное действие производных ксантогеновой кислоты. Изучен механизм их действия на организм. Ученым и его сотрудниками изучено огромное количество органических соединений, содержащих в своей структуре гетероатом серы. Среди этих соединений найдены препараты, обладающие спазмолитическим, противосудорожным, миорелаксирующим свойствами. Основываясь на современном анализе состояния лекарственной терапии эпилепсий, он создал совместно с членом-корреспондентом НАН Таджикистана Е.М.Глазуновой новый оригинальный препарат – Карбатин, превосходящий по своим фармакологическим свойствам известные антикольтунсанты. Новый противосудорожный препарат Карбатин по химической структуре относится к карбаматам третичных ацетиленовых карбинолов. В настоящее время Карбатин является основным противоэпилептическим препаратом с более широким спектром действия по сравнению с фенобарбиталом и карбамазепином. К.Х.Хайдаров с сотрудниками создали «банк» данных о зависи-

мости «структура-действие» среди целого ряда оригинальных химических соединений, что позволяет исследователям осуществлять направленный синтез биологически активных веществ и поиск на их основе лекарственных препаратов.

При его научном консультировании в республике развиваются исследования в области разработки иммуномодулирующих препаратов на основе низкомолекулярных пептидов, обладающих активностью тимусных гормонов и биокоординационных соединений их с биологически важными металлами.

Научные труды К.Х.Хайдарова и его школы получили широкое признание, как в нашей стране, так и за рубежом. О его авторитете свидетельствует то, что он является председателем Ассоциации фармакологов Средней Азии и Казахстана. Он избирался членом Президиума правления Общества фармакологов СССР (1988-1992 гг.), в настоящее время является почетным членом научного общества фармакологов России.

Он – единственный ученый фармаколог республики, удостоенный высшего отличия – избрания академиком НАН Таджикистана. За развитие науки и внедрение в практику новых лекарственных препаратов К.Х.Хайдарову присуждены Государственная премия им. Абуали ибн Сино в области науки и техники Республики Таджикистан, премия Совета Министров Таджикистана и присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Республики Таджикистан».

К.Х.Хайдаров был одним из организаторов проведения в Таджикистане выездной сессии Научного совета АМН СССР по фармакологии и фармации, что свидетельствует о его авторитете в научном мире. Он награжден нагрудным знаком «Изобретатель СССР». Разработанные академиком К.Х. Хайдаровым лекарства награждены серебряной и бронзовой медалями ВДНХ СССР.

Добрые личные отношения с академиками С.В.Аничковым, В.В.Закусовым, И.У.Нумановым, Р.Г.Глушковым, М.Д. Машковским, А.В.Вальдманом, Н.А.Сергеевым, С.Б.Серединным, В.С.Шашковым и другим корифеями мировой химии и фармакологии до сих пор служат ориентиром развития национальной таджикской фармакологии.

Много сил и энергии К.Х.Хайдаров отдавал общественной деятельности. Он был депутатом Железнодорожного районного Совета народных депутатов, заместителем секретаря парткома АН Республики Таджикистан, членом редколлегии и редакционных советов, республиканских общественно-политических и научно-популярных изданий.

Бесспорно, К.Х.Хайдаров и его школа внесли крупный вклад в науку, во многом определили направленный синтез органических соединений. Он умело предвидел проблемы синтеза биологически активных веществ.

Под руководством академика К.Х.Хайдаров – в Институте химии был создан диссертационный совет по кандидатским диссертациям по биологическим и медицинским наукам. За короткий срок было подготовлено более 24 кандидатов наук.

Он по совместительству читал лекции в Таджикском национальном университете, неоднократно был председателем государственной экзаменационной комиссии Таджик-

ского национального университета и Таджикского государственного медицинского университета, являлся членом диссертационных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций Института химии НАН Таджикистана и Таджикского национального университета.

Глубокая эрудиция, целеустремленность, настойчивость, интеллигентность, самоотверженность, принципиальность и преданность выбранному пути, снискали навсегда К.Х.Хайдарову глубокое уважение, признательность, любовь учеников и соратников.

Его перу принадлежат более 500 научных статей, опубликованных у нас в стране и за рубежом, 10 монографий и более 80 изобретений, которые многими учеными и специалистами признаны ценными.

Хайдаров К.Х. был отзывчивым, всегда ищущим ученым, педагогом являясь добropорядочным и высокоинтеллектуальным человеком. В разное время работал старшим научным сотрудником Института фармакологии Чехословакии (по эквивалентному обмену), старшим научным сотрудником Болгарского института физиологии, научным консультантом по проблемам фармакологии и фармации Академии наук Афганистана, где передавал свои знания, а также изучал достижения других. Наряду с научной и педагогической деятельностью активно участвовал в культурной и общественной жизни страны. Следует отметить, что он был участником 4-го Всемирного конгресса фармакологов в Швейцарии, первого международного симпозиума по облепихе в Китае, участником дней культуры и науки СССР в Бельгии, депутатом Совета народных депутатов г Душанбе и многое другое.

Признавая и высоко оценивая его научные труды и плодотворную деятельность, К.Х.Хайдаров был избран членом Совета Государственного комитета по науке и технике по проблеме «Химия и технология органических соединений», членом научного совета по фармакологии и фармации Президиума Академии медицинских наук СССР, членом Президиума Общества фармакологов СССР, членом правления Всесоюзного общества фармакологов СССР, почетным членом научного общества фармакологов России, членом президиума Фармакологического комитета министерства здравоохранения Республики Таджикистан, Председателем диссертационного совета по защите диссертаций по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских и биологических наук по специальностям фармакология и клиническая фармакология. Он являлся председателем научного общества фармакологов Таджикистана, председателем фармакологического комитета Министерства здравоохранения Республики Таджикистан, руководителем ассоциации фармакологов Средней Азии и Казахстана.

Под руководством академика Хайдарова К.Х. в республике создана школа специалистов-фармакологов, которая получила широкое международное признание в странах СНГ и за её пределами. Организованная непосредственно им ещё 1968 году лаборатория фармакологии Института химии НАН Таджикистана стала центром создания новых лекарственных препаратов.

К.Х.Хайдаров много внимания уделял укреплению связей с известными учеными мировой химии и фармакологии, которые сейчас служат ориентиром развития Национальной таджикской фармакологии. Под руководством К.Х.Хайдарова свыше 50 ученых защитили докторские и кандидатские диссертации, которые безгранично ему благодарны за бескорыстную, отеческую помощь. Все кто знал и работал совместно с академиком К.Х.Хайдаровым, их уважение безгранично за его интеллигентность, принципиальность и отзывчивость. Вся его жизнь – бесконечная преданность выбранному делу и служению людям. Он всегда был отзывчивым, чутким и неравнодушным к чужим проблемам. Всегда протягивал руку помощи нуждающимся в нем, поддерживал не только словом, но и – делом. Повседневное общение с Карим Хайдаровичем приносило не только позитив, радость и заряд энергии, но и помогало каждому обогатить себя ценным опытом, которого у академика было огромное количество и которым он щедро делился со всеми желающими.

Глубокая эрудиция, целеустремленность, настойчивость, интеллигентность, самоотверженность, принципиальность и преданность выбранному пути, снискали навсегда К.Х.Хайдарову глубокое уважение, признательность, любовь учеников и соратников. Он был примером научной и душевной щедрости. Таким останется его память в сердцах всех друзей и соратников.

Ф.Рахими, У.М.Мирсаидов, Дж.Х.Халиков,
И.Н.Ганиев, Г.К.Мироджев, М.М.Якубова, А.С.Саидов,
Г.И.Кохирова, И.Ф.Рахимов, А.М.Сафаров

Г.Н.ПЕТРОВ, Х.М.АХМЕДОВ

**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ».**

– Душанбе: Дониш, 2021, 242 с.

В книге рассмотрены актуальные вопросы эффективности использования водно-энергетических ресурсов. Рассматриваются история и современное состояние дефицита воды – как глобальной проблемы современного мира. Приводятся данные об использовании водных ресурсов на планете и странах ЦА и мерах борьбы с водным дефицитом. Подробно рассмотрены критерии развития эффективности гидроэнергетики, оценка эффективности ГЭС различного типа, оптимизация схем размещения ГЭС и их параметров, режимов работы крупных ГЭС с водохранилищами. Обсуждаются вопросы эффективности использования электроэнергии, тарифной политики в энергетике и гидроэнергетике как драйвера экономического развития Таджикистана в период с 1950 года по настоящее время. Довольно важным является рассмотрение опыта развития малой гидроэнергетики Таджикистана и развития энергетики Таджикистана в современных условиях, вопросов, связанных с причинами и следствиями глобального изменения климата и мер адаптации к ним.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся водными ресурсами, энергетиков, проектировщиков, экономистов и лиц, принимающих решения. Она может быть полезна также научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

Книга приурочена к 30-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 70-летию создания Национальной Академии наук Таджикистана.