

**Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева  
Национальной академии наук Кыргызской Республики**

ISSN 1694-6634

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

# **ФИЗИКА**

**ИЛИМИЙ ЖУРНАЛЫ**

***2018, №2***

**Кыргызстан, г. Бишкек**

## НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ФИЗИКА

### Учредитель:

Институт физики им. академика  
Ж.Жеенбаева Национальной  
академии наук Кыргызской  
Республики

Журнал зарегистрирован в  
Министерстве юстиции  
Кыргызской Республики.

Свидетельство о регистрации  
№1418 от 13 июня 2008г.

**ISSN 1694-6634**

### Редакционная коллегия:

Главный редактор,

д.ф.-м.н. **Жеенбаев Н.Ж.**

Зам. главного редактора,

д.ф.-м.н. **Касмамытов Н.К.**

Ответственный секретарь,

к.ф.-м.н. **Мамытбеков У.К.**

### Члены редколлегии:

А.Ж. Жайнаков

Академик НАН КР (Кыргызстан)

А.А. Кутанов

Академик НАН КР (Кыргызстан)

М.М. Кидибаев

Член-корр. НАН КР (Кыргызстан)

Э.М. Мамбетакунов

Член-корр. НАН КР (Кыргызстан)

Б.В. Шульгин

д.ф.-м.н., профессор (Россия)

Т.Н. Нурахметов

д.ф.-м.н., профессор (Казакстан)

С. Джуманов

д.ф.-м.н., профессор (Узбекистан)

М.Имаев

д.ф.-м.н., профессор (Россия)

А.А. Назаров

д.ф.-м.н., профессор (Россия)

В.Н. Фоломеев

д.ф.-м.н., профессор (Кыргызстан)

Р.М. Султаналиева

д.ф.-м.н. (Кыргызстан)

Н.К. Джаманкызов

д.ф.-м.н. (Кыргызстан)

Г.Дж. Кабаева

д.ф.-м.н. (Кыргызстан)

А.Т. Татыбеков

д.т.н. (Кыргызстан)

В.Ю. Иванов

к.ф.-м.н. (Россия)

К.Х. Хайдаров

к.ф.-м.н. (Кыргызстан)

К.К. Талыпов

к.т.н. (Кыргызстан)

Дж.А. Исмаилов

к.т.н. (Кыргызстан)

Б.Б.Саякбаева

к.ф.-м.н.(техн.секр-рь)(Кыргызстан)

### Адрес редакции:

720071, Кыргызская Республика,  
г.Бишкек, проспект Чуй, 265-а

Тел.: +(312)64-62-90

Факс: +(312)43-11-69, 43-11-71

E-mail: ulan-mk@bk.ru

Доктор физико-математических наук, доктор технических наук,  
профессор

**Владимир Петрович Макаров**



**Уважаемый Владимир Петрович!**

Коллектив Института физики НАН КР сердечно поздравляет Вас

с 75-летним юбилеем!

Вы посвятили всю свою жизнь науке и образованию. За многолетний и безупречный научно-организационный и общественный труд в стенах Института физики НАН КР, Национальной Академии Наук и КРСУ им. Б.Ельцина, Вы — снискали заслуженный авторитет и уважение среди коллег и ваших друзей.

Уважаемый Владимир Петрович,

Вы известный специалист в области электронной микроскопии и создания композиционных материалов с заданными свойствами. Начав работать в Институте физики АН Кирг. ССР с 1969 года (после окончания Томского государственного университета) Вы прошли путь от инженера до заведующего лабораторией порошковых материалов. В 1984 году защитили кандидатскую диссертацию, в 2001 году – диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, которой в 2007 году ВАК России присвоил по стратификации степень доктора технических наук.

Под Вашим научным руководством впервые в Кыргызстане было начато исследование по изучению и созданию нитридкремниевой керамики, которая обладает уникальными физико-механическими свойствами: высокой температурой плавления, высокой прочностью, инертностью ко многим агрессивным средам, низким коэффициентом термического расширения и высокой теплопроводностью, что делает этот материал стойким к многократным термоциклическим нагрузкам и позволяет с успехом заменить высоколегированные тугоплавкие металлы и сплавы. Несомненно, Вы внесли большой вклад в создание нитридкремниевой керамики с заданными свойствами на местной сырьевой базе и разработку метода получения нитридкремниевой керамики из отходов производства монокристаллического кремния.

По результатам научных исследований Вами опубликовано свыше 150 научных работ, в том числе 6 монографий, 1 патент и 2 авторских свидетельства, подготовлено 9 кандидатов и 1 доктор наук.

Внедряя результаты научных разработок в образовательный процесс Кыргызско-Российского (Славянского) университета, Вы активно участвуете в подготовке национальных специалистов в области физики конденсированного состояния.

За активную научно-педагогическую деятельность, развитие и укрепление международных связей со специалистами НИИ России удостоил Вас награды Комитета Госдумы РФ по связям с соотечественниками – Медали 300 лет со дня рождения М. Ломоносова.

Коллектив Института физики НАН КР желает Вам крепкого здоровья, больших научных успехов и новых талантливых учеников.

УДК 666.942.2

## КОМПЛЕКСНАЯ МИНЕРАЛИЗУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ТРУДНОСПЕКАЕМЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ

<sup>1</sup>Б.Б. Барпиев, <sup>1</sup>Т.М. Касымов, <sup>1</sup>Аманжан к. Ж.,  
<sup>2</sup>А.А. Торокулова

<sup>1</sup>Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан,  
Бишкек, пр. Чуй 265-а

<sup>2</sup>Магистрант кафедры ПЭСМИК, КГУСТА им. Н.Исанова, Бишкек, ул. Малдыбаева 34а  
E-mail: [bakyt@bk.ru](mailto:bakyt@bk.ru)

**Аннотация.** В статье приведены химико-минералогический состав и дифференциально-термический анализ базальта Сулу-Терекского месторождения. Представлена возможность использования базальтовой породы (5%) в трудноспекаемых сырьевых смесях как минерализующая добавка совместно с 1% CaF<sub>2</sub>, способствующая завершению клинкерообразования при температуре 1300°C. Описаны процессы интенсификации клинкерообразования сырьевой смеси за счет труднорастворимых магнетитосодержащих соединений в базальтовой породе.

**Ключевые слова:** минералообразования, декарбанизация, двухкальциевый силикат, интенсификация, магнетит, авгит, оливин.

## COMPLEX MINERALIZING ADDITIVE FOR HARDLY REPEATED RAW MATERIALS

<sup>1</sup>B.B. Barpiev, <sup>1</sup>T.M. Kasymov, <sup>1</sup>Amanjan k J., <sup>2</sup>A.A. Torokulova

<sup>1</sup>Institute of Physics named after J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,  
pr. Chui, 265-a

<sup>2</sup>undergraduate student of the department PESMIK, KGUSTA them. N.Isanova, Bishkek,  
st. Maldybaev 34a, E-mail: [bakyt@bk.ru](mailto:bakyt@bk.ru)

**Abstract.** The article presents the chemical and mineralogical composition and differential thermal analysis of basalt from the Sulu-Terek deposit. The possibility of using basalt rock (5%) in difficult-to-reach raw materials as a mineralizing additive together with 1% CaF<sub>2</sub>, contributing to the completion of clinker formation at a temperature of 1300°C, is presented. The processes of intensification of clinker formation of the raw mix due to hardly decomposing magneto-containing compounds in basalt rock are described.

**Key words:** mineral formation, decarbonization, dicalcium silicate, intensification, magnetite, augite, olivine.

**Введение.** Доля тепловой энергии в себестоимости портландцемента составляет 65%, т.е. производство является энергоемким. Поэтому весьма актуальным являются работы, направленные на снижение энергозатрат в производстве цемента. Одним из перспективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является интенсификация минералообразования на стадии обжига сырьевой смеси.

Использование в сырьевых смесях хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитратов способствует снижению температуры образования клинкерных расплавов и вместе с этим многокомпонентная система переходит из твердофазового состояния в более реакционноспособное. При исследовании фторидов в работе [1] было установлено, что введение их до 2% в сырьевую шихту, температура обжига снижается на 100-150°C.

Из литературных источников известно [2], что использование минерализаторов при обжиге сырьевой смеси до 1% (по массе) способствует значительной интенсификации процесса клинкерообразования.

Анализ основного сырья цементных заводов Кыргызстана показал, что в основном используемые на предприятиях известняки характеризуются низким содержанием оксидов железа  $Fe_2O_3$ : в частности, Курментинский известняк содержит -0,25%, Бурубайский -2,5%, Аксыйский - 0,46%.

При выборе глинистого сырья смесей исходят из условия достаточной близости месторождения к строящемуся предприятию. На Кантском цементном заводе использовались глинистые сланцы, а для повышения глинозема в шихту вводилась до 1,4 % золы.

Особый интерес представляет шихта, составленная на основе низкорекреационного Курментинского известняка и Согутинского песчаника с содержанием  $Al_2O_3$  -5,51%,  $Fe_2O_3$  -0,55%, характеризующаяся высокими значениями коэффициента насыщения и силикатного модуля ( $KH=0,92$ ;  $n = 3,5$ ). Вышеотмеченная сырьевая шихта составлена для получения белого портландцемента, которая является трудноспекаемой. Этот недостаток устраняется путем ввода в данную смесь базальтовой породы до 5%.

**Материалы эксперимента.** Дополнительно в шихту наряду с базальтовой породой вводили в количестве до 1% флюорита, для того чтобы в процессе обжига снизить вероятность образования периклаза ( $MgO$ ), так как известно [3], что ионы фтора негативно воздействуют на свойства цемента с повышенным содержанием оксида магния. Химический состав сырьевой смеси приведен в таблице.

Таблица

Химический состав сырьевой смеси

Оксиды, % (мас.)										
$SiO_2$	$Al_2O_3$	$FeO$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$	$MnO$	$SO_3$
23,23	4,22	0,06	2,42	67,63	1,59	0,59	0,50	0,25	0,031	0,13

В настоящей работе использовался базальт Сулу-Терекского месторождения, у которого химический состав по оксидным фазам имеет следующее содержание в (%):  $SiO_2$  -43,85;  $TiO_2$ -1,80;  $Fe_2O_3$ -10,88;  $FeO$ -1,50;  $Al_2O_3$ -12,47;  $CaO$ -12,78;  $MgO$ -4,51;  $SO_3$ -0,89.

Минеральный состав Сулу-Терекского месторождения состоит в процентном содержании из: плагиоклаза - 45; пироксена - 22; каолинита - 3; рудного минерала - 8; оливина - 5 и стекла - 15. Температура плавления местных базальтов колеблется от 1230°C до 1280°C [4].

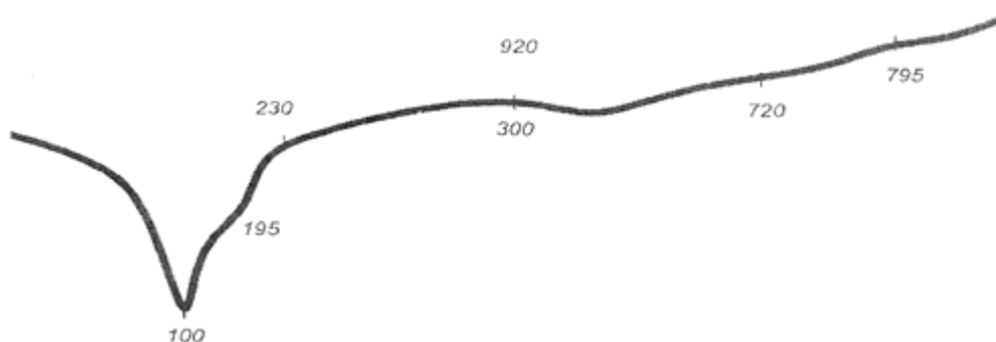


Рис.1. Дифференциально-термический анализ базальта Сулу-Терекского месторождения

Нагревание базальтовой породы до температуры порядка 100°C, происходит удаление влаги, сорбированной образцом в процессе его подготовки. Эндотермический эффект при температурах 100, 200, 250, 300°C соответствует удалению связанной воды из вулканического стекла. Эндотермический эффект с максимумом при температуре 530°C соответствует, полиморфным изменениям в кремнеземной составляющей базальта. Эндотермический эффект при 700, 800°C соответствует разложению карбонатов кальция и магния (рис.1).

При дальнейшем нагревании базальта никаких изменений не наблюдается вплоть до температуры 1140°C, при которой начинается плавление базальта, скорость процесса плавления максимальна при температуре 1165°C. Небольшой по величине эндотермический эффект с максимумом при температуре 1300°C вероятно относится к процессу плавления наиболее тугоплавкой составляющей базальтов - магнетита. При температуре 1300°C базальт находится в жидкоплавком состоянии. На участке охлаждения отмечается экзотермический эффект кристаллизации пироксена с максимумом при температуре 800 °C. Других эффектов в смеси не обнаруживается в связи с высокой скоростью охлаждения.

**Экспериментальная часть.** Для изучения процесса минералообразования из сырьевых смесей (табл.1) были изготовлены образцы размером: диаметром 18 мм и высотой 20 мм спрессованных при давлении  $P$  - 25 МПа.

Образцы, обжигались в лабораторной электропечи с силитовыми нагревателями при выдержке 1 час при максимальной температуре 1300°C. О завершенности процесса минералообразования судили по содержанию  $\text{CaO}_{(св)}$  в спеках, которую определяли этилово-глицератным способом [5].

Для изучения процесса клинкерообразования в шихте с Курментинским известняком нами были проведены ДТА для чистого Курментинского известняка с добавкой базальта (5%) рис.2.

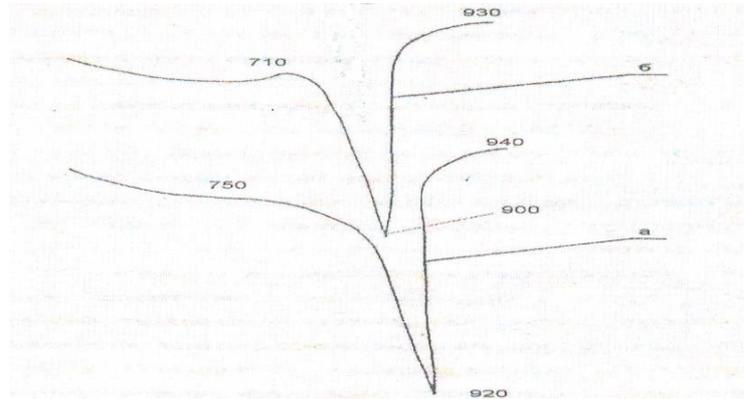


Рис.2. Деривотограмма Курментинского известняка: а-без добавки; б –с добавкой базальта до 5 %

На ДТА Курментинского известняка имеется глубокий эндотермический эффект который начинается при 750°C, достигает максимума при 920°C и завершается при 940°C.

С добавлением к известняку 5% базальта, начало декарбонизации сдвигается в область более низких температур (710°C), при максимуме 900°C и завершается при 930°C.

Согласно рис.2 при добавлении 5% базальта максимум декарбонизации сдвигается на  $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$  (с 920 до 900°C).

Оксид железа присутствующий в составе базальтовой породы в виде минералов магнетита ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и ильменита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$ ), в процессе обжига формирует закисную форму железа  $\text{Fe}^+$ , что в свою очередь их наличие в базальтовой породе приводит к сильным плавням.

Известно [2], что наличие в шихте значительного содержания плавней в составе базальтовой породы ( $\text{TiO}_2$ -1,86%;  $\text{FeO}$ -1,92%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -12,35%) способствует интенсификации процесса клинкерообразования. Базальтовая порода содержит трудно разлагающиеся магнитосодержащие соединения (авгит, оливин). Оливины – представляют собой ряд ортосиликатных твердых растворов в системе  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2 - \text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$  с температурой плавления от 1205°C при 100% до 1890°C при 100%  $\text{MgSiO}_4$ . Структура решетки оливина близка к структуре решетки форстерита. Структурная решетка  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 [\text{SiO}_4]$ . Авгит - относится к группе пироксенов. По химическому составу и кристаллической структуре принадлежит к силикатам цепочечного типа. Химический состав изменчив; окись кальция ( $\text{CaO}$ ) 16—20%, окись магния ( $\text{MgO}$ ) 11,5—17,5%, закись железа ( $\text{FeO}$ ) 5—10%, окись железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 1,5—8%, окись алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 4,5—7,8%, окись титана ( $\text{TiO}_2$ ) 0,2—1,25%, двуокись кремния ( $\text{SiO}_2$ ) 46—50,5%.

С повышением температуры до 900-1300°C обжига оксид магния способствует образованию легкоподвижного расплава минералообразования

[6]. Кроме того, оксид магния при наличии щелочей в сырьевой смеси (1,54-1,92%) способствует более полному усвоению извести в процессе обжига клинкера, так как присутствие ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  приводит к ослаблению анионного каркаса ( $[\text{SO}_4]^{2-}$ ) и уменьшению внутреннего трения вязкости в базальте.

Макашев С.Д. [7] отмечал, что для интенсификации клинкерообразования представляет интерес минерализаторы достаточно активные при твердофазовом спекании, к которым он причислял  $\text{CaF}_2$ . Воздействие  $\text{CaF}_2$  на процесс клинкерообразования связано с образованием промежуточных продуктов  $2\text{C}_2\text{S}\cdot\text{CaF}_2$ , гидролизом фтористых солей при нагревании, влиянием фторидом на полиморфное превращение кремнезема. Ион фтора входит в структуру трехкальциевого силиката в количестве 0,5-0,9% и образует соединения  $3\text{C}_3\text{S}\cdot\text{CaF}_2$  [2].

Однако фторосодержащие минерализаторы, согласно Лугининой И.Г. [8] чувствительны к первичному контакту, так как фторосодержащие минерализаторы реагируют в первую очередь с карбонатом кальция.

Оптимальное количество минерализатора в каждом случае зависит от химико-минералогического состава смеси. В наших исследованиях совместно с базальтовой породой (5%) вводили 1%  $\text{CaF}_2$ . Ускорение процесса усвоения  $\text{CaO}$  объясняется присутствием  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{K}_2\text{O}$  совместное действие которых значительно снижает вязкость клинкерного расплава.

Одновременно при температуре 800-900°C в результате реакций в твердой фазе наряду с алюминатами и ферритами кальция образуется двухкальциевый силикат, как первичная низкотемпературная фаза, что установлено рентгенографическими исследованиями. В спеках, обожженных при температурах 800-900°C, обнаруживается наличие пиков с межплоскостными расстояниями, характерными для белита (2,77 и 2,73 Å), а в спеках, обожженных при 1200°C, наблюдаются линии, характерные для алита (1,48; 3,039; 3,02Å) [9].

При дальнейшем повышении температуры протекают процессы с участием жидкой фазы. Повышение температуры свыше 1200°C обуславливает увеличение количества жидкой фазы ввиду того, что как известно, присутствие в смеси магнийсодержащих соединений (оливина) совместно с ионами железа и титана способствует формированию легкоподвижного расплава и ускоряет процесс минералообразования. Расчетным путем было определено количество, и вязкость жидкой фазы рассматриваемой двухсырьевой смеси.

Количество жидкой фазы оценивалось по формуле:

$$P=2,95x+2,3y+a+v \quad (1)$$

где x- содержание глинозема, y- содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %; a- содержание  $\text{MgO}$ , %; v- содержание  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ , % (см.табл.1). Согласно расчёта количество жидкой фазы составило 36,27%.

Вязкость клинкерного расплава рассчитывалось по формуле:

$$\eta=0,158p+0,04 \text{ [Па}\cdot\text{c]} \quad (2)$$

где  $\rho$ -глиноземистый модуль клинкера.

**Результаты и обсуждения.** Вязкость клинкерного расплава составляет 0,258 Па·с. Вязкость жидкой фазы обычного портландцементного клинкера при температуре 1450°C составляет 1,5-2,0 Па·с, т.е. у рассматриваемой смеси вязкость в 5-6 раз ниже вязкости обычного портландцементного клинкера.

Известно, что снижение вязкости клинкерного расплава способствует интенсификации минералообразования. Поэтому в рассматриваемых смесях процесс клинкерообразования завершается при более низких температурах.

Кроме того, совместное присутствие щелочей с оксидом магния в сырьевой смеси, как известно [3], вызывает более полное усвоение оксида кальция, так как наличие ионов магния и щелочей приводит к ослаблению анионного каркаса расплава, уменьшению внутреннего трения в системе, повышает подвижность расплава и ускоряет растворение белита в два – три раза. Клинкерообразование в щелочесодержащих смесях ускоряется в присутствии оксидов магния, железа, титана, серного ангидрита [3].

### **Выводы**

1. Использование базальтовой породы (5%) с повышенным содержанием оксидов железа, титана, магния и щелочей в сырьевых смесях, с высоким КН и низкорреакционным карбонатным компонентом совместно с добавкой  $\text{CaF}_2$  (1%) способствует завершению процесса клинкерообразования сырьевой смеси при более низкой температуре 1300°C по сравнению с обычным портландцементом у которого клинкерообразование завершается при 1450°C.

2. Базальтовая порода может быть использована в трудноспекаемых сырьевых смесях как минерализующая добавка, совместно с 1%  $\text{CaF}_2$ .

### **Список литературы**

1. Пащенко А.А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ. Киев: Высшая школа, 1999. 223 с.
2. М.К. Ситько, Н.Г. Стародубенко Исследование влияния минерализаторов на процесс обжига портландцементного клинкера //Труды БГТУ, 2016, №3, С.106-110.
3. Тейлор Х. Химия цемента: пер. Англ. М.: Мир, 1996.650 с.
4. Касымов Т.М. Декоративно-отделочные бетонные изделия на основе цементов из базальтосодержащих сырьевых смесей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Бишкек, 2008.
5. Окорков С.Д., Голышко-Вольфсон С.Л., Сычев М.М. Минерализаторы для интенсификации процесса обжига портландцементного клинкера // Сборник трудов по химии и технологии силикатов. 1957, С.147-162.
6. Жумалиев К.М., Абдыкалыков А.А., Алымкулов С.А., Барпиев Б.Б., Абытов А.Б. Аксыйский портландцемент. Бишкек, 2013, с.157.
7. Макашев С.Д. Влияние физико-химических свойств сырья на реакционную способность сырьевой смеси и процессы минералообразования клинкера

// Рт. V междунар. Конгр. по химии цемента. -М.: Стройиздат, 1976.- Т.1.- С.156-162.

8. Лугинина И.Г. Цемент. 1959, №5, 21-24.

9. Черкасов А.В., Перескок С.А. использование плавикового шпата для увеличения производительности цементной вращающейся печи//Цемент и его применение.2014. №7. С.24-25.

УДК: 543:423:575.2 (04)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ г. БИШКЕК АТОМНО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХСТРУЙНОГО ПЛАЗМАТРОНА ДГП -50

<sup>1</sup>Г.Ж. Доржуева, <sup>2</sup>Мамытбек кызы Айгуль

<sup>1</sup>Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а [Gulbara.D@mail.ru](mailto:Gulbara.D@mail.ru)

<sup>2</sup>Кыргызский национальный университет им. Ж.Баласагына, 7220033, Кыргызстан, Бишкек, ул. Абдымомунова 238

**Аннотация:** Представлены результаты атомно-эмиссионного спектрального анализа для определения микроэлементов в районе теплоэлектростанции (ТЭЦ).

**Ключевые слова:** атомно-эмиссионная спектроскопия, двухструйный плазматрон, микроэлементы, концентрация.

## A STUDY OF HEAVY METALS IN SOILS BISHKEK ATOMIC EMISSION METHOD USING DOUBLE-JET PLASMATRON DGP -50

<sup>1</sup>G.J.Dorjueva, <sup>2</sup>Mamitbek kizi Aigul

<sup>1</sup>Institute of Physics named after J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

<sup>2</sup>Kyrgyz National University. Zh. Balasagyna, 7220033, Kyrgyzstan, Bishkek, st. Abdymomunova 238

**Abstract.** The results of atomic emission spectral analysis for the determination of trace elements in the area of CHP (power plant).

**Key words:** atomic emission spectroscopy, two-jet plasmatron, trace elements, concentration.

Исследование техногенного загрязнения окружающей среды является одним из важнейших направлений экологических работ. Практически любой вид техно генеза связан с поступлением в окружающую среду разнообразных отходов, меняющих ее химические характеристики. Техногенное загрязнение

проявляется на различных уровнях- от локального до глобального- и представляет опасность для живых организмов, включая человека. Изучение антропогенного загрязнения почвенного покрова является одной из ключевых проблем, связанной с сохранением природных экосистем. В связи с этим особую значимость приобретает контроль за экологической чистотой объектов окружающей среды, включая содержание микроэлементов. К тяжелым металлам (микроэлементам) относятся свыше 40 химических элементов таблицы Менделеева. Не все тяжелые металлы представляют опасность. [1, 2] Известно, что одним из ведущих факторов загрязнения почв на урботерриториях являются твердые атмосферные осадки. Загрязнение природной среды города промышленными отходами и выбросами оказывает вредное действие на окружающую среду.

Из методов определения тяжелых токсичных металлов в почве наиболее универсальным, экспрессным и с низким пределом обнаружения является эмиссионный спектральный метод.

Традиционно атомно-эмиссионный спектральный анализ проводится с помощью порошковых и жидких проб. Под спектральным атомно-эмиссионным анализом понимают совокупность приемов, с помощью которых в результате измерения интенсивностей в спектрах исследуемого образца количественно определяют содержание в нем интересующих элементов. Обычно наблюдают спектральные линии, лежащие в видимой и ультрафиолетовой областях спектра. Твердые пробы обычно переводятся в порошковые пробы. Чувствительность того или иного вида анализа представляет собой важную составляющую, поскольку чем выше чувствительность, тем ценнее результат [3].

На практике широкому применению атомно-эмиссионного спектрального анализа способствовали его простота и универсальность, низкий предел обнаружения, экспрессность и возможность одновременного определения большего числа химических элементов.

Точность и чувствительность атомного эмиссионного спектрального анализа зависят, прежде всего, от физических характеристик – температуры, концентрации электронов, времени пребывания атомов в зоне возбуждения. Высокая температура и протяженность плазмы двухструйного плазматрона обеспечивают полноту испарения вводимых мелкодисперсных веществ в виде порошка, что является определяющим фактором в атомно-эмиссионном анализе, а высокая стабильность плазмы является гарантом хорошей воспроизводимости и точности анализа.

Поэтому решение целого ряда задач в области охраны окружающей среды требует аналитической информации о концентрации тяжелых металлов в городской черте на уровне ультрамалых концентраций. Например, в качестве индикаторных показателей степени загрязненности почвенного покрова выбросами дымовых труб Бишкекской ТЭЦ служат тяжелые металлы, микроэлементы, которые в больших концентрациях

являются токсикантами. Не менее актуальным является определение тяжелых металлов в выхлопных газах автотранспортных средств [4].

При контроле загрязнения почв тяжелыми металлами, имеющими как естественное, так и техногенное происхождение, отбор представительного образца проб имеет важное значение.

Почва, как и другие объекты окружающей среды (вода, воздух), имеет сложный состав, кроме того, и распределение элементов в этих объектах – многофакторное явление, подчиняющееся статическим закономерностям. Однако, с учетом всех этих факторов, в том числе и естественной variability содержания элементов, можно отобрать представительный образец с достаточной и контролируемой достоверностью.

#### **Экспериментальная часть**

Пробу отбирали по общему требованию к отбору проб по ГОСТ 17.4.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84, города Бишкек на расстояниях от дымовых труб ТЭЦ: 100, 200, 300, 500, 1500, 2000, 3000, 5000, 10000 м. от источника загрязнения. Для контроля санитарного состояния почв отбор проводили глубины 0-10см. С каждой площадки размером 5х5м отбирали одну объединенную пробу, составленную из пяти точек. Пробы отбирались преимущественно во дворах домов, вдали от проезжей части дороги, чтобы максимально уменьшить влияние тяжелых металлов, образованных движением автотранспортных средств.

Для обеспечения воспроизводимости и правильности аналитических результатов большое внимание уделено уменьшению загрязнения проб микроэлементами из внешних источников, а также исключению потерь определяемых элементов на всех этапах работы с образцами. Пробы почвы после удаления из них корней размещают на листе чистой оберточной бумаги.

Каждый образец почвы отмечен пунктом отбора пробы, номером, глубиной отбора от поверхности земли и др. данными. Для этого образец после перемешивания располагают на виде квадрата или прямоугольника, делят шпателем на четыре равные части, и из каждого квадрата берут небольшое количество почвы, захватывая ее на всю глубину.

Каждую полученную пробу сушили до воздушно-сухого состояния, тщательно перемешивали [5]. Насыпанную в фарфоровые тигли помещали в холодную муфельную печь и прокаливали в течении 6 часов при постепенном повышении температуры до 500<sup>0</sup>С. Прокаленную пробу массой 2г истирали на вибрмельнице Пульверизетте-5 до крупности частиц меньше 10 мкм. После этого пробу смешивали с графитовым порошком ОСЧ-8-4 в соотношении 1:1.

Это говорит о том, что загрязнение почв г. Бишкека в основном происходит от распространения дыма от дымовых труб ТЭЦ, так как частицы несгоревших углей и других частиц находящиеся дымовой среде, постепенно рассеиваясь по фракциям, попадают на поверхность земли.

Таблица

## Атомно-эмиссионный спектральный анализ

№	Элемент мг/кг	200м	400м	600м	800м	1000м	ПДК
1	Cr	70	95	75	72	50	100,0
2	As	39	65	43	30	21	50,0
3	Ni	56	45	30	13	9	85,0
4	Cu	50	56	67	43	37	55,0
5	Zn	95	97	105	63	46	100,0
6	Pb	26	34	31	23	20	30,0
7	Co	20	45	47	23	19	50,0
8	V	69	80	95	85	55	100,0

Концентрация хрома, кобальта, никеля и ванадия во всех проанализированных пробах, взятых с различных зон относительно труб ТЭЦ, находится ниже экологической нормы предельно допустимая концентрация (ПДК) данных элементов составляет: Cr-100 мг/кг, Co-50мг/кг, Ni-85 мг/кг.

При сжигании угля огромные массы загрязняющих веществ выбрасываются в атмосферу в виде газов и аэрозоля. Дальность распространения и загрязнения почв зависит от мощности источника, условий выбросов и метеорологической обстановки. По данным зона максимальных концентраций микроэлементов в почве распространяется по направлению ветра, так как крупные частицы аэрозоля более 10мкм, имеющие в своем составе анализируемые элементы за счет «сухого» осаждения и вымывания атмосферными осадками оседают вокруг ТЭЦа по дымовому тракту и образует характерное пятно большего загрязнения. На удалении 400-1000 метров располагается вторая зона, где содержания металлов приблизительно ниже, но в отдельных точках этих зон пробы показывают повышенное содержание некоторых тяжелых металлов.

## Список литературы

1. Закон об охране окружающей среды (в ред. Закон КР от 4 февраля 2002года №22, 11 июня 2003 года №101).
2. Т.А. Скуратова, А.А. Шаршенова, К.Ш. Арзыгулова. И.др. Металлы в атмосферном воздухе г. Бишкек. //Окружающая среда и здоровье человека. Сб. научных трудов. Т.5, 1998.
3. Боконбаев, Ш.А. Ильязов, В.М. Якимов. Распределение тяжелых металлов в почвенном покрове и твердых атмосферных осадках г. Бишкек. //Окружающая среда и здоровье человека. Сб. науч. трудов. Т.6, 1999.

4. ГОСТ 17.4.1.02-83.
5. Т.А. Скуратова, А.А. Шаршенова, и др. Тяжелые металлы в почве западного района г. Бишкек. //Окружающая среда и здоровье человека. Сб. науч. Трудов. Т.4, 1997.

УДК: 530

## ЗАРЯЖЕННАЯ ДИРАКОВСКАЯ ЗВЕЗДА

<sup>1</sup>В.Д. Джунушалиев, <sup>2</sup>В.Н. Фоломеев

<sup>1</sup>*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а*

<sup>2</sup>*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

**Аннотация.** Исследуются конфигурации, состоящие из гравитирующего заряженного спинорного поля  $\psi$  с нелинейностью типа  $\lambda(\bar{\psi}\psi)^2$ . Для обеспечения сферической симметрии системы используются два спинорных поля с противоположными спинами. Найдены регулярные стационарные асимптотически плоские решения, описывающие электрически заряженные компактные объекты. Исследовано влияние электрического заряда на физические характеристики конфигураций в предельном случае больших отрицательных величин безразмерной константы связи  $\bar{\lambda}$ . Показано, что с увеличением заряда максимальная масса конфигураций растёт и стремится к бесконечности при стремлении заряда к критическому значению.

**Ключевые слова:** нелинейные спинорные поля, электрический заряд, компактные гравитирующие конфигурации

## CHARGED DIRAC STAR

<sup>1</sup>V.D. Dzhunushaliev, <sup>2</sup>V.N. Folomeev

<sup>1</sup>*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

**Abstract.** We study configurations supported by a gravitating charged spinor field  $\psi$  with a nonlinearity of the type  $\lambda(\bar{\psi}\psi)^2$ . To ensure spherical symmetry of the configurations, we use two spinor fields having opposite spins. Regular, stationary, asymptotical flat solutions describing electrically charged compact objects are found. We have studied the influence that an electric charge has on physical characteristics of the configurations in the limiting case of large negative values of the dimensionless coupling constant  $\bar{\lambda}$ . We show that with increasing the charge the maximum mass of the configurations increases and tends to infinity when the charge goes to the critical value.

**Keywords:** nonlinear spinor fields, electric charge, compact gravitating configurations

**Введение.** Рассмотрению компактных гравитирующих конфигураций, состоящих из фундаментальных полей различной природы, посвящено

большое количество работ. Наиболее популярным направлением исследований является изучение бозонных звёзд – объектов, образованных скалярными полями со спином 0. Находясь в собственном поле тяготения, такие поля могут образовывать конфигурации, физические характеристики которых лежат в очень широком диапазоне – от типичных для атомов до параметров, сопоставимых с характеристиками галактик [1].

С другой стороны, не исключено, что в природе могут существовать и гравитирующие конфигурации, образованные фундаментальными полями с ненулевым спином. В литературе рассматривают поля со спином 1: Янга-Миллса [2] (безмассовые векторные поля) или Прока [3] (массивные векторные поля). В свою очередь, если источником гравитации служат спинорные поля со спином 1/2, то соответствующие гравитирующие конфигурации описываются уравнениями Эйнштейна-Дирака. Это могут быть сферически-симметричные системы, образованные как линейными [4, 5], так и нелинейными спинорными полями [6]. Такие конфигурации удерживаются от коллапса под действием собственного поля тяготения благодаря принципу неопределённости Гейзенберга. Если к тому же в такие системы добавить электрическое поле, то связанные с ним дополнительные силы отталкивания будут приводить к новым эффектам, заметно изменяющим основные характеристики такого рода объектов [7].

Исходя из этого, целью данной статьи является исследование эффекта включения электрического заряда на свойства гравитирующих конфигураций, образованных нелинейными спинорными полями с константой связи  $\lambda$ . Поскольку спин фермиона имеет внутреннюю ориентацию в пространстве, система, состоящая только из одной дираковской частицы, не может обладать сферической симметрией. Поэтому для обеспечения последней мы возьмём два фермиона с противоположными спинами, т.е. рассмотрим два спинорных поля. В дополнение к ним в систему будет включено сферически-симметричное электрическое поле и детально исследовано его влияние на предельные системы, получаемые в случае больших отрицательных величин безразмерной константы связи  $\bar{\lambda}$ .

## 2. Постановка задачи и уравнения

Мы рассматриваем компактные гравитирующие конфигурации, состоящие из спинорного поля и моделируемые в рамках общей теории относительности Эйнштейна. Для такой системы полное действие может быть представлено в виде [сигнатура метрики – (+, -, -, -)]

$$S = -\frac{c^3}{16\pi G} \int d^4x (\sqrt{-g}R + S_{sp} + S_{EM}), \quad (1)$$

где  $G$  есть ньютоновская гравитационная постоянная,  $R$  – скалярная кривизна, а  $S_{sp}$  и  $S_{EM}$  обозначают действия для спинорного и электромагнитного поля соответственно.  $S_{sp}$  получается из следующего лагранжиана для спинорного поля  $\psi$  с массой  $\mu$ :

$$L_{sp} = \frac{i\hbar c}{2} (\bar{\psi}\gamma^\mu\psi_{;\mu} - \bar{\psi}_{;\mu}\gamma^\mu\psi) - \mu c^2\bar{\psi}\psi - F(S), \quad (2)$$

который содержит ковариантные производные  $\psi_{;\mu} = [\partial_\mu + 1/8 \omega_{ab\mu}(\gamma^a \gamma^b - \gamma^b \gamma^a) + iQ/(\hbar c)A_\mu]\psi$ . Здесь  $\gamma^a$  есть матрицы Дирака в стандартном представлении в плоском пространстве [см., например, в [8], формула (7.27)]. В свою очередь, матрицы Дирака в кривом пространстве  $\gamma^\mu = e_a^\mu \gamma^a$  получаются с помощью тетрады  $e_a^\mu$ , а  $\omega_{ab\mu}$  есть спиновая связность [её определение см. в [8], формула (7.135)]. Слагаемое  $iQ/(\hbar c)A_\mu\psi$  описывает взаимодействие спинорного  $\psi$  и электромагнитного  $A_\mu$  полей, а константа взаимодействия  $Q$  соответствует U(1) заряду. Этот лагранжиан также содержит произвольный нелинейный член  $F(S)$ , в котором инвариант  $S$  может зависеть от  $(\bar{\psi}\psi)$ ,  $(\bar{\psi}\gamma^\mu\psi)(\bar{\psi}\gamma_\mu\psi)$  или  $(\bar{\psi}\gamma^5\gamma^\mu\psi)(\bar{\psi}\gamma^5\gamma_\mu\psi)$ . Здесь мы рассмотрим случай простейшей нелинейности  $F(S) \propto (\bar{\psi}\psi)^2$ .

Наконец, входящее в (1) действие для электромагнитного поля  $S_{EM}$  получается из лагранжиана  $L_{EM} = -(1/4)F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$ , где  $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$  есть тензор максвелловского электромагнитного поля.

Варируя действие (1) по метрике, спинорному полю и векторному потенциалу  $A_\mu$ , мы получим уравнения Эйнштейна, Дирака и Максвелла в искривлённом пространстве:

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2}\delta_\mu^\nu R = \frac{8\pi G}{c^4}T_\mu^\nu, \quad (3)$$

$$i\hbar\gamma^\mu\psi_{;\mu} - \mu c\psi - \frac{1}{c}\frac{\partial F}{\partial\bar{\psi}} = 0, \quad (4)$$

$$i\hbar\bar{\psi}_{;\mu}\gamma^\mu + \mu c\bar{\psi} + \frac{1}{c}\frac{\partial F}{\partial\psi} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial}{\partial x^\nu}(\sqrt{-g}F^{\mu\nu}) = -Q\bar{\psi}\gamma^\mu\psi. \quad (6)$$

Правая часть ур. (3) содержит тензор энергии-импульса  $T_\mu^\nu$ , который может быть представлен (уже в симметричном виде) как

$$T_\mu^\nu = \frac{i\hbar c}{4}g^{\nu\rho}[\bar{\psi}\gamma_\mu\psi_{;\rho} + \bar{\psi}\gamma_\rho\psi_{;\mu} - \bar{\psi}_{;\mu}\gamma_\rho\psi - \bar{\psi}_{;\rho}\gamma_\mu\psi] - \delta_\mu^\nu L_{sp} - F^{\nu\rho}F_{\mu\rho} + \frac{1}{4}\delta_\mu^\nu F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta}. \quad (7)$$

Далее, учитывая уравнения Дирака (4) и (5), лагранжиан (2) принимает вид

$$L_{sp} = -F(S) + \frac{1}{2}\left(\bar{\psi}\frac{\partial F}{\partial\bar{\psi}} + \frac{\partial F}{\partial\psi}\psi\right).$$

Для наших целей мы выберем нелинейный член, присутствующий в этом лагранжиане, в простой степенной форме  $F(S) = -k(k+1)^{-1}\lambda(\bar{\psi}\psi)^{k+1}$ , где  $k, \lambda$  есть некоторые свободные параметры. Ниже мы выбираем  $k = 1$ , что даёт

$$F(S) = -\frac{\lambda}{2}(\bar{\psi}\psi)^2. \quad (8)$$

[Касательно физического смысла константы  $\lambda$ , см. ур. (11) ниже.]

Поскольку здесь мы рассматриваем только сферически-симметричные конфигурации, удобно выбрать метрику в виде

$$ds^2 = N(r)\sigma^2(r)d(x^0)^2 - \frac{dr^2}{N(r)} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (9)$$

где  $N(r) = 1 - 2Gm(r)/(c^2r)$ , а функция  $m(r)$  соответствует текущей массе конфигурации, заключённой в сфере с круговым радиусом  $r$ ;  $x^0 = ct$  – временная координата.

Для описания спинорного поля необходимо задать соответствующий анзац для  $\psi$ , совместимый со сферически-симметричным линейным элементом (9). Это можно сделать следующим образом (см., например, работы [5, 9, 10]):

$$\psi^T = 2 e^{-i\frac{Et}{\hbar}} \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} g \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} if\sin\theta e^{-i\varphi} \\ -if\cos\theta \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -if\cos\theta \\ -if\sin\theta e^{i\varphi} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где  $E$  есть энергия, связанная с осцилляциями спинорного поля,  $f(r)$  и  $g(r)$  – две действительные функции. Этот анзац гарантирует, что пространство-время рассматриваемой системы остаётся статическим. Здесь каждая строка описывает фермион со спином  $1/2$ , и эти два фермиона имеют противоположно направленные спины. Т.о. анзац (10) описывает два дираковских поля, для каждого из которых тензор энергии-импульса сферически несимметричен, но их сумма даёт сферически-симметричный тензор энергии-импульса.

Для выяснения физического смысла произвольной константы  $\lambda$  в (8), выпишем плотность энергии спинорного поля  $\varepsilon_{sp}$  [ $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$  компонента тензора энергии-импульса (7), полученная с учётом (9) и (10) и без учёта электромагнитного поля]:

$$\varepsilon_{sp} = \frac{8E}{\sigma\sqrt{N}}(f^2 + g^2) + 32\lambda(f^2 - g^2)^2. \quad (11)$$

Из этого выражения видно, что  $\lambda > 0$  соответствует случаю отталкивания, а  $\lambda < 0$  – случаю притяжения.

В качестве анзаца для электромагнитного поля мы воспользуемся выражением  $A_\mu = \{\phi(r), 0, 0, 0\}$ , соответствующим случаю наличия только электрического поля  $\phi(r)$ . Тогда, подставляя анзац (10) и метрику (9) в полевые уравнения (3), (4) и (6), можно получить систему уравнений:

$$\bar{f}' + \left[ \frac{N'}{4N} + \frac{\sigma'}{2\sigma} + \frac{1}{x} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{N}} \right) \right] \bar{f} + \left[ \frac{1}{\sqrt{N}} + 8\bar{\lambda} \frac{\bar{f}^2 - \bar{g}^2}{\sqrt{N}} - \frac{1}{\sigma N} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) \right] \bar{g} = 0, \quad (12)$$

$$\bar{g}' + \left[ \frac{N'}{4N} + \frac{\sigma'}{2\sigma} + \frac{1}{x} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{N}} \right) \right] \bar{g} + \left[ \frac{1}{\sqrt{N}} + 8\bar{\lambda} \frac{\bar{f}^2 - \bar{g}^2}{\sqrt{N}} + \frac{1}{\sigma N} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) \right] \bar{f} = 0, \quad (13)$$

$$\bar{m}' = 8x^2 \left[ \frac{\bar{f}^2 + \bar{g}^2}{\sigma\sqrt{N}} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) + 4\bar{\lambda}(\bar{f}^2 - \bar{g}^2)^2 + \frac{1}{16} \frac{\bar{\phi}'^2}{\sigma^2} \right], \quad (14)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{8x}{\sqrt{N}} \left[ \frac{\bar{f}^2 + \bar{g}^2}{\sigma N} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) + \bar{g}\bar{f}' - \bar{f}\bar{g}' \right], \quad (15)$$

$$\bar{\phi}'' + \left( \frac{2}{x} - \frac{\sigma'}{\sigma} \right) \bar{\phi}' = -8\bar{Q} \frac{\sigma}{\sqrt{N}} (\bar{f}^2 + \bar{g}^2), \quad (16)$$

где штрих означает дифференцирование по радиальной координате. Здесь ур. (14) и (15) есть  $\binom{0}{0}$  и  $[\binom{0}{0} - \binom{1}{1}]$  компоненты уравнений Эйнштейна соответственно. Уравнения выше записаны с использованием следующих безразмерных переменных:

$$x = r/\lambda_c, \quad \bar{E} = \frac{E}{\mu c^2}, \quad \bar{f}, \bar{g} = \sqrt{4\pi} \lambda_c^{3/2} \frac{\mu}{M_p} f, g, \quad \bar{m} = \frac{\mu}{M_p^2} m, \quad (17)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\pi \lambda_c^3 \mu c^2} \left(\frac{M_p}{\mu}\right)^2 \lambda, \quad \bar{\phi} = \frac{\sqrt{4\pi G}}{c^2} \phi, \quad \bar{Q} = \frac{1}{\sqrt{4\pi G} \mu} Q,$$

где  $M_p$  есть масса Планка и  $\lambda_c = \hbar/\mu c$  – константа с размерностью длины (поскольку мы рассматриваем некантованную теорию,  $\lambda_c$  не обязательно связана с комптоновской длиной волны);  $N = 1 - 2\bar{m}/x$ . Отметим здесь, что, используя уравнения Дирака (12) и (13), можно исключить производные от  $\bar{f}$  и  $\bar{g}$  из правой части ур. (15).

Для численного интегрирования полученных уравнений выберем следующие граничные условия в окрестности центра конфигурации:

$$\bar{g} \approx \bar{g}_c + \frac{1}{2} \bar{g}_2 x^2, \quad \bar{f} \approx \bar{f}_1 x, \quad \sigma \approx \sigma_c + \frac{1}{2} \sigma_2 x^2, \quad \bar{m} \approx \frac{1}{6} \bar{m}_3 x^3, \quad \bar{\phi} \approx \bar{\phi}_c + \frac{1}{2} \bar{\phi}_2 x^2$$

где индекс «с» обозначает центральные значения соответствующих переменных. Коэффициенты разложения  $\bar{f}_1, \bar{m}_3, \sigma_2, \bar{g}_2, \bar{\phi}_2$  могут быть найдены из системы уравнений (12)-(16). В свою очередь коэффициенты разложения  $\sigma_c, \bar{g}_c, \bar{\phi}_c$ , а также параметр  $\bar{E}$  – произвольны. Их значения выбираются таким образом, чтобы получить регулярные и асимптотически плоские решения с функциями  $N(x \rightarrow \infty), \sigma(x \rightarrow \infty) \rightarrow 1$  и  $\bar{\phi}(x \rightarrow \infty) \rightarrow 0$ . В этом случае асимптотическое значение функции  $\bar{m}(x \rightarrow \infty) \equiv \bar{m}_\infty$  будет соответствовать АДМ массе рассматриваемых конфигураций.

### 3. Численные результаты

Численное интегрирование уравнений (12)-(16) стартует из центра конфигурации (при  $x \approx 0$ ), где задаются определённые значения  $\bar{g}_c, \bar{\phi}_c$  и  $\sigma_c$ , соответствующие центральному плотности спинорного поля, величинам скалярного потенциала и метрической функции. Расчёт выполняется до некоторой граничной точки  $x_b$ , где функции  $\bar{g}, \bar{f}$  и их производные стремятся к нулю (будем называть такие решения внутренними). При фиксированном заряде  $\bar{Q}$ , положение граничной точки полностью определяется только центральным значением  $\bar{g}_c$ . Полученное внутреннее решение сшивается с внешним решением для  $\bar{\phi}$  и функции массы  $\bar{m}$  на границе  $x = x_b$  (см. ниже).

#### 3.1 Случай линейного спинорного поля

Рассмотрим сначала случай отсутствия нелинейности спинорных полей (т.е. задачу, когда  $\bar{\lambda} = 0$ ) [7]. В этом случае в зависимости от величины параметров  $\bar{g}_c$  и  $\bar{Q}$  значение  $x_b$  составляет порядка нескольких сотен для  $\bar{g}_c \approx 0$  и уменьшается до  $x_b \sim 10$  с ростом  $\bar{g}_c$ . При этом по мере увеличения

$\bar{g}_c$  масса конфигураций растёт, достигая максимума, величина которого зависит от значения  $\bar{Q}$ . При  $\bar{Q} = 0$  максимум массы составляет  $M_{\bar{Q}=0}^{\max} \approx 0,709M_p^2/\mu$  [5]. Включение заряда приводит к росту максимальной массы, как это проиллюстрировано на рис. 1, где показаны результаты расчётов для конфигураций, описываемых безузловыми решениями.

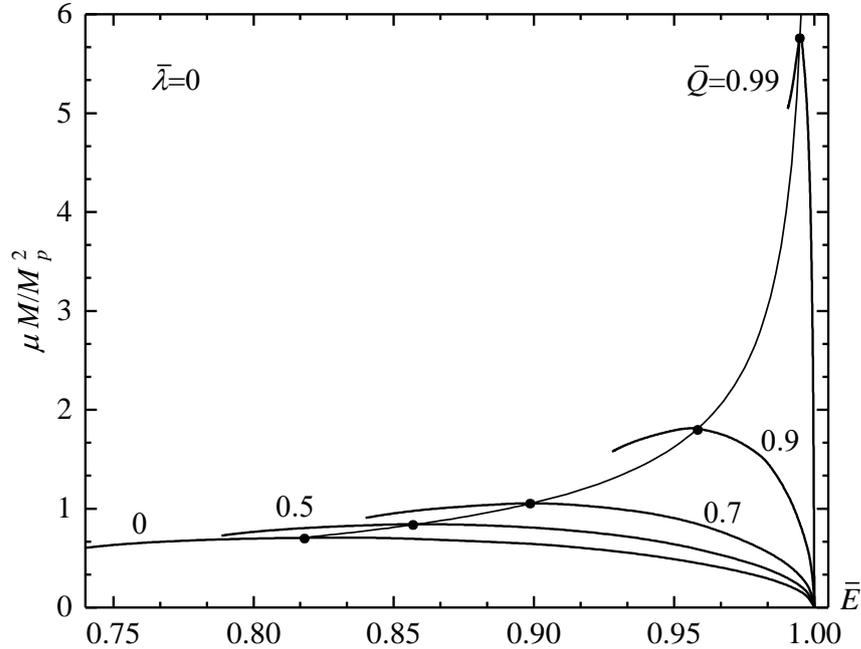


Рис. 1. Безразмерная полная масса  $\bar{m}_\infty$  как функция  $\bar{E}$  для системы с  $\bar{\lambda} = 0$  при  $\bar{Q} = 0, 0,5, 0,7, 0,9$  и  $0,99$ . Жирными точками показаны положения максимумов массы

Наличие дальнедействующего по своей природе электрического поля приводит к тому, что помимо внутренних решений для спинорных и электрического полей также имеется внешнее решение для электрического поля. Для получения этого внешнего решения используются уравнения (14) и (16), в которых полагается  $\bar{f}, \bar{g} = 0$ . Также, поскольку при  $x = x_b$  метрическая функция  $\sigma = \text{const.}$  [см. ур. (15)], мы нормируем её значение на 1 в этой точке, т.е. полагаем  $\sigma(x_b) = 1$ . (Этого всегда можно достичь, учитывая, что система уравнений (12)-(16) инвариантна относительно замены  $\bar{\phi} \rightarrow \alpha\bar{\phi}, \sigma \rightarrow \alpha\sigma, \bar{E} \rightarrow \alpha\bar{E}$ , где  $\alpha$  – произвольная константа.) В итоге имеем следующие уравнения, справедливые при  $x > x_b$ :

$$\bar{\phi}'' + \frac{2}{x}\bar{\phi} = 0, \quad \bar{m}' = \frac{x^2}{2}\bar{\phi}'^2.$$

В качестве граничных условий для этих уравнений берутся соответствующие значения функций  $\bar{m}(x_b)$ ,  $\bar{\phi}(x_b)$  и  $\bar{\phi}'(x_b)$  на границе  $x = x_b$ . Тогда внешние решения имеют следующий вид:

$$\bar{\phi} = C_2 + \frac{C_1}{x}, \quad \bar{m} = \bar{m}_\infty - \frac{1}{2}\frac{C_1^2}{x}, \tag{18}$$

где константы интегрирования есть:  $C_1 = -\bar{\phi}'(x_b)x_b^2, C_2 = \bar{\phi}(x_b) + \bar{\phi}'(x_b)x_b$ . Ввиду калибровочной инвариантности электромагнитного поля к скалярному потенциалу  $\bar{\phi}$  всегда можно добавить произвольную постоянную, с помощью

которой обеспечивается условие  $\bar{\phi}(\infty) = 0$ , что соответствует равенству нулю константы  $C_2$ . Применительно к ур. (12)-(15) это калибровочное преобразование выглядит следующим образом:  $\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi} \equiv (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}_\infty) - \bar{Q}(\bar{\phi} - \bar{\phi}_\infty)$ . В результате единственным свободным параметром остаётся  $\bar{E}$ , и решение задачи сводится к определению собственных значений этого параметра, при которых существуют регулярные монотонно затухающие решения. При этом вклад электрического поля в полную массу  $\bar{m}_\infty$  даётся выражением  $\bar{m}_Q = C_1^2/(2x_b)$ , а внешняя метрика  $N = 1 - 2\bar{m}_\infty/x + C_1^2/x^2$  соответствует метрике Рейснера-Нордстрема.

Из рис. 1 видно, что включение заряда не меняет качественного поведения кривой «масса – частота осцилляций спинорного поля». С увеличением заряда положение максимума смещается к большим значениям  $\bar{E}$  с одновременным ростом массы. Положения максимумов массы  $M^{\max}$  соединены отдельной кривой. Её поведение указывает на то, что по мере приближения к критическому заряду  $\bar{Q} \rightarrow \bar{Q}_{\text{crit}} = 1$  величина  $\bar{E} \rightarrow 1$  (это, в свою очередь, соответствует тому, что центральная плотность спинорного поля  $\bar{g}_c \rightarrow 0$ ), а масса становится бесконечной. Асимптотическое поведение этой кривой при больших  $\bar{Q}$  может быть аппроксимировано зависимостью  $M^{\max} \approx 0,38(\bar{Q}_{\text{crit}} - \bar{Q})^{-1/2} M_p^2/\mu$ .

### 3.2 Предельные конфигурации при $|\bar{\lambda}| \gg 1$

Целью данной статьи является исследование эффекта включения электрического заряда в системы с нелинейностью типа (8). В отсутствие заряда в нашей недавней работе [6] показано, что в предельном случае больших отрицательных значений  $|\bar{\lambda}| \gg 1$  удаётся получить решения, описывающие конфигурации с массами порядка массы Чандрасекара. Здесь мы рассмотрим эту задачу в случае наличия заряда.

В работе [6] продемонстрировано, что с увеличением  $|\bar{\lambda}|$  максимальная полная масса конфигураций растёт как  $M^{\max} \approx \beta\sqrt{|\bar{\lambda}|}M_p^2/\mu$ . Как показывают численные расчёты включение заряда не вносит качественных изменений, и в пределе  $|\bar{\lambda}| \gg 1$  эта зависимость остаётся прежней. При этом численное значение параметра  $\beta$  определяется величиной заряда.

Для получения зависимости  $\beta(\bar{Q})$  рассмотрим приближённое решение системы уравнений (12)-(16) в пределе  $|\bar{\lambda}| \gg 1$ . Для этого, как и в случае систем без заряда [6], можно ввести следующее альтернативное обезразмеривание этих уравнений:  $\bar{g}_*, \bar{f}_* = |\bar{\lambda}|^{1/2} \bar{g}, \bar{f}, \bar{m}_* = |\bar{\lambda}|^{-1/2} \bar{m}$  и  $x_* = |\bar{\lambda}|^{-1/2} x$ . Используя эти новые переменные и учитывая результаты численных расчётов, согласно которым лидирующим слагаемым в ур. (12) является третье слагаемое (...)  $\bar{g}$ , это уравнение даёт (в приближении  $\bar{f} \ll \bar{g}$ ):

$$\bar{g}_* = \sqrt{-\frac{1}{8} \left[ 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{N}} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) \right]}. \quad (19)$$

Подставляя это выражение в ур. (14)-(16), имеем (с той же точностью):

$$\frac{d\bar{m}_*}{dx_*} = 8x_*^2 \left\{ \frac{1}{\sigma\sqrt{N}} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\phi}) - 4\bar{g}_*^2 \right\} \bar{g}_*^2 + \frac{1}{16} \frac{\bar{\phi}'^2}{\sigma^2}, \quad (20)$$

$$\frac{d\sigma}{dx_*} = \frac{8x_*}{N^{3/2}} (\bar{E} - \bar{Q}\bar{\Phi})\bar{g}^2, \quad (21)$$

$$\bar{\Phi}'' + \left(\frac{2}{x_*} - \frac{\sigma'}{\sigma}\right)\bar{\Phi}' = -8\bar{Q}\frac{\sigma}{\sqrt{N}}\bar{g}^2, \quad (22)$$

где теперь  $N = 1 - 2\bar{m}_*/x_*$ . С ростом  $|\bar{\lambda}|$  точность уравнений (19)-(22) улучшается. Это проиллюстрировано на рис. 2, где показаны результаты расчётов для конфигураций с одним и тем же  $\bar{g}_c$  и  $\bar{\lambda} = 0, -100$ . Из сравнения точного и приближённого решений видно их хорошее согласие при  $\bar{\lambda} = -100$ , за исключением поведения при больших значениях радиуса. При  $|\bar{\lambda}| \rightarrow \infty$  эта область становится всё менее важной, и соответственно полная масса рассматриваемых конфигураций будет хорошо описываться асимптотической формулой (см. также обсуждение этого вопроса в [6]).

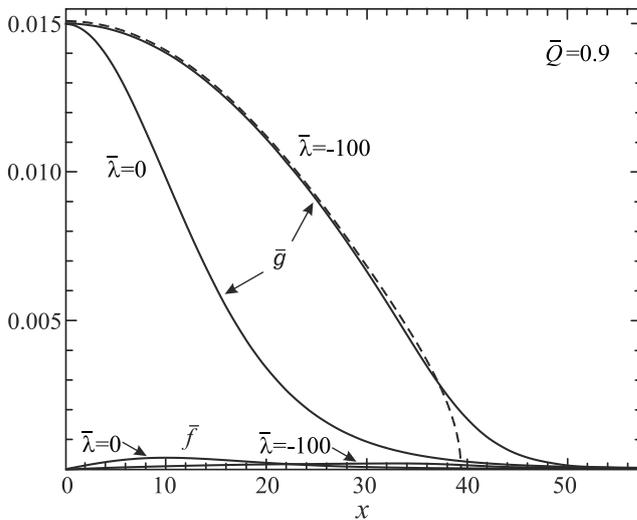


Рис. 2. Спинорные поля  $\bar{g}$  и  $\bar{f}$  как функции безразмерного радиуса  $x$  для  $\bar{\lambda} = -100$  и  $\bar{\lambda} = 0$ . Штриховая линия показывает решение приближённых ур. (19)-(22) с  $\bar{E}/\sigma_c$  из точной модели  $\bar{g}_c = 0,015, \bar{\lambda} = -100$ , отмасштабированное на  $\bar{\lambda} = -100$

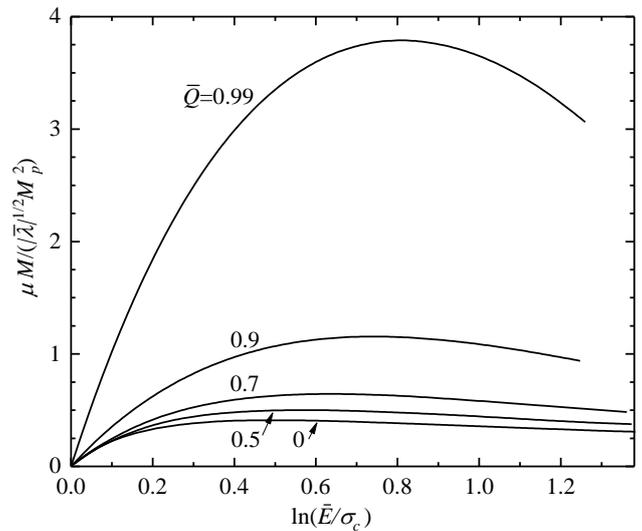


Рис. 3. Безразмерная полная масса  $\bar{M}_*$  как функция от  $\bar{E}/\sigma_c$  для предельных конфигураций, описываемых ур. (19)-(22). Числа возле кривых соответствуют величинам заряда  $\bar{Q}$

Поскольку  $\bar{\lambda}$  не входит явно в ур. (20)-(22), можно использовать эти предельные уравнения для определения перемасштабированной полной массы  $\bar{M}_* = M/(|\bar{\lambda}|^{1/2}M_p^2/\mu)$  как функции единственного собственного параметра системы  $\bar{E}/\sigma_c$ . Соответствующие результаты численного решения ур. (19)-(22) представлены на рис. 3. Эффект введения заряда аналогичен случаю с  $\bar{\lambda} = 0$ : максимальные значения массы растут с увеличением  $\bar{Q}$ , а положение максимумов смещается в сторону больших значений  $\bar{E}/\sigma_c$ .

Таблица

Рассчитанные значения коэффициента  $\beta$  из (23) в зависимости от величины заряда  $\bar{Q}$ .

$\bar{Q}$	0	0,5	0,7	0,9	0,925	0,95	0,975	0,99
$\beta$	0,41	0,50	0,64	1,16	1,35	1,66	2,38	3,79

Из результатов расчётов приближённой системы ур. (19)-(22) и рис. 3 следует, что в зависимости от величины заряда максимум массы есть

$$M_*^{\max} \approx \beta(\bar{Q})\sqrt{|\bar{\lambda}|}M_p^2/\mu, \quad (23)$$

где численные величины коэффициента  $\beta(\bar{Q})$  даны в таблице. Эти значения хорошо аппроксимируются формулой  $\beta \approx 0,38/\sqrt{\bar{Q}_{\text{crit}} - \bar{Q}}$ , которая и определяет расходимость максимальной массы рассматриваемых конфигураций в пределе  $\bar{Q} \rightarrow \bar{Q}_{\text{crit}}$ .

### Заключение

Исследованы компактные сильно гравитирующие конфигурации с двумя нелинейными электрически заряженными спинорными полями, имеющими противоположные спины. Это позволило получить диагональный тензор-энергии импульса, пригодный для описания сферически-симметричных систем. Для такого случая найдены локализованные регулярные безузловые асимптотически плоские решения для спинорных полей, осциллирующих с частотой  $E/\hbar$ . Показано, что для всех допустимых значений  $E$ , константы связи  $\lambda$  и электрического заряда  $Q$  эти решения описывают конфигурации с положительной АДМ массой. Это позволяет применять полученные решения для моделирования компактных гравитирующих объектов (дираковских звёзд).

Основной целью статьи являлось исследование эффекта влияния электрического заряда на физические характеристики спинорных звёзд. Исходя из желания получить объекты с астрофизическими величинами масс порядка массы Чандрасекара, подробно исследован случай систем с большими отрицательными  $\bar{\lambda}$  и величинами заряда, лежащими во всем физически допустимом диапазоне  $0 \leq \bar{Q} < 1$ . В этом случае семейства равновесных конфигураций могут быть параметризованы двумя безразмерными величинами – константой связи  $\bar{\lambda} = \lambda M_p^2 c / 4\pi \hbar^3$  и зарядом  $\bar{Q}$ . Исходя из размерности  $[\lambda] = \text{эрг см}^3$ , можно предположить, что её характерным значением является  $\lambda \sim \tilde{\lambda} \mu c^2 \lambda_c^3$ , где безразмерная величина  $\tilde{\lambda} \sim 1$ . Тогда полученная зависимость максимальной массы рассматриваемых систем от  $|\bar{\lambda}|$  и  $\bar{Q}$  в пределе  $|\bar{\lambda}| \gg 1$  [см. ур. (23)] может быть представлена как

$$M^{\max} \approx \beta(\bar{Q})\sqrt{|\bar{\lambda}|}M_p^2/\mu = (0,46\text{GeV}^2)\beta(\bar{Q})M_e\sqrt{|\bar{\lambda}|}/\mu^2,$$

где величины  $\beta(\bar{Q})$  берутся из таблицы. Эта масса сравнима с массой Чандрасекара для типичной массы фермиона  $\mu \sim 1$  ГэВ, для которой размерная константа связи  $\lambda \ll 1$ . В этом отношении поведение зависимости

максимальной массы заряженных дираковских звёзд похоже на аналогичную зависимость для заряженных бозонных звёзд из работы [11].

### Список литературы

1. Schunck F. E. and Mielke E. W. General relativistic boson stars // *Classical Quantum Gravity* -2003. –V.20: R301.
2. Bartnik R. and Mckinnon J. Particlelike Solutions of the Einstein- Yang-Mills Equations // *Phys. Rev. Lett.* -1988. -V.61. -P.141-144.
3. Brito R., Cardoso V., Herdeiro C. A. R. and Radu E. Proca stars: Gravitating Bose–Einstein condensates of massive spin 1 particles // *Phys. Lett.* -2016. - V.B752. -P.291-295.
4. Finster F., Smoller J. and Yau S. T. Particlelike solutions of the Einstein-Dirac equations // *Phys. Rev.* -1999. -V.D59:104020. -19 p.
5. Herdeiro C. A. R., Pombo A. M. and Radu E. Asymptotically flat scalar, Dirac and Proca stars: Discretevs.continuous families of solutions // *Phys. Lett.* - 2017. -V. B773. -P.654-662.
6. Dzhunushaliev V. and Folomeev V. Dirac stars supported by nonlinear spinor fields // E-print arXiv:1811.07500 [gr-qc].
7. Finster F., Smoller J. and Yau S. T. Particle-like solutions of the Einstein–Dirac–Maxwell equations // *Phys. Lett.* -1999. -V.A259. -P.431-436.
8. Lawrie I. A unified grand tour of theoretical physics. -Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2002. – 564 p.
9. Li X. z., Wang K. l. and Zhang J. z. Light Spinor Monopole // *Nuovo Cim.* - 1983. -V. A75. -P. 87.
10. Wang K. L. and Zhang J. Z. The Problem Of Existence For The Fermion - Dyon Selfconsistent Coupling System In A Su(2) Gauge Model // *Nuovo Cim.* -1985. -V. A86. -P.32.
11. Jetzer P. and van der Bij J. J. Charged Boson Stars // *Phys. Lett.* -1989. - V.B227. -P.341.

УДК 667.7:622.7.017

### СВОЙСТВА ГЛАЗУРОВАННОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Н.К. Касмамытов, А.Ж. Календеров, К.М. Макаева, Э.М. Кыдыралиев

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,  
пр. Чуй 265-а, e-mail:nurkas@mail.ru*

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования некоторых физико-механических и электрических свойств глазурованных высоковольтных фарфоровых керамик (ВФК), изготовленные на основе сырья месторождений Кыргызской Республики. В частности, исследованы электрические свойства на пробивное напряжение, а также определены значения механической прочности на изгиб опытных образцов ВФК, полученных при температурах обжига 1200°C и 1220°C. Исследования показали, что для опытных образцов двух составов ВФК-1 и ВФК-2 средние значения пробивного напряжения соответственно составляют 50 и 52 кВ, а прочность на изгиб соответственно  $66,5 \times 10^3$  и  $71,1 \times 10^3$  МПа.

**Ключевые слова:** высоковольтная керамика, фарфор, минеральное сырьё, физические и механические свойства.

## PROPERTIES OF GLAZED CERAMICS ON THE BASIS OF THE HIGH RAW MATERIAL DEPOSITS IN KYRGYZ REPUBLIC

N.K. Kasmamytov, A.J. Kalenderov, K.M. Makaeva, E.M. Kydyraliev

*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a, e-mail: [nurkas@mail.ru](mailto:nurkas@mail.ru)*

**Abstract.** The paper presents the results of the research of physico-mechanical and electrical properties of high voltage porcelain glazed ceramics (HVC) based on raw material deposits in Kyrgyz Republic. In particular, the electrical properties are investigated for breakdown voltage and mechanical values of bending strength of prototypes, that were obtained at temperatures firing 1200 and 1220 OS OS. The studies have shown that for two prototypes compositions: HVC-1 and HVC-2: average values of breakdown voltage respectively account for 50 and 52 kV and flexural strength respectively  $66.5 \times 10^3$  and  $71.1 \times 10^3$  MPa.

**Keywords:** *high-voltage ceramic, porcelain, mineral raw material, physical and mechanical properties.*

### Введение

Электротехнические материалы, в частности высоковольтные фарфоровые керамические изделия (ВФК) широко применяются в энергетическом секторе экономики Кыргызстана. Они используются в качестве изоляторов при электропередаче, а также при безопасной эксплуатации электроэнергией. Наряду с этим изделия из ВФК используются в различных отраслях промышленности. В зависимости от того в какой отрасли будет использоваться данный электроизоляционный материал на изделие из этого материала ГОСТами [1,2] вводятся определенные требования на эксплуатационные свойства, а именно на механические и электроизоляционные свойства. Поэтому при разработке новых электротехнических материалов, в частности ВФК на базе местного сырья, требуется в обязательном порядке исследовать физико-механические свойства опытных материалов и на их основе определить соответствие опытных ВФК нормативным положениям ГОСТов и определить их область применения.

Целью настоящей работы являлось исследовать основные физико-механические свойства новых составов ВФК изготовленные из сырья месторождений Кыргызской Республики.

### Материалы и методика эксперимента

Для исследований основных физико-механических свойств ВФК на основе местного минерального сырья были приготовлены две партии образцов цилиндрической формы с размерами: длиной 120 мм и диаметром 10 мм. Обе опытные партии образцов ВФК отличались по составу, которые представлены в табл.№1 - первую партию образцов обозначили ВФК-1, вторую партию ВФК-2. О химическом и фазовом составе оксидов минерального сырья, используемые при разработке ВФК-1,2 и глазури подробно написано в работе [3].

Опытные образцы были изготовлены согласно ГОСТ 24409-80 «Материалы керамические электротехнические». «Методы испытаний». Помол керамической массы производили в лабораторной шаровой мельнице: при влажности 50-55%, до остатка тонины помола 1-2 % на стандартном сите 0063. Отметим, что мокрый помол проводился совместный для всех компонентов ВФК. Обезвоживание полученных керамических масс осуществлялось с помощью фильтровальной ткани до остаточной влажности 20-22%. Пластичную массу высушивали в течение 7-10 дней до получения однородной массы и улучшения формовочных свойств. Готовую массу отформовывали с помощью лабораторного ручного экструдера в образцы цилиндрической формы. Сушка отформованных образцов производилась в естественных условиях до влажности меньше 1%.

Таблица 1.

Состав опытных образцов высоковольтной фарфоровой керамики

№	Сырьевые материалы	Состав керамической массы, %(мас.)	
		ВФК-1	ВФК-2
1	Глина Кара Кече	15- 20	15- 20
2	Коалин Чоко-Булак	30- 35	40- 45
3	Фарфоровый камень Уч-Курт	50- 55	35- 40
4	Полевой шпат Вишнегорский (Россия)	-	3- 6

Затем опытные фарфоровые образцы ВФК-1,2 подвергались глазуровке. Опытная глазурь была изготовлена совместным помолом всех компонентов в шаровой мельнице при влажности 40-45%. Помол глазури проводили до остаточной тонины 0.2 – 0.5% (мас.) с использованием стандартного сита 0,040 мм. Глазурование поверхности образцов ВФК-1,2 производилось

методом окунания при плотности жидкой глазури  $1.5 - 1.52 \text{ г/см}^3$ . Отметим, что изготовление керамической массы в виде шликера ВФК и керамической глазури не подвергалась следующим технологическим операциям - магнитному обогащению и вакуумированию. Последнее связано отсутствием оборудования и специальных устройств по магнитному обогащению и вакуумированию керамических масс в нашей лаборатории и в Кыргызстане в целом. После сушки опытные образцы (глазурованные и не глазурованные) обжигались в электропечи при температурах  $1200^\circ\text{C}$  и  $1220^\circ\text{C}$  с выдержкой 1 час по заданному режиму нагрева и охлаждения.

На рис.1 а,б. соответственно представлены схема закрепления образцов (рис.1а) и общий вид установки на передвижной автомашине ЛВИ НVT ОАО «Северэлектро» (рис.1б), где проводились исследования опытных ВФК-1,2 на электрической пробой. Данное оборудование позволяет подавать на опытный образец ВФК-1,2 максимальное напряжение на пробой до 100 кВ.

Измерение прочности на изгиб исследуемых образцов ВФК проводилось согласно стандартной методике трёх точечного изгиба [4].

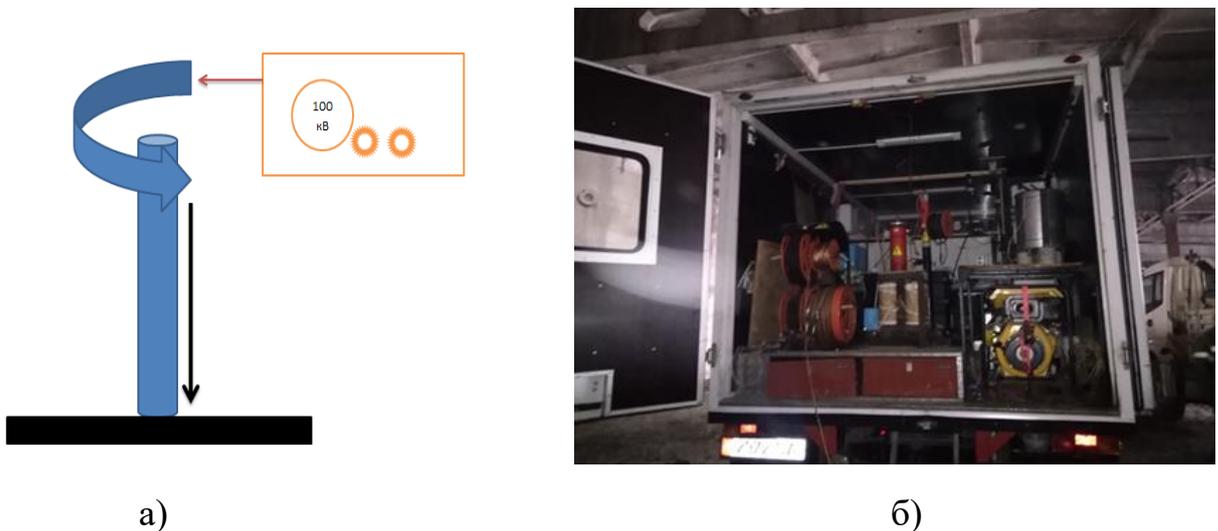


Рис. 1а,б. Электрооборудование «Северэлектро» Кыргызской Республики с помощью которого определялось пробивное напряжение опытных ВФК-1,2: а) схема закрепления образца на установке; б) общий вид установки ЛВИ НVT ОАО «Северэлектро»

**Результаты и обсуждение.** Для высоковольтной фарфоровой керамики важными свойствами являются прочность на изгиб и электрическая прочность. Отметим, что электрическую прочность опытных ВФК измерить не удалось из за отсутствия в нашей лаборатории соответствующего оборудования, да и из за отсутствия её в Кыргызстане. Поэтому нами было проведено исследование опытных образцов ВФК-1,2 на пробивное напряжение. В табл.1 представлены результаты основных физических, механических и электрических свойств опытных образцов ВФК-1 и ВФК-2 обожженных при двух температурах обжига  $1200^\circ\text{C}$  и  $1220^\circ\text{C}$ .

С ростом температуры обжига закономерность изменения плотности и водопоглощения образцов ВФК-1 и ВФК-2 практически одинакова. Из табл.1 видно, что заметно возрастает плотность образцов ВФК-1 от  $\rho=2,14$

г/см<sup>3</sup> и достигает значения  $\rho=2,26$  г/см<sup>3</sup> при температуре обжига 1200<sup>0</sup>С. Соответственно и для образцов ВФК-2 спечённых при температуре 1220<sup>0</sup>С плотность изделий возрастает от средних значений  $\rho=2,15$  г/см<sup>3</sup> до  $\rho=2,30$  г/см<sup>3</sup>. Другими словами плотность образцов ВФК-2 обожжённых при температуре T=1220<sup>0</sup>С по сравнению с ВФК-1 обожжённых 1200<sup>0</sup>С незначительно возрастает. Это обусловлено более активной усадкой образцов ВФК-2 в процессе температурного обжига на T=1220<sup>0</sup>С по сравнению с температурой 1200<sup>0</sup>С. Незначительное увеличение температуры обжига всего  $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$  приводит также к заметному изменению водопоглощения образцов. Например, у ВФК-1 с увеличением температуры обжига водопоглощение образцов уменьшается более чем в 5 раз (см. табл.1). Последнее следует связывать с более существенным уменьшением пористости и увеличением плотности обожжённых образцов ВФК-1 при температуре 1220<sup>0</sup>С. Ранее в работе [5] исследовалось влияние температуры обжига на структуру и свойства ВФК на базе местного сырья, но с другой вариацией состава.

Таблица 2.

Физико-механические и электрические свойства фарфоровой высоковольтной керамики состава ВФК-1

№	Свойства	Температура обжига фарфоровой керамики			
		1200 <sup>0</sup> С		1220 <sup>0</sup> С	
		ВФК-1	ВФК-2	ВФК-1	ВФК-2
1	Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,14	2,15	2,26	2,30
2	Водопоглощение, %	5,6	4,1	1,1	0,98
3	Пробивное напряжение, кВ	50	51	52	57
4	Прочность на изгиб, МПа	66,5	66,8	71,1	72,8
5	Стойкость к термоударам, К	160	160	160	160
6	Модуль упругости, МПа $\times 10^3$	64,9	65,5	71,2	71,7

Следует отметить, что такие термомеханические свойства как стойкость к термоударам, а также механические свойства как модуль упругости и прочность на изгиб для обеих партий образцов ВФК-1,2 соответственно принимают практически одинаковые средние значения в зависимости от состава ВФК и температуры обжига (см. табл.1.). Например, прочность на изгиб для ВФК – 1 при температуре обжига 1200<sup>0</sup>С составляет  $\sigma=66,5$  МПа, а

при температуре 1220°C –  $\sigma=71.1$  МПа. Для ВФК-2 при  $T=1200^\circ\text{C}$  -  $\sigma =66,8$  МПа, а при  $T=1220^\circ\text{C}$  -  $\sigma =72,8$  МПа. Видно, что с ростом температуры обжига прочность образцов ВФК на изгиб заметно возрастает. Таким образом, анализ формирования микроструктуры ВФК-1,2 в процессе обжига, а также изучения её физико-механических свойств, позволяет утверждать, что при температуре обжига 1220°C для обоих составов ВФК-1 и ВФК-2 формируется более качественная микроструктура по сравнению с температурой обжига 1200°C, которая предопределяет её более высокие значения физико-механических свойств. Представляло интерес изучить электрические свойства опытных образцов ВФК-1,2 на пробивное напряжение. Исследования показали, что (см. табл.1) для ВФК-2 в составе которой есть небольшие добавки российского сырья с ростом температуры обжига электрические свойства заметно возрастают, т.е. при  $T=1200^\circ\text{C}$  среднее значение пробивного напряжения составило 51 кВ, при температуре обжига  $T=1220^\circ\text{C}$  пробивное напряжение достигает среднего значения 57 кВ.

### Выводы

В заключение отметим, что предварительные исследования физико-механических свойств ВФК-1,2 изготовленных на основе сырья месторождений Кыргызской Республики показывают, что они имеют достаточно высокие физико-механические свойства с высоким запасом прочности в эксплуатации и с высокими диэлектрическими свойствами, которые соответствуют ГОСТам и не уступают по основным эксплуатационным свойствам соответствующим мировым аналогам. Важно отметить, что составы глазурированных высоковольтных образцов ВФК-1,2 на базе сырья месторождений Кыргызской Республики имеют хорошую перспективу для дальнейшего улучшения их эксплуатационных характеристик путем улучшения их составов и оптимизации технологии их получения.

### Список литературы

1. ГОСТ 20419 -83 ( СТ СЭВ 3567-82). Государственный Стандарт РФ/ Материалы керамические Электротехнические. Классификация и технические требования. (Союза ССР) // М.: Издательство стандартов - 1989. –13с.
2. ГОСТ 24409-80. Государственный Стандарт РФ/ Материалы. Керамические. Электротехнические. Методы испытаний.(Союза ССР)// М.: Издательство стандартов – 1989 -42 с.
3. Мосейко Т.И., Кулакова Н.В., Алексеева Н.Г. Справочник. Минеральные ресурсы неметаллических полезных ископаемых Кыргызской Республики. Строительные материалы.// изд.-во: Министерства геологии и минеральных ресурсов Кыргызской республики. - Бишкек. -1996 –385 с.
4. Касмамытов Н.К. Консолидация порошковых материалов и их прочностные свойства //Метод. руководство. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. - 16 с.

5. Кантай Н., Касмамытов Н.К, Календеров А.Ж. Влияние температуры обжига на формирование структуры и свойств высоковольтной фарфоровой керамики на базе местного сырья // Бишкек: ИФТПиМ НАН КР, Физика, 2018. - №1. - С. 52-63.

УДК 667.7:622.7.017

## СТРУКТУРА ГЛАЗУРОВАННОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КЕРАМИКИ

Н.К. Касмамытов, А.Ж. Календеров, Э.М. Кыдыралиев

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а, e-mail: [nurkas@mail.ru](mailto:nurkas@mail.ru)*

**Аннотация.** Разработаны два состава шихты высоковольтной фарфоровой керамики (ВФК): первый, состоящий полностью из местного сырья (месторождений Кыргызской Республики); второй – из местного сырья с незначительными добавками Вишнегорского полевого шпата (Россия). Для вышеназванных опытных составов ВФК-1,2 разработан состав глазури. Исследована микроструктура глазурованных ВФК при двух температурах обжига 1200°C и 1220°C, полученных на основе минерального сырья месторождений Кыргызской Республики. Методами электронной и оптической микроскопии изучены особенности формирования глазури на поверхности черепка ВФК после обжига.

**Ключевые слова:** минеральное сырьё, составы керамических масс, глазурь, фарфоровая керамика, структура, свойства.

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH VOLTAGE GLAZED CERAMICS

N.K. Kasmamytov, A.J. Kalenderov, K.T. Makayeva, E.M. Kydyraliev

*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a, e-mail: [nurkas@mail.ru](mailto:nurkas@mail.ru)*

**Abstract.** Two whole charge high voltage porcelain ceramics (HVC) were developed: the first consisting entirely of local materials (deposits of the Kyrgyz Republic); the second is from local raw materials with minor additives Vishnegor feldspar (Russia). HVC -1.2 the composition of glaze was developed for the above seasoned compositions. The microstructures of glazed ceramics at two temperatures roasting OS and OS 1220 1200, based on minerals deposits of the Kyrgyz Republic were examined. The peculiarities of formation of glaze on the surface of the paste HVC, after firing were examined using methods of electron and optical microscopy.

**Keywords:** mineral raw materials, compositions of ceramic masses, glaze, porcelain ceramic, structure, properties.

**Введение.** В последнее десятилетие Правительством Кыргызской Республики взят курс на интенсивное развитие электроэнергетики в нашей республике и в ближайшей перспективе развитие электроэнергетики является приоритетным направлением социально-экономического развития Кыргызской Республики. Высоковольтная фарфоровая керамика (ВФК) в

электроэнергетике широко применяется в качестве электроизоляционного материала. Преимущества ВФК по сравнению с другими электротехническими керамиками состоит в том, что основные сырьевые материалы для ВФК доступны (глина, каолин, кварцевый песок и другие), дешевы и имеются в достаточном количестве, а технология изготовления электрофарфоровых керамических изделий наиболее разработано и является не дорогостоящим. Для организации производства ВФК не требует больших стартовых капиталов. Современные вызовы в электроэнергетике Кыргызской республики требуют в ближайшей перспективе иметь свои собственные электроизоляционные материалы на базе местного сырья [1], причем в широком ассортименте и масштабе, не уступающих по своим эксплуатационным свойствам зарубежным аналогам. В настоящее время все виды электроизоляционных материалов завозятся в Кыргызстан из за рубежа по мировым ценам. В связи с этим становится актуальным создание и разработка своих электроизоляционных материалов на основе местного сырья с целью последующего импорта замещения зарубежных диэлектрических материалов на местные. Целью настоящей работы является получение новых составов ВФК и глазури на базе местного сырья месторождений Кыргызской Республики и изучения особенностей формирования их структуры и свойств.

**Экспериментальная часть**

В работе были разработаны керамические массы ВФК двух составов. В табл.1 представлены составы этих керамических масс ВФК-1 и ВФК-2.

Таблица 1.

Массовый состав двух разработанных керамических масс высоковольтной фарфоровой керамики

№	Сырьевые материалы, [1]	Состав керамической массы, %(мас.)	
		ВФК-1	ВФК-2
1	Глина Кара Кече	15- 20	15- 20
2	Коалин Чоко-Булак	30- 35	40- 45
3	Фарфоровый камень Уч-Курт	50- 55	35- 40
4	Полевой шпат Вишнегорский (Россия)	-	3- 6

Отметим, что основными компонентами керамической массы этих двух разработанных ВФК-1,2 являлось сырье следующих месторождений Кыргызской Республики: глина Кара-кече, каолин Чоко-булак и фарфоровый камень Уч-курт.

Из табл.1 видно, что ВФК-1 состоит из 15-20% глины Кара –кече, 30-35% каолина Чоко-булак и 50-55% Уч-куртского фарфорового камня. Состав ВФК-2 отличается от ВФК-1 количественным содержанием вышеотмеченных компонентов, а также наличием в составе дополнительной добавки Вишнегорского полевого шпата. Согласно табл. №1 в составе ВФК-2 каолина Чоко-булак на 10 % больше, а Уч-куртского фарфорового камня на 10% меньше по сравнению с ВФК-1. Помимо этого в состав ВФК -2 дополнительно вводится привозной Российский (Вишнегорский) полевой шпат в небольшом количестве 3-6 %.

В табл.2 приведены значения долевого состава местного и привозного сырья входящие в керамическую массу глазури, предназначенные для нанесения на поверхность опытных образцов ВФК-1,2.

Таблица 2.

Массовый состав глазури, нанесенный на поверхность опытной высоковольтной керамики ВФК-1 и ВФК-2.(%)

№	Сырьевые компоненты глазури	Процентное содержание в % мас.
1	Полевой шпат (Вишнегорский , Россия)	60- 65
2	Фарфоровый камень Уч-курт (Кыргызстан)	20- 25
3	Глина Кара - Кече (Кыргызстан)	8- 10
4	Цинковое белизна (окись цинка, Россия)	3- 5

Отметим, что состав разработанной глазури состоит из трёх основных компонентов: Вишнегорского полевого шпата 60-65%, фарфорового камня Уч-курт-20-25% и глины Кара-кече-8-10%, в которую дополнительно вводили окись цинка в небольших количествах от 3 до 5%.

Опытные образцы ВФК-1 и ВФК-2 для исследований изготавливались по следующей технологической схеме. Вначале осуществляли мокрый помол исходного сырья в шаровой мельнице до требуемой дисперсности и размеров. После помола опытная керамическая масса подвергалась заваливанию в течение 7 дней для того чтобы керамическую массу довести до определённой влажности и пластичности. Далее проводили формование пластичной массы методом экструдирования с требуемой конфигурацией формы и размеров. После формования образцы ВФК высушивали в специальных сушильных шкафах. На поверхность высушенных образцов ВФК тонким слоем наносили глазурь методом окунания изделий в жидкую глазурь. Заключительным этапом в технологической схеме получения ВФК является обжиг глазурированных образцов ВФК в электропечи по заданному

температурному режиму, в процессе которого формируются конечная структура и свойства ВФК [2].

### Результаты исследований и их обсуждение

Обжиг опытных партий образцов ВФК-1 и ВФК-2 проводили на воздухе в лабораторной электрической печи немецкого производства в одинаковых условиях с программируемой температурой нагрева и остывания. Первая партия глазурованных образцов ВФК-1,2 установленная в электропечь медленно (монотонно) нагревалось в течение 10 часов до рабочей температуры 1200°C, при которой проводилась изотермическая выдержка с длительностью 1 час. Вторая партия образцов ВФК-1,2 аналогично обжигалась при температуре 1220°C с выдержкой 1 часа с последующим медленным остыванием вместе с печью до комнатной температуры. Полное время обжига образцов от начала нагрева, выдержки и до окончательного охлаждения (до комнатной температуры) составило 24 часа.

На рис.1. представлена микрофотография, полученная с помощью растрового электронного микроскопа, где показана поверхность глазури, нанесенная на опытный образец ВФК-1.

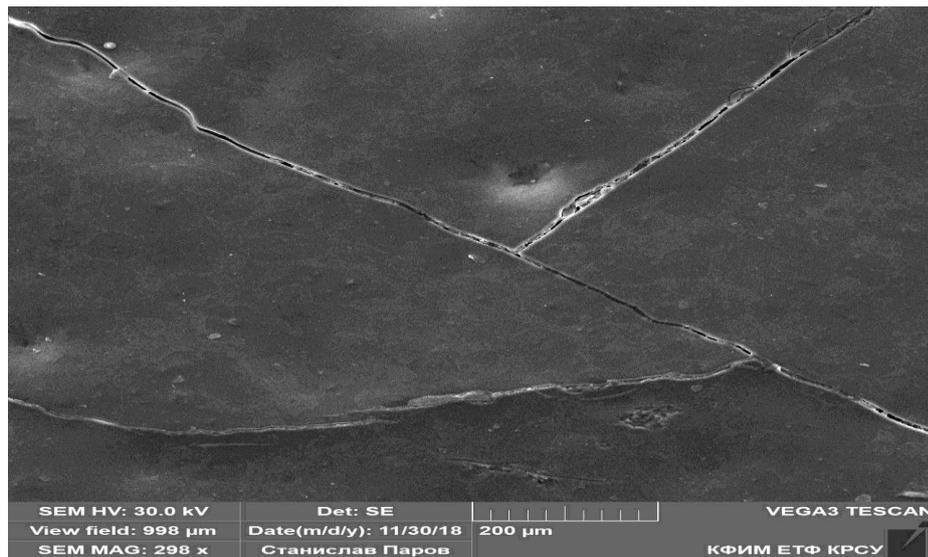


Рис. 1. Микроструктура поверхности глазури, нанесенная на ВФК-1 после обжига 1200°C – 1 ч. Увеличение: x500

Из рисунка видно, что глазурь которая формируется на поверхности керамики ВФК-1 при температуре обжига 1200°C имеет достаточно ровную однородную поверхность с удовлетворительной смачиваемостью с поверхностью черепка ВФК. В отдельных локальных местах на поверхности глазури обнаруживаются ярко выраженные микро-ямочные дефекты. Образование этих ямочных дефектов на поверхности глазури следует связывать с наличием в составе глазури отдельных остаточных крупных частиц, которые не подверглись окончательному измельчению в процессе помола. Очевидно, что при нанесении глазури на поверхность черепка ВФК и

последующего их обжига приводит к образованию таких точечных дефектов. Наряду с этим на поверхности опытной глазури нанесенный на черепок ВФК с помощью растровой электронной микроскопии четко обнаруживается самый распространённый на практике дефект у глазурей. Этот дефект, получил название цека глазури, который образуется на поверхности глазури в виде микротрещин (см. рис.1). Известно [2-4], что образование цека в глазурях характеризуется различными параметрами по величине трещин (толщине и длине) их плотности на единицу поверхности, адгезии в местах цека и других. Несомненно, для полного устранения цека требуются провести дополнительные исследования по оптимизации состава глазури и технологии её получения, а также оптимизации режимов нанесения на подложку, а также термического нагрева и охлаждения. Анализ микроскопических исследований по формированию микроструктуры глазури с различными опытными составами на базе местного сырья (исследовано 30 составов) на поверхности ВФК позволяет утверждать следующее. Исследования по разработке оптимального состава глазури идет в правильном направлении, поскольку последний разработанный состав глазури, представленный в табл.2 является наиболее лучшей композицией, поскольку при нанесении её на поверхность опытных ВФК и последующего обжига формируется глазурь с наиболее минимальным цеком и ямочными дефектами.

Представлял интерес исследовать сцепление нанесенной глазури с поверхностью ВФК-1,2 методом микроскопического анализа. Для этого были изготовлены специальные глазурованные образцы ВФК-1,2 прямоугольной формы в виде штапиков. На этих образцах изготавливали поперечный шлиф к поверхности глазури. На рис. 2. представлена микрофотография поверхности, отснятая с поперечного шлифа ВФК. Из рисунка отчетливо видно глазурованный край черепка керамики ВФК-1 которая имеет темно-серую окраску. Цвет глазури по сравнению с черепком ВФК-1 имеет более темноватую серую окраску. Толщина нанесенной глазури на поверхность ВФК-1 имеет равномерную толщину, причём средняя её толщина составляет  $d=0,38 \pm 0,05 \times 10^{-3}$  м.

Важно отметить, что микроскопический анализ позволяет в априори утверждать о том, что нанесенная глазурь на исследуемый черепок-подложку ВФК-1, имеет хорошую адгезию. На отдельных участках границы раздела между глазурью и черепком ВФК формируется промежуточная область, где наблюдается взаимодиффузионное проникновение глазури в подложку ВФК с образованием промежуточных фаз (см. рис.2). Другими словами имеется химическая связь между поверхностью керамики ВФК-1 и нанесённой на неё глазурью. В структуре самой глазури отчетливо видны микропоры на рис.2 они наблюдаются в виде темных пятен близких к округлой форме. Наличие пор в толще глазури следует связывать с технологией получения жидкой глазури и её особенностей нанесения на черепок, и в первую очередь это

обусловлено отсутствием технологической операции вакуумирования глазури.

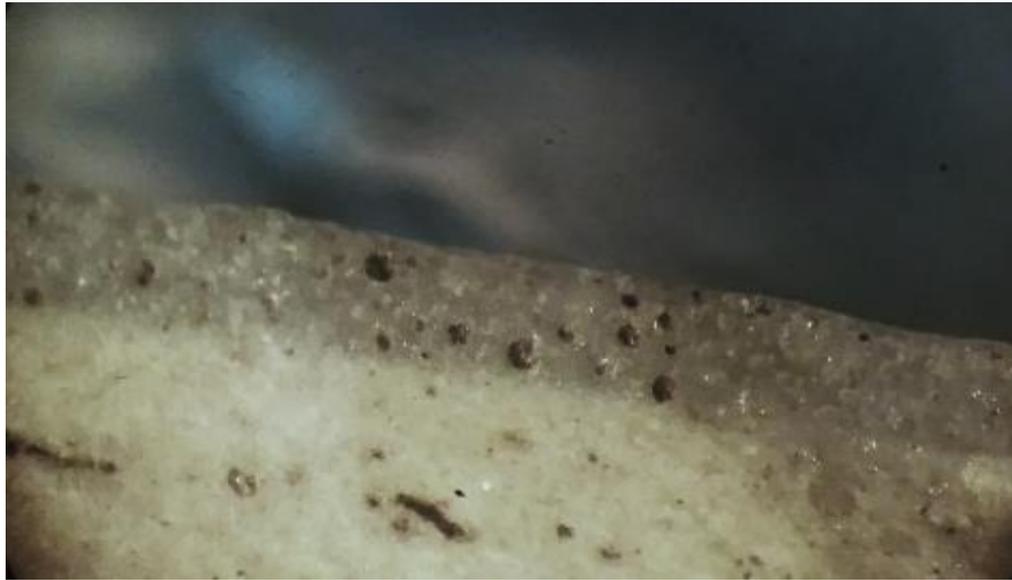
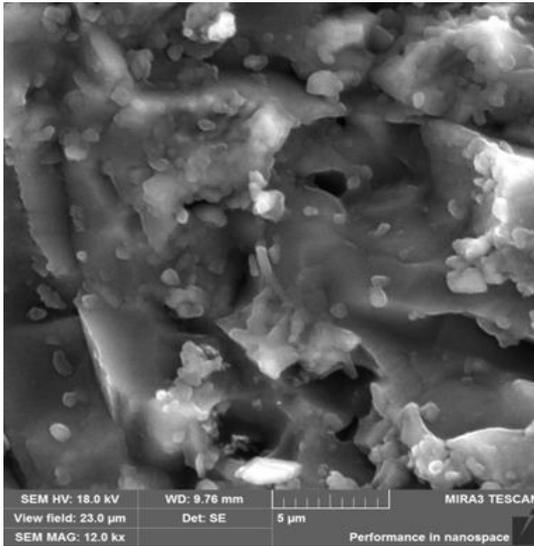


Рис.2. Микроструктура глазури, нанесенной на поверхность ВФК -1 при температуре обжига 1200°C. Поперечный шлиф к поверхности глазури. Оптический микроскоп: увеличение x30

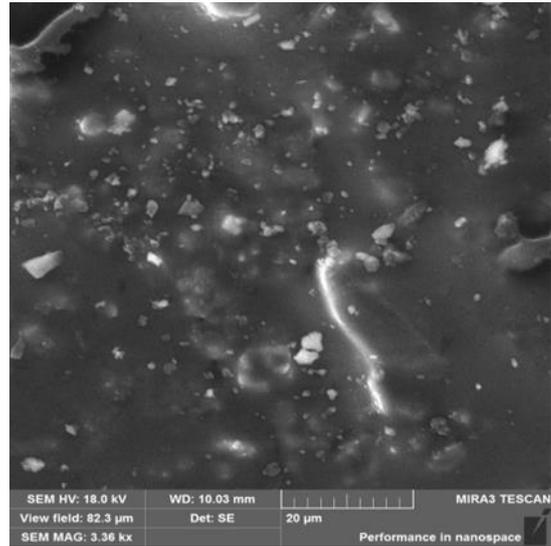
По структурному строению ВФК-1,2 представляет собой сложную композиционную систему (твердое тело), которая состоит из трех основных фаз: кристаллической, стекловидной и поровой (газовой). Кристаллическая фаза является основной и представляет собой химическое соединение или твердые растворы [5,6].

Сравнительный фрактографический анализ микроструктур изломов опытных образцов ВФК -1,2 (см. рис.3 а,б) при температурах обжига 1200°C и 1230°C позволяет качественно интерпретировать формирование микроструктуры ВФК следующим образом. В процессе температурных обжигов как на 1200°C так и 1230°C формируется керамическая композиция ВФК с достаточно качественной микроструктурой. Можно отметить, что при температуре обжига 1230°C в микроструктуре ВФК количество стекловидной фазы заметно больше чем в образцах, обожженных при температуре 1200°C. Важно отметить, что изломы образцов ВФК-1,2 (см. рис.3а,б) обожженных как при 1200°C, так и при 1230°C являются хрупкими. Отличие заключается в том, что излом на образцах ВФК обожженных при температуре 1200°C преимущественно сопровождается по межзёренному механизму. Последнее следует связывать с недостаточностью образования в процессе обжига при 1200°C жидкой стекловидной фазы и не совершенностью формирования микроструктуры при данной температуре. А на образцах ВФК обожженных при температуре 1230°C излом распространяется по транскристаллитному механизму, т.е. излом распространяется как по телу стекловидной фазы, так и по телу кристаллов упрочняющей фазы. Таким образом, при температуре обжига 1230 °C формируется микроструктура ВФК с достаточным

содержанием стекловидной фазы по сравнению с микроструктурой образцов ВФК обожжённых при температуре 1200°C.



а)



б)

Рис.3 а,б. Микроструктура поверхности излома ВФК-1 на основе сырья месторождений Кыргызской Республики: а) образцы ВФК обожжённые при температуре 1200°C; б) ВФК обожжённые при температуре 1230°C

В заключении отметим, что исследования микроструктуры глазурованных ВФК показывает, что при обеих температурах обжига 1200°C и 1230°C формируется достаточно качественная микроструктура, которая в априори предопределяет будущие их физико-механические свойства ВФК. В следующей статье будут представлены результаты физико-механических свойств данных глазурованных ВФК.

### Выводы

1. Разработаны массовые составы двух керамик на основе сырья месторождений Кыргызской Республики соответственно: ВФК-1 состоящий из глины Кара-Кече, каолина Чоко-Булак и фарфорового камня Уч-Курт и ВФК-2 - глины Кара-Кече, каолина Чоко-Булак, фарфорового камня Уч-Курт с небольшой добавкой Вишнегорского полевого шпата.
2. Разработан состав глазури для нанесения на ВФК-1 и 2, включающий в свой состав Вишнегорский полевой шпат 60-65% (Россия), Фарфоровый камень Уч-курт (Кыргызстан) 20-25%, Глина Кара - Кече (Кыргызстан) 8-10%, Цинковое белизна (окись цинка, Россия) 3- 5% мас.
3. Нанесенная глазурь на опытные керамики ВФК-1 и 2 имеет хорошую адгезию с черепком поверхности опытных ВФК-1,2, но обладает отдельными микро дефектами и незначительным цеком.
4. Дальнейшие исследования по получению глазурованной керамики ВФК следует направить на устранение этих дефектов.

## Список литературы

1. Мосейко Т.И., Кулакова Н.В., Алексеева Н.Г. Справочник. Минеральные ресурсы неметаллических полезных ископаемых Кыргызской Республики. Строительные материалы.// изд.-во: Министерства геологии и минеральных ресурсов Кыргызской республики. - Бишкек. -1996 –385 с.
2. Масленникова Г.Н., Харитонов Ф.Я., Костюков Н.С., Пирогов К. С. Технология электрокерамики // М.: Энергия,- 1994. - 224 с.
3. Масленникова Г.Н. Физико-химические процессы образования структуры фарфора //Хим. и тех. сил. и туг. немет. м-ов. Л.: Наука, 1989. - С. 202-215.
4. Мороз И.Х. Кристалломорфологический подход к интерпретации структурообразования в керамике//Стекло и керамика. 1985, №2.-С.21-23.
5. Стороженко Г.И., Завадский В.Ф., Болдырев Г.В. Влияние степени дисперсности глинистого сырья на его структуру и технологические свойства//Изв. вузов. Стр~во.-1998.-№7.-С.51-54.1
6. Мороз И.Х., Валеев Х.С., Миронова А.Ф. Электронно-микроскопическое изучение структуры электротехнического фарфора//Электротех. пром-ть. Сер. Электротехнические материалы. 1978, №3. -С. 12-14.

УДК: 549.086.17

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

К. Хайдаров, А.К. Арыков

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а, e-mail: [kyrgyzalmaz@mail.ru](mailto:kyrgyzalmaz@mail.ru)*

**Аннотация.** Исследуется структура и некоторые физико-механические свойства металлической связки для алмазных инструментов методом металлографии- подготовка и изучение строения структуры шлифа в оптическом микроскопе.

**Ключевые слова:** *металлография, металлическая связка, микроструктура, микротвердость.*

## METALLOGRAPHIC STUDY OF METALLIC LIGAMENT FOR THE DIAMONT INSTRUMENT

К. Khaidarov, A.K. Arykov

*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a*

**Abstract.** The structure and some physical and mechanical properties of metallic ligament for diamond instruments are being studied by the method of metallography – preparation and study of structure of metallographic section in optical microscope.

**Keywords:** metallography, metal bond, microstructure, microhardness.

**Введение.** На современном этапе обработка камня немислима без применения алмазного инструмента.

Анализ опубликованных материалов [1-5] по разработке металлических связок для алмазной дисковой пилы показывает, что для каждого технологического процесса обработки, конкретного вида материала требуется подбор состава связок в соответствии с результатами натуральных испытаний инструмента. Поэтому вопросы, связанные с оценкой связки, изучением ее свойств, определением требований к ней в зависимости от обрабатываемого материала и вида обработки является актуальными. С другой стороны, размер и количество синтетических алмазов и их физико-механические свойства диктуются условиями эксплуатации алмазного инструмента.

В этой работе рассматриваются металлографические исследования опытного образца для выявления структуры. Изготовление образца без алмазного порошка для металлографического исследования при тех же условиях подготовки композиционных алмазосодержащих материалов инструментального назначения (КАМИН) на металлических связках для отрезных кругов осуществлялось способом, модернизированным нами и приведенном в [6]. При двух и более фазах основная задача сводится к более полному проявлению границ между разными по природе фазами и избирательному выявлению зерен одной и той же фазы. Эту задачу решить одним средством практически не удастся. Поэтому в многофазных сплавах вначале выявляют общую микроструктуру, а затем применяют тот или иной способ избирательного выявления фаз. Травление производят в растворах кислот, щелочей, солей и в специальных реактивах [7].

Металлография – метод исследования и контроля механических материалов, подготовка и изучение строения структуры шлифа в оптическом микроскопе. Структуру выявляют с помощью травления, либо среза, шлифования и полирования образца.

**Подготовка и методы измерений опытного образца для микроскопического анализа.** Основная задача пробоподготовки – подготовка вещества, материалов для определенного вида анализа. Пробоподготовка помогает повысить точность получаемых результатов, расширить исследуемый диапазон значений, повысить безопасность исследования, ускорить тест, улучшить воспроизводимость и снизить погрешность результатов.

Обычно пробоподготовка включает в себя комплекс мероприятий при подготовке образцов для оптических исследований.

Изучение структуру образца с помощью микроскопа можно лишь при отражении световых лучей от поверхности исследуемого образца.

Небольшой отражающей способностью обладает ровная и плоская блестящая поверхность. Поэтому поверхность образца для микроанализа шлифование проводили на наждачной шлифовальной бумаге разной зернистости маркировки ISO-6344 используемой маркой P1000 и для сверхтонкой шлифовки P1200- P2500. Для полирования применили пасту ГОИ. Полировали образец до получения зеркальной поверхности. Образец промывали водой и быстро высушивали прикладыванием полированной стороны к фильтровальной бумаге. Образец после полирования и промывки показано в рис.1



Рис.1 Опытный образец после полирования и промывки

В поле зрения микроскопа в рис.2 можно заметить отдельные, обычно небольшие, темные участки. Они могут представлять:

- а) неметаллические включения;
- б) мелкие поры;
- в) структурные составляющие, характерные для некоторых сплавов.

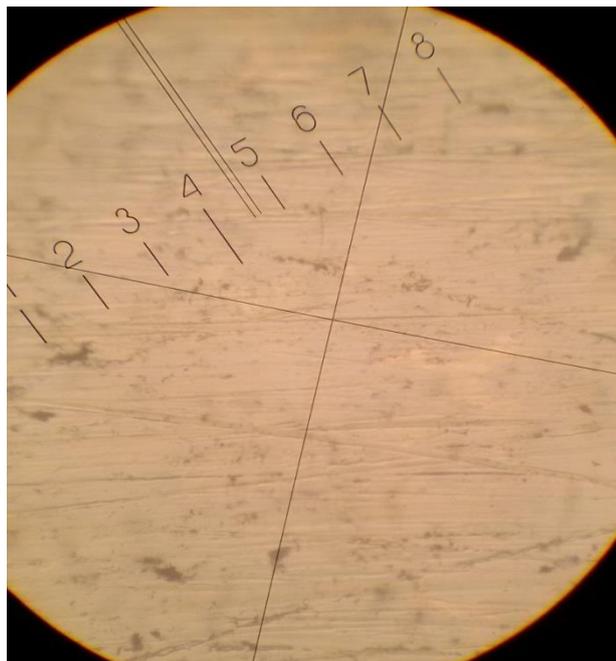


Рис.2. Вид опытного образца из микроскопа ПМТ-3

С помощью металлографического микроскопа до травления на зеркальной поверхности образца наблюдали только дефекты (микротрещины, микропоры).

**Промывка и сушка образцов после травления.** Промывали образец после травления струей проточной воды. После промывки водой образцы промыли в этиловом спирте. При этом удаляли остатки травителя и поверхность просушивали без окисления. Дальнейшую сушку осуществляли фильтровальной бумагой. Для выявления ряда структур образца многократно полировали, чередуя травлением. Повторное травление незамедлительно следовало за первым. В течении 1-3 минуты после травления полировали образец.

Для травления образцов применяли реактив, указанные в таб.1.

Таблица 1.

Реактив для выявления микроструктуры опытного образца

Материал	Состав травителя	Способ травления
Опытный образец	4 мл азотной кислоты , 96 мл этилового спирта	Травить в течение 2-5 с.

Образец, удерживаемый в вертикальном положении с помощью пинцета, немедленно погружали полированной поверхностью в реактив и через 2-5 сек. вынимали из раствора и образец промывали водой. На рис.3 показано выявление границ светлое и темные пятна образца.

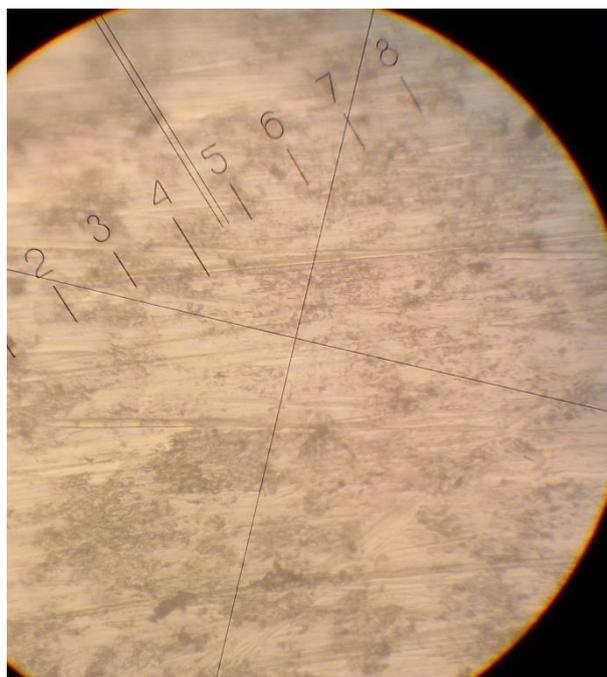


Рис.3 Вид образца после травление

Для исследования определения структуры, размеры зерен и их микротвердость дальнейшего анализа образца использовали микроскоп ПМТ-3.

Технология получения отпечатка производилось согласно по инструкции, описанной авторами В.М. Глазовым и В.Н.Вигдоровичем [8].

Главное назначение - оценка твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов, а также разницы в твердости отдельных участков этих составляющих.

Измерения микротвердости осуществляли на специально подготовленном металлографическом образце с выявленной травлением в 4-х% этиловом спирте азотной кислоты. Для исследования бралось не менее трех образцов. В качестве индентора при измерении микротвердости использовали правильную четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°. При испытании на микротвердость образца применяли 200 г. нагрузки.

**Результаты экспериментов и их обсуждения.** При использовании металлографический образец с выявленной травлением структурой и нанесенной отпечатки отдельные структуры составляющие результаты измерений микротвердости образцов представлены в табл. 2.

В таб.2 до травление образца показано среднее значение микротвердость. Результат измерения микротвердости опытных образцов показывают, что эти параметры у вариант 1 больше, чем у вариант 2, тем самым увеличивается эффективность использования алмазного сегментного инструмента.

Таблица 2.

Микротвердость образцов до и после травление

Наименование опытных образцов	Микротвердость		
	До травление  Нμ, ГПа	После травление	
		Нμ, ГПа	
		светлое	темное
Вариант 1 №1	4,09	4,44	3,74
	№2	3,17	4,23
Вариант 2 №1	3,22	4,00	2,5
	№2	3,14	3,88

Нам выделены две фазы светлые и темные зоны участка образца. Экспериментальные результаты, приведенные в табл.2, свидетельствуют при комнатной температуре образцов как вариант 1, вариант 2 после травления микротвердости на светлой зоне больше по сравнению с микротвердостью темной зоне.

**Выводы:** 1. Для опытных образцов эмпирическим путем определен химический состав травителей.  
2. Выявлены две фазы с различными значениями микротвердости.

## Список литературы

1. Алмазно-металлические композиции /Э.Д. Кизиков, Е.Б. Верник, Н.С. Конивой. -К.: Техника, 1988.-с.135.
2. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. /Бакул В.Н. и др. -М.:Машиностроение, 1975. - 296с.
3. В. А. Александров. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. -Киев.:Наукова думка. 1979.-240с.
4. М. Г. Лошак, Прочность и долговечность твердых сплавов.- Киев. Наукова думка.-1984. - С.222-223.
5. З.Ж. Бегов, Б.С. Карамурзов, А.Х. Тлибеков, М.М. Яхутлов. Выбор материала покрытия на алмазные зерна и оптимизация его толщины. /Сверхтвердые материалы.-1998.- №5.-С. 55-56.
6. К.Хайдаров, А.К.Арыков. Послойноупрочненный композиционный алмазосодержащий материал для строительной индустрии. / Вестник КНУ, вып.3. «Материалы Республиканской научной конференции». Бишкек 2005.- С.186-188.
7. Металлографические реактивы. Справ.изд. Коваленко В. С.—3-е изд.,-М.: Металлургия, 1981. 120с.
8. Микротвердость металлов/ В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович.- М.: Металлургиздат, 1962. - 224 с.

УДК 535.211 (575.2) (04)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОНТЕЙНЕРА АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО МИНЕРАЛА

<sup>1</sup>Б.К. Хайдаров, <sup>2</sup>В.П. Макаров

<sup>1</sup>*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а, e-mail: [kyrgyzalmaz@mail.ru](mailto:kyrgyzalmaz@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Кыргызско – Российский (Славянский) университет им. Б.Ельцина, г.Бишкек, Кыргызстан*

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований по использованию местных минералов для создания контейнеров аппарата высокого давления (АВД) для синтеза алмаза и других сверхтвёрдых материалов. Установлено, что наиболее перспективными для изготовления контейнеров АВД типа наковальня с лункой и тороидом являются композиционные материалы на основе доломитизированного ангидрида Чангетсууского месторождения Джалал-Абадской области с дисперсноупрочняющими составляющими из высокоглинозёмистого, пластифицированного портландцемента и оксидов металлов Mg, Fe.

**Ключевые слова:** Высокое давление, контейнер, синтез алмазов.

## STUDY AND CREATION OF MATERIALS FOR CONTAINERS OF HIGH-PRESSURE APPLIANCES ON THE BASIS OF LOCAL MINERALS

<sup>1</sup>B.K. Khaidarov, <sup>2</sup>V.P. Makarov

<sup>1</sup>*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a*

<sup>2</sup>*Kyrgyz-Russian (Slavic) University of B. Yeltsin, Bishkek, Kyrgyzstan*

**Abstract.** The results of researches of local minerals use for creation of containers of appliances of high pressure (AHP) for synthesis of diamond and other super hard materials are set forth in the article. It was established that the most promising for manufacturing AHP containers of a type anvil with a hole and toroid the composite materials are, based on dolomitized anhydride from the Changetsuu mineral deposit of Jalal-Abad oblast with disperse-hardening components of high-aluminous plasticized Portland cement and oxides of metals Mg and Fe.

**Key words:** *high pressure, container, synthesis of diamonds.*

**Введение.** Для стабильного и воспроизводимого синтеза алмаза в твердофазовой аппарате является оптимизация процесса генерации высокого давления и его распределения в сжимаемом объеме—осуществляются в реакционных ячейках АВД. Одним из основных элементов АВД является упругопластический материал контейнер, который одновременно играет роль среды, передающей давление на реакционную ячейку. Данная работа посвящена разработке материалов контейнера АВД на основе местного минерального сырья.

**Требования к материалу контейнера.** При синтезе кристаллов алмаза и при дальнейшем проведении исследовательских работ в области высоких давлений и температур, нами используется аппарат высоких давлений и температур типа наковальни с лункой и тороидом (НЛТ). Аппарат высокого давления представляет собой твердосплавные, изготавливаемые из вольфрамокобальтовой смеси марок ВК6, ВК8 и ВК15, матрицы с указанными углублениями на обращениях к друг другу торцах, в которые помещают контейнер с реакционной шихтой.

Одним из основных составляющих АВД для синтеза алмазов является упругопластический контейнер, который одновременно играет роль среды, передающей давление на реакционную ячейку и деформируемого уплотнения (прокладки), обеспечивающего удержания давления. Высокое давление в реакционном объеме достигается при больших упругопластических деформациях материала контейнера и прокладки.

От правильного выбора материала контейнера, обладающего оптимальным комплексом свойств, которые удовлетворяют наиболее возможному количеству предъявляемых требований, зависят надежность и долговечность работы АВД, воспроизводимость и стабильность давления и

температуры в АД, а также качество и количество синтезируемого сверхтвёрдого материала.

Исследования по созданию материалов контейнеров твердофазового АД проводились в направлении создания многокомпонентных композиционных материалов на основе местного минерала методом прессования. Особые требования к материалам контейнеров, без удовлетворения которых невозможно создание высокого давления в реакционной зоне и эффективно синтезировать алмазы или другие сверхтвёрдые материалы, на наш взгляд, следующие:

- достаточная податливость, деформируемость, обеспечивающая рабочий ход сжатия;
- достаточно высокое сопротивление сдвигу (высокий коэффициент внутреннего трения), позволяющее максимально герметизировать реакционный объем;
- высокие электросопротивление, термостойкость, отсутствие фазовых превращений при рабочих давлениях и температурах, необходимых для синтеза алмаза.

Из вышеизложенного вытекает, что контейнера АД играют очень высокую роль для создания термодинамических условий синтеза сверхтвёрдых материалов.

**Применяемые материалы для изготовления контейнеров.** Изготовление контейнеров проводилось методом прессования шихты, состоящей из выбранных компонентов с определенными концентрациями и приготовленной известными способами, с последующей термической обработкой.

В качестве исходных компонентов материала контейнера были взяты:

- пиррофиллит (силлиманит) Ак-Тюзского месторождения Чуйской области;
- доломит Чангетсууского месторождения Джалал-Абадской области;
- известняк Сары-Ташского месторождения Ошской области;
- пластифицированный портландцемент и высокоглиноземистый цемент.

Последний впервые был применен нами как связующее вещество и было показано, что он является наиболее перспективным материалом, придающим контейнеру качественных свойств по термостойкости и исходной прочности [1].

Известно, что широко используемый в России и на Украине для изготовления контейнеров АД литографский камень, известняк Алгетского месторождения (Грузия), имеет фазовый переход в арагонит при высоких давлениях и температурах [2].

В качестве связующего вещества использовались пульвербакелит, поливиниловый спирт, бакелитовый лак, силикатный клей.

Для оценки эффективности работы контейнера по генерированию давления, достаточного для протекания фазового перехода графит – алмаз, выбраны критерии, приведенные в [3, 4].

**Форма и способ изготовления контейнеров.** В первую очередь была определена оптимальная влажность шихты, от которой зависят усилие прессования и высота готового контейнера. Зависимость высоты контейнера по тороиду  $h_T$  от усилия прессования при различных влажностях шихты. При этом влажность шихты определялась по потере масса шихты при её отжига при температуре 500 К в течение  $120 \pm 5$  мин.

Прочность готовых к испытанию контейнеров зависит от многих факторов, среди которых основными являются состав шихты и режимы термической обработки контейнеров. С ростом исходной прочности контейнеров растёт и усилие пресса, необходимое для создания давления в реакционной ячейке 7,7 ГПа. Начиная с термообработки при 300К и времени выдержки 90 мин, контейнеры приобретали прочность, достаточную для сохранения практически правильной цилиндрической формы реакционной зоны. Нами выбран режим термической обработки прессованных контейнеров указанного состава:  $T = 400\text{K}$  при времени выдержки 120 мин.

Все исследования контейнеров одного состава проводились на одной паре матриц. Контейнеры для АВД типа НЛТ испытывались в количестве не менее 20 штук.

Для синтеза поликристаллов алмаза типа «карбонадо» используются АВД типа НЛТ, где контейнеры должны обеспечить давление ( $p$ ) в реакционной зоне 7,0 – 8,0 ГПа и температуру ( $T$ ) 1500-2000 К. Форма и базовые размеры контейнеров для АВД типа НЛТ показаны на рис. 1.

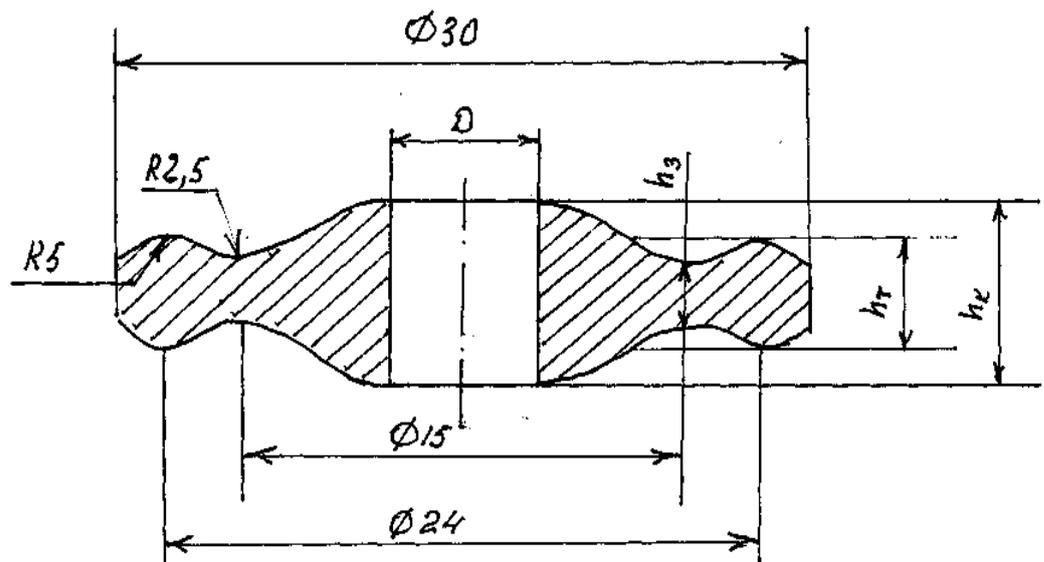


Рис. 1. Схематическое изображение в разрезе контейнера для АВД типа НЛТ.  $h_3$  - высота по запирающему слою,  $h_T$  - высота по тороиду,  $h_k$  - высота контейнера,  $D$  - диаметр реакционной ячейки.

В случае малой прочности материала контейнера пластическая деформация идет при небольших усилиях. Это требует большего хода сжатия, то есть приложения больших усилий на генерацию заданного давления. Кроме того, низкая прочность материала контейнера не обеспечивает сохранения правильной цилиндрической формы реакционной ячейки и долговечности твердосплавных матриц АД.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Режимы термической обработки температура нагрева ( $T, K$ ) и время выдержки при этой температуре ( $t_{\text{выд}}, \text{мин}$ ), высота испытанного контейнера по тороиду –  $h_T$ , мм, толщина запорного слоя (заусенца) –  $h_3$ , мм, критерий однородности  $q$  и коэффициент эффективности использования усилия пресса  $d$  для исследованных составов материала контейнеров на основе доломитизированного ангидрида Чангетсууского м.р. (Джалал-Абадская обл.) для АД типа НЛТ представлены в табл. В составах материала контейнеров указаны смеси, состоящие из различных соотношений компонентов, и содержания связки в шихте в массовых процентах.

Таблица

Состав материала контейнера массовых процентах режим термообработки (температура нагрева –  $T, K$  – и время выдержки при этой  $T, - t_{\text{выд}}, \text{мин}$ ), высота испытанного контейнера по тороиду –  $h_T$ , мм, толщина запорного слоя (заусенца) –  $h_3$ , мм, критерий однородности  $q$  и коэффициент эффективности использования усилия пресса  $d$  контейнеров для АД типа НЛТ.

№ п.п.	Состав материала контейнера, масс %	Режим термообработки		$h_T$ мм,	$h_3$ мм,	$q$	$d$
		$T, K$	$t_{\text{выд}}, \text{мин}$				
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Смесь известняк <sup>1</sup> + ДА <sup>2</sup> ) в соотношении 1:1 – 97,0 БФ4 – 3,0	420±5	90	6,1±0,5	0,78±0,23	0,07	1,06
2.	Смесь известняк + ДА в соотношении: 5:4 – 95,0 БФ4 – 5,0	420±5	90	5,8±0,4	0,71±0,22	0,08	1,12
3.	Смесь ДА+ ППц в соотношении: 1:1 - 98,5 Связка пульвербакелит – 1,5	443	60	7,5±0,6	1,32±0,27	0,05	1,06
4.	Смесь ДА + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в соотношении: 10:1- 98,5 Пульвербакелит – 1,5 Смесь ДА + ППц в соотношении: 4:1 - 98,5	443	60	6,9±0,6	1,93±0,25	0,07	1,1

5.	Пульвербакелит– 1,5 Смесь ДА + ППц в соотношении:1:4 - 98,5	443	60	7,2±0,7	1,10±0,3	0,08	1,2
6.	Пульвербакелит– 1,5 Смесь ДА + ППц+MgO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в соотношении:25:20:2,5:1 - 98,5	443	60	7,4±0,8	1,21±0,28	0,07	1,09
7.	Пульвербакелит– 1,5 Смесь ДА +силлиманит <sup>3)</sup> +MgO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в соотношении: 30:20:3:1 – 95,0	443	60	7,3±0,6	1,41±0,25	0,04	1,02
8.	Связка - поливиниловый спирт - 5,0 ДА+галит в соотношении: 19:1 – 100,0	380	300	6,7±0,5	1,27±0,30	0,06	1,03
9.	Известняк + ДА + MgO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в соотношении 25:20:4:1-95,0 Связи силикатный клей -5,0	400	120	6,7±0,6	0,95±0,3	0,05	1,12
10.	Известняк+ДА+ППц+MgO+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в соотношении 10:4:3:2:1-93,0	600	90	7,0± 0,5	1,4±0,3	0,04	1,02
11.	Связка силикатный клей -7,0	600	90	6,8±0,4	1,45± 0,3	0,03	0,98
<p>1) Известняк Сары-Ташского месторождения Ошской области;                  2) Доломитизированный ангидрид Чангетсууского месторождения Джалал-Абадской области;                  3) Силлиманит пирофиллит Ак-Тюзского месторождения Чуйской области;                  4) Мрамор Чичканского месторождения Джалал-Абадский области;                  5) Галит Кочкорского месторождения Нарынской области.</p>							

При проведении экспериментов для некоторых составов контейнеров наблюдались случаи разгерметизации полости высокого давления («взрывы»). Было обнаружено, что большее количество взрыва наблюдается у материалов, которые прилипают к матрицам при приложении к ним больших нагрузок, когда идет процесс больших пластических деформаций. При выраженном характере такого налипания «выстрелы» проявляются даже в начальный период нагружения. Наиболее часто налипание наблюдалось в полости тороидной канавки, но какая-либо закономерность по месту расположения налипания не обнаруживалась. В некоторых случаях «взрыва» отмечались налипания материала контейнера к центральной части лунки.

Разгерметизация зоны высокого давления, очевидно, зависит от неоднородности распределения напряжений и наличия зон концентрации напряженного состояния материала контейнера. Устранение «выстрелов»,

по-видимому, можно добиться за счет создания наиболее однородного по составу материала контейнера и совершенствования конструкции аппаратов высокого давления. В табл.1. однородность материала контейнера характеризует коэффициент однородности материала –  $q$ . Однако, для оценки эффективности работы контейнера этого критерия недостаточно. Важную роль при создании высокого давления в твёрдо фазовых АД играет деформируемое уплотнение. Поэтому при определении эффективности необходимо учитывать толщину заусенца при предельном рабочем давлении –  $h_3$  и коэффициент использования прессового усилия –  $d$ .

**Выводы.** Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о возможности использования минералов месторождений Кыргызстана в качестве материала контейнеров аппаратов высокого давления для синтеза алмаза и других сверхтвёрдых материалов.

Сформулированы и систематизированы основные требования к материалам контейнеров твёрдофазового аппарата высокого давления и критерии эффективности работы контейнеров по генерации высоких давлений, необходимых для синтеза сверхтвёрдых материалов;

Установлено, что наиболее перспективными для изготовления контейнеров АД типа НЛТ являются композиционные материалы на основе доломитизированного ангидрида Чангетсууского месторождения Джалал-Абадской области с дисперсноупрочняющими составляющими из высокоглинозёмистого, пластифицированного портландцемента и оксидов металлов Mg, Fe на различных связках, в том числе и на поваренной соли Кочкорского месторождения.

Результаты исследований, могут быть использованы в промышленном производстве сверхтвёрдых материалов.

### Список литературы

1. А.с.1787979 СССР, МКИ С 04 В 35/00. Шихта для изготовления контейнера аппарата высокого давления /К. Хайдаров, А.Шалпыков-Опубл.15.01.1993. Бюлл. 2.
2. Шульженко А.А., Чипенко Г. В., Масленко Ю.С,и др. Влияние фазовых превращений в материале контейнера на условия синтезе алмаза // Синтет алмаза.- 1978.- вып.2.- С.19- 21.
3. Хайдаров К. Исследование материалов контейнеров твердофазовых аппаратов высокого давления. /Тр. Международной конф.: «Развитие информационно-коммуникационных технологий в информационном обществе: состояние и перспективы». – Бишкек - 2004. – С. 273-278.
4. Хайдаров Б.К. Макаров В.П. Исследования процесса генерации высокого давления для синтеза сверхтвёрдых материалов. // Физика твёрдого тела, функциональные материалы и новые технологии (ФТТ-2018): Материалы XIV Междунар. науч. конф., посвящ. 80-летию основателя конф. проф. Т.А. Кукутаева. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2018.- 244с. (С.175-178)

УДК 621.921.34–621.922

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ КРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ

К. Хайдаров, А.К. Арыков, В.П. Макаров, Б.К. Хайдаров

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а, e-mail: [kyrgyzalmaz@mail.ru](mailto:kyrgyzalmaz@mail.ru)*

**Аннотация.** Приведены результаты исследования микротвердости композиционных алмазосодержащих материалов до и после обработки жидким азотом.

**Ключевые слова:** *металлическая связка, микроструктура, жидкий азот микротвердость.*

## THE RESEARCH OF COMPOSITE DIAMOND-CONTAINING MATERIALS AFTER CRYOGENIC TREATMENT

К. Khaidarov, A.K. Arykov, V.P. Makarov, B.K. Khaidarov

*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a, e-mail: [kyrgyzalmaz@mail.ru](mailto:kyrgyzalmaz@mail.ru)*

**Abstract.** The results of researches of composite diamond-containing materials microhardness before and after treatment by liquid nitrogen are set forth in the work.

**Keywords:** *metal bond, microstructure, a liquid nitrogen, microhardness.*

**Введение.** Композиционные алмазосодержащие материалы инструментального назначения (КАМИН) получил широкое распространение, благодаря уникальным физико-механическим свойствам алмазов, являющихся основным режущим компонентом КАМИН. Одним из главных направлений совершенствования алмазных инструментов является улучшения его качества, которое во многом определяется технологией изготовления. Изучение процесса алмазной обработки горных пород, проведенное многими исследователями [1-3] убедительно показывает значительное влияние связки на эффективность обработки.

Качество и работоспособность КАМИН определяются их твердостью, износостойкостью, теплостойкостью и теплопроводностью. Хорошо известно влияние низких температур на кристаллическую структуру и свойства материалов. Одним из способов повышения износостойкости алмазных инструментов является термическая криогенная обработка [4-5].

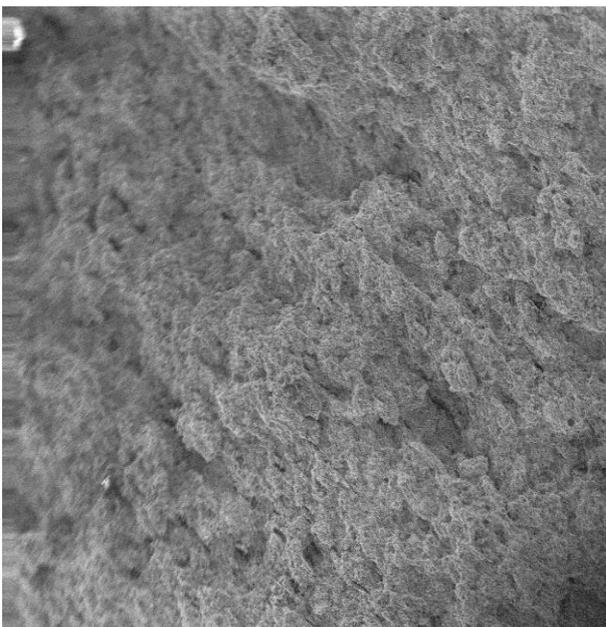
В работе [6] впервые проведено изучение влияния низкотемпературной обработки на микротвердость опытных образцов алмазных сегментов. В данной работе проведено исследование криогенной обработки опытных образцов КАМИН.

**Подготовка, изготовление алмазных сегментов, методы исследований микротвердости и обработки жидким азотом.** Изготовление алмазных сегментов трапециадальной формы на металлических связках для отрезных кругов осуществлялось способом, модернизированным нами и приведенном в [7]. Были изготовлены алмазные сегменты типоразмеров: 24x7,5/6,5x7(6+1)мм, которыми оснащаются алмазные пилы.

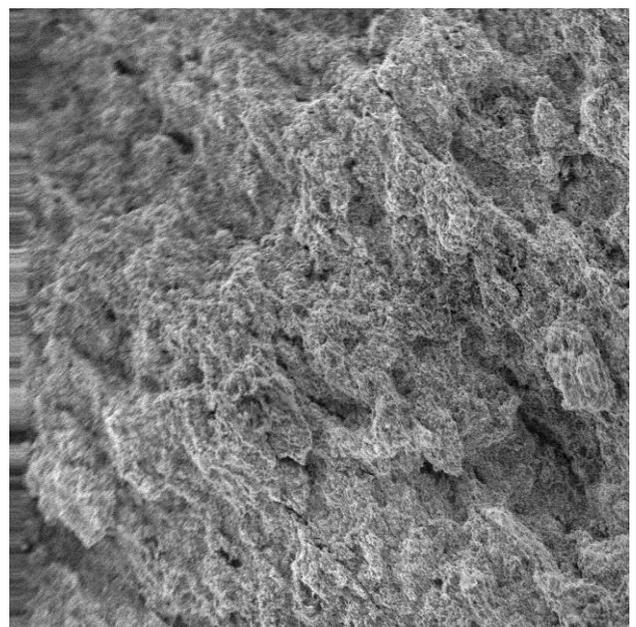
Измерения микротвердости алмазных сегментов осуществлялись по стандартным методикам, соответственно, на приборе ПМТ-3 при нагрузке 200г. Замер этих характеристик алмазных сегментов проводился по осевой линии на двух перпендикулярных гранях образца. При измерении твердости количество отпечатков на одной грани равнялось 10, а расстояние между центрами двух соседних отпечатков и от края образца составляло около 2 мм. Для этого при сборке устройства для горячего прессования в него, помимо алмазоносных брикетов, помещали «свидетель», т. е. брикет без алмазов.

Рабочей средой для криогенной обработки алмазных сегментов выбран жидкий технический азот по ГОСТ 92193-74 - бесцветная жидкость с температурой кипения 77,4 К при атмосферном давлении и плотностью 808 кг/см<sup>3</sup> с содержанием кислорода не более 3%. Необходимо отметить, что при испарении жидкого азота содержание кислорода в нем постоянно увеличивается, так как кислород испаряется при температуре 90,15 К. Опытные образцы в жидком азоте охлаждали в течение 25 минут. Для исследования морфологии поверхности опытных образцов КАМИН использовали электронный растровый микроскоп BS-300 «Tesla». Установка гониометра электронного растрового микроскопа BS-300 «Tesla»: X= 500, Y= 500, Z= 360, R= 000, T= 930. Вакуум составлял 10<sup>-6</sup> мм.рт.ст.

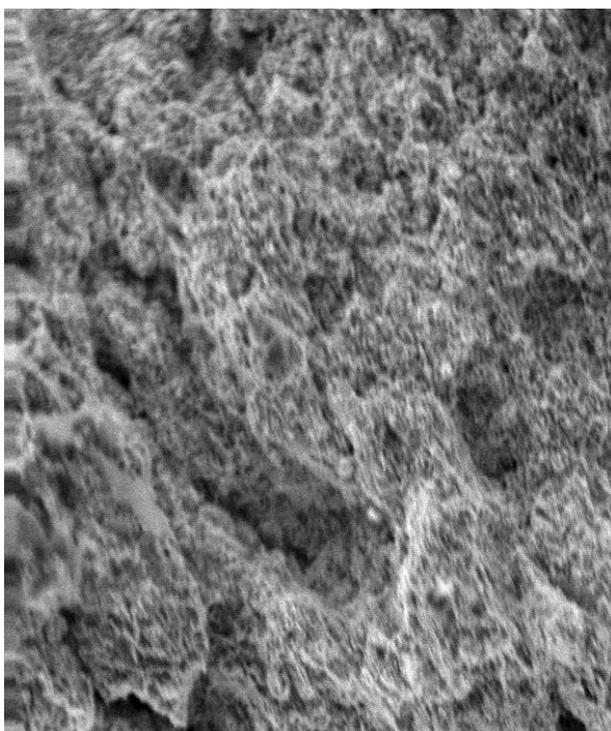
**Результаты и обсуждение.** Результаты наблюдений исследованных образцов КАМИН, под электронным растровым микроскопе (ЭРМ) BS-300 «Tesla» показаны на рис. 1,2.



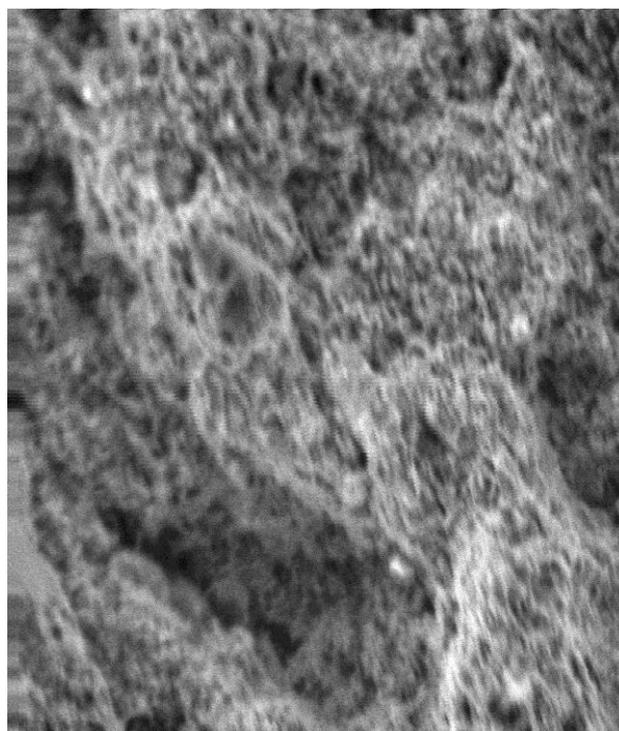
X 100



x 200

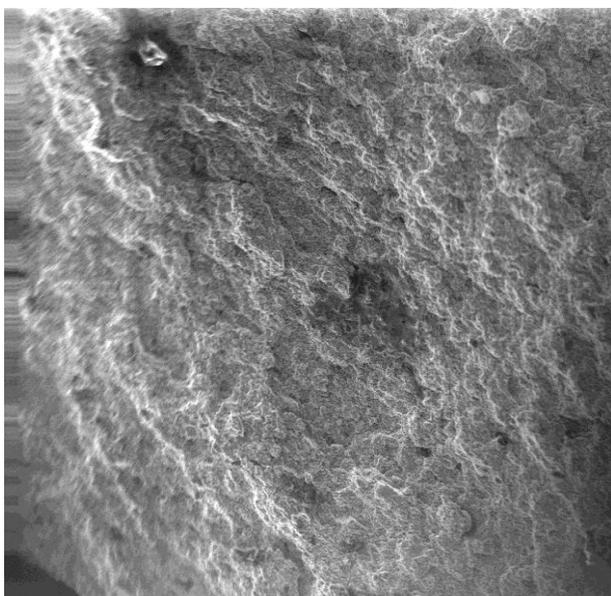


X 600

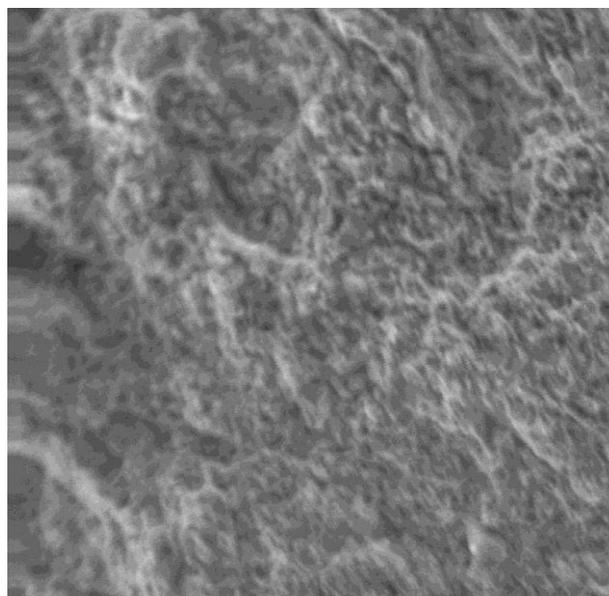


x 1000

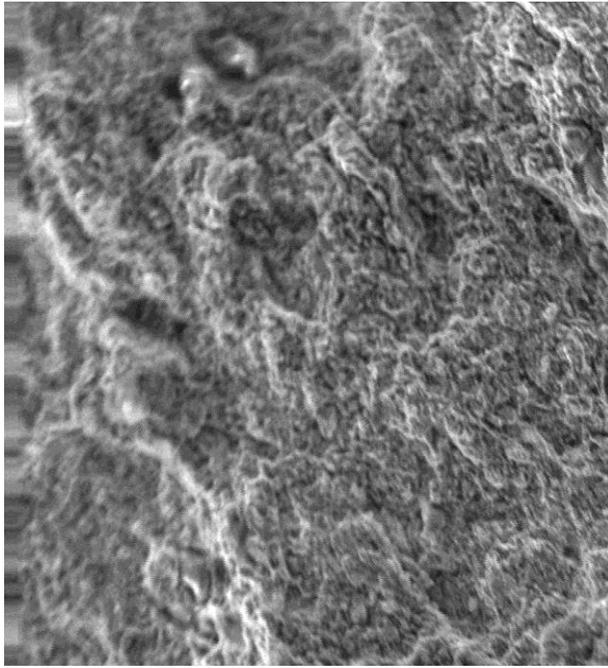
Рис.1. Исходные образцы КАМИН до обработки ЖА. Показаны при различных увеличениях.



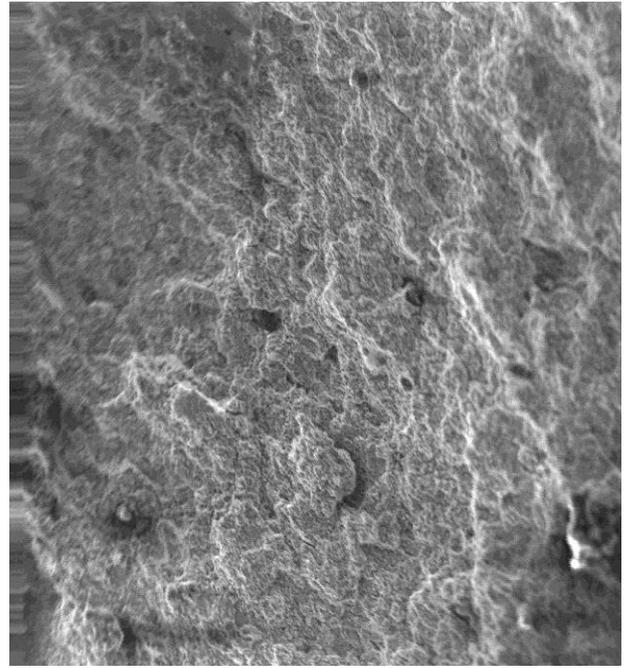
X 100



x 200



X 600



x 1000

Рис.2. Исходные образцы КАМИН после обработки ЖА. Показаны при различных увеличениях.

Анализ результатов фрактографических исследований образцов показал, что криогенная обработка приводит к изменению микроструктуры КАМИН. На поверхности образца изменяется размеры пор и ширина границ.

Металлических связок для КАМИН, предназначенных для высокоскоростной распиловки твердых пород природного камня. Состав и расчетная плотность металлических связок для КАМИН двух вариантов алмазных сегментов показаны в табл. 1.

Таблица 1.

Состав связок алмазного слоя трапециевидного алмазного сегмента, размерами 24x7,5/6,5x7(6+1) мм, в масс.%, и расчетная плотность  $\gamma_p$ , г/см<sup>3</sup>

Состав св.	Fe	Ni	Cu	Sn	ВК8	$\gamma_p$
Вариант 1	51-75	9-16	6-10	0,5-3	6,5-15	7,5-9,2
Вариант 2	40-69	6-10	17-28	4-8	6-15	7,7-9,5

Усредненные значения микротвердости алмазных сегментов до и после обработки жидким азотом на примере образцов различных вариантов трапециевидных сегментов размерами 24x7,5/6,5x7(6+1) мм представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты измерений микротвердости алмазных сегментов до и после обработки жидким азотом.

Наименование образца	Микротвердость, Н <sub>ц</sub> , ГПа	
	Исходный обр.	После обраб. ЖА
Вариант 1	3,99± 0,16	4,66 ± 0,24
Вариант 2	4,23 ± 0,28	4,84 ± 0,02

Из табл.2 видно, что после обработки ЖА повышается микротвердость алмазных сегментов, при этом не исключены увеличения механических напряжений, хрупкости, появления трещин и разрывов. Металлическая связка надежнее удерживает алмазные зерна в процессе распиловки природных камней, что приводит к увеличению работоспособного периода алмазных зерен, а следовательно, и ресурса алмазных сегментов в целом.

Экспериментальные результаты, приведенные в табл.2, свидетельствуют о повышении микротвердости образцов как вариантов 1, 2 так и алмазных сегментов после криогенной обработки в ЖА, по сравнению с микротвердостью исходных образцов.

Из полученных экспериментальных результатов измерений микротвердости различных опытных образцов алмазных сегментов показал, что между этими параметрами, существует корреляция для различных граней. Это свидетельствует о том, что алмазный сегмент при спекании с последующим горячим прессованием приобретает изотропную механическую характеристику по объему.

**Выводы.** Полученные экспериментальные результаты при резком охлаждении алмазных сегментов в ЖА приводят к увеличению сил сцепления между фазами, кристаллитами и в конечном итоге упрочнению КАМИН.

Увеличение усредненное значение микротвердости КАМИН должен привести к улучшению эксплуатационных характеристик алмазных инструментов при их использовании в производственных условиях по обработке природного камня.

### Список литературы

1. Бугаков В. И., Коняев Ю. С. Высокоэффективный алмазный инструмент, изготовленный по оригинальной технологии с применением высоких давлений и температур, новых связок и алмазных материалов. // Сверхтвердые материалы, -2001 - №6 – с. 54-63.

2. Получение свойства СТМ и перспективные технологии их применение. Сб. научн. Тр. // АН УССР. Институт сверхтвердых материалов. Киев. 1990. с. 148.
3. Физико-химические свойства СТМ и методы их анализа. Сб. научн. Тр. // АН УССР. Институт сверхтвердых материалов. Киев. 1987. с. 116.
4. Способ термической обработки инструмента. А.с. № 485161 СССР /Жмудь Е.С. // БИ. 1975. - № 35.
5. Способ упрочнения твёрдосплавного и алмазного инструмента для бурения горных пород: Патент РФ, № 2101456 /Рябчиков С.Я., Мамонтов А.П. /БИ. 1998. -№ 1.
6. К. Хайдаров, А. К. Арыков, Б.К. Хайдаров. Обработка жидким азотом КАМИН./ Научный и информационный журнал «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ». №1/2014(4). Бишкек-2014.- С. 31-35.
7. К. Хайдаров, А. К. Арыков. Послойноупрочненный композиционный алмазосодержащий материал для строительной индустрии. / Вестник КНУ, вып.3. «Материалы Республиканской научной конференции». Бишкек 2005.- С.186-188.

УДК:621.373.826

## ЛАЗЕРНО ИНДУЦИРОВАННАЯ РЕЛЬЕФНАЯ ЗАПИСЬ НА ПЛЕНКЕ СЕРЕБРА ПРИ ПРЯМОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СЛОЙ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ

Сыдык уулу Н.

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а*

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты прямой лазерной записи на двухкомпонентной среде, состоящей из нанесенных слоев аморфного кремния и серебра на стеклянную подложку методом магнетронного напыления. Лазерное воздействие проводилась сфокусированным излучением одномодового полупроводникового лазера с длиной волны  $\lambda = 405\text{нм}$  на слой аморфного кремния со стороны стеклянной подложки. На электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN исследовано формирования рельефа на пленка серебра при прямой записи импульсами полупроводникового лазера с  $\lambda = 405\text{нм}$  на подслое а-Si .

**Ключевые слова:** *прямая лазерная запись, аморфный кремний, пленка серебра, излучение, электронный микроскоп.*

## LASER INDUCED RELIEF WRITING SILVER AT DIRECT LASER IMPACT ON THE LAYER OF AMORPHOUS SILICON

Sydyk uulu N.

*Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,  
pr. Chui, 265-a*

**Abstract.** This paper presents the results of direct laser recording on a two-component medium consisting of deposited layers of amorphous silicon and silver on a glass substrate by magnetron sputtering. Laser exposure was carried out by focused radiation of a single-mode semiconductor laser with a wavelength  $\lambda=405\text{nm}$  on the amorphous silicon layer from the glass substrate. On the electron microscope TESCAN VEGA 3 LMH investigated the formation of the relief on the silver film with direct recording pulses of a semiconductor laser with  $\lambda = 405\text{nm}$  at the a-Si layer.

**Keywords:** *direct laser recording, amorphous silicon, silver film, radiation, electron microscope.*

Ранее в работах с помощью метода магнетронного нанесения на магнетронной распылительной установке были получены пленки аморфного кремния и интерференционные спектральные фильтры [1,2]. На полученные пленки аморфного кремния проводили лазерную запись на разных длинах волн и в процессе эксперимента было установлено, что под действием лазерного излучения аморфный кремний переходит в поликристаллический и при этом происходит увеличение объема за счет перестройки структуры аморфного кремния [3,4]. Когда аморфный кремний переходит в поликристаллическое состояние, перестраивается решетка и в пленке образуются выпуклости за счет локального увеличения объема среды при воздействии сфокусированного лазерного излучения. Для изучения выпуклостей или впадин в пленке аморфного кремния готовились образцы, представленные на рис. 1.

Лазерное воздействие на пленку аморфного кремния проводили через стеклянную подложку. Нано размерный слой серебра был нанесен с целью создания проводящего слоя для просмотра их электронном микроскопе.

Лазерное воздействие проводили со стороны стеклянной подложки излучением Blu-Ray лазера с длиной волны  $\lambda=405\text{ нм}$ , с фокусировкой на слое аморфного кремния. Диаметр сфокусированного пятна зависит от длины волны лазерного излучения и числовой апертуры объектива NA

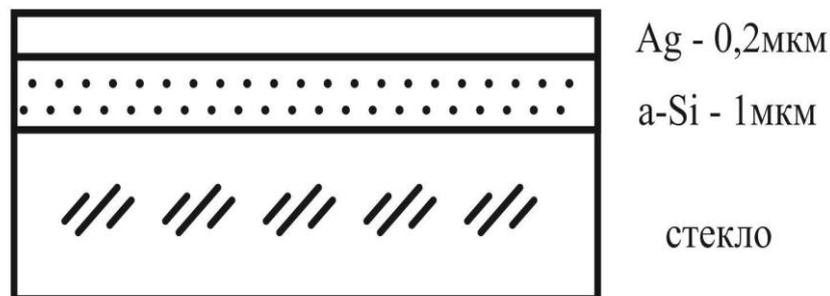


Рис.1. Структура двухкомпонентной среды из нанесенных слоев аморфного кремния и серебра на стеклянную подложку

$$d = \lambda / NA \quad (1)$$

Так как под действием лазера происходит фазовый переход от аморфного к поликристаллическому состоянию среды, при локальном увеличении объема кремния и продавливании пленки серебра (рис. 2).

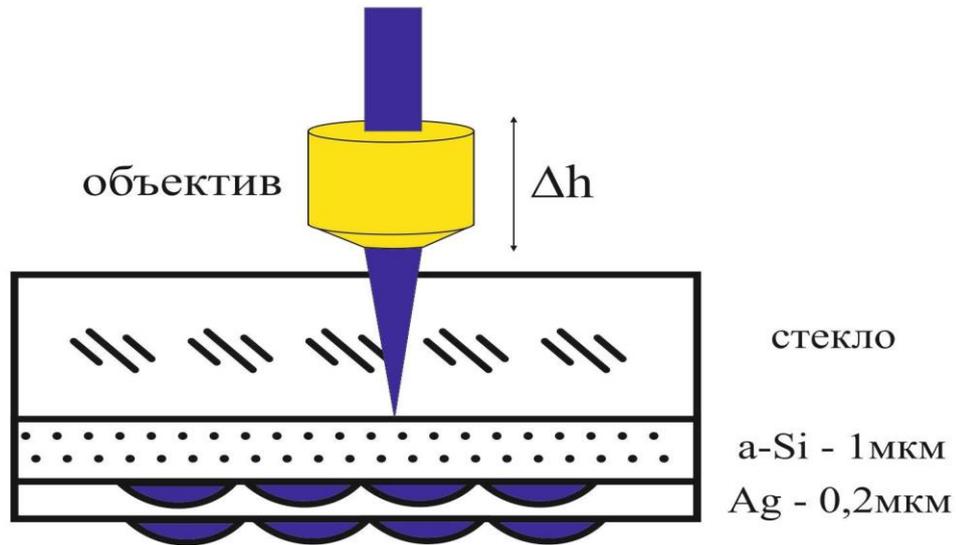


Рис.2. Прямая лазерная запись на пленке аморфного кремния

Рассматривался нагрев с объемным источником тепловыделения на основе закона затухания интенсивности излучения нормально падающего излучения в материале (Бугера-Ламберта) для слоя a-Si толщиной  $h_1$

$$I(x,y,z,t) = I(x,y,-h_1,t) \exp[-\alpha(z+h_1)] \quad (2)$$

и интегрируя по продольной и радиальной координате можно найти мощность тепловыделения в аморфном кремнии.

Исследование рельефа образованного при лазерно индуцированной записи на пленке серебра под воздействием излучения полупроводникового лазера на слой аморфного кремния было проведено на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN (рис. 3). Образцы с записью лазерным излучением были исследованы на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN (Производитель – Чешская Республика), который установлен в Кыргызско – Российском Славянском университете.



Рис. 3. Электронный микроскоп TESCAN VEGA 3 LMH

Фотографии формирования рельефа на пленка серебра при прямой записи импульсами полупроводникового лазера с  $\lambda = 405\text{нм}$  на пленке a-Si, снятые на электронном микроскопе показаны на рис. 4. Для выявления выпуклостей предметный столик образцов наклонили под не большим углом к детектору свечение на образце появилась со стороны детектора, это объясняет то, что поверхности пленки аморфного кремния имеют выпуклость, где свечение на образце больше попадает электронов, чем на темную сторону.

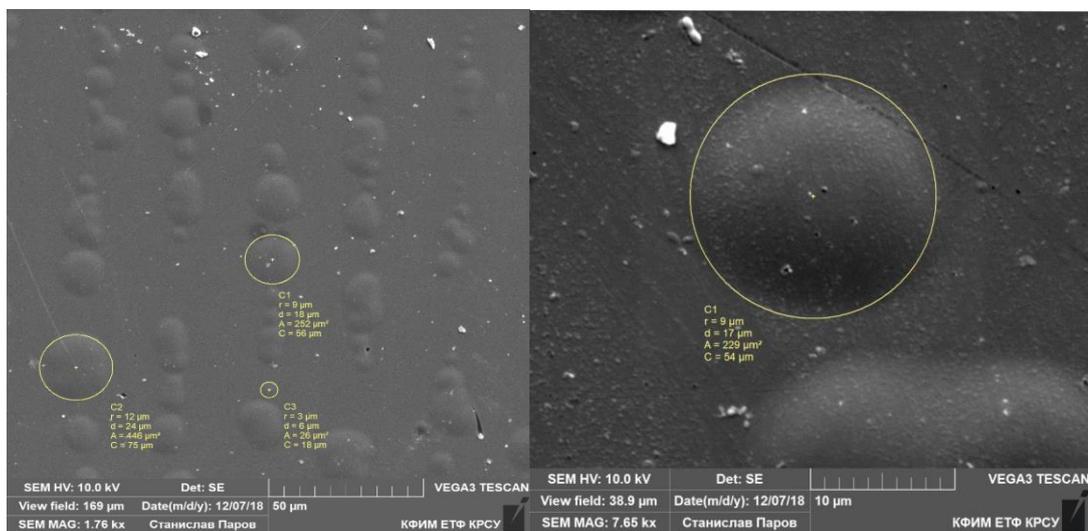


Рис. 4. Фотографии формирования рельефа на пленка серебра при прямой записи импульсами полупроводникового лазера с  $\lambda = 405\text{нм}$  на пленке a-Si, полученные на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMH

Предложен новый метод лазерно индуцированной рельефной записи на пленке серебра посредством ее деформирования за счет локального увеличения объема подслоя аморфного кремния при прямом лазерном воздействии и его переходе среды от аморфного состояния к полукристаллическому.

## Список литературы

1. В.П. Макаров, С.С. Великасов, К.В. Макаров, А.Ж. Календеров, Сыдык уулу Н. «Магнетронная напылительная система для получения пленок  $\alpha$ -Si» // Труды Международного семинара «Оптика и фотоника» Иссык-Куль Кыргызстан, сентябрь 2012 г. С. 126-128.
2. А.А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И.А. Снимщиков, С.С. Великасов, В.П. Макаров. «Спектральные интерференционные фильтры на пленках аморфного кремния и прямая лазерная запись на них» // Мир голографии-2016. Том 2, №1 С. 83-87.
3. А. А. Кутанов, Н. Сыдык уулу, И. А. Снимщиков, В. П. Макаров, С. С. Великасов «Особенности технологии прямой лазерной записи дифракционных и голограммных структур на пленках a-Si и GeTe» // Мир Голографии-2017. Том 3, № 1. С. 50-52.
4. Кутанов А.А., Сыдыкуулу Н., Казакбаева З.М. «Трехмерная лазерная запись изображений на пленках аморфного кремния» // Международной конференции. Сиб.Оптика-2018, 23-27 апреля 2018 г. С. 24-29. Новосибирск СО РАН

УДК: 535.373.2

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛАХ NaF

<sup>1</sup>Д.К. Мамытова, <sup>1</sup>Чолпон кызы Надирабегим, <sup>2</sup>М.М.Кидибаев,  
<sup>2</sup>Г.С.Денисов, <sup>2</sup>У.К.Мамытбеков, <sup>2</sup>Ж.К.Мамытбеков

<sup>1</sup>Кыргызский национальный университет им. Ж.Баласагына, 7220033, Кыргызстан,  
Бишкек, ул. Абдымомунова 238

<sup>2</sup>Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071,  
Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

**Аннотация.** Приведены результаты исследования особенностей импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) наноразмерных неактивированных кристаллов NaF, а также результаты исследования зависимости световыхода ИКЛ неактивированных наноразмерных кристаллов NaF от флюенса в основных полосах свечения центров окраски. Их природа связана с дефектами  $F_3^+$ - и  $F_2$ -типа (красно-оранжевая полоса 580 – 680 нм), а также, возможно, с F-подобными центрами или другими дефектами (синяя полоса 420 – 440 нм). Для наноразмерных кристаллов измерения зависимости световыхода ИКЛ от флюенса были проведены в диапазоне флюенсов электронного облучения  $8 \cdot 10^{13} - 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Аналогичные измерения были выполнены и для объемных образцов.

**Ключевые слова:** Кристалл, флюенс, люминесценция, дефекты, центры, свечения, облучения.

## FEATURES OF RADIATION-STIMULATED PROCESSES IN NaF CRYSTALS

<sup>1</sup>D.K. Mamytova, <sup>1</sup>Cholponbek Kyzy Nadirabegim, <sup>2</sup>M.M. Kidibaev,  
<sup>2</sup>G.S. Denisov, <sup>2</sup>U.K. Mamytbekov, <sup>2</sup>J.K. Mamytbekov

<sup>1</sup>Kyrgyz National University named after J. Balasagyn, 7220033, Kyrgyzstan,  
Bishkek, st. Abdymomunova 238

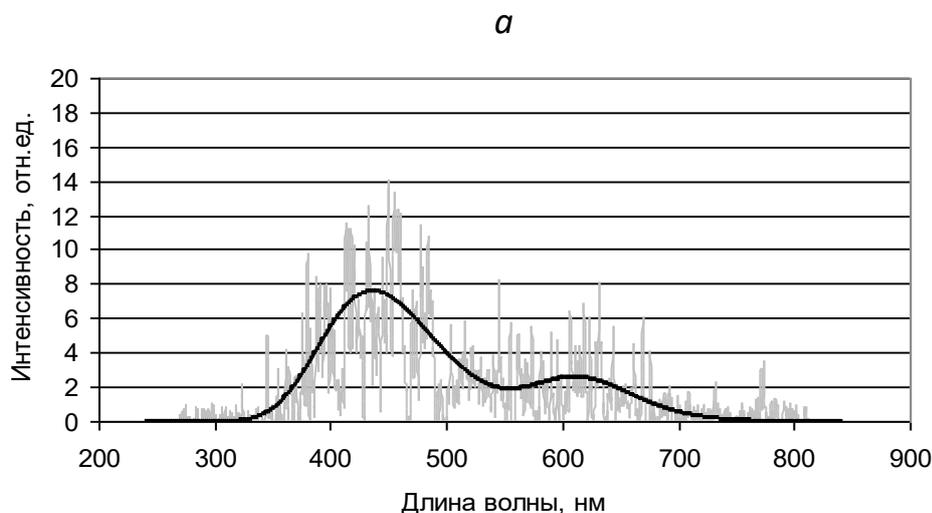
<sup>2</sup>Institute of Physics named after J. J. Jeenbayev NAS KR, 720071,  
Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

**Abstract.** The paper presents the results of the study of the characteristics of pulsed cathodoluminescence (PCL) of nano-sized unactivated NaF crystals, as well as the results of the study of the dependence of the light output of the PCL of unactivated nanoscale NaF crystals on the fluence in the main emission bands of the color centers. Their nature is associated with defects  $F_3^+$  - and  $F_2$ -type (red-orange band 580 - 680 nm), and also, possibly, with F-like centers or other defects (blue band 420 - 440 nm). For nanoscale crystals, measurements of the dependence of the PCL light output on fluence were carried out in the range of electron irradiation fluences of  $8 \cdot 10^{13}$  -  $4.5 \cdot 10^{15}$  cm<sup>-2</sup>. Similar measurements were made for bulk samples.

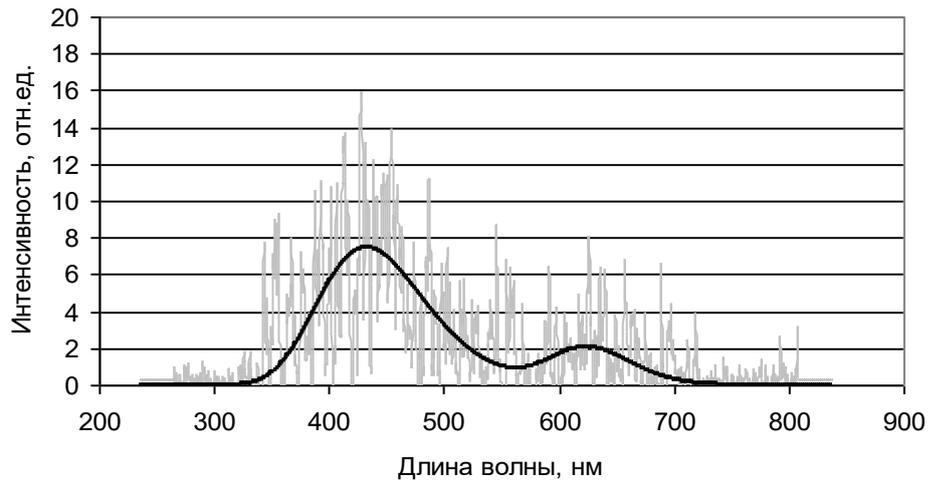
**Keywords:** Crystal, fluence, luminescence, defects, centers, luminescence, irradiation.

Спектры ИКЛ наноразмерных и объемных кристаллов NaF для различных флюенсов облучения приведены на рис. 1 и 2. В исследуемом видимом диапазоне спектра наблюдаются две основные полосы: синяя в диапазоне длин волн 350 – 520 нм с максимумом при 420 – 440 нм и красно-оранжевая полоса в диапазоне длин волн 560 – 720 нм с максимумом при 600 – 620 нм.

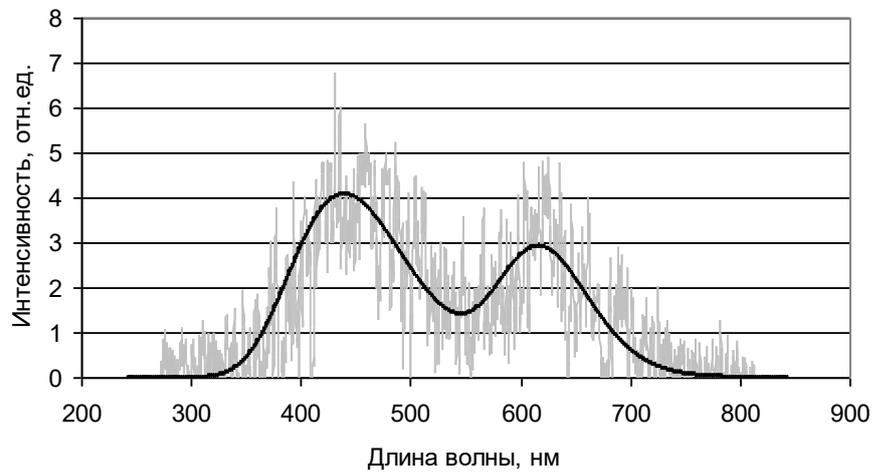
Спектр ИКЛ наноразмерных кристаллов NaF в зависимости от флюенса облучения



б



в



г

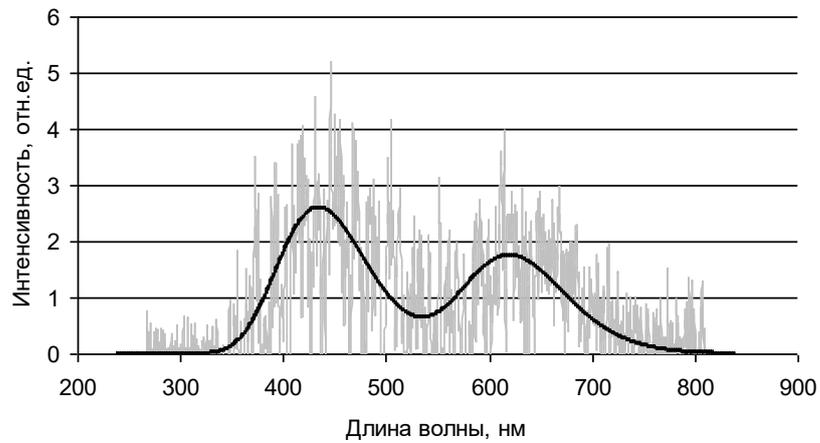
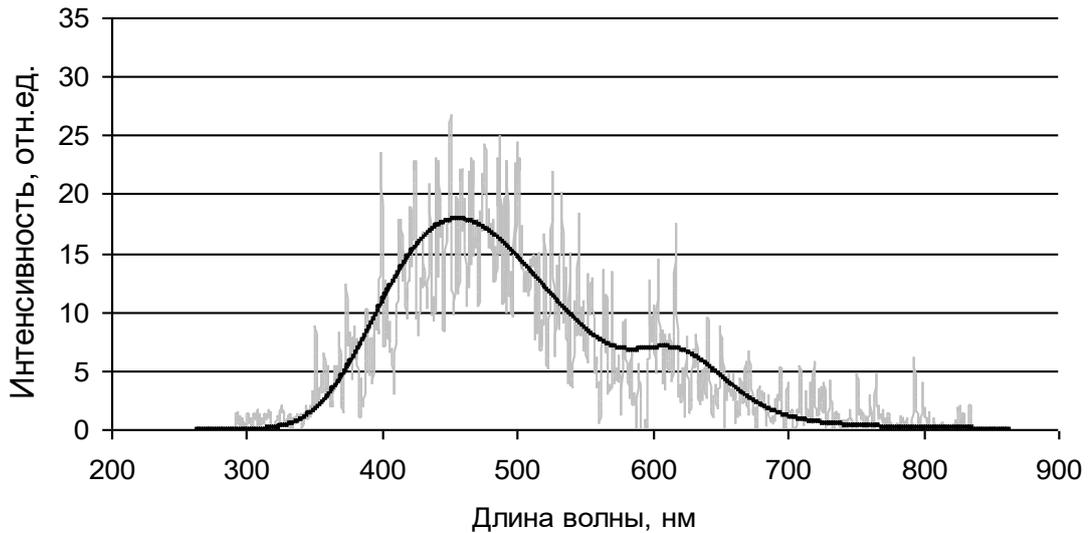


Рис. 1. а - при флюенсе облучения  $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ; б - при флюенсе  $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ; в - при флюенсе  $3,68 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ; г - при флюенсе  $4,32 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

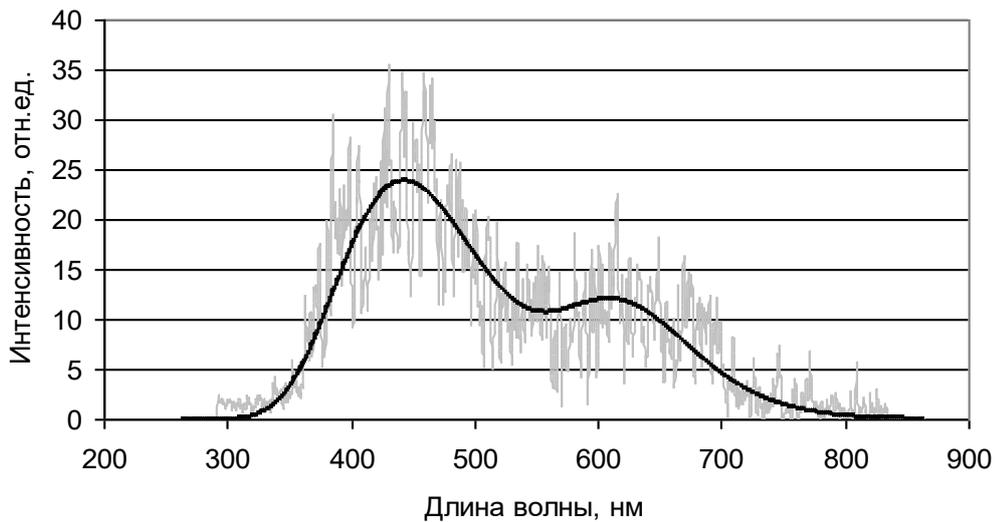
Соотношение интенсивностей синей и красно-оранжевой полос в спектре ИКЛ зависит от флюенса облучения. Это отчетливо проявляется для объемных кристаллов NaF. При малых флюенсах облучения в спектре ИКЛ как для нанокристаллов NaF, рис. 1, так и для объемных кристаллов, рис. 2, доминирует синяя полоса.

Спектр ИКЛ объемных кристаллов NaF в зависимости от флюенса облучения

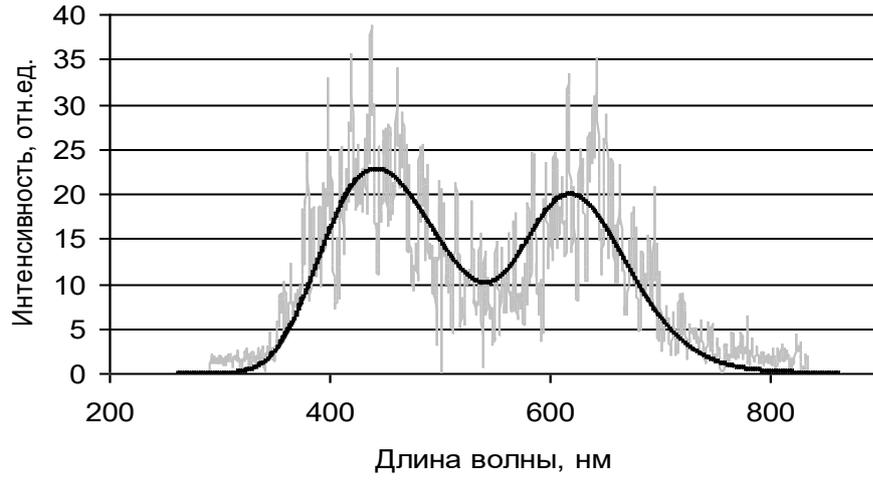
*a*



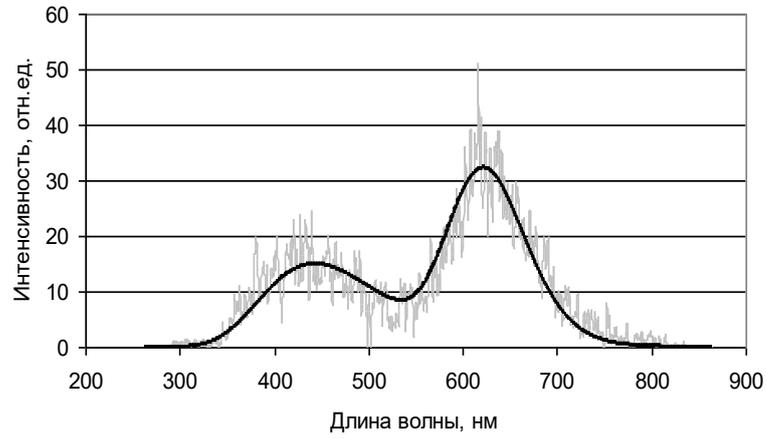
*б*



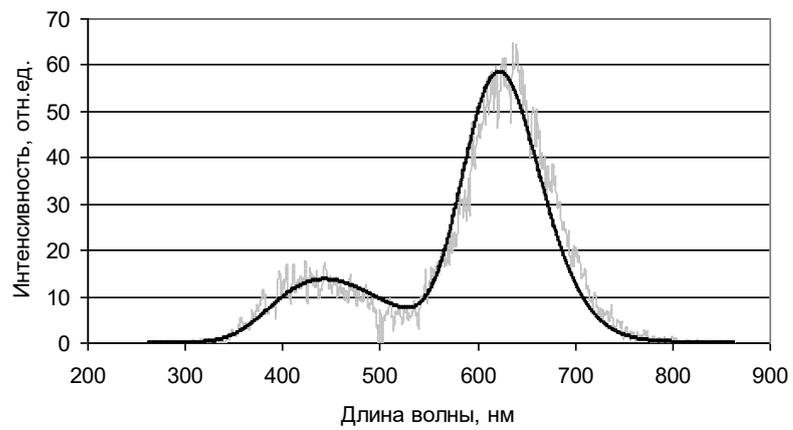
в



г



д



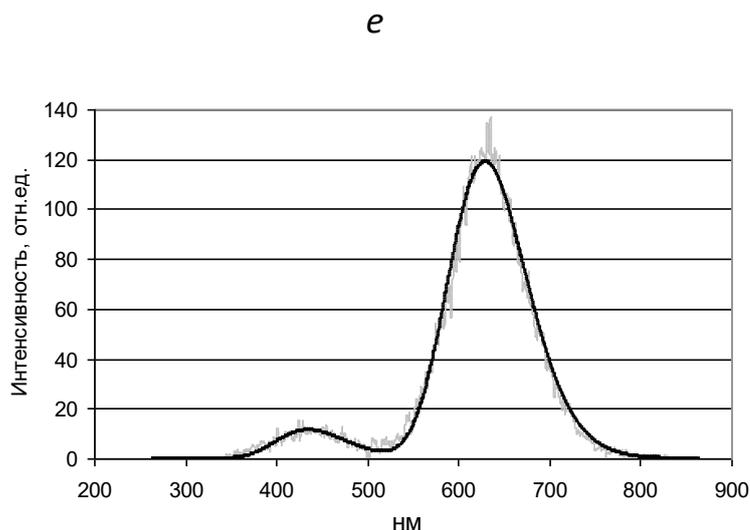
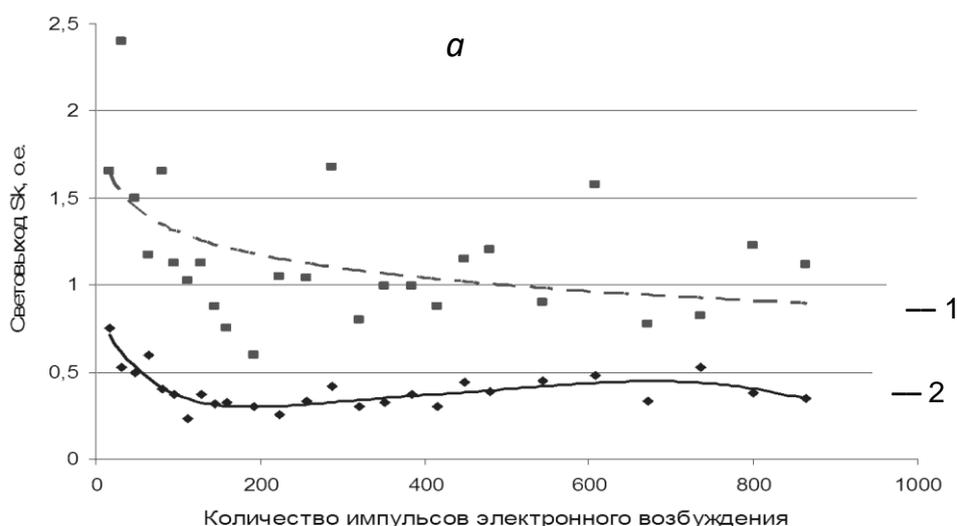


Рис. 2. а – 16 имп. ( $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ); б – 32 имп. ( $1,6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ); в – 64 имп. ( $3,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ ); г – 200 имп. ( $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ); д – 450 имп. ( $2,25 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ); е – 1100 имп. облучения ( $5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ )

Зависимости световыхода ИКЛ от флюенса для синей и красно-оранжевой полос ИКЛ кристаллов NaF приведены на рис. 3, а, б. Для синей полосы, как видно из этих рисунков, наблюдается уменьшение  $S_k$  во всем диапазоне флюенсов облучения как для наноразмерных, так и объемных образцов NaF. Для красной полосы в объемных образцах NaF наблюдается классическая зависимость: резкое возрастание при малых флюенсах облучения и умеренное возрастание при средних и больших флюенсах (рис. 3, б). Для нанокристаллов, не наблюдается заметного увеличения световыхода  $S_k$ , рис. 3, а.

Зависимость световыхода  $S_k$  от флюенса для синей (1) и красной (2) полос ИКЛ



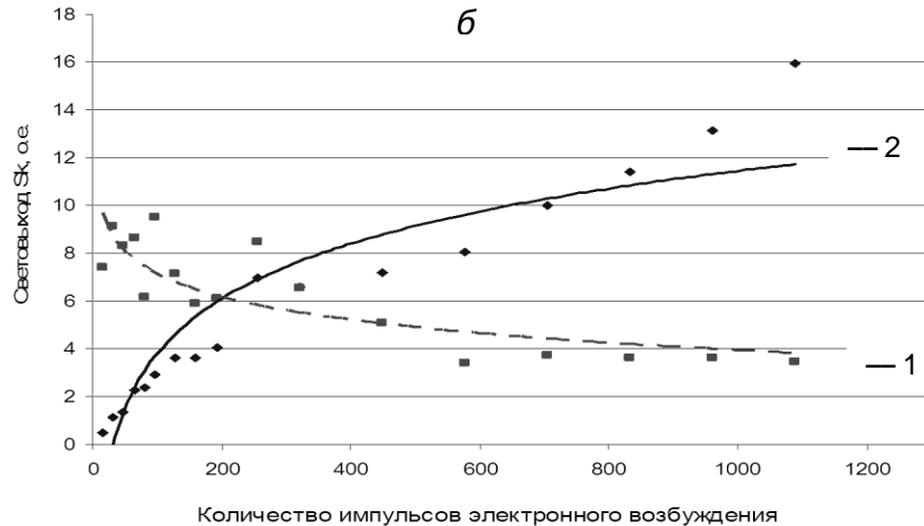


Рис. 3. а - для наноразмерных; б - для объемных образцов NaF

Для более крупных нанокристаллов (слоистая структура, рис. 3., *и*) наблюдалось более заметное, чем на рис. 3, а, увеличение  $S_k$  после 400 импульсов возбуждения.

Кроме того, по виду зависимости выхода импульсной катодолюминесценции от флюенса можно определить наличие или отсутствие наноразмерной фракции кристаллов NaF в продуктах плазменного распыления [1]. Вид измеренной в синей и красной полосах свечения для анализируемых образцов – продуктов плазменного распыления кристаллов NaF, содержащих фракцию наноразмерных кристаллов (или для нанокристаллов NaF, полученных другим возможным способом), сравнивается с видом зависимости световыхода импульсной катодолюминесценции от флюенса в тех же синей и красно-оранжевой полосах свечения для эталонных наноразмерных образцов кристаллов NaF (наноразмерность которых подтверждена методами электронной микроскопии) и эталонных большеразмерных образцов кристаллов NaF. Предварительные исследования спектроскопических свойств объемных и наноразмерных кристаллов фторида натрия, включая анализ электронных возбуждений, связанных с центрами окраски этих кристаллов, показали, что зависимости световыхода ИКЛ от флюенса для наноразмерной фракции кристаллов NaF, и для объемных кристаллов NaF, различаются. Для нанокристаллов световой выход ИКЛ в синей полосе свечения (во всем диапазоне измеренных флюенсов  $8 \cdot 10^{13} - 4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ) монотонно уменьшается, для красно-оранжевой полосы он тоже уменьшается (но в ограниченном диапазоне флюенсов  $8 \cdot 10^{13} - 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ), хотя и незначительно. Для объемных образцов световой выход ИКЛ красно-оранжевой полосы увеличивается, начиная с малых флюенсов облучения во всем диапазоне флюенсов  $8 \cdot 10^{13} - 5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Это позволяет делать заключение о наличии или отсутствии наноразмерной фракции кристаллов NaF в продуктах плазменного распыления по виду

зависимости световыхода от флюенса для синей и красно-оранжевой полос ИКЛ центров окраски.

В спектре ИКЛ наноразмерных и объемных кристаллов NaF в исследуемом диапазоне спектра (300 – 800 нм) наблюдаемая красно-оранжевая полоса связана с люминесценцией  $F_2$  ( $\lambda = 610 - 620$  нм) и  $F_3^+$  ( $\lambda = 580$  нм) центров окраски. Ранее эта общая красно-оранжевая полоса называлась М-полосой [2].

Известны схемы процессов, приводящих к красно-оранжевому свечению. Это схема Люти [2]:  $F + h\nu_F \rightarrow V_a^+ + e$ ;  $F + e \rightarrow F^-(F^-)$ ;  $V_a^+ + F^- \rightarrow F_2^* \rightarrow F_2 + h\nu$  (610 – 620 нм) и схемы Лисицыной-Мартыновича [2 – 4] и Делбека [5], включающие в себя другие возможные каналы формирования излучательного состояния  $F_2$ -центров свечения. Один из них связан с локализацией электрона на  $F_2^+$ -центре, образующимся первоначально по схеме Делбека:  $F + h\nu_F \rightarrow V_a^+ + e$ ;  $V_a^+ + F \rightarrow F_2^+$ ;  $F_2^+ + e \rightarrow F_2^* \rightarrow F_2 + h\nu$  (610 – 620 нм).

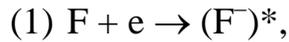
Наблюдаемая нами  $F_2$ -полоса, анализ кинетики которой был проведен по линии 610 нм, имеет быструю  $< 20$  нс экспоненциального характера и медленную  $\sim 260$  нс гиперболического характера составляющие. Вклад последней в световыход красной полосы составляет всего 5 %. Появление инерционных компонент, как правило, объясняется влиянием мелких локальных уровней захвата, участвующих в некотором рекомбинационном процессе. В нашем случае рекомбинационный процесс, если он имеет место, характеризуется сравнительно быстрой кинетикой  $\tau \sim 0,26$  мкс. Для BeO:Li, например, длительность такого процесса достигает миллисекунд [6].

Наблюдаемый более низкий световыход ИКЛ в полосе 610 – 620 нм для нанокристаллов NaF, рис. 3, в сравнении со световыходом объемных образцов обусловлен, по-видимому, размерными эффектами. В нанокристаллах из-за их более высокой радиационной стойкости скорость накопления  $F_2$ -центров меньше, чем в объемных образцах. Из-за большого отношения поверхности к объему в нанокристаллах происходит более эффективный, более быстрый выход образующихся  $F_2$ -центров на поверхность, то есть уход их из люминесцентного процесса и снижение световыхода ИКЛ.

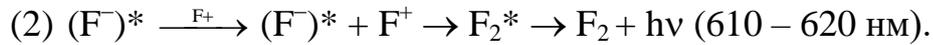
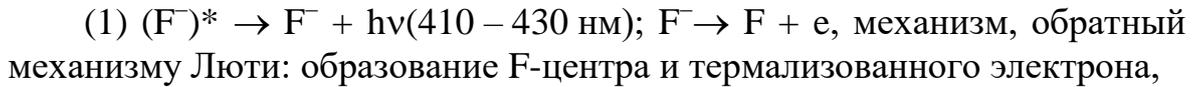
Природа синей полосы, наблюдаемой в спектрах ИКЛ как для нанокристаллических, так и объемных образцов NaF при больших плотностях возбуждения, более сложная, чем природа красной полосы ИКЛ.

В наблюдаемую неэлементарную полосу свечения в области 350 – 500 нм (максимум при  $\sim 410 - 430$  нм, зависит от флюенса облучения), имеющую 3 компоненты в послесвечении, могут давать вклад и, по-видимому, дают следующие различные процессы. Рассмотрим их по порядку.

1. Процессы, протекающие без участия кислорода, но с участием  $F^-$ -центров. Образование возбужденного  $F^-$ -центра может происходить по следующим схемам:



Релаксация возбужденного  $(F^-)^*$ -центра может протекать по двум каналам с образованием, в конечном счете, F или  $F_2$ -центров:



В предлагаемой нами схеме релаксация  $(F^-)^*$ -центра может приводить как к синему, так и красному свечению. Отметим, что согласно [4] нет прямого доказательства участия  $F^-$ -центров в релаксационных процессах, но возможность их участия не отрицается.

2. Процессы, протекающие с участием кислорода [7]:



3. Свечение молекулярного азота с характерными линиями 314,4; 336,5; 357,5; 370,2; 376,1 и 380,2 нм. Об этих полосах, об их возможном вкладе в люминесцентный процесс во всех известных работах по люминесценции NaF ранее не упоминалось, хотя наличие молекулярного азота в приповерхностных слоях образцов, находящихся на воздухе, не вызывает сомнения. Вышеуказанные полосы молекулярного азота были обнаружены, например, в спектре свечения BeO [7,8]. Возможность участия молекулярного азота в процессе свечения кристаллов отмечается в монографии [9], посвященной ИКЛ кристаллов при высоких плотностях возбуждения.

3. Свечение неконтролируемых примесей.

Все перечисленные процессы могут давать вклад в ИКЛ объемных и наноразмерных образцов NaF. Однако, как показывают эксперименты с зависимостью  $S_k$  от флюенса, оба возможных канала релаксации  $(F^-)^*$ -центров наиболее эффективно проявляются для объемных кристаллов. Для нанокристаллов более вероятным представляются схемы релаксаций с учетом кислорода и молекулярного азота, которые в виде сорбатов могут находиться в приповерхностных слоях нанокристаллов с их развитой поверхностью.

### Список литературы

1. Патент по заявке № 2007143215 РФ. Способ обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия на подложке / Б. В. Шульгин, Р. М. Кадушников, А. Н. Черепанов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, В. Б. Малков. Заявл. от 21.11.2007.
2. Мартынович Е. Ф. Центры окраски в лазерных кристаллах / Е. Ф. Мартынович. Иркутск: издательство Иркутского университета, 2004. 227 с.

3. *Лисицына Л. А.* Закономерности создания электронных центров окраски в кристаллах LiF при импульсном радиационном воздействии / *Л. А. Лисицына.* Изв. вузов, Физика, 1996, №11. С. 57 – 75.
4. *Лисицына Л. А.* Влияние мощности импульсного электронного облучения на накопление F<sub>2</sub>-центров / *Л. А. Лисицына* // Труды первого всероссийского симпозиума по твердотельным детекторам ионизирующих излучений – ТТД-97. Екатеринбург, 1998. С. 3 – 12.
5. *Delbecq C. J.* A study of M-center formation in additively coloured KCl // *Z. Physik.* 1963. Bd. 171, № 3. P. 560 – 581.
6. *Пустоваров В. А.* Время-разрешенная ВУФ-спектроскопия кристаллов фторида натрия / *В. А. Пустоваров, Б. В. Шульгин, М. Кирм, А. Жамангулов, М. М. Кидибаев, Т. С. Королева* // *Опт. и спектр.* 2000. Т. 88, № 5. С. 790 – 794.
7. *Егранов А. В.* Спектроскопия кислородных и водородных примесных центров в щелочно-галогидных кристаллах / *А.В. Егранов, Е.А. Раджабов.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 161 с.
8. *Лущик Ч. Б.* Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах / *Ч. Б. Лущик, А. Ч. Лущик.* – М.: Наука. Физ.-мат. лит., 1989. 264 с.
9. *Cooke D. W., Lianos D., Gavathas E., Shulgin B. et. al* // *Ferroelectrics.* 1984, Vol. 59, №1. P. 187 – 195.

УДК 621.372:551.508.8

## ВЫСОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЗОНА НАД РЕГИОНОМ СРЕДНЕЙ АЗИИ ПО ДАННЫМ РАДИОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Б.Б. Саякбаева, Э.У. Орозобаков, М. Садырбаева

<sup>1</sup>*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а*

**Аннотация.** В статье вкратце представлены основы и предпосылки радиофизических исследований Иссык-Кульской обсерватории. Приведены типичные результаты наземных измерений стратосферного озона на миллиметровых волнах за прошедший год, по которым не замечены, как раньше, превышения содержания озона после захода Солнца. Максимальная концентрация озона оказалась в пределах ранее отмеченных высот.

**Ключевые слова:** частота, длина волны, стратосферный озон, суммарный озон, излучение

## VERTICAL OZONE DISTRIBUTION ABOVE CENTRAL ASIA REGION ACCORDING TO DATA OF RADIOPHYSICAL OBSERVATORY

B.B. Sayakbaeva, E.U. Orozobakov, M.Sadyrbaeva

*Institute of Physics . Zh. Zheenbaev NAS KR, 265-a, Chuy prospect, Bishkek, 720071, Kyrgyzstan*

**Abstract.** The article briefly presents the essentials and preconditions of radiophysical researches in the Issyk-Kul observatory. Typical results of ground-based measurements of stratospheric ozone on millimeter waves are given for the past year, according to which no excess of ozone content after sunset was observed as before. Maximum ozone concentration was within the earlier marked altitudes.

**Key words:** *frequency, wavelength, stratospheric ozone, total ozone, radiation.*

Радиофизические методы исследования предусматривают регистрацию с поверхности Земли собственного теплового излучения озона на частотах одной из вращательных спектральных линий его молекул. Наиболее удобны для измерений линии с центральными частотами 110,836 и 142,175 ГГц (длины волн 2,7 и 2,1). Эти оптически тонкие линии расположены в окнах прозрачности атмосферы между сильными линиями поглощения кислорода и водяного пара. На высотах 75км. их ширина определяется столкновениями молекул и пропорциональна давлению воздуха. Выше 75км. преобладает доплеровское уширение. Результирующая линия имеет узкий центральный пик, формирующийся на больших высотах, и широкие крылья, соответствующие вкладу озона с малых высот. Форма линии отражает вклад излучения озона из различных слоев атмосферы и содержит информацию о ВРО. Она очень чувствительна к вариациям содержания озона на луче зрения.

В миллиметровом диапазоне уширение линий определяется столкновениями, т.е. пропорционально давлению. Поэтому результирующий контур спектральной линии содержит информацию о вертикальном распределении молекул озона. Основными атмосферными газами, поглощающими радиоволны миллиметрового диапазона, являются водяной пар и молекулярный кислород. В [1-3] показано, что в «окнах» прозрачности, т.е. в интервалах частот между сильными линиями поглощения  $O_2$  и  $H_2O$ , вращательные спектры почти всего семейства малых газовых составляющих (озон, окислы азота, окись углерода) имеют линии, интенсивность которых вполне достаточно для их обнаружения. Было отмечено, что при благоприятных условиях (зима, высокогорье) полное вертикальное ослабление вблизи резонансных частот озона сравнимо с фоновым ослаблением, обусловленным водяным паром и кислородом, а в коротковолновой части миллиметрового диапазона превышает его. Эти выводы полностью подтвердились в экспериментах по обнаружению спектральных линий атмосферного озона в «окнах» прозрачности, имеющих центральные длины волн около 1.3 мм, 2.1 мм и 3.0 мм. Результаты этих работ стали основой для постановки задачи исследования газового состава средней атмосферы с помощью средств микроволнового зондирования. Интерес к этому был вызван обнаружением больших вариаций интенсивности и формы спектральной линии, обусловленной озоном.

Для того чтобы подтвердить (или опровергнуть) значительную изменчивость озона верхней атмосферы, необходимо было выполнить длинные ряды непрерывных наблюдений в различных широтах (включая полярные), по возможности, независимо от погодных условий. Последнее обстоятельство потребовало оптимизировать рабочие частоты спектрорадиометров и методику измерений. Выполненные сопоставления микроволновых наблюдений с глобальной спутниковой системой слежения за озоновым слоем - прибор TOMS на разных космических аппаратах [4], подтверждают, что наземные измерения содержания  $O_3$  в стратосфере являются хорошим дополнением спутниковых в поверочных (валидационных) экспериментах. Результаты сравнения продемонстрировали надёжность регистрации вариаций в озоновом слое методами микроволновой радиометрии.

Микроволновая Иссик-Кульская обсерватория по наблюдению линий вращательного спектра атмосферного озона в ранее неисследованном на миллиметровых волнах географическом районе была создана благодаря проектам МНТЦ в 2005 г. совместно с Нижегородской группой заявителей проекта. К тому времени они уже обладали достаточным опытом в исследованиях озоносферы радиометрическими методами (работы велись с начала 70-х г.г.). Исследования велись, в основном, силами сотрудников Института прикладной физики РАН и, начиная с 1994 г., - Нижегородского госуниверситета им. Н.И.Лобачевского (ННГУ). Была создана серия многоканальных спектрорадиометров миллиметрового диапазона длин волн, разработаны методы измерений теплового радиоизлучения атмосферы в линиях  $O_3$ , апробированы методики определения полного содержания озона и его высотного профиля по данным радионаблюдений. Выполнены обширные циклы наблюдений линий  $O_3$  в регионе Нижнего Новгорода, а также в ряде высокоширотных районов (о. Хейсса, Апатиты и Антарктида). Теоретически и экспериментально (в сопоставлениях с данными контактных измерений) была доказана возможность измерений вертикального профиля плотности озона радиометрическими методами с точностью  $\pm 10-20\%$  в интервале высот 20-60км.

Определение содержания озона над обсерваторией в стратосфере в пределах высот 20-60км. выполнялось методом микроволнового пассивного зондирования с помощью радиометрического спектрометра (РМС-001) миллиметрового диапазона. Исследуется вращательный переход молекулы  $O_3$  ( $6_{0,6} \rightarrow 6_{1,5}$ ), резонансная частота которого близка 110836 МГц. Конструктивно озонметрический комплекс состоит из СВЧ-блока и блока управления, спектральных фильтров и блоков согласования с системой ввода и обработки информации. В режиме наблюдений "Черное тело – Угол – Азот" в различные интервалы времени на вход приемника поступают сигналы: от «черного тела», расположенного на обтюраторе и имеющего температуру окружающей среды; излучение атмосферы под углом

наблюдения; излучение от черного тела, находящегося при температуре кипящего азота.

Принятый антенной сигнал 2,7-мм диапазона преобразуется смесителем приемника в сигнал промежуточной частоты ПЧ<sub>1</sub> в диапазоне 1250...1800 МГц, который далее усиливается включенными последовательно малошумящим усилителем МШУ ( $N_{\text{ш}} \sim 1$  дБ,  $K_p = 34,5$  дБ) и УПЧ ( $N_{\text{ш}} \sim 3$  дБ,  $K_p = 29$  дБ). С выхода блока ММ сигнал диапазона ПЧ<sub>1</sub> поступает на блок ПЧ-2, предназначенный для дальнейшего преобразования диапазона частот ПЧ<sub>1</sub> в диапазон более низких частот ПЧ<sub>2</sub>. После частотных преобразований сигналы каналов I, II и III блока ПЧ-2 поступают в блок спектрального анализа (БСА), включающий в себя 31 узкополосный спектральный канал. Выделенные фильтрами спектральных каналов анализируемые сигналы подаются на квадратичные детекторы (на базе диодов 2A202A) и далее поступают на УНЧ. С выходов УНЧ сигналы напряжением  $\sim 2,25$  В (при сигнале, эквивалентном 300 °К) через устройства коммутации (2 разъема по 68 контактов) поступают в вычислитель, где с помощью АЦП преобразуются в цифровую форму. На входе АЦП включен электронный коммутатор на 32 положения с быстродействием не хуже 0,5 мкс. Оцифрованные сигналы поступают на вход ПЭВМ, где проводится их обработка по заданным алгоритмам и накопление данных измерений.

По программам определения высотного распределения озона восстанавливаются профили озона, методом подбора параметров заданной модели озонового слоя путем минимизации среднеквадратичных разностей измеренных спектров и рассчитанных по восстановленным профилям озона. Он основан на использовании априорной информации о характере вертикального распределении озона, которое задается аналитически в виде «параболического» слоя:

$$N_{\text{oz}}(z) = 4N_m \frac{\exp[(z - z_m)R]}{\{1 + \exp[(z - z_m)R]\}^2} \quad (1)$$

Изменяя параметры слоя – концентрацию в максимуме  $N_m$ , высоту максимума  $z_m$  и фактор убывания концентрации  $R$ , а также, используя методику последовательных приближений, добиваются, чтобы в результате решения прямой задачи расчетный спектр  $\Delta\tau_{\text{oz}}^c(v_i)$  был близок к экспериментальному  $\Delta\tau_{\text{oz}}^e(v_i)$ ,

т.е. выполнялось условие:

$$D = \sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(v_i) - \Delta\tau_{oz}^e(v_i)]^2 = \min \quad (2)$$

Из условия равенства нулю производных функционала  $D$  по  $N_m, z_m, R$ , можно получить параметры искомого профиля. Критерием завершения процедуры подбора параметров озонового слоя является величина среднеквадратичных ошибок измерения спектра  $O_3$  в каналах спектрометра –  $\delta[\Delta\tau_{oz}^e(v_i)]$ . На практике условие (2) сводится к следующему:

$$\sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(v_i) - \Delta\tau_{oz}^e(v_i)]^2 \leq \sum_i \{\delta[\Delta\tau_{oz}^e(v_i)]\}^2 \quad (3)$$

Ниже представлены результаты наблюдений вращательных линий озона на длине волны 2,7 мм. (Таблица), позволяющих определять содержание, концентрацию озона в стратосфере Земли. Измерения были выполнены на высоте 1600м. над уровнем моря, 43° северной широты, 77° восточной долготы, на берегу оз. Иссык-Куль в окружении гор. Ширина озера 70км и угол направленности антенны 16° позволяет вести наблюдения независимо от горных преград.

Таблица

Высотное распределение озона по данным обсерватории

Дата	14.09.18		15.09.18	16.09.18	16.09.18
Н / км	17:30-18:20	20:35-21:57	18:40-19:58	10:52-11:42	11:50-12:58
20	2.394e+012	2.607e+012	2.467e+012	2.344e+012	2.353e+012
21	2.737e+012	2.962e+012	2.804e+012	2.666e+012	2.676e+012
22	3.069e+012	3.301e+012	3.126e+012	2.974e+012	2.984e+012
23	3.368e+012	3.599e+012	3.409e+012	3.245e+012	3.256e+012
24	3.609e+012	3.832e+012	3.631e+012	3.457e+012	3.469e+012
25	3.770e+012	3.978e+012	3.770e+012	3.590e+012	3.603e+012
26	3.835e+012	4.023e+012	3.814e+012	3.631e+012	3.644e+012
27	3.797e+012	3.962e+012	3.756e+012	3.576e+012	3.589e+012
28	3.660e+012	3.802e+012	3.604e+012	3.430e+012	3.443e+012
29	3.437e+012	3.558e+012	3.373e+012	3.208e+012	3.221e+012
30	3.151e+012	3.252e+012	3.082e+012	2.930e+012	2.943e+012
31	2.825e+012	2.909e+012	2.757e+012	2.618e+012	2.631e+012
32	2.483e+012	2.554e+012	2.419e+012	2.296e+012	2.307e+012
33	2.144e+012	2.204e+012	2.087e+012	1.979e+012	1.990e+012
34	1.824e+012	1.874e+012	1.775e+012	1.681e+012	1.691e+012
35	1.531e+012	1.575e+012	1.490e+012	1.410e+012	1.419e+012
36	1.272e+012	1.309e+012	1.239e+012	1.171e+012	1.178e+012
37	1.047e+012	1.079e+012	1.021e+012	9.637e+011	9.702e+011
38	8.554e+011	8.829e+011	8.348e+011	7.876e+011	7.932e+011
39	6.946e+011	7.183e+011	6.789e+011	6.399e+011	6.446e+011
40	5.613e+011	5.816e+011	5.495e+011	5.175e+011	5.214e+011
41	4.518e+011	4.691e+011	4.431e+011	4.169e+011	4.202e+011
42	3.625e+011	3.772e+011	3.561e+011	3.348e+011	3.375e+011

43	2.901e+011	3.025e+011	2.855e+011	2.682e+011	2.704e+011
44	2.317e+011	2.422e+011	2.285e+011	2.144e+011	2.163e+011
45	1.847e+011	1.935e+011	1.825e+011	1.711e+011	1.727e+011
46	1.471e+011	1.545e+011	1.456e+011	1.364e+011	1.377e+011
47	1.170e+011	1.232e+011	1.161e+011	1.087e+011	1.097e+011
48	9.297e+010	9.812e+010	9.245e+010	8.647e+010	8.731e+010
49	7.384e+010	7.812e+010	7.358e+010	6.877e+010	6.945e+010
50	5.861e+010	6.217e+010	5.853e+010	5.466e+010	5.522e+010
51	4.651e+010	4.945e+010	4.654e+010	4.343e+010	4.388e+010
52	3.689e+010	3.932e+010	3.700e+010	3.449e+010	3.486e+010
53	2.926e+010	3.126e+010	2.940e+010	2.739e+010	2.769e+010
54	2.320e+010	2.484e+010	2.336e+010	2.175e+010	2.199e+010
55	1.839e+010	1.974e+010	1.856e+010	1.726e+010	1.746e+010
56	1.457e+010	1.569e+010	1.474e+010	1.370e+010	1.386e+010
57	1.155e+010	1.246e+010	1.171e+010	1.087e+010	1.100e+010
58	9.153e+009	9.901e+009	9.297e+009	8.627e+009	8.732e+009
59	7.253e+009	7.865e+009	7.383e+009	6.846e+009	6.930e+009
60	5.747e+009	6.247e+009	5.862e+009	5.432e+009	5.500e+009
<b>X (20-60) км</b>	<b>198</b>	<b>206</b>	<b>196</b>	<b>186</b>	<b>187</b>
<b>Hmax</b>	<b>26.130</b>	<b>25.925</b>	<b>25.930</b>	<b>25.925</b>	<b>25.930</b>

Видно, что от 20-ти до 30-ти километров озона содержится почти вдвое больше чем в вышележащих 30-ти. По данным мировой сети наземных станций над районом измерений обсерватории общее содержание озона составляет около 290-320 е.Д., т.е. по данным обсерватории в пределах высот 20-60 км озона содержится 65-75% от всего общего содержания ( $1 \text{ е.Д.} \approx 2,7 \cdot 10^{16} \text{ молекул / см}^2$ ). Известно, что в низких широтах основной максимум озонного слоя находится выше чем в верхних.

В нашем случае наиболее насыщенным озоном является интервал высот 22-35 км., что подтверждается многолетними наблюдениями. В зависимости от поставленных задач в обсерватории проводятся иногда круглосуточные измерения. Последние летние измерения не показали существенных вариаций концентрации озона в течение суток, хотя раньше были отмечены существенные превышения ночных содержаний озона над дневными [5].

Дата	17.09.18		17.09.18	19.09.18	19.09.18
Н / км	20:34-21:23	21:31-22:30	22:30-23:01	11:54-12:35	12:40-13:52
1	2.347e+012	2.282e+012	2.269e+012	2.386e+012	2.354e+012
22	2.667e+012	2.604e+012	2.592e+012	2.711e+012	2.677e+012
23	2.974e+012	2.915e+012	2.904e+012	3.019e+012	2.986e+012
24	3.244e+012	3.195e+012	3.185e+012	3.290e+012	3.258e+012
25	3.457e+012	3.421e+012	3.414e+012	3.500e+012	3.471e+012
26	3.592e+012	3.573e+012	3.569e+012	3.630e+012	3.606e+012
27	3.635e+012	3.635e+012	3.635e+012	3.666e+012	3.648e+012
28	3.584e+012	3.601e+012	3.606e+012	3.606e+012	3.595e+012
29	3.442e+012	3.476e+012	3.484e+012	3.455e+012	3.450e+012
30	3.224e+012	3.270e+012	3.282e+012	3.228e+012	3.229e+012
31	2.950e+012	3.004e+012	3.018e+012	2.946e+012	2.951e+012
32	2.641e+012	2.700e+012	2.715e+012	2.632e+012	2.640e+012
33	2.320e+012	2.379e+012	2.394e+012	2.306e+012	2.317e+012
34	2.004e+012	2.060e+012	2.075e+012	1.988e+012	1.999e+012
35	1.706e+012	1.758e+012	1.771e+012	1.688e+012	1.699e+012
36	1.434e+012	1.480e+012	1.492e+012	1.416e+012	1.427e+012
37	1.193e+012	1.233e+012	1.244e+012	1.176e+012	1.186e+012
38	9.834e+011	1.018e+012	1.027e+012	9.682e+011	9.768e+011
39	8.051e+011	8.340e+011	8.421e+011	7.915e+011	7.989e+011
40	6.553e+011	6.792e+011	6.860e+011	6.433e+011	6.496e+011
41	5.308e+011	5.504e+011	5.561e+011	5.204e+011	5.257e+011
42	4.283e+011	4.442e+011	4.489e+011	4.193e+011	4.238e+011
43	3.445e+011	3.573e+011	3.612e+011	3.369e+011	3.406e+011
44	2.764e+011	2.867e+011	2.898e+011	2.700e+011	2.730e+011
45	2.213e+011	2.295e+011	2.321e+011	2.160e+011	2.184e+011
46	1.769e+011	1.835e+011	1.855e+011	1.725e+011	1.744e+011
47	1.412e+011	1.465e+011	1.481e+011	1.375e+011	1.392e+011
48	1.126e+011	1.168e+011	1.181e+011	1.096e+011	1.109e+011
49	8.976e+010	9.304e+010	9.412e+010	8.725e+010	8.830e+010
50	7.148e+010	7.407e+010	7.494e+010	6.942e+010	7.026e+010
51	5.690e+010	5.894e+010	5.964e+010	5.520e+010	5.588e+010
52	4.527e+010	4.688e+010	4.744e+010	4.388e+010	4.443e+010
53	3.600e+010	3.727e+010	3.772e+010	3.487e+010	3.531e+010
54	2.863e+010	2.963e+010	2.999e+010	2.770e+010	2.805e+010
55	2.276e+010	2.354e+010	2.383e+010	2.200e+010	2.228e+010
56	1.809e+010	1.871e+010	1.894e+010	1.747e+010	1.770e+010
57	1.438e+010	1.486e+010	1.505e+010	1.387e+010	1.406e+010
58	1.142e+010	1.181e+010	1.195e+010	1.102e+010	1.116e+010
59	9.077e+009	9.378e+009	9.495e+009	8.746e+009	8.862e+009
60	7.212e+009	7.448e+009	7.542e+009	6.943e+009	7.036e+009
<b>X (20–60) км</b>	5.730e+009	5.915e+009	5.990e+009	5.511e+009	5.586e+009
<b>N<sub>max</sub></b>	<b>187</b>	<b>187</b>	<b>189</b>	<b>187</b>	<b>187</b>
	<b>25.959</b>	<b>26.151</b>	<b>26.194</b>	<b>25.877</b>	<b>25.942</b>

### Список литературы

1. Кисляков А.Г., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г. Поглощение микрорадиоволн примесными газами атмосферы. В сб. «Спектральные исследования космического и атмосферного излучения». Под. ред. А.Г Кислякова ИПФ РАН, Горький, 1979. 171 с.
2. Куликов Ю.Ю., Ризов Е.Ф., Федосеев Л., Швецов А., Кузнецов И., Кукина Э. Измерение оптической толщи атмосферы Земли в линиях CO и O<sub>3</sub> (X = 1.3- 1.4 мм) // Изв. АН СССР, сер. «Физика атмосферы и океана», т.11, № 10, 1975, с.1071-1075.

3. Kulikov Y.Y., Ryskin V.G. Relation between ozone and temperature in the Arctic stratosphere. *Zhurnal Geomagnetizm i aeronomiya - Journal of Geomagnetism and Aeronomy*, 1, No. 3, 1999, pp. 253-257.
4. Ionov D.V., Timofeev Y.M., Shalamyansky A.M. Comparison of satellite (equipment TOMS) and ground measurements of general ozone content. The researches of the Earth from space. *L.: Gidrometeoizdat - L.: Gidrometeoizdat* 2002, No. 3, pp. 10-19.
5. Орозобаков Т.О., Орозобаков А.Т., Рыскин В.Г., Саякбаева Б.Б. Микроволновые исследования суточных вариаций содержания озона в верхней атмосфере Кыргызстана //Известия НАН КР, №2, 2013г., С.6-13

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

	<b>75-летие</b> д.ф.-м.н., профессора В.П.Макарова.....	3
<b>Б.Б. Барпиев</b> <b>Т.М. Касымов</b> <b>Аманжан к. Ж.</b> <b>А.А. Торокулова</b>	Комплексная минерализующая добавка для трудносжигаемых сырьевых смесей.....	5
<b>Г.Ж. Доржуева</b> <b>Мамытбек кызы</b> <b>Айгуль</b>	Исследование тяжелых металлов в почвах г. Бишкек атомно-эмиссионным методом с применением двухструйного плазматрона ДГП -50.....	11
<b>В.Д. Джунушалиев</b> <b>В.Н. Фоломеев</b>	Заряженная дираковская звезда.....	15
<b>Н.К. Касамытов</b> <b>А.Ж. Календеров</b> <b>К.М. Макаева</b> <b>Э.М. Кыдыралиев</b>	Свойства глазурованной высоковольтной керамики на основе сырья месторождений Кыргызской Республики.....	24
<b>Н.К. Касамытов</b> <b>А.Ж. Календеров</b> <b>Э.М. Кыдыралиев</b>	Структура глазурованной высоковольтной керамики.....	30
<b>К. Хайдаров</b> <b>А.К. Арыков</b>	Металлографическое исследование металлической связки для алмазного инструмента.....	37
<b>Б.К. Хайдаров</b> <b>В.П. Макаров</b>	Исследование и создание материалов контейнера аппаратов высокого давления на основе местного минерала.....	42
<b>К. Хайдаров,</b> <b>А.К. Арыков,</b> <b>В.П. Макаров,</b> <b>Б.К. Хайдаров</b>	Исследование композиционных алмазосодержащих материалов после криогенной обработки.....	49
<b>Сыдык уулу Н.</b>	Лазерно индуцированная рельефная запись на пленке серебра при прямом лазерном воздействии на слой аморфного кремния.....	54
<b>Д.К. Мамытова,</b> <b>Чолпон кызы Н.</b>		

<b>М.М.Кидибаев</b> <b>Г.С.Денисов</b> <b>У.К.Мамытбеков</b> <b>Ж.К.Мамытбеков</b>	Особенности радиационно-стимулированных процессов в кристаллах NaF.....	58
<b>Э.У. Орозобаков</b> <b>Б.Б. Саякбаева</b> <b>М. Садырбаева</b>	Высотное распределение озона над регионом Средней Азии по данным радиофизической обсерватории.....	67

**ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ****Документы**

- Сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала печатается на бланке учреждения, представляющего статью.
- Рецензия.

**Составные части статьи и порядок их следования**

1. Объем материала от 4 до 10 страниц набранного текста оформленного в текстовом редакторе Microsoft Word, файл в формате .doc или .docx (шрифт 14, Times New Roman, интервал 1). Поля: верхнее, нижнее-20мм, левое-2,5мм, правое-15мм. Графический материал должен быть четким, разрешение не менее 300 пикселей

2. В верхнем левом углу указывается универсальная десятичная классификация (УДК)

3. Следующий абзац – название статьи указывается по центру (шрифт 14 полужирный ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ);

4. Во втором ряду фамилия имя отчество автора(ов);

5. В третьем ряду указывается полное название учебного заведения (место работы или учебы), город и страна.

6. Дальше через строку - аннотация не менее 50 слов на языке статьи (на русском и английском языках); *ключевые слова от 3 до 5 слов и словосочетаний* (на русском и английском языках)

8. Дальше через строку идет изложение материала (шрифт 14);

- **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования);

- **Основная часть** – название в текст не вносится. Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание: постановка задачи, методы исследования, математическая модель, обсуждение результатов и т.д.

- **Заключение** (выводы).

9. После основного текста указывается список литературы (Список использованной литературы). Список литературы оформляется не по алфавиту, а по мере того, как она встречается в тексте статьи. Схема списка литературы:

**Авторы** (обычный шрифт) → **название статьи** (обычный шрифт) → **выходные данные** (город, издательство) → **цифровые данные** (год, страницы). (Острейковский В.А., Карманов Ф.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCAD. М.: ИНФРА-М, 2015. 207 с.).

10. Рисунки и таблицы набираются шрифтом Times New Roman 12 с одинарным междустрочным интервалом. Рисунки, диаграммы и таблицы создаются с использованием черно-белой гаммы. Использование цвета и заливок не допускается! Все рисунки и таблицы должны иметь название.

11. Формулы следует набирать с помощью редактора формул Microsoft Equation и нумеровать в круглых скобках (2).

Отдельным файлом подаются сведения об авторе

контактный телефон: (Viber, WhatsApp, Telegram, Mail.Ru Агент)

e-mail: \_\_\_\_\_

12. Авторы и рецензенты несут полную ответственность за содержание, стиль и качество оформление статьи.