

ISSN 2308-4804

# SCIENCE AND WORLD

**International scientific journal**

**№ 3 (67), 2019, Vol. I**

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

The journal is founded in 2013 (September)

Volgograd, 2019

UDC 53:51+54+57+631+93:902  
LBC 72

# SCIENCE AND WORLD

**International scientific journal, № 3 (67), 2019, Vol. I**

The journal is founded in 2013 (September)  
ISSN 2308-4804

The journal is issued 12 times a year

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications.

**Registration Certificate: III № ФС 77 – 53534, 04 April 2013**

*Impact factor of the journal «Science and world» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Australia)*

## EDITORIAL STAFF:

**Head editor:** Musienko Sergey Aleksandrovich

**Executive editor:** Manotskova Nadezhda Vasilyevna

*Lukienko Leonid Viktorovich, Doctor of Technical Science*

*Borovik Vitaly Vitalyevich, Candidate of Technical Sciences*

*Dmitrieva Elizaveta Igorevna, Candidate of Philological Sciences*

*Valouev Anton Vadimovich, Candidate of Historical Sciences*

*Kislyakov Valery Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences*

*Rzaeva Aliye Bayram, Candidate of Chemistry*

*Matvienko Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences*

*Kondrashihin Andrey Borisovich, Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences*

Authors have responsibility for credibility of information set out in the articles.

Editorial opinion can be out of phase with opinion of the authors.

Address: Russia, Volgograd, Angarskaya St., 17 «G»

E-mail: [info@scienceph.ru](mailto:info@scienceph.ru)

Website: [www.scienceph.ru](http://www.scienceph.ru)

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

УДК 53:51+54+57+631+93:902  
ББК 72

## **НАУКА И МИР**

**Международный научный журнал, № 3 (67), 2019, Том 1**

Журнал основан в 2013 г. (сентябрь)  
ISSN 2308-4804

Журнал выходит 12 раз в год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС 77 – 53534 от 04 апреля 2013 г.**

*Импакт-фактор журнала «Наука и Мир» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Австралия)*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Главный редактор:** Мусиенко Сергей Александрович  
**Ответственный редактор:** Маноцкова Надежда Васильевна

*Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук*  
*Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук*  
*Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук*  
*Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук*  
*Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук*  
*Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук*  
*Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук*  
*Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук*

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.  
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: Россия, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г»  
E-mail: [info@scienceph.ru](mailto:info@scienceph.ru)  
[www.scienceph.ru](http://www.scienceph.ru)

Учредитель и издатель: Издательство «Научное обозрение»

---



---

**CONTENTS**

---



---

**Physical and mathematical sciences**

*Blinov A.P.*  
TWO WAYS OF ROCKET BOOSTER ACCELERATION ..... 8

*Daliev Sh.Kh., Paluanova A.D.*  
INFLUENCE OF WOLFRAMIUM ON CHARACTERISTICS  
OF SILICON METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR STRUCTURES ..... 11

*Egemberdieva S.Sh., Kushkimbayeva B.Zh., Nametkulova R.*  
RESTRUCTURING OF ENERGY SPECTRUM OF GALLIUM  
ANTIMONIDE UNDER THE ACTION OF UNILATERAL DEFORMATION ..... 15

*Novikov A.A.*  
THERMAL EFFECT OF WETTING THE GRAIN BOUNDARIES  
BY EASILY FUSIBLE COMPONENT IN A BINARY METAL SYSTEM ..... 20

*Smirnov A.N.*  
THE NEW HYPOTHESIS OF THE NATURE OF BALL  
LIGHTNING. EXPLANATION OF THE EXTRAORDINARY PROPERTIES ..... 25

*Tursunov I.G.*  
THE PECULIARITIES OF THE DEFORMATIONAL EFFECTS OF SILICON  
DOPED WITH AURUM WHEN PULSED HYDROSTATIC PRESSURE ..... 43

*Utamuradova Sh.B., Daliev Kh.S., Nasriddinov S.S., Ergashev R.M.*  
INTERACTION OF ISOVALENT DOPING  
OF GERMANIUM WITH NICKEL ATOMS IN SILICON ..... 45

**Chemical sciences**

*Mammadova S.R., Rahimli M.A., Jabbarova Z.A.*  
THE DETERMINING ROLE OF THE pH OF THE MEDIUM  
IN THE EXTRACTION OF METAL CATIONS (URANIUM AND THORIUM)  
FROM MODEL SOLUTIONS OF BIS-(2-HYDROXY-5-ALKYLBENZYL)AMINE..... 48

**Biological sciences**

*Imankulova S.K., Kulmanbetova D.A.*  
THE INVENTORY OF SPECIES COMPOSITION  
OF THE FAMILIES *POACEAE* AND *FABACEAE*  
FROM THE HERBARIUM FUND OF THE INSTITUTE OF NATURAL  
SCIENCES AND GEOGRAPHY OF ABAI KAZAKH NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY ..... 57

*Subbotina Yu.M.*  
DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR BIODECONTAMINATION  
OF BLOOD WASTE WATER OF MEAT-WARE FACTORY ..... 61

**Agricultural sciences**

*Umbetov A.K., Balgabayev A.M., Shibikeyeva A.M., Zhaksybayeva G.S.*

DYNAMICS OF THE SOIL FERTILITY OF THE SUBMONTANE ZONE  
OF ILE ALATAU DEPENDING ON ANTHROPOGENIC IMPACTS ..... 64

**Historical sciences and archeology**

*Komilov M.S., Pirnazarov R.A.*

AMIR TEMUR – A PROTECTOR OF SCIENCE AND CULTURE ..... 69

*Mattiyev U.B.*

ON THE ETHNIC CONTENT OF TURKESTAN IN THE PERIOD OF RUSSIAN EMPIRE ..... 72

## СОДЕРЖАНИЕ

**Физико-математические науки**

<i>Блинов А.П.</i> О ДВУХ СПОСОБАХ СТАРТОВОГО РАЗГОНА РАКЕТЫ .....	8
<i>Далиев Ш.Х., Палуанова А.Д.</i> ВЛИЯНИЕ ВОЛЬФРАМА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ МДП-СТРУКТУР .....	11
<i>Егембердиева С.Ш., Кушкимбаева Б.Ж., Наметкулова Р.</i> ПЕРЕСТРОЙКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДНОСТОРОННЕЙ ДЕФОРМАЦИИ .....	15
<i>Новиков А.А.</i> ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ СМАЧИВАНИЯ ГРАНИЦ ЗЕРЕН ЛЕГКОПЛАВКИМ КОМПОНЕНТОМ В БИНАРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ .....	20
<i>Смирнов А.Н.</i> НОВАЯ ГИПОТЕЗА О ПРИРОДЕ ШАРОВОЙ МОЛНИИ. ОБЪЯСНЕНИЕ НЕОБЫЧНЫХ СВОЙСТВ .....	25
<i>Турсунов И.Г.</i> ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЗОЛОТОМ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ .....	43
<i>Утамурадова Ш.Б., Далиев Х.С., Насриддинов С.С., Эргашев Р.М.</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗОВАЛЕНТНОЙ ПРИМЕСИ ГЕРМАНИЯ С АТОМАМИ НИКЕЛЯ В КРЕМНИИ .....	45

**Химические науки**

<i>Мамедова С.Р., Рагимли М.А., Джаббарова З.А.</i> ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ РОЛЬ pH СРЕДЫ ПРИ ЭКСТРАКЦИИ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ (УРАНА И ТОРИЯ) ИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ БИС-(2-ГИДРОКСИ-5-АЛКИЛБЕНЗИЛ)АМИНОМ .....	48
--	----

**Биологические науки**

<i>Иманкулова С.К., Кулманбетова Д.А.</i> ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА СЕМЕЙСТВ РОАСЕАЕ И FАVАСЕАЕ ИЗ ГЕРБАРНОГО ФОНДА ИНСТИТУТА ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ГЕОГРАФИИ КАЗНПУ ИМ. АБАЯ .....	57
<i>Субботина Ю.М.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ КРОВЯНЫХ СТОЧНЫХ ВОД МЯСОКОМБИНАТА .....	61

**Сельскохозяйственные науки**

*Умбетов А.К., Балгабаев А.М., Шибикеева А.М., Жақсыбаева Г.С.*

ДИНАМИКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ИЛИЙСКОГО  
АЛАТАУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ..... 64

**Исторические науки и археология**

*Комилов М.С., Пирназаров Р.А.*

АМИР ТЕМУР – ПОКРОВИТЕЛЬ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ ..... 69

*Маттиев У.Б.*

ОБ ЭТНИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ТУРКЕСТАНСКОГО  
КРАЯ В ПЕРИОД ПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ ..... 72

УДК 53:51

## О ДВУХ СПОСОБАХ СТАРТОВОГО РАЗГОНА РАКЕТЫ

**А.П. Блинов**, кандидат физико-математических наук  
 Российский государственный аграрный университет –  
 Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Россия

*Аннотация.* Среди разных способов разгона ракеты без расхода топлива из её баков здесь рассмотрены два способа. Первый из них основан на использовании сил тяжести, а второй – использование сил упругости.

*Ключевые слова:* разгон ракеты, расход топлива, сила тяжести, сила упругости.

### 1. Способ стартового разгона ракеты с помощью сил тяжести.

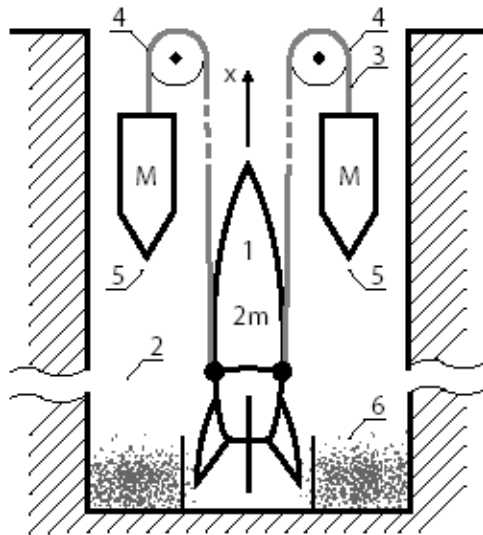


Рисунок 1.

С целью экономии топлива в первой ступени космической ракеты и уменьшения стартовой перегрузки, предлагается использовать силу тяжести следующим образом (Рисунок 1).

На рисунке изображена ракета (поз.1) в вертикальном стволе шахты (поз.2). Ракета подвешена на тросах (поз.3), перекинутых через блоки (поз.4). На противоположных концах тросов закреплены противовесы (поз.5). Тросы снабжены тормозными колодками. Еще необходимы направляющие для движения ракеты и противовесов.

Пусть  $2M$ ,  $2m$ ,  $g$  – обозначают массу всех противовесов, массу ракеты и ускорение свободного падения соответственно. Пусть неподвижная вертикальная ось  $x$  проходит через центр масс ракеты и системы тросов с противовесами. Узлы крепления тросов на ракете расположены несколько выше её центра масс. Вертикальная ось ракеты одновременно является одной из главных осей инерции.

После отпущения тормозных колодок, при условии, что  $M > m$ , противовесы будут опускаться, поднимая ракету вверх с ускорением  $x''$ , определяемым из выражения

$$x'' = \frac{M - m}{M + m} g$$

если не учитывать влияние распределений массы тросов, моментов инерции блоков и их трение в опорах.



Чтобы исключить скачок напряжения в тросах в момент прохождения узлов крепления тросов на ракете, гашение скорости противовесов производить, например, ударом их в сухой песок (поз. б), которое должно произойти до сближения узлов крепления тросов на ракете с блоками.

При известной глубине разгона (шахты)  $h$  легко определяются параметры движения. Например, при  $h = 500$  м,  $M = 300$  тонн,  $m = 100$  тонн,  $g = 10$  м/сек<sup>2</sup>, ускорение ракеты  $x'' = 1/2g$ , скорость  $x' \approx 70$  м/сек на выходе из шахты.

Сила растяжения тросов равна

$$m(g + x'') = mg \left( \frac{M - m}{M + m} + 1 \right)$$

Замечание.

Если блоки расположить не на верхнем срезе шахты, а на горном хребте так, чтобы ракета при разгоне двигалась по направляющим рельсам под углом бросания  $\alpha$  к горизонту, а противовесы скатывались по другому, более крутому склону хребта, образующими угол  $\beta$  с горизонтом (с учётом направляющих их рельсов), то ускорение  $x''$  по оси бросания  $x$  будет определяться по формуле

$$x'' = \frac{M \sin \beta - m \sin \alpha}{M + m} g$$

Таким образом, чем меньше угол бросания  $\alpha$ , тем больше ускорение бросания.

Можно предположить, что описанный случай полезно использовать для проброски троса через ущелье и т.п.

**2. Способ стартового разгона ракеты с помощью сил упругости.**

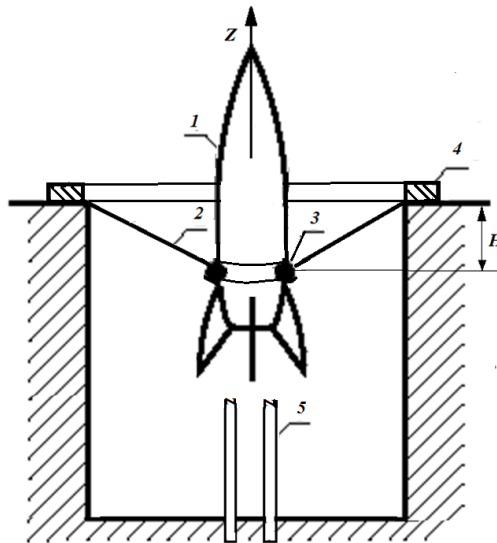


Рисунок 2.

Рассмотрим теперь разгон ракеты (поз.1 Рисунок 2), установленных на сеть стальных тросов (поз.2), растянутых в горизонтальной плоскости в форме симметричной паутины с внутренним отверстием, окаймленным обручем для крепления ракеты (поз.3). Предварительный натяг тросов фиксируется, например, с помощью болтов на опорном кольце (поз.4). Обруч по направляющим тросам (поз.5) вместе с ракетой может скользить по вертикальной оси  $z$  и фиксироваться в точке  $z = 0$  на расстоянии  $H$  от плоскости опорного кольца.

При достаточно большом запасе энергии упругой деформации тросов после удаления фиксаторов положения обруча системы придет в движение вверх по оси  $z$ .

Приведем приближенный расчет такой системы, дополнительно предполагая, что основная часть упругой энергии сосредоточена в радиальных тросах, т.е. – что кольцевые тросы тонки и служат только для фиксации сети тросов.

Пусть  $n$  обозначает число радиальных тросов.

В силу осевой симметрии системы, её движение можно представить как движение тела вдоль оси  $z$  массой  $m = m_0/n$  под действием ускорения силы тяжести  $g$ , где  $m_0$  масса ракеты с обручем. Скорость стартового

разгона тела массой  $m$  определим из баланса потенциальной энергии  $\Pi = \Pi_y + \Pi_g$  и кинетической энергии  $T = \frac{1}{2}mv^2$ , массы  $m$  при скорости вылета  $v$ , где  $\Pi_y, \Pi_g$  потенциальные энергии сил упругости тросов и силы тяжести массы  $m$  соответственно.

$$\Pi_g = -mg, \Pi_y = \frac{1}{2}c\Delta_m^2, c = \frac{E \cdot S}{l_0},$$

где  $E$  – модуль упругости стали ( $= 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ ),  $S$  – площадь сечения троса,  $l_0$  – длина троса после предварительного натяжения (много меньшая по сравнению с максимальным натяжением),  $\Delta_m$  – максимально допустимая деформация троса в рамках линейной теории упругости.

Указанный баланс энергий (без учета потерь на трение) представляет соотношение  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}c\Delta_m^2 - mg$ .

При длине троса  $l_0 = 5000 \text{ см}$ , площади сечения  $S = 1 \text{ см}^2$ ,  $g = 1000 \text{ см/сек}^2$ ,  $c = 400 \text{ кг/см}$  получим  $\frac{1}{2}mv^2 = 45000 - 1000m$

При  $m = 1 \text{ кг}$  получим  $v = 3 \text{ м/сек}$  (движение тела массой  $m = 1 \text{ кг}$  вверх обязательно произойдет, так как вертикальная составляющая силы упругости не менее 15 кг).

Если масса ракеты  $m_0$  равна 1 тонне, то потребуется 1000 тросов. Поэтому без существенного увеличения прочности тросов для разгона тяжелых ракет не целесообразно.

В некоторых случаях для бросания тел с небольшой массой вместо тросов может использоваться, например, лента из вулканизированной резины, натянутой на жесткое кольцо. При осесимметричной деформации (включая и большие деформации) эта резиновая пленка принимает форму катеноида [1]. В этой статье [1] установлена зависимость упругой силы пленки от положения тормозящегося тела и получено уравнение движения тела.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов, А.П. О столкновении тела с упругой пленкой / А.П. Блинов. – Том 80. Вып.5. – 2016.

Материал поступил в редакцию 18.02.19.

## TWO WAYS OF ROCKET BOOSTER ACCELERATION

**A.P. Blinov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences  
Russian Timiryazev State Agrarian University (Moscow), Russia

**Abstract.** Among the different ways of rocket acceleration without fuel consumption from rocket tanks, two ways are considered here. The first one is based on the use of gravity, and the second is the use of elastic forces.

**Keywords:** rocket acceleration, fuel consumption, gravity, elastic force.

УДК 53:51

## ВЛИЯНИЕ ВОЛЬФРАМА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ МДП-СТРУКТУР

Ш.Х. Далиев<sup>1</sup>, А.Д. Палуанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доктор философии (PhD), старший научный сотрудник, <sup>2</sup> базовый докторант  
 Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники  
 при Национальном университете Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан

**Аннотация.** С помощью емкостной спектроскопии и высокочастотных вольт-фарадных характеристик исследовано влияние примеси вольфрама на характеристики кремниевых МДП-структур. Обнаружено, что присутствие электро-активных атомов W в кремниевой подложке МДП-структур приводит к увеличению  $N_{ss}$  структур и появлению пиков, связанных с уровнями вольфрама в кремнии.

**Ключевые слова:** кремний, примесь, вольфрам, глубокий уровень, облучение,  $\gamma$ -кванты, доза облучения, радиационный дефект.

В настоящее время исследованию свойств примесей, создающих различные дефектные центры в полупроводниках, уделяется большое внимание в связи с существенной ролью тугоплавких примесей в формировании свойств Si – основного материала полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Именно с наличием таких примесей с глубокими уровнями (ГУ) связывается нестабильность рабочих параметров микросхем на основе МДП-структур [1, 4].

Известно, что легирование Si тугоплавкими элементами существенно влияет на рабочие характеристики полупроводниковых приборов [1, 2, 4, 7], но данные об их электрической активности и взаимодействии с другими дефектами, а также о влиянии на характеристики кремниевых структур противоречивы. Но, несмотря на огромный экспериментальный материал, все еще остаются невыясненными вопросы, связанные с взаимодействием различных примесей с неконтролируемыми примесями и дефектами структуры в кремнии и их влияния на параметры полупроводниковых приборов.

Цель данной работы – исследование влияния одного из тугоплавких элементов – вольфрама – на электрофизические характеристики кремниевых многослойных структур типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП).

Исходный кремний предварительно легировался вольфрамом диффузионным методом в интервале температур 1000-1200 °С в течение 2 часов из нанесенного на поверхность Si слоя металлического W. После легирования вольфрамом на пластинах n-Si<W> с ориентацией <100> и удельным сопротивлением  $\rho=5-20$  Ом·см создавались МДП-структуры по технологии, описанной нами ранее в работе [7]. После легирования вольфрамом на пластинках кремния с ориентацией <100> и удельным сопротивлением 15 Ом·см, выращивался термическим способом слой двуокиси кремния толщиной 650-700 Å при 900 °С в атмосфере влажного кислорода с добавлением трихлорэтилена. Металлические электроды на SiO<sub>2</sub> площадью  $A = 0.03$  см<sup>2</sup> и толщиной 7000 Å создавались термическим напылением алюминия.

Анализ результатов проведенных измерений показал, что вольт-фарадные характеристики МДП-структур на кремниевой подложке, легированной вольфрамом (рис. 1, кривая 2), сдвинуты в сторону отрицательных смещений по сравнению с контрольными образцами (рис. 1, кривая 1).

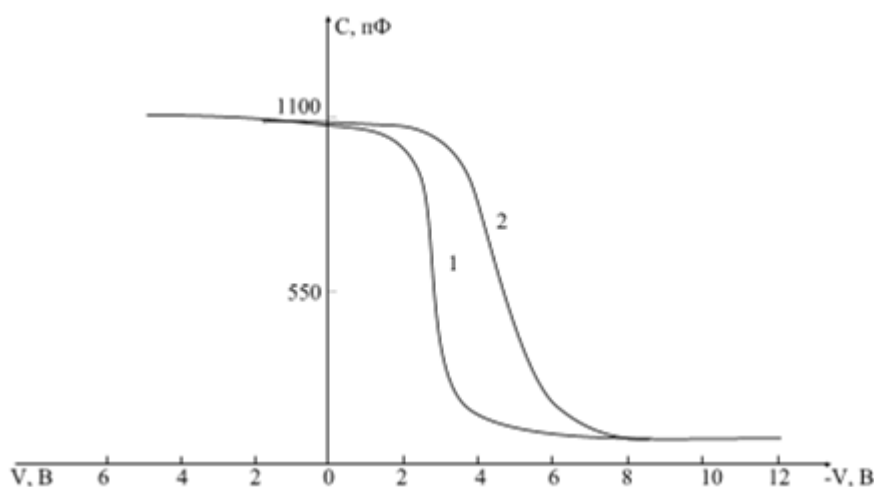


Рис. 1. Высокочастотные C-V-характеристики МДП-структур на основе кремния, легированного вольфрамом: 1 – контрольный образец, 2 – кремниевая МДП-структура с диффузионно введенным W

Из сопоставления полученных кривых 1 и 2 на рис. 1 следует, что диффузионное введение вольфрама в кремний приводит к увеличению плотности поверхностных состояний  $N_{ss}$  МДП-структур и образованию положительного заряда на границе раздела Si-SiO<sub>2</sub>.

Измерения спектров СС-DLTS в легированных (рис. 2, кривые 2 и 3) и контрольных (рис. 2, кривая 1) МДП-структурах показали, что на спектрах легированных образцов наблюдаются 3 пика с максимумами при температурах  $T_{max} = 114\text{K}$ ,  $T_{max} = 150\text{K}$  и  $T_{max} = 190\text{K}$ , причем амплитуда последних двух пиков растет с увеличением концентрации электроактивных атомов вольфрама.

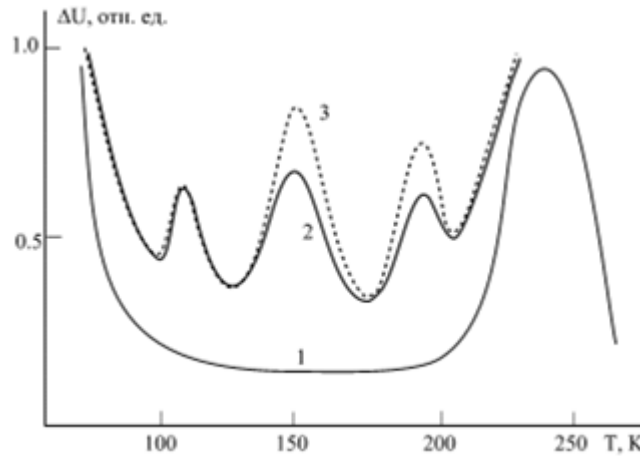


Рис. 2. Спектры СС-DLTS в контрольных МДП-структурах (кривая 1) и структурах с диффузионно введенным W (кривые 2 и 3)

В контрольных образцах такие пики не обнаружены. Численные расчеты параметров дефектов, обусловленных этими пиками, показали, что пик с максимумом при  $T = 114\text{K}$  соответствует уровню с энергией ионизации  $E_c - 0.22\text{ эВ}$ , пик при  $T = 150\text{ K}$  – уровню с энергией ионизации  $E_c - 0.30\text{ эВ}$ , а пик при  $T = 190\text{ K}$  – уровню с энергией ионизации  $E_c - 0.39\text{ эВ}$ .

Отметим, что спектры СС-DLTS легированных и контрольных МДП-структур измерены при такой емкости обеднения, что квазиуровень Ферми для электронов на поверхности кремния  $E_{Fs}$  находится примерно в середине запрещенной зоны кремния и импульсе заполнения  $U_f = 10\text{В}$  при длительности  $t_f = 1\text{ мс}$ , временах задержки  $t_1 = 10\text{ мс}$ ,  $t_2 = 20\text{ мс}$ . Максимум при  $T = 290\text{K}$  связан с перезарядкой поверхностных состояний неосновными носителями тока, наблюдавшийся нами ранее [2]. При этом на спектрах каких-либо дополнительных пиков в заметной концентрации не обнаружено.

Было также изучено изменение распределения  $N_{ss}$  по ширине запрещенной зоны  $E_g$  полупроводника МДП-структур с примесью вольфрама и без W. Спектры распределения  $N_{ss}$  по ширине запрещенной зоны  $E_g$  полупроводника структур с примесью вольфрама имеют несколько сложный характер с несколькими явно выраженными пиками. Измерения распределения  $N_{ss}$  по ширине запрещенной зоны  $E_g$  полупроводника контрольных МДП-структур показали, что спектр распределения зависимости  $N_{ss}$  от  $E_g$  имеет типичный U-образный характер.

Для идентификации обнаруженных дефектов с определенными примесями в исследуемых МДП-структурах на основе n-Si<W> стравливался окисел и на них создавались барьеры Шоттки. Измерения спектров СС-DLTS на полученных барьерах показали, что во всех образцах наблюдается перезарядка трех ГУ в верхней половине запрещенной зоны Si с энергиями ионизации  $E_c - 0.22\text{ эВ}$ ,  $E_c - 0.30\text{ эВ}$  и  $E_c - 0.39\text{ эВ}$ .

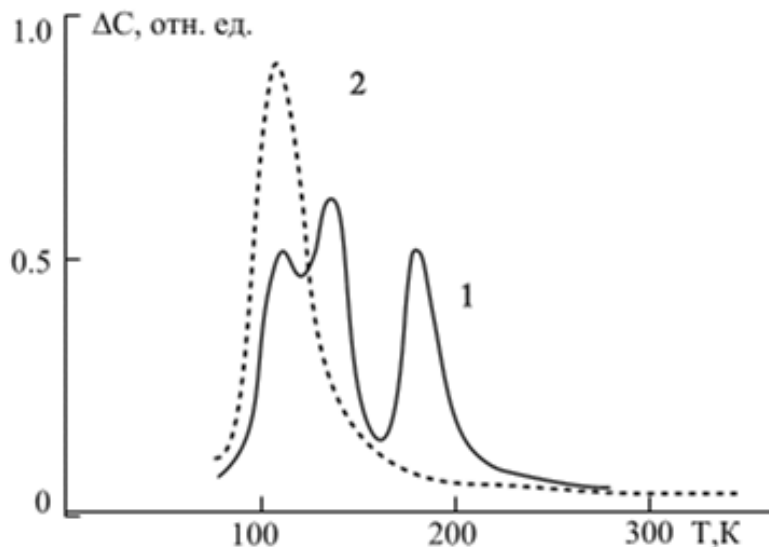


Рис. 3. Спектры DLTS образцов  $n\text{-Si}\langle W\rangle$  (кривая 1), легированных вольфрамом при  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  и контрольного  $n\text{-Si}$  (кривая 2)

Сканирование всей ширины запрещенной зоны на этих же образцах с помощью фотоемкости показали, что на спектрах индуцированной фотоемкости наблюдается перезарядка вблизи  $h\nu \approx 0.31$  и  $0.35$  эВ. Эти результаты также были подтверждены с помощью измерений спектров СС-DLTS. Анализ результатов показывает, что параметры этих ГУ не отличаются от параметров соответствующих ГУ, наблюдавшихся нами в Si, легированном вольфрамом в работе [6].

Таким образом, диффузионное введение примеси вольфрама в кремниевую подложку МДП-структур приводит к еще большему увеличению  $N_{ss}$  и появлению трех четко выраженных пиков, связанных с глубокими уровнями вольфрама в кремнии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берман, Л.С., Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках / Л.С. Берман, А.А. Лебедев. – Л., Наука, 1981. – 170 с.
2. Власов, С.И. Влияние атомов титана на параметры МДП-структур / С.И. Власов, Ш.Х. Далиев. – Труды X-й Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых (ВНКСФ-10). – г. Москва, 2004. – ч.2. – С. 1171-1172.
3. Далиев, Ш.Х. Влияние примесей Zr, Ti и Hf на электрофизические свойства кремниевых структур Автореф. докт. дисс. / Ш.Х. Далиев. – Ташкент, 2017. – 47 с.
4. Румак, Н.В. Система кремний-двуокись кремния в МОП-структурах. / Н.В. Румак. – Минск: Наука и техника, 1986. – 240 с.
5. Daliev, Kh.S. The characteristic parameters of silicon, doped with vanadium / Kh.S. Daliev // World Journal of Engineering Research and Technology. – 2017. – Vol. 3, Issue 4. – pp. 289-296.
6. Daliev, Sh.Kh. Influence of  $\gamma$ -radiation properties of wolframium levels in silicon / Sh.Kh. Daliev, A.D. Paluanova // Science and World. – 2018. – № 10 (62). Vol. I. – pp. 28-31.
7. Daliev, Sh.Kh. Nonequilibrium processes in MIS-structures on the basis of silicon, doped with hafnium / Sh.Kh. Daliev, S.I. Vlasov // Journal of Scientific and Engineering Research (JSAER). – 2017. – 4(4). – pp. 11-13.

Материал поступил в редакцию 28.02.19.

## INFLUENCE OF WOLFRAMIUM ON CHARACTERISTICS OF SILICON METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR STRUCTURES

Sh.Kh. Daliev<sup>1</sup>, A.D. Paluanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD, Senior Researcher, <sup>2</sup> Basic Doctoral Student

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics  
under the National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan

**Abstract.** *The effect of wolframium impurity on the characteristics of silicon MIS structures was investigated using capacity spectroscopy and high-frequency capacity-voltage characteristics. It has been found that the presence of electro-active W atoms in the silicon wafer of MDP structures leads to an increase in  $N_{ss}$  structures and the appearance of peaks associated with the levels of tun wolframium in silicon.*

**Keywords:** *silicon, impurity, wolframium, deep level, irradiation,  $\gamma$ -quanta, radiation dose, radiation defect.*

УДК 621.315.592

## ПЕРЕСТРОЙКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА АНТИМОНИДА ГАЛЛИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДНОСТОРОННЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

С.Ш. Егембердиева<sup>1</sup>, Б.Ж. Кушкимбаева<sup>2</sup>, Р. Наметкулова<sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup> кандидат физико-математических наук, доцент, <sup>3</sup> старший преподаватель

<sup>1, 2</sup> Таразский государственный педагогический университет,

<sup>3</sup> Таразский государственный университет им М. Дулати, Казахстан

**Аннотация.** Рассматриваются экспериментальные результаты по влиянию одноосной деформации на спектры фотолюминесценции кристаллов антимонида галлия, нелегированных и компенсированных *p*-типа и легированных селеном *n*-типа, определение скорости смещения  $\Gamma$  и  $L$  минимумов зоны проводимости с давлением, прикладываемым в направлении [111]

**Ключевые слова:** фотолюминесценция, зоны проводимости, антимонид галлия, одноосная деформация, константы деформационного потенциала.

Антимонид галлия является одним из наиболее интересных материалов, используемых в традиционной оптоэлектронике. Перспективы его использования связаны тем, что длина волны краевого излучения этого материала лежит в спектральной области, соответствующей минимальным потерям, используемым в линиях волоконной связи.

Антимонид галлия интересен тем, что он имеет дополнительные минимумы энергии ( $\sim 80$  мэВ), расположенные близко к основному минимуму зоны проводимости, а также величина спин-орбитального расщепления  $\Delta$  приблизительно равна ширине запрещенной зоны  $E_g$  и др. Эти особенности антимонида галлия выделяют его из ряда соединений  $A^3B^5$ . Так, например, в результате создания одноосной деформации можно легко производить инверсию экстремумов зоны проводимости и тем самым исследовать влияние выше лежащей  $L$ -долины на оптические свойства кристалла.

Одноосная деформация понижает кубическую симметрию кристаллической решетки и тем самым снимает многодоллинное вырождение. Энергетическое смещение зон в реальных точках симметрии зоны Бриллюэна в условиях одноосной деформации, теоретически развито в работах [2-4].

При наложении деформации в кристаллографическом направлении [111]  $\Gamma$ -минимум зоны проводимости смещается как

$$\frac{dE_r}{dP} = \Xi_d^L \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} \quad (1)$$

а  $L$ -минимумы зоны проводимости расщепляются на триплет, движущийся со скоростью

$$\frac{dE_L}{dP} = (\Xi_d^L + \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} + \frac{1}{9}\Xi_U^L \frac{1}{C_{44}} \quad (2)$$

и синглет, который смещается со скоростью

$$\frac{dE_L}{dP} = (\Xi_d^L + \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} - \frac{1}{3}\Xi_U^L \frac{1}{C_{44}} \quad (3)$$

где  $P$  – одноосное давление,  $C_{ij}$  – константы упругой деформации,  $\Xi_{d,U}^{r,L}$  – константы деформационного потенциала зоны проводимости.

Валентная зона в указанных условиях смещается как

$$\frac{dE_V}{dP} = a \frac{1}{2C_{12} + C_{11}}$$

и расщепляется на величину

$$\Delta E = \frac{d'}{\sqrt{3}C_{44}}$$

где  $a$ ,  $d'$  – константы деформационного потенциала валентной зоны.

Исследованы кристаллы антимонида галлия р-типа, нелегированные и компенсированные селеном в интервале концентраций от  $1,8 \cdot 10^{17}$  –  $2 \cdot 10^{-3}$  (холловские концентрации), в условиях одноосной деформации. Давление прикладывалось вдоль кристаллографического направления [111]. Интервал давлений до  $9000 \text{ кг/см}^2$ . Измерения проводились в условиях малой накачки при температуре  $77 \text{ }^\circ\text{K}$ .

Спектр фотолюминесценции нелегированного антимонида галлия (рис. 1) состоит из двух линий. Высокэнергичная линия ( $I_1$ ) обусловлена переходами зоны проводимости – валентная зона, вторая линия ( $I_2$ ) соответствует переходам зоны проводимости – акцептор.

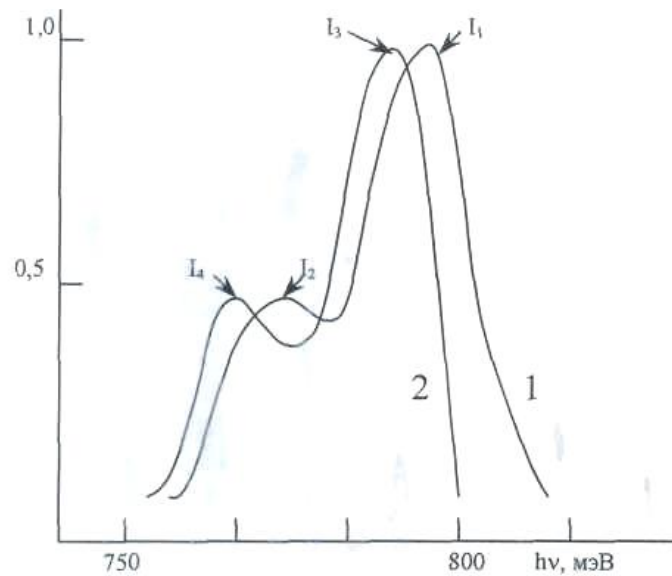


Рис. 1. Спектры люминесценции антимонида галлия р-типа, нелегированного (1) и слаболегированного селеном (2), при  $T = 77 \text{ }^\circ\text{K}$ .

На этом же рисунке представлен спектр фотолюминесценции кристалла GaSb, компенсированного селеном, который является донорной примесью для антимонида галлия. Обе линии излучения GaSb(Se) ( $I_3$  и  $I_4$ ) несколько смещены в сторону меньших энергий, по сравнению со спектром нелегированного образца, что объясняется участием мелких донорных уровней.

Видно, что с ростом давления (рис. 2) все линии смещаются в сторону высоких энергий. Причем, смещение линий излучения в кристаллах, легированных селеном, аналогично поведению спектра нелегированного кристалла до давления порядка  $4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$ . Отметим, что смещение линии излучения с увеличением давления, связано с ростом ширины запрещенной зоны, и все линии смещаются с одинаковой скоростью. Это говорит о том, что энергия ионизации акцепторного уровня не меняется с давлением. При увеличении давления выше  $4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$  смещение линий излучения  $I_3$  и  $I_4$  меняет знак, а линии  $I_1$  и  $I_2$  идет к насыщению. Изменение знака смещения линий излучения  $I_3$  и  $I_4$  связано с участием в процессах люминесценции примесных уровней селена, относящихся к L-минимуму зоны проводимости. При давлениях больше  $4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$ , уровень селена, связанного с L-минимумом зоны проводимости, располагается по своему энергетическому положению ниже основного Г-минимума зоны проводимости и будет определять излучательные переходы в кристаллах, легированных селеном.



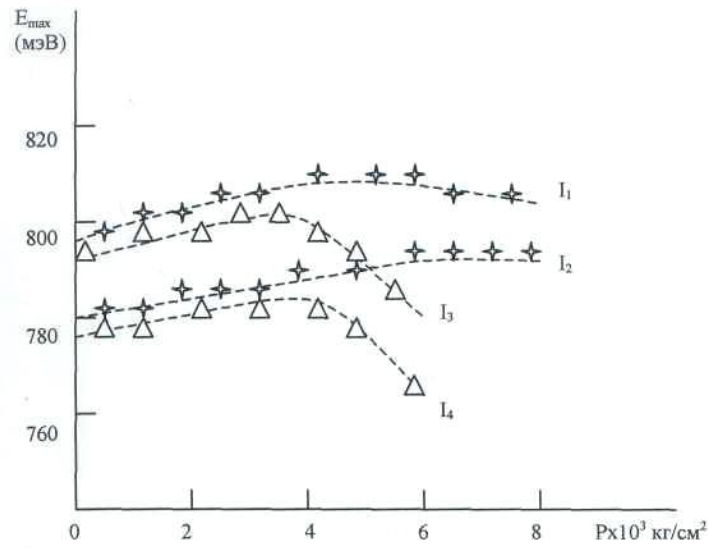


Рис. 2. Положение максимума линий излучения антимионида галлия р-типа от величины одноосной деформации в направлении [111],  $T = 77 \text{ }^\circ\text{K}$

Исследуя зависимость энергетического положения линий излучения от величины приложенного давления, можно получить скорость изменения ширины запрещённой зоны и смещения одного из L- минимумов, при одноосной деформации в направлении [111].

$$\frac{dE_r}{dP} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ/кГ} \cdot \text{см}^{-2}$$

$$\frac{dE_L}{dP} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ/кГ} \cdot \text{см}^{-2}$$

Зная скорости смещения Г- и L-минимумов, можно объяснить энергетическое положение уровней селена, связанных с L-минимумами. На рис. 3 представлены зависимости энергетического положения минимума зоны проводимости и примесных уровней селена, связанных с ними, от величины давления в направлении [111]. Скорости смещения взяты из эксперимента. Диаграмма построена в предположении, что энергия ионизации доноров не зависит от давления. Из диаграммы видно, что инверсия зон происходит при давлении  $6,5 \cdot 10^3 \text{ кГ/см}^2$  (точка А). Считаем, что смещение  $E_{\text{max}}$  в сторону меньших энергии (рис. 2, кривые  $I_3$  и  $I_4$ ) начинается с момента, когда  $E_{S\text{e}}^{\Gamma}$  совпадает с  $E_{S\text{e}}^L$ . Тогда линия, проведённая параллельно  $E_L(P)$  через точку, соответствующей по энергетическому положению  $E_{S\text{e}}^{\Gamma}$  (точка В) при  $P = 4,5 \cdot 10^3 \text{ кГ/см}^2$  даёт на оси энергии значение  $E_{S\text{e}}^L = 33 \text{ МэВ}$ .

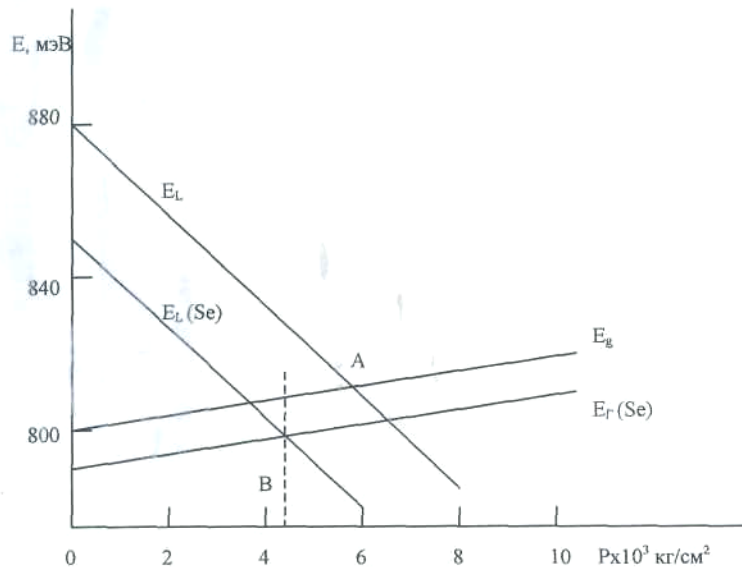


Рис. 3. Смещение энергетического положения минимумов зоны проводимости и связанных с ними примесных уровней селена, от величины давления. Напр. [111]

Из построенной диаграммы рис.3 получаем, что инверсия зон  $\Gamma$  – и  $L$  – минимумов зоны проводимости должно происходить при давлениях порядка  $6,5 \cdot 10^3$  кг/см<sup>2</sup> линии излучения  $I_1$  и  $I_2$  должны менять знак смещения, так как время излучательной рекомбинации  $10^{-9}$ - $10^{-10}$  с. [2], а время междолиного рассеяния  $10^{-13}$  с. [5]. Однако экспериментальная зависимость положения максимума линий излучения от деформации показывает, что эти не меняют знака смещения (рис. 2, кривые  $I_1$  и  $I_2$ ). Зная скорости смещения  $\Gamma$  – и  $L$  – минимумов зоны проводимости, которые описываются формулами (1) и (3), добавим к этим уравнениям скорость изменения энергетического зазора  $\Delta E_{L,\Gamma}$ , полученную из гидростатических измерений, которая описывается формулой:

$$\frac{d\Delta E_{L,\Gamma}}{dP} = 3(\Xi_{\Gamma d}^{\Gamma} + \Xi_{\Gamma d}^L - \frac{1}{3}\Xi_U^L) \frac{1}{2C_{12} + C_{11}} \quad (4)$$

Решая систему из трех уравнений (1), (3) и (4), относительно  $\Xi_{\Gamma d}^{\Gamma}$ ,  $\Xi_{\Gamma d}^L$  и  $\Xi_U^L$ , находим значения констант деформационного потенциала для  $\Gamma$  – и  $L$  – минимумов зоны проводимости.  $\Xi_{\Gamma d}^{\Gamma} = -5,2$  эВ,  $\Xi_{\Gamma d}^L = -3,4$  эВ и  $\Xi_U^L = 11,2$  эВ. При этом для  $C_{ij}$  использованы следующие значения:  $C_{11} = 8,848 \cdot 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $C_{12} = 4,037 \cdot 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $C_{44} = 4,325 \cdot 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup> и  $d' = 1,0$  эВ., полученные из [1]. Эти данные получены из поляризованных исследований спектров люминесценции нелегированного антимонида галлия для первого состояния природного двойного акцептора. В данном случае линия  $I_2$  обусловлена переходами на это же состояние двойного акцептора. Учитывая, что скорость смещение линий  $I_1$  и  $I_2$  одинакова можно утверждать, что валентная зона имеет то же значение константы деформационного потенциала  $d' = 1,0$  эВ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкиев, Н.С. Природа линии излучения нелегированного антимонида галлия / Н.С. Аверкиев, Е.И. Чайкина. – ФТП, 1982. – Т. 16. – Вып. 7. – С. 1273–1275.
2. Овчинников, В.Д. Деполяризация горячей фотолуминесценции в магнитном поле в кристаллах арсенида галлия / В.Д. Овчинников и др. – ЖЭТФ, 1981. – Т. 80. – Вып. 8. – С. 1766–1778.
3. Олешко, В.И. Время-разрешённая люминесцентная спектроскопия эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на подложках Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Современные: техника и технологии: труды XX Междунар. научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / В.И. Олешко, С.Г. Горина, Л. Цзысюань и др. – Томск, 2014. – Т. 2.
4. Титков, А.Н. Низкотемпературная люминесценция вырожденных р – типа кристаллов прямозонных полупроводников / А.Н. Титков, Е.И. Чайкина. – ФТП, 1981. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 345.
5. Martin, D., Algora C. Semicond. Sci. Technol., 19, 1040 (2004).

Материал поступил в редакцию 11.02.19.

**THE RESTRUCTURING OF ENERGY SPECTRUM OF GALLIUM ANTIMONIDE  
UNDER THE ACTION OF UNILATERAL DEFORMATION**

**S.Sh. Egemberdieva<sup>1</sup>, B.Zh. Kushkimbayeva<sup>2</sup>, R. Nametkulova<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, <sup>3</sup> Senior Lecturer

<sup>1,2</sup> Taraz State Pedagogical University,

<sup>3</sup> Taraz State University named after M. Dulati, Kazakhstan

***Abstract.** Experimental results on the influence of uniaxial deformations on the photoluminescence spectra of gallium antimonide crystals, unalloyed and compensated p-type and doped with n-type selenium, the determination of the displacement velocity of G and L minima of the conduction band with pressure applied in the direction are considered [III].*

***Keywords:** photoluminescence, conduction band, gallium antimonide, uniaxial deformation, constants of the deformation potential.*

УДК 53:51

## ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ СМАЧИВАНИЯ ГРАНИЦ ЗЕРЕН ЛЕГКОПЛАВКИМ КОМПОНЕНТОМ В БИНАРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

**А.А. Новиков**, ассистент, кафедра физической химии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Национальный исследовательский технологический университет (Москва), Россия

**Аннотация.** *Процесс смачивания границ зерен происходит при контакте твердой поликристаллической металлической фазы с расплавом металла. Наблюдалось образование зернограничной сети каналов жидкого висмута по границам зерен меди. Обнаружено появление теплового эффекта в температурном интервале перехода к полному смачиванию границ зерен. Величина теплового эффекта в расчете на 1 моль меди, перешедшей в расплав при образовании жидкометаллических каналов, рассчитанная с учетом средней ширины каналов и степени заполнения границ зерен расплавом, составила 21-23 кДж/моль.*

**Ключевые слова:** *границы зерен, полное смачивание, медь, висмут, тепловой эффект, температура перехода.*

Образование канавок по границам зерен при взаимодействии твердой меди с расплавом висмута, насыщенном медью, подробно изучалось в работах нескольких групп исследователей жидкометаллического смачивания [2, 3]. В частности обнаружено, что в температурном интервале 5600-620 °С в поликристаллических образцах меди происходит переход к полному смачиванию границ зерен (ГЗ), при котором поверхностная энергия ГЗ ( $\gamma_b$ ) проходит через значение равное удвоенной энергии поверхности раздела расплав твердая медь ( $2\gamma_{SL}$ ) и при дальнейшем нагреве становится больше его. Каждая ГЗ в поликристалле имеет свою собственную температуру перехода к полному смачиванию [7], что связано с тем, что поверхностные энергии ГЗ отличаются друг от друга в каждом отдельном случае вследствие индивидуальных кристаллографических разориентировок граничащих зерен и ориентации плоскости границы [9]. Вследствие этого и появляется интервал температур перехода к полному смачиванию в поликристалле. При температурах более высоких, чем температура полного смачивания, вместо ГЗ образуется заменяющий ее зернограничный канал расплава, «съедающий» со временем границу зерна на всем ее протяжении [1].

Морфология растущих каналов полного смачивания и кинетика их роста исследовались в работе [6]. В работе [8] отмечается, что при переходе к полному смачиванию может наблюдаться незначительный положительный (поглотительный) тепловой эффект. Величина этого эффекта, причины его появления и сама возможность его существования пока остаются под вопросом. В связи с этим, задачей данного исследования явилось надежное обнаружение теплового эффекта перехода к полному смачиванию ГЗ и его количественная оценка для системы медь – висмут.

### Методика

Для термического анализа возможности возникновения теплового эффекта, связанного со смачиванием расплавом ГЗ, необходимо исследовать процесс нагрева поликристаллического образца меди, т.е. образца, в котором имеется большое количество ГЗ, в контакте с висмутом. При температуре вблизи 271 °С (это температура плавления чистого висмута) висмут, насыщенный медью, плавится, что обеспечивает возможность взаимодействия расплава с ГЗ образца твердой меди при дальнейшем нагреве. Собственно процесс нагрева и исследование термических эффектов, ему сопутствующих, осуществлялось с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC Labsys.

В эксперименте были использованы катодная медь (чистотой 99,996 масс %) и химически чистый висмут (99,99 масс %). Для проведения опытов расплав висмута был насыщен медью до предела растворимости при температуре 650 °С.

Изучение процесса нагрева меди в контакте с висмутом проводилось в двух вариантах. Они отличались тем, что в первом случае для опытов использовались образцы меди, имеющие поликристаллическую структуру с заданным размером зерна. Во втором случае приготавливались образцы меди, имеющие такие же размеры и форму, как в первом случае, но обладающие монокристаллической структурой. Этим достигалась возможность выявления эффектов, связанных только с ГЗ, т.к. в первом случае (в поликристалле) их было достаточно много и при заданном размере зерна можно было сделать оценку их общего количества в опытном образце. Во втором случае их не было совсем (монокристалл), а значит зернограничные канавки и каналы при полном смачивании образовываться не могли. (Растворение объемов медных образцов в обоих случаях происходить не могло, т.к. они находились в контакте с насыщенным медью расплавом висмута).

Для получения поликристаллического и монокристаллического варианта медных образцов исходная медь подвергалась предварительной механической деформации (осадке под прессом) и последующей термической обработке. Выбор соответствующего режима термообработки в первом случае обеспечил получение

поликристаллических образцов со средним размером зерна 50 мкм. Термообработка во втором случае позволила вырастить зерна до величины поперечника 5-7 мм. Размер зерен определяли с помощью оптической микроскопии на приборе Leica DMILM и растровой электронной микроскопии на приборе Hitachi S-800. Используя электроэрозионный способ резания, из образцов меди с крупным зерном вырезали монокристаллические заготовки, содержащие не более одного зерна в каждой. Размер каждой медной заготовки для опытов в первом и втором случаях был одинаков. Заготовки представляли собой тонкие круглые диски толщиной 300 мкм и диаметром 5 мм, что соответствовало условиям их использования в дифференциальном сканирующем калориметре Setaram «AlexSys».

В обоих случаях медные пластины в контакте с измельченным висмутом (насыщенным медью) помещались в алундовые тигли, которые устанавливались в калориметр. В атмосфере аргона высокой чистоты производился нагрев образцов со скоростью 5 К/мин от комнатной температуры (25 °С) до 650 °С и обратное охлаждение с той же скоростью до комнатной температуры. Таким образом, были получены калориметрические кривые «нагрев – охлаждение»:

- в первом варианте – для поликристаллических пластин меди в контакте с висмутом;
- во втором варианте – для монокристаллических пластин меди в контакте с висмутом.

Исходные материалы и режимы проведения опытов в обоих случаях были идентичны.

### Результаты

На рис. 1 представлены термические кривые нагрева поликристаллических медных образцов в висмуте (верхняя кривая) и монокристаллических медных образцов в висмуте (нижняя кривая). При температуре около 270 °С (точное значение – 267 °С) на обеих кривых наблюдается глубокий (существенный) положительный тепловой эффект. Он связан с плавлением висмута (насыщенного медью), присутствующего в обоих случаях. Дальнейший нагрев до температуры 590 °С для обоих вариантов происходит одинаково без наблюдаемых тепловых эффектов. При таком нагреве точка ликвидуса изучаемых сплавов не достигается [4]. При температурах 596-615 °С образцы с поликристаллической структурой демонстрируют удвоенный положительный тепловой эффект, который хорошо виден на врезке в правой части рис. 1 в увеличенном масштабе. Этот эффект невелик в сравнении с эффектом плавления висмута, но проявляется он достаточно четко. На нижней кривой (монокристаллическая медь) этот эффект отсутствует.

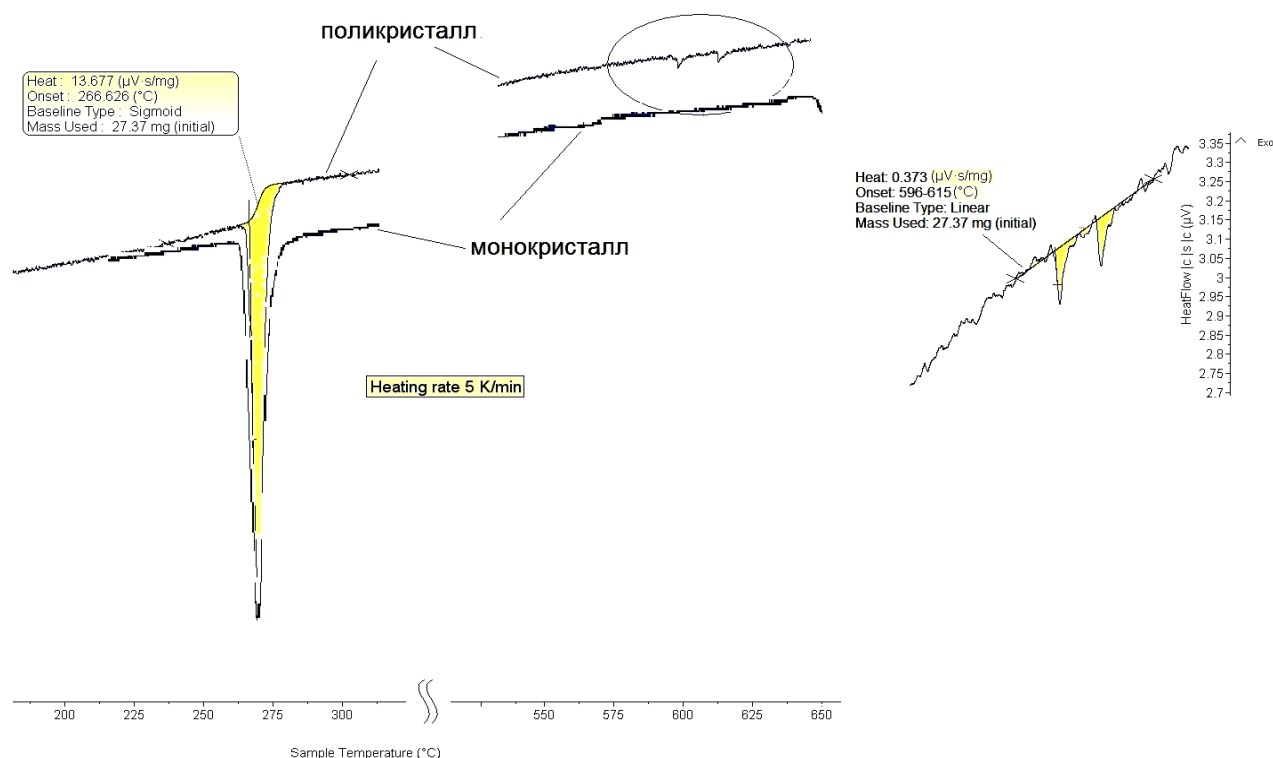


Рис. 1. Термические кривые нагрева поликристаллических (верхняя кривая) и монокристаллических (нижняя кривая) образцов меди в расплаве висмута

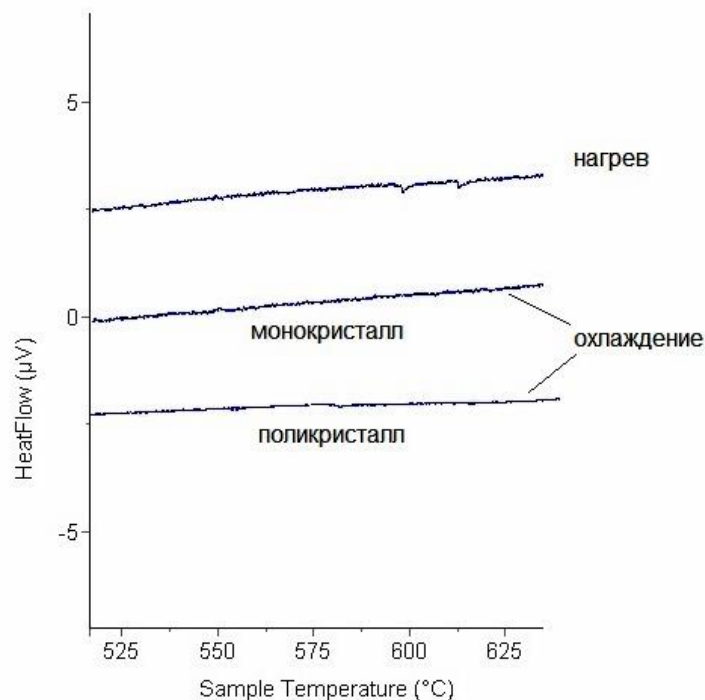


Рис. 2. Термические кривые охлаждения поликристаллической меди (нижняя кривая) и монокристаллической меди (средняя кривая) в расплаве висмута. Верхняя кривая показывает температурный интервал появления теплового эффекта при нагреве поликристаллической меди в висмуте

На рис. 2 представлены термические кривые охлаждения поликристаллической и монокристаллической меди в расплаве висмута. Интервал температур кривых охлаждения сопоставлен с температурами появления теплового эффекта при нагреве поликристаллической меди в висмуте, который представлен для сравнения на этом же рисунке (верхняя кривая). Можно отметить, что охлаждение в обоих случаях происходит одинаково, без наблюдаемых тепловых эффектов.

Результаты термографических исследований показывают, что монокристаллическая медь не испытывает в контакте с висмутом никаких превращений в процессе «нагрев – охлаждение» в интервале температур 25–650 °С. Висмут независимо от меди испытывает плавление (положительный эффект на кривой нагрева) и кристаллизацию (отрицательный эффект на кривой охлаждения). Аналогичные кривые для поликристаллической меди в контакте с висмутом отличаются от кривых для монокристаллической меди только наличием положительного теплового эффекта при 596 – 615 °С (см. рис.1).

После проведения опыта были сделаны металлографические шлифы пластин поликристаллической меди в сечениях, перпендикулярных их плоскостям, т.е. поверхностям контакта твердой меди и расплава висмута при температурах выше 270 °С.

Детальный анализ микрофотографий шлифов поликристаллической меди после «нагрева – охлаждения» в расплаве висмута дал возможность сделать оценку доли ГЗ заполненных висмутом, т.е. доли зернограничных каналов висмута, образовавшихся за время эксперимента (доли полностью смоченных висмутом ГЗ в поликристаллических образцах меди). Эта доля составляет ориентировочно 10 % от всех ГЗ, имеющих в поликристаллических образцах, бывших в контакте с висмутом за время эксперимента.

### Обсуждение результатов

Калориметрические исследования нагрева медных поликристаллических образцов в расплаве висмута показали, что в области температур перехода ГЗ к полному смачиванию расплавом наблюдается тепловой эффект, который отсутствует при тех же условиях в монокристаллических образцах, т.е. при отсутствии ГЗ. Т.к. в поликристалле происходит при этом рост глубоких зернограничных каналов, то естественно считать, что этот процесс и является причиной появления теплового эффекта. Можно предположить, что тепловой эффект является следствием ухода меди из тех объемов образца (из приграничных объемов), которые при смачивании ГЗ оказались заполнены висмутом. Единственным путем выхода меди из приграничных участков зерен и освобождения места для расплава при образовании каналов является переход (вытеснение) ее в расплав, а значит образование пересыщенного медью расплава висмута. Растворение меди в расплаве можно рассматривать как причину появления теплового эффекта при смачивании ГЗ. Тот факт, что при последующем охлаждении не отмечается появление каких-либо тепловых эффектов вплоть до температуры кристаллизации висмута, означает, что обратного выделения растворенной при образовании зернограничных каналов меди не происходит.



Величина теплового эффекта, сопровождающего переход к полному смачиванию ГЗ и процесс образования зернограничных каналов, может быть оценена по известной теплоте плавления висмута –  $\Delta H_{s \rightarrow L}(\text{Bi})$ . Площадь на термической кривой, соответствующая тепловому эффекту при плавлении висмута, пропорциональна полному теплу, поглощенному образцом, содержащим известное количество молей висмута. Величина теплового эффекта при смачивании ГЗ (596-615 °С) может быть определена по отношению площадей данного термического пика и пика при плавлении висмута. Воспользовавшись этим обстоятельством, был рассчитан тепловой эффект смачивания ГЗ, отнесенный к полной массе образца. Он оказался равным 0,0327 Дж.

Для сопоставления величины обнаруженного теплового эффекта с величиной изменения поверхностной энергии при переходе к полному смачиванию ГЗ была сделана оценка площади поверхности ГЗ, заполненных расплавом висмута. Для этого было предположено, что медные зерна в образце имеют форму кубов (в первом варианте расчета) или икосаэдров (во втором варианте расчета). Геометрический анализ позволил в обоих вариантах с учетом доли смачивания ГЗ (10 %) определить площадь поверхности смачивания, которая оказалась равной  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  в первом случае и  $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  во втором. Таким образом, величина теплового эффекта, отнесенная к единице поверхности ГЗ, смоченных расплавом висмута, составляет около  $2 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2$ . Это в тысячи раз превышает возможные значения поверхностных энергий, связанных с ГЗ и границами раздела твердой и жидкой фаз в системе Cu – Bi (значение поверхностной энергии на границах  $\text{Cu}_s - \text{Bi}_L$  составляет 0,2-0,4 Дж/м<sup>2</sup> [5]). Это свидетельствует о том, что обнаруженный тепловой эффект не связан с капиллярными процессами по ГЗ.

Можно предположить, что поглощенной при смачивании ГЗ тепло связано с переходом меди в расплав висмута – это тепло растворения. Растворение меди в висмуте по ГЗ стимулируется процессом смачивания. Растворимость меди в жидком висмуте увеличивается с температурой, процесс смачивания «имитирует» повышение температуры вблизи ГЗ и инициирует переход меди в расплав. Все тепло, которое поглотилось бы при растворении меди в висмуте с повышением температуры, регистрируется в узком температурном интервале при переходе к полному смачиванию ГЗ.

Далее была проведена оценка величины теплового эффекта на 1 моль меди, перешедшей в расплав. Определялся объем образовавшихся зернограничных каналов (толщина слоя висмута в каналах принималась равной 2 мкм) и рассчитывалось количество меди в молях, вытесненное в расплав при смачивании. В результате были получены значения теплового эффекта, равные: 23 кДж/моль (для кубической формы зерен меди) и 21 кДж/моль (для икосаэдрической формы зерен меди). Эти значения имеют тот же порядок величины, что и теплота плавления чистой меди, которая составляет 13 кДж/моль. Полученные «удельные» величины теплового эффекта, как это видно, не очень чувствительны к способу описания зеренной структуры образца. Но они могут претерпеть существенные изменения вследствие влияния двух факторов, которые требуют надежного экспериментального подтверждения. Это значение толщины слоя висмута в зернограничных каналах, которое, как это показывает микроструктурный анализ, может варьироваться для разных каналов и на разных глубинах в широких пределах (от 0,1 до 10 мкм). Кроме того, это значение доли заполнения висмутом всей зернограничной сети образца, часть всех ГЗ, смоченных висмутом. Обе эти величины не могут быть определены абсолютно точно, интервал их значений зависит от глубины статистического анализа структуры образцов после проведения термических опытов. Поэтому представленные значения теплового эффекта смачивания ГЗ следует считать ориентировочными, требующими уточнения.

### Заключение

В результате проведенных опытов по исследованию полного смачивания ГЗ меди расплавом висмута установлено:

- обнаружен тепловой эффект, связанный с процессом перехода к полному смачиванию ГЗ в меди; это подтверждается проведением параллельного исследования поведения монокристаллической меди в расплаве висмута при нагреве;

- проведена оценка величины теплового эффекта смачивания ГЗ в расчете на моль меди, перешедшей в расплав висмута в процессе образования зернограничных каналов смачивания ГЗ; эта величина составляет 21-23 кДж/моль.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amouyal, Y. Short-circuit diffusion in ultrafine-grained copper-zirconium alloy processed by equal channel angular pressing / Y. Amouyal, S.V. Divinski, Y. Estrin et al. // *Acta Materialia*. – Vol. 55 (2007). – p. 5968.
2. Joseph, B. Mechanism of liquid Bi penetration along Cu grain boundaries / B. Joseph, F. Barbier, M. Aucouturier // *Scripta Materialia*. – 2000. – Vol. 42, No. 12. – pp. 1151-1158.
3. Joseph, B. Rapid penetration of liquid Bi along Cu grain boundaries / B. Joseph, F. Barbier, G. Dagoury et al. // *Scripta Mater.* – 1998. – Vol. 39. – p. 775.
4. Massalski, T.B. Binary Alloy Phase Diagrams, Second Edition / T.B. Massalski, H. Okamoto, P.R. Subramanian et al. – ASM International Materials Park, OH, 3542 p.
5. Missol, V. Phase interface surface energy in metals / V. Missol. – М.: Metallurgiya, 1978. – p. 176.
6. Novikov, A.A. Grain boundary wetting kinetics of bismuth melt into copper polycrystalline structure / A.A. Novikov, B.S. Bokstein, A.L. Petelin et al. // *Materials Letters*. – 2014. – Vol. 133. – p. 113-119.

7. Straumal, B. The Wetting Transition in High and Low Energy Grain Boundaries in the Cu(In) System / B. Straumal, T. Muschik, W. Gust et al. // Acta metall. mater. – 1992. – Vol. 40. – p. 939-945.
8. Straumal, B.B. Faceting of Sigma3 and Sigma9 grain boundaries in Cu-Bi alloys / B.B. Straumal, S.A. Polyakov, E. Bischoff et al. // Acta Mater. – 2005. – Vol. 53. – p. 247-254.
9. Yoshino, T. Complete wetting of olivine grain-boundaries by a hydrous melt near the mantle transition zone / T. Yoshino, Y. Nishihara, S.-I Karato // Earth and Planetary Science Letters. – 2007. – Vol. 256. – p. 466-472.

*Материал поступил в редакцию 13.02.19.*

### **THERMAL EFFECT OF WETTING THE GRAIN BOUNDARIES BY EASILY FUSIBLE COMPONENT IN A BINARY METAL SYSTEM**

**A.A. Novikov**, Assistant, Department of Physical Chemistry  
National University of Sciences and Technology (Moscow), Russia

**Abstract.** *The process of wetting the grain boundaries occurs upon the contact of the solid polycrystalline metal phase with the molten metal. The formation of a grain-boundary network of liquid bismuth channels along the copper grain boundaries was observed. The appearance of a thermal effect was found in the temperature range of the transition to complete wetting of the grain boundaries. The value of the thermal effect per 1 mole of copper, transferred to the melt during the formation of liquid metal channels, calculated taking into account the average width of the channels and the degree of filling of the grain boundaries with the melt, was 21-23 kJ / mole.*

**Keywords:** *grain boundaries, complete wetting, copper, bismuth, heat effect, transition temperature.*



УДК 551.594.223(018)

## НОВАЯ ГИПОТЕЗА О ПРИРОДЕ ШАРОВОЙ МОЛНИИ. ОБЪЯСНЕНИЕ НЕОБЫЧНЫХ СВОЙСТВ

А.Н. Смирнов, кандидат химических наук, доцент

Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники, Россия

**Аннотация.** Исходя из анализа экспериментальных фактов и многочисленных наблюдений, предложена новая гипотеза возникновения шаровой молнии. Гипотеза основана на открытых в воде новых структурах – эмулонах и образовании дендрометров гидратированными ионами водорода и гидроксила. Масса шаровой молнии диаметром 20 см составляет 14 г, плотность вещества  $0,0033 \text{ г/см}^3$  ( $\approx 2,7 \rho_{\text{воздуха}}$ ) энергия  $\approx 1700 \text{ кДж}$ . Основной вклад в энергетику ШМ обеспечивают реакции рекомбинации свободных радикалов и ионов в газовой фазе.

**Ключевые слова:** шаровая молния, эмулоны, дендримеры, рекомбинация радикалов и ионов в газовой фазе.

Существует очень много предположений о природе шаровой молнии (ШМ) [1, 17, 22, 24]. Однако общепризнанной теории пока нет. Убедительного объяснения необычных свойств этого природного феномена все они не дают. На основании длительного изучения структуры воды, мы полностью разделяем точку зрения Б.М. Смирнова [22] о важной роли воды в образовании ШМ. Для воды характерна ярко выраженная способность к самоорганизации вследствие образования водородных связей и кооперативных эффектов [18, 20]. Нами установлено, что в воде могут существовать гигантские, по молекулярным меркам, структурные образования. Эти структуры нам удалось обнаружить методом акустической эмиссии и визуализировать с помощью лазерной интерферометрии [19, 20]. Для опытов использовалась дистиллированная вода, очищенная с помощью системы MilliQ (Academica). Обнаруженные в воде надмолекулярные комплексы, состоящие из пяти фракций с размерами 0,3-100 мкм, распределены в водной системе по фрактальному принципу. Учитывая характерные свойства этих надмолекулярных образований, для них предложено название «эмулоны». Размеры и пространственная организация эмулонов зависят от состава водного раствора, температуры и предыстории образца. В дальнейшем были разработаны прямые методы наблюдения эмулонов в водной среде с помощью лазерного цифрового микроскопа. [18, 21].



Рис. 1. Структура в бидистиллированной воде из перепутанных цепей эмулонов. Ширина кадра 10 мм

При образовании эмулонов ионы водорода  $[H^+]$  и гидроксила  $[OH^-]$  играют решающую роль: из гидратированных форм  $H^+ \cdot n_1 H_2O$  и  $OH^- \cdot n_2 H_2O$  образуются ионные пары, из которых и строятся эмулоны, включающие  $10^7$ - $10^9$  этих частиц. Эмулоны могут образовывать длинные правовинтовые цепи. Водная среда представляет единую систему с распределёнными в ней эмулонами. Это приводит к тому, что её свойства не являются простой суммой отдельных структурных элементов, а возникает феномен кооперативности. Количество и распределение эмулонов по размерам меняется с температурой. Полидисперсная структура из эмулонов, существующая в воде, приводит к полимодальному отклику на внешние воздействия, проявлению гистерезисных явлений и значительным временам релаксации. Цепочки из эмулонов (нити, филаменты) способны диссоциировать на очень крупные положительно и отрицательно заряженные фрагменты с величиной заряда до  $10^5$ - $10^7$  зарядов электрона. При этом молекулярные массы положительных и отрицательных частиц значительно различаются. Наличие эмулонов в воде позволяет непротиворечиво объяснить воздействие магнитного поля на водные системы, используя законы электродинамики. Своеобразная структура цепей из эмулонов обладает элементами

правовинтовой спиральной симметрии. Прямым экспериментальным подтверждением наличия спиральной симметрии у цепочек из эмулонов в воде является обнаруженный новый эффект Смирнова А.Н. [19, 21]. Исследование структуры жидкой воды позволило по-новому подойти к проблеме возникновения и строения шаровой молнии (ШМ). Большую помощь оказало наблюдение за свойствами «водяного мостика».

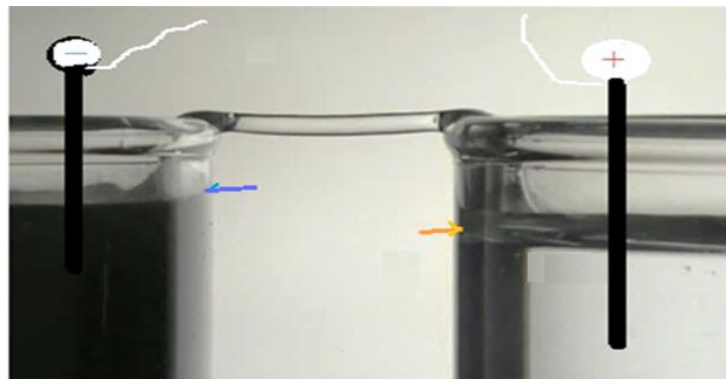


Рис. 2. Водяной мостик

Он образуется, если в ряд стоящие сосуды с дистиллированной водой поместить электроды и подать на них постоянное напряжение 17-25 кВ, то между стеклянными сосудами возникает водная перемычка, которая способна длительное время висеть в воздухе. При температуре выше 75 °С мостик существовать не может по понятным причинам [20].

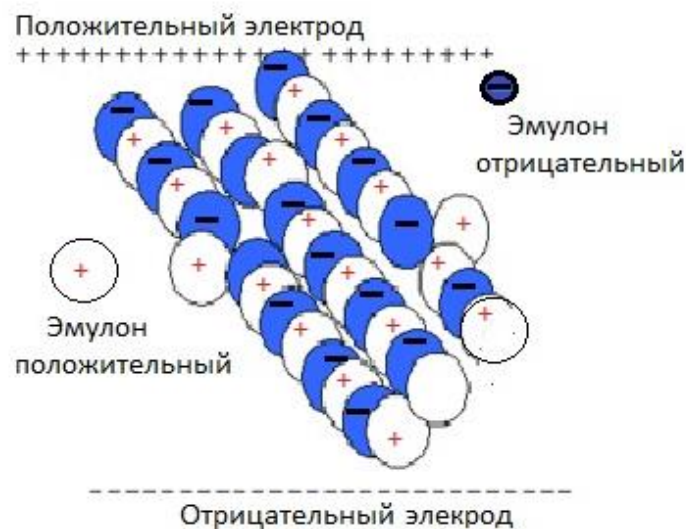


Рис. 3. Схема ориентации эмулонов в электростатическом поле

Под действием существующего в грозовых облаках высокого напряжения более 25-30 кВ происходит выстраивание эмулонов в длинные цепочки (рис. 3), которые обладают значительной механической устойчивостью и способны успешно противостоять силе тяжести (рис. 2). Экспериментально это подтверждено в работах [31, 32].

Теперь представим, что произойдёт в грозовом облаке. Поддействием огромной разности потенциалов, эмулоны в каплях воды облаков выстроятся в длинные цепи, ориентированные, в соответствии, с напряжённостью поля. Они образуют очень сложную сеть с огромным поперечным сечением и участвуют в процессах переноса тока. Очевидцы не раз утверждали, что шаровая молния образуется при разряде обычной молнии и чаще всего в местах резкого изменения направления её (излома) канала. Также легко и просто объясняется возникновение «чёточной» молнии. Конечно же, гипотеза нуждается в экспериментальной проверке и подкреплении расчётами. Однако, по некоторым данным, энергия и время жизни таких образований находятся в хорошем соответствии с наблюдаемыми фактами. Во время разряда молнии, при резком изломе её канала, на разных граничных слоях под действием магнитного поля возникают тангенциальные силы, направленные в противоположные стороны. Это приводит к закручиванию плазмы молниевое канала и, вследствие диокотронной неустойчивости, возникают шарообразные образования. Они возникают в результате поперечного дрейфа заряженных

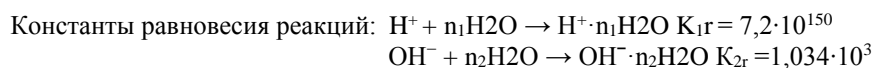
частиц в скрещенных полях: собственном электрическом и внешнем магнитном поле. Стадии развития такой неустойчивости рассматривались в работе [5]. Возникают огромные вихревые магнитные поля, что приводит к разделению зарядов.



Фото 1. Рождение шаровой молнии

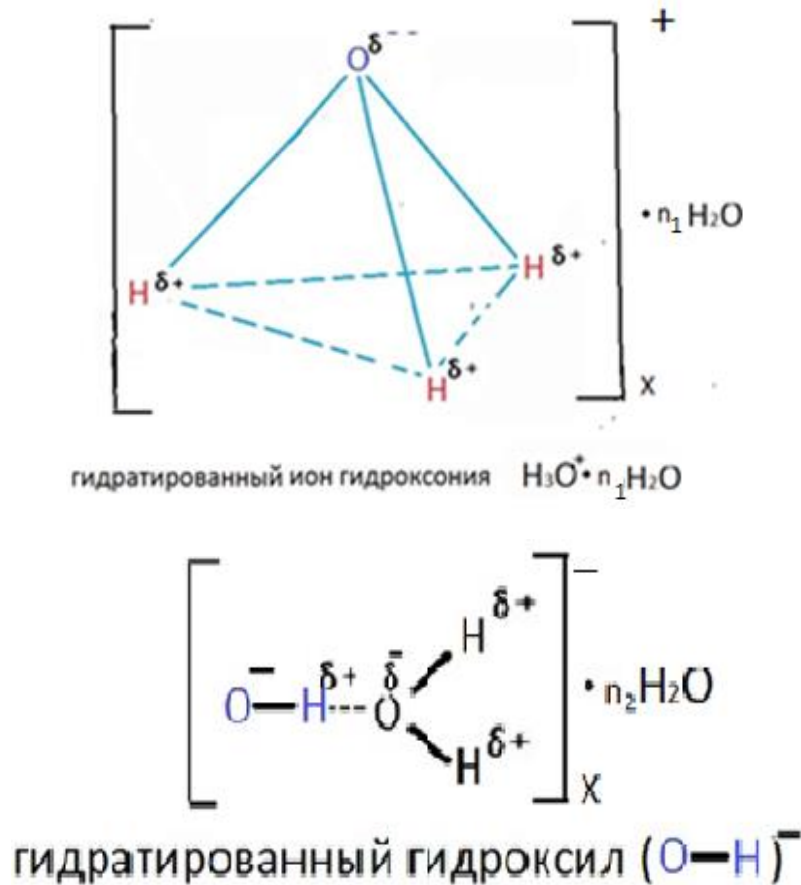
Этому способствует и значительная разница в массах заряженных частиц. Развивающаяся диокотронная неустойчивость приводит к филаментизации канала разряда, то есть расслоению трубчатого потока на токовые нити [5, 9]. Цепи из эмулонов замыкаются в кольца, из которых затем формируется шаровая молния. Она имеет фрактальное, слоистое строение. По многочисленным наблюдениям и данными приведённых в книгах [1, 17, 24-25], в которых собрана огромная информация относительно шаровой молнии, можно принять, что диаметр шаровой молнии обычно лежит в интервале 10-40 см, время жизни шаровой молнии порядка 10-100 сек. Оценка энергии, запасенной в шаровой молнии, вызывает большие разногласия, однако можно принять, что она составляет 1-200 кДж/л.

Процитируем приведенное в этих книгах описание шаровой молнии: «Светящиеся сферы, возникающие обычно в время гроз, хотя необязательно по времени или месту с обычной молнией. Они представляют собой более или менее шаровидные объекты диаметром около 25 см и ясно видимым цветом – красным, желтым, а иногда ослепительно белым. Они проделывают в воздухе длинные, порой сложные пути вблизи земли, проникают в здания, издают потрескивания, словно электрически разряды, существуют нередко в течение более 5 сек, а затем внезапно исчезают с громким взрывом или бесшумно». Необходимо отметить одну очень важную подробность – все наблюдения шаровых молний сделаны в очень влажную погоду. Следует также знать, что ионы водорода  $H^+$  и ионы гидроксидов  $OH^-$ , также, как и свободные  $e^-$ , которые в огромных количествах образуются в грозовом облаке и при разряде линейной молнии в присутствии молекул воды, в изолированном состоянии ни в коем случае находиться не могут. Из термодинамических расчётов следует, что константа равновесия образования гидратированного иона гидроксония  $H^+ \cdot n_1 H_2O$  и гидратированного иона гидроксидов  $OH^- \cdot n_2 H_2O$  имеют огромные величины и поэтому полностью исключается их существование в свободном состоянии [16].



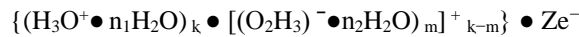
Средний радиус иона гидроксония составляет  $1,34286 \pm 0,00491 \text{ \AA}$ . Отношение концентраций не гидратированного и гидратированного ионов гидроксидов примерно 1:1000.

При гидратации 1 моля  $H^+$  (1г  $H^+$ ) и 1 моля  $OH^-$  (17г  $OH^-$ ) выделяется (запасается) огромное количество энергии. Эти ионы имеют следующее пространственное строение:



Очень существенно, что ион гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$  и гидратированный гидроксил  $(\text{H}_3\text{O}_2)^-$  имеют существенно различные молекулярные массы  $\approx 1:2$  (19:35), и поэтому обладают различной скоростью (если  $n_1 \approx n_2$ ). Вследствие этого, под действием магнитного поля они будут отклоняться в разные стороны и в разной степени и это приведёт к расслоению и создаёт значительную радиальную электрическую разность потенциалов в канале разряда.

Предлагаемая брутто формула шаровой молнии должна выглядеть примерно так:



где,  $e^-$  – электроны из внешней среды (концентрация которых также как и ионов во время грозы составляет  $\approx 7 \cdot 10^{20}$  ионов  $\text{m}^3$ );  $k > m$ ;  $Z > k-m$  избыточный отрицательный заряд, расположенный на внешней поверхности шаровой молнии «диффузный слой», равный  $(k-m) e^-$ , по оценкам он содержит  $2,12 \cdot 10^{11}$  электронов. Он образован адсорбированными электронами из внешней среды  $\text{Ze}^-$ , которые сообщают ей некоторый отрицательный заряд и экранируют заряд ядра ШМ. Исходя из этого и по другим оценкам, плотность вещества ШМ составляет приблизительно  $0,00334 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ , что в 2,7 раза больше плотности воздуха и приблизительно равна плотности криптона. Левитация над отрицательно заряженной поверхностью Земли обеспечивается отрицательным зарядом шаровой молнии. Так же как возможность катиться по проводам и направленное перемещение к электрически заряженным предметам. Это подтверждается также, со слов многочисленных очевидцев, её физиологическим действием: контакт с шаровой молнией часто благополучно заканчивается всего лишь ударом тока.

Ионы, гидроксоний  $\text{H}_3\text{O}^+$  и гидратированный гидроксил  $(\text{H}_3\text{O}_2)^-$  с химической точки зрения являются многофункциональными реакционноспособными соединениями, каждый из которых способен с молекулами воды образовывать 3 или 4 донорно-акцепторных связи соответственно. Это должно неизбежно привести к образованию трёхмерных пространственных структур. Возникшие структурные образования, будут пространственными фракталами и относятся к арборалам (дендримерам) – новому классу сравнительно недавно открытых полимерных материалов. Сведения и принципы, полученные при исследовании этого нового класса полимеров, могут быть очень плодотворны при решении проблемы шаровой молнии. Дендримеры – древообразные полимеры (греч. dendron – дерево), молекулы которых имеют большое число разветвлений (их также называют сверхразветвленными или каскадными полимерами), строятся по типу разветвлённого графа. В литературе имеются только единичные примеры неорганических дендримеров [33]. Как и все полимеры, дендрометры состоят из мономеров, но в нашем случае молекулы этих мономеров необычны – они неорганические: заряженные гидратированные ионы водорода и гидроксила, которые обеспечивают ветвистую структуру, поскольку



способны образовывать по несколько донорно-акцепторных химических связей. Дендриметр становится похожим на дерево с шарообразной кроной, поскольку в процессе роста полимерной молекулы не происходит соединения растущих ветвей (подобно тому, как ветви одного дерева или кроны рядом стоящих деревьев не срastaются) и рост цепей в разных направлениях равно вероятен. Дендриметры также называют *арборолами*. [30, 33]. Этот класс соединений интересен тем, что при их получении с каждым элементарным актом роста молекулы количество разветвлений увеличивается в геометрической прогрессии. Плотность упаковки собственных звеньев в макромолекулах дендримеров примерно **на два порядка выше**, чем в рыхлых клубках обычных линейных полимеров. Процесс может протекать по дивергентной или конвергентной схеме, иногда совместно по обоим.

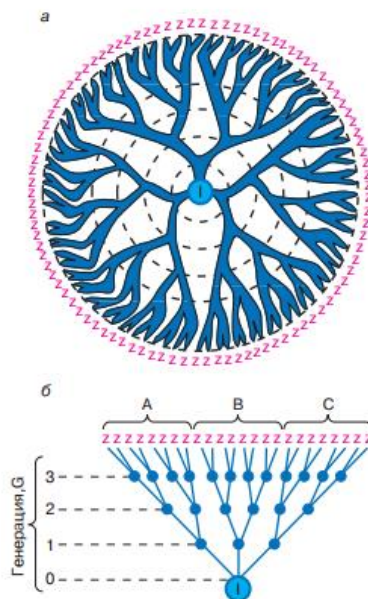


Рис. 4. Схема образования дендримера по типу химического графа, а – вполне соответствует стилизованному изображению шаровой молнии, б – развитие графа, G – генерации; I – ядро, A, B, C – дендроны; Z – терминальные функциональные группы.

Рисунки взяты из статьи: Семчиков, Ю.Д. Дендримеры – новый класс полимеров / Ю.Д. Семчиков // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – №12. – С. 45-51.

Они обладают очень своеобразными свойствами. Поскольку рост ветвей макромолекулы во всех направлениях равновероятен, то они уже после 3-4 генераций ветвлений принимают близкую к сферической форму. Как известно, объяснение сферической формы шаровой молнии является сложной, до сих пор не решенной проблемой. Считается, что нарушения регулярности ветвления в макромолекулах дендримеров не влияют драматическим образом на их размеры.

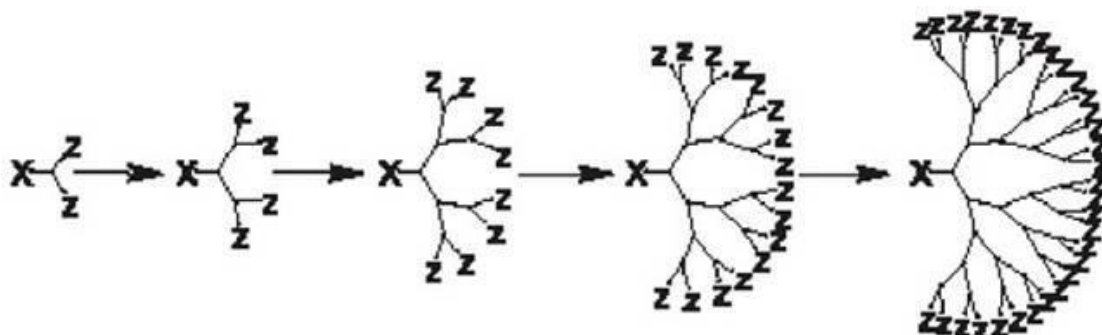


Рис. 5. Сборка дендримера из трифункциональной молекулы

Сверхразветвлённые полимеры или дендримеры в некоторых случаях могут образовываться в одну стадию. Ключевыми параметрами, определяющими строение и размер дендрометров, являются  $N_c$  – индекс ветвления ядра, то есть число дендронов (крон), растущих из ядра;  $N_b$  – индекс ветвления звеньев – число ветвей,

образуемых каждой повторяющейся единицей;  $G$  – номер генерации. Возможность существования той или иной конформации молекулы определяется свободой вращения вокруг простых связей. Это относится и к дендримерам с регулярным строением. Нарушения регулярности вызываются внутримолекулярными реакциями. У каскадных органических полимеров, получающихся в одностадийном процессе, эффективность ветвления терминальных групп не превышает 70 %. В нашем случае, учитывая специфику мономеров и то, что они несут огромный удельный заряд, эффективность ветвления может быть намного выше. Синтезированные к настоящему времени органические дендрит подобные полимеры являются вязкими жидкостями или аморфными веществами. В отличие от цепных полимеров, дендримерам не характерно находится в кристаллическом состоянии, для них более подходит жидкокристаллическое упорядочение. Плотность собственных звеньев в структурах дендримеров примерно на два порядка выше, чем в рыхлых клубках обычных полимеров. Это представляет огромный интерес для проблемы ШИМ. Этот класс соединений интересен и тем, что при их получении с каждым элементарным актом роста объекта количество разветвлений увеличивается в геометрической прогрессии. Гидродинамический радиус макромолекул дендримеров существенно меньше по сравнению с макромолекулярными клубками гибко цепных полимеров, что также существенно для проблемы ШИМ.

Степень полимеризации или число повторяющихся единиц в дендримере:

$$P = N_c \frac{N_b^{G+1} - 1}{N_b - 1};$$

число терминальных групп:

$$Z = N_c N_b^G;$$

молекулярная масса:

$$M = M_c + N_c \left[ \frac{M_b (N_b^{G+1} - 1)}{N_b - 1} + M_t N_b^{G+1} \right];$$

где  $M_c$ ,  $M_b$ ,  $M_t$  – молекулярные массы ядра повторяющейся единицы, образованной из исходных соединений А и Б и терминальной группы.

Возможны два процесса, приводящие к дендримерам, отвечающие дивергентной и конвергентной схемам.

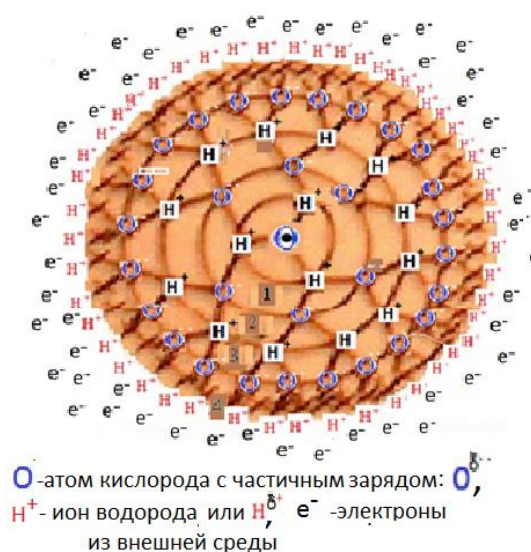


Рис. 6. Модель шаровой молнии

Согласно первой, макромолекулы дендримера формируются путем последовательного наращивания сферических слоев; согласно второй, сначала формируются отдельные дендроны (кроны), которые затем присоединяются к ядру макромолекулы. Теоретически таким способом можно объединить все заряженные фрагменты, имеющиеся в реакционной среде в одну крупную молекулу, но на практике рост в определенный момент прекращается, поскольку реакционные группы из-за пространственных затруднений становятся малодоступными. Вероятно, шаровая молния имеет следующую структуру (рис. 6.): самый внешний (диффузный) слой образован электронами, адсорбированными из внешней среды. Они наиболее подвижны и ответственны за левитацию ШМ и поражение электрическим импульсом очевидцев. При контакте ШМ с влажной или проводящей поверхностью он может исчезнуть, и заряд будет определяться ионами  $H^+$ . Число ионов водорода  $H^+$  во внешнем слое ядра шаровой молнии  $N=3 \cdot 2^n$ , где  $n$  – номер слоя.

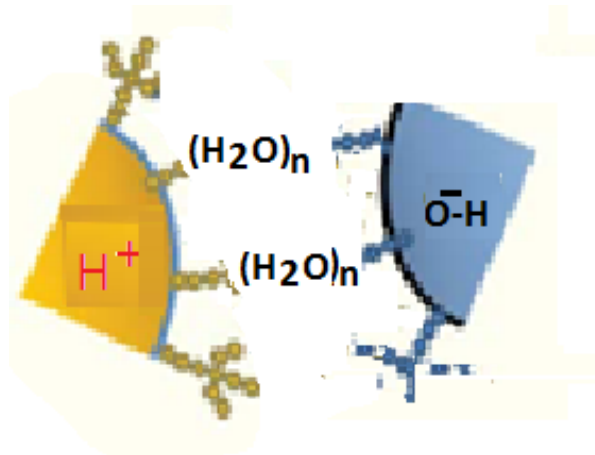
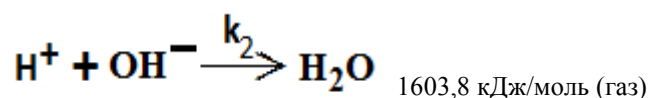


Рис. 7. Схема зацепления дендронов

Таким образом, цепочки из молекул воды гидратной оболочки ионов (в ионных парах) действуют, как диэлектрик в конденсаторе. Поскольку удельное сопротивление чистой воды очень велико, электропроводность всего  $\kappa \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ См/м}$  при  $20^\circ\text{C}$  [8], то такие образования могут существовать довольно длительное время. Разряды всё-таки происходят в порах дендримера, о чём свидетельствуют наблюдения очевидцев, которые видели искры внутри сферы шаровой молнии при её спокойном движении и характерное жужжание. Об этом свидетельствуют также мощные радиопомехи в приёмниках поблизости [36].

Однако, если шаровая молния захватывает даже ничтожное количество веществ, способных диссоциировать с образованием ионов ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  сульфаты, карбонаты или нитраты других металлов), которые всегда присутствуют во внешней среде, то электропроводность перемычек возрастает на семь порядков (до  $0,1278 \text{ См/м}$  при концентрации всего  $0,01 \text{ моль/л}$ ). Таким образом, они срабатывают как «переключатель», и внутри ШМ происходит «короткое замыкание». Мгновенно происходит реакция нейтрализации:



Эта реакция является самой быстрой из всех известных в природе. Константа скорости её имеет фантастическое значение  $k_2 = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ л/моль} \cdot \text{с}$ , то есть время реакции меньше  $10^{-11} \text{ с}$ . Для сравнения – время взрыва атомной бомбы  $10^{-8} \text{ с}$ . Значение  $k_2$  различается всего в 10 раз в жидкой и газовой фазе, что при таком огромном её значении несущественно. Её специфика в том, что происходит нейтрализация зарядов, то есть возникает мощный импульс электрического тока. Однако этот импульс особенный, он обусловлен стремительным перемещением ионов. Естественно, по законам электродинамики он породит очень мощный импульс магнитного поля с напряжённостью в центре кругового тока:

$$H = \frac{2\pi I}{r}$$

$I$  – ток,  $r$  – радиус контура с током

Этот импульс в свою очередь создаст мощный импульс электрического напряжения в близлежащих металлических и проводящих предметах. Величина электродвижущей силы индукции:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

которая обеспечивается мощным импульсом вихревого тока, что и объясняет многие загадочные явления, связанные с шаровой молнией: её любовь к ювелирным украшениям (золото имеет низкое удельное сопротивление), поэтому вихревые токи особенно велики, это приводит к мгновенному испарению цепочек, колец, браслетов и др. Процесс протекает настолько быстро, что часто не успевает возникнуть ожог.

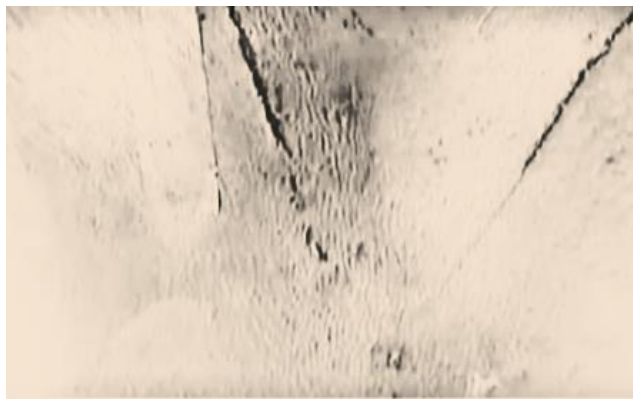


Фото 2. След от испарившейся золотой цепочки

Шаровая молния совершенно отличается от «электронных плазмоидов», полученных ранее. Предложенное строение шаровой молнии объясняет и все другие загадочные её свойства. Например, распад на несколько частей, качение по металлическим проводам, парение в воздухе (результат наличия некомпенсированного отрицательного заряда электронов во внешней диффузной оболочке), он же обеспечивает её притяжение и проникновение через стекло и др. материалы. Как указывалось, радиус гидратированного протона составляет всего  $1,34286 \pm 0,00491 \text{ \AA}$ ). Это намного меньше диаметра любой поры в стекле и других материалах. Это всё равно, что железнодорожный туннель, для пролетающего через него футбольного мяча. При контакте с человеком иногда происходит лишь частичный разряд внешней оболочки. Он ощущается как удар током, о которых рассказывают многие очевидцы, в некоторых случаях всё заканчивается благополучно. Протоны не могут передвигаться в металле, но зато они являются самыми подвижными в водной среде благодаря «эстафетной» проводимости. Предельная эквивалентная подвижность ионов водорода в водной среде составляет  $\lambda = 0,035 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$  при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , а ионов гидроксила  $0,02 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$  при той же температуре. Подвижности всех остальных ионов в 5-7 раз меньше [8]. Этим объясняются невероятные случаи, когда человек, атакованный шаровой молнией, неожиданно замечает, что нижнее, вероятно потное бельё (пот имеет  $\text{pH}=6$ ), исчезло (испарилось), а верхняя одежда осталась целой. Удивительна прыгучесть ШМ: «Шаровая молния упала на землю вблизи дерева, расположенного приблизительно в 30-50 метрах от наблюдателя, подскочила и погасла. Разряд линейной молнии на таком расстоянии сопровождался бы сильным ударом грома и этот разряд не мог бы остаться незамеченным автором [4]. Другой загадочный случай с альпинистами в горах, когда молния ударила в мокрую верёвку, которой были связаны участники восхождения. Молния убила каждого чётного ребёнка не тронув нечётных, оставив их полностью невредимыми. Вероятно, это была чёточная молния (фото 3.) или же пульсации разряда шаровой молнии [1, 28].





Фото 3. Чёточная молния

*«Экспериментально исследованы волны свечения в плазменных разрядах. Наблюдаемые волны свечения соответствуют волнам ионизации. Оценка максимальной концентрации заряженных частиц в пульсирующем разряде для различных условий составляет  $4 \cdot 10^9 - 1,2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ » [28].*

Мокрая верёвка является хорошим проводником протонов, также, как и человеческое тело, но она не может проводить электроны, образующие разряд обычной молнии. Возможно, этим объясняются и случаи «самовозгорания людей» и «любовь» шаровой молнии к четвероногим копытным. Описаны невероятные случаи «возгорания людей», например, когда утомлённый человек сел на мокрую вязанку сена, то он буквально сгорел изнутри, причём нижнее, вероятно потное бельё (для пота  $\text{pH}=6$ ), исчезло, а верхнее осталось целым. При попадании ШМ в стадо из 12 коров, 7 из них были убиты, а пастух не пострадал. Всё это хорошо объясняется объёмным нагреванием в результате протонной проводимости электролитов.



Фото 4. Снимок естественной шаровой молнии

Конечно, окончательно правильность гипотезы подтверждает эксперимент. Однако высказанные соображения дают направления поисков. Предложенная гипотеза образования шаровой молнии может быть проверена экспериментально в естественных условиях. В описанных ранее попытках воспроизвести шаровую молнию наиболее близки к цели оказывались те, в которых разряд генерировался в присутствии воды.

По данным многочисленных наблюдений, ядро шаровой молнии имеет некомпенсированный заряд  $Q$ . На границе гало  $R$  напряжённость электрического поля равна напряжённости пробоя воздуха  $E_{\text{br}} \approx 30 \text{ кВ/см}$ . Размеры и яркость шаровой молнии бывают постоянными вплоть до момента её исчезновения, что подтверждает постепенное выделение энергии при химическом процессе. Он, по нашему мнению, находится внутри сферы ШМ и в спокойном состоянии происходит медленный электрический разряд, подобный «тихому разряду». Шаровая молния имеет слоистое строение, т.е. она представляет собой очень необычный объёмный конденсатор, подобный своеобразному «молекулярному накопителю», в котором работают гидратированные ионы водорода  $\text{H}^+ \cdot n_1 \text{H}_2\text{O}$  и гидратированного иона гидроксила  $\text{OH}^- \cdot n_2 \text{H}_2\text{O}$ . Фотометрирование фотографий ШМ подтверждают эту гипотезу.

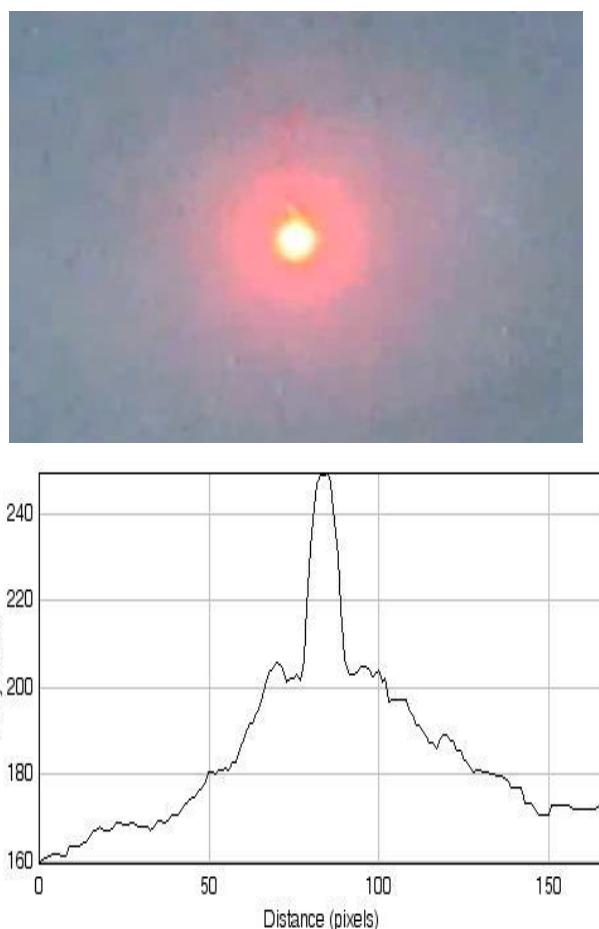


Рис. 8. Результаты фотометрирования (денситометрирования) фотографии шаровой молнии

Обработка фотографии проведена Н.В. Плетнёвым. Эти результаты хорошо совпадают со слоистым строением (рис. 6), предложенным нами. Энергия и время жизни таких образований находятся в хорошем соответствии с фактами. Средний диаметр шаровой молнии составляет 20-40 см, время жизни 5-10 с, редко больше 60 с. «Запах серы», который отмечают очевидцы, на самом деле это запах озона  $O_3$  и двуокиси азота  $NO_2$  в достаточно высокой концентрации. Подтверждено экспериментально.

Описаны многочисленные случаи поражения ШМ деревьев. Характер воздействия и вид деревьев после него полностью подтверждают приведённую гипотезу и то, что основной запас энергии ШМ сосредоточен в гидратированных протонах. Необычен след и характер разрушения деревьев при поражении ШМ. Сверху вниз происходит отщепление коры в виде сегмента шириной приблизительно 10-30 см полосой до твёрдой древесины, продолжающееся несколько метров, иногда до корней. Это объясняется повышенной влажностью камбия, и высокой его проводимостью для протонов, как в водном электролите. В результате импульсного нагрева камбия и ксилемы по всей длине от места удара до земли сверху вниз и вскипания воды, содержащейся в проводящих слоях древесины, обладающих повышенной проводимостью для протонов, происходит отстрел полосы коры. Процесс протекает настолько быстро, что ожёг твёрдой древесины не успевает развиваться. Флоэмный транспорт представляет собой раствор в достаточно высокой концентрации – 0,2-0,7 моль/литр (7-25 %), метаболитов. Скорость транспорта метаболитов составляет десятки сантиметров в час, что значительно превышает скорость диффузии. В отличие от ксилемы, где перемещение содержимого происходит в направлении – вверх от корней к листьям, флоэмный транспорт происходит от органов-доноров, в которых происходит фотосинтез к акцепторам – органам или областям, в которых продукты фотосинтеза потребляются или запасаются. Влажность дерева зависит от сезона, поэтому статистика поражения деревьев шаровой молнией также должна быть связана со временем года.

Отличным подтверждением этому является наблюдение ШМ, подробно описанное в работе Пудовкина А.К. [15]: «ШМ возникла на середине дерева на высоте 12 м, скатилась по стволу на землю, изменила направление на  $90^\circ$ , прокатилась по бетонированной дороге и исчезла в луже воды. Всё это заняло 8-9 с. Изменение траектории вблизи Земли привело к её частичному распаду, в результате чего диаметр ШМ уменьшился примерно в два раза с 20 см до 10 см.» Это свидетельствует о слоистом строении ШМ. «Оставшаяся часть перемещалась по травянистой поверхности, пешеходной тропе и бетонной дороге, всего 62 м, несколько раз меняя направление. Она исчезла в выбоине с водой с лёгким хлопком». Автор делает очень существенные дополнения: «погода была очень сырой, несколько дней шёл дождь и вдалеке происходила гроза. При изменении

траектории вблизи земли на  $90^\circ$ , после спуска с дерева, у подножия сосны, произошёл импульсный распад ШМ, который сопровождался яркой вспышкой и громким звуковым эффектом, подобным взрыву».

Объяснить это можно тем, что ШМ вблизи поверхности Земли захватила некоторое очень незначительное количество растворов солей металлов (скорее всего, одновалентных NaCl, KCl,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и др.), это привело к разрыву части водородных связей и закончилось импульсным разрядом нескольких слоёв ШМ. Очень редкий случай, который много даёт для понимания природы ШМ «На дереве след сохранился в виде вертикально снятой полосы коры шириной 5 мм в месте посадки ШМ и 50 мм у Земли». Это подтверждает электрохимическую природу разряда (рассеяние тока в электролите). Нужно поблагодарить автора за великолепное описание и отличную наблюдательность, а природу за великолепный эксперимент. «Каких-либо загрязнений и тепловых воздействий на стенках канавки обнаружено не было». Замечательное наблюдение – огибание ШМ ветви дерева. «Она обошла её с левой стороны, при этом ширина канавки не изменилась». Однако с трактовкой автора, объясняющей явление фрезерным эффектом и изменением формы ШМ, согласиться нельзя. Более реалистична следующая картина: вблизи ветви на стволе дерева обычно имеется валик из коры, так что ШМ следовала своим обычным маршрутом по сок несущим слоям.

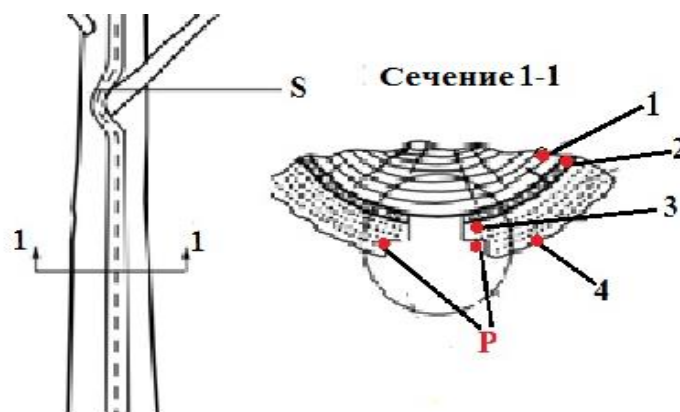


Рис. 9. След воздействия шаровой молнии на кору сосны.  
1 – заболонь, 2 – дуб (флоэма), 3 – камбий (ксилема), 4 – кора. P – ступеньки в канавке

Образование ступенек в канавке следа ШМ связано с различной проводимостью флоэмы и камбия вследствие различной концентрации электролитов в нисходящих и поднимающихся соковых потоках, но никак не с фрезерным эффектом.

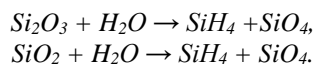
Очень удивительным является взаимодействие шаровой молнии с оконным стеклом и её способность проникать в замкнутые помещения.

Показано [12], что, когда плазмоиды образуются вблизи поверхности стекла с малыми металлическими вкраплениями или отверстиями в нём, они могут проходить через стекло с образованием достаточно больших отверстий с ровными краями. Однако проведённые эксперименты очень отличаются от наблюдаемых в природе. «Стеклянная пластинка имела толщину всего 1 мм, а металлическое вкрапление было выполнено в виде отрезка проволоочки диаметром 0,05 мм, контактирующая с заземлённой металлической пластиной. Если появившийся плазмоид непосредственно контактировал с проволочкой, то в стеклянной пластинке возникает токовый канал. Одновременно с этим образуется отверстие. Диаметр канала оплавленного стекла составляет 2-3 мм, а отверстия в стекле 5мм», «плазмоиды проходят через стеклянные пластинки и без проволочки внутри их, если в пластинке имеется небольшое отверстие диаметром около 0,5мм». Всё это совсем не соответствует естественным реалиям, и даже такие тонкие пластинки, как видно из фото, всегда растрескиваются. Такие дефекты никогда не встречаются в стекле – это брак. Они легко заметны.

Более интересен «Щелковский случай» (13 апреля 1994 года) [14]: «Хозяйка квартиры боковым зрением увидела яркую вспышку в окне, а через 1,5-2 секунды услышала звон падающего стекла. В стекле наружной рамы она увидела большое почти круглое отверстие, а между наружной и внутренней рамами – стеклянный диск. При осмотре диска и отверстия оказалось, что они имели диаметр около 8 сантиметров, плотно складывались вместе. Края отверстия и диска не были оплавлены, были конусными, меньшего диаметра со стороны молнии. Диск, таким образом, мог выпасть только внутрь помещения, что и имело место». Подробнее см. [36]. Весьма важная и ценная подробность: **«Края отверстия и диска не были оплавлены, были конусными, меньшего диаметра со стороны молнии»**, которая не фигурирует в большинстве работ по ШМ. Очень хорошо, достоверно описан случай, зафиксированный в городе Фрязино (1977 г), статья Клоссовского О.А. [7]. «За приближением ШМ к стеклу школьного здания наблюдал большой коллектив учеников вместе с преподавателем. Отверстие, образовавшееся в стекле, после "прилипания" к нему в течение 5 с светящегося шара и его яркой вспышки с громким звуком, имело края не оплавленные, конусообразные, причем диаметр отверстия

с наружной стороны немного меньше, чем с внутренней. Во время вспышки ШМ, преподаватель, державший в руках металлический прибор, получил удар током, хотя и находился на некотором расстоянии от светящегося шара». Описание полностью подтверждает нашу гипотезу.

Исследованию изменений химического состава оконного стекла после воздействия ШМ было уделено внимание в работах А.И. Никитина с сотрудниками [14, 35]: «Характер поврежденных стекла и выпавшего из отверстия диска может быть объяснен тем, что они могли появиться из-за быстрого нагрева стекла со стороны, противоположной той, где находилась ШМ, за которым последовало быстрое охлаждение стекла. Край отверстия с внутренней стороны стекла скруглен, а стенка отверстия по всей длине имеет гладкую зеркальную поверхность. Это является свидетельством того, что эта часть стекла испытала нагрев до температуры размягчения (около 6000 °C)». Это не соответствует реалиям. Совершенно невероятное утверждение о нагреве стекла до 2500-6000К. При плазменном разряде импульс высокой температуры продолжается всего  $\approx 5-20$  мкс [3]. Весьма существенны другие наблюдения авторов: «В образцах стёкол не обнаружено никаких признаков радиоактивности. С помощью рентгеновского спектрометра был исследован элементный состав различных участков поверхности стекла. Процентное содержание основных элементов, входящих в состав стекла, – кислорода, кремния, натрия, магния, калия и кальция – для контрольного образца и для обеих сторон стекла оказалось одинаковым» – так и должно быть. «Однако анализ кромки диска, на которой напряжение достигло предела прочности стекла, показал, что в этом месте поверхность стекла в 2 раза обогатена кремнием и в 1,4 раза обогащена кислородом». – Это, новый, весьма ценный результат. «Отверстие, как и диск, имеют форму усечённого конуса, с основаниями (большими диаметрами), обращёнными внутрь помещения, т.е. в сторону, противоположную от поверхности контакта ШМ со стеклом». «Изменение содержания кремния и кислорода в поверхностном слое скола диска может быть связано с реакцией материала стекла с водой, которая может входить в состав оболочки шаровой молнии». Объяснения авторов результатов воздействия ШМ тепловыми эффектами при температурах 2000-6000 °C несостоятельны так же, как и химические превращения по термодинамически невозможным реакциям:



Схемы не реальны, как и гипотетические соединения «переокислённого кремния», «который содержится «в самой шаровой молнии». Допустим, нагреть участок стекла быстро до температуры в несколько тысяч градусов возможно, но как он за несколько секунд остыл до комнатной температуры, при температуре окружающего воздуха всего 20 градусов? При этом, не оставив никаких следов ожогов на окружающих предметах? При таких температурах диск неизбежно бы деформировался, а на его поверхностях образовались свилли! Далее авторы пишут: «Сравнивая данные Таблиц 1 и 2, можно заметить, что по мере смещения области анализа от центра диска к его краю в стекле практически не меняется содержание натрия (оно сохраняется на уровне среднего значения около 9 %), не меняется содержание магния (среднее значение 2,4 %) и алюминия (среднее 0,6 %). Однако при этом происходит заметное уменьшение процентного содержания кальция (от 3 % до 0,6 %) и кремния (от 30,5 % до 15,9 %), а содержание кислорода увеличивается от “нормы” 52 % до 71 %. Наблюдаемые изменения элементного состава исследованных участков поверхности стекла, которые подверглись удару шаровой молнии, не могут быть объяснены неточностью измерений, скорее всего, они обязаны своим появлением каким-то физико-химическим процессам. Как мы видим, в приповерхностном слое стекла наиболее сильно изменяются концентрации кремния (он как бы “уходит” из стекла) и кислорода (он как бы “имплантируется” в состав стекла). Не исключена возможность того, что это может произойти из-за реакции окиси кремния с водой на горячей поверхности стекла.» «Край отверстия с внутренней стороны стекла скруглен, а стенка отверстия по всей длине имеет гладкую зеркальную поверхность. Это является свидетельством того, что эта часть стекла испытала нагрев до температуры размягчения (около 6000 °C)». «В противоположность этому, край отверстия с наружной стороны стекла (со стороны улицы) остался острым» «отверстие имеет форму усечённого конуса с основанием, обращённым внутрь помещения». Авторы признают: «Изложенная выше схема процессов, происходящих при нагреве стекла, однако, не даёт ответов на вопросы о механизме образования кольцевой трещины и о причинах появления силы, вытолкнувшей диск внутрь помещения. На действие этой силы указывают сколы, расположенные вблизи окружности диска». Не нужно придумывать термодинамически неосуществимые процессы. Всё проще. Нам повезло наблюдать и сфотографировать последствия воздействия шаровой молнии на оконное стекло железнодорожной кассы, расположенной на открытой платформе (фото 5). Как можно видеть, удар камнем исключается.





Фото 5. Результат воздействия шаровой молнии на оконное стекло железнодорожной кассы

Диаметр отверстия составлял 17 см, края его совершенно не были оплавлены и имели конусность. Очень интересно, что выпавший кружок был совершенно целый, находился между наружным и внутренним стёклами стеклопакета. Расположение и характер отверстия исключают воздействие твёрдым предметом через решётку.

По нашему мнению, проникновение ШМ через преграду внутрь помещений и характерные следы её воздействия на стекло можно понять только исходя из очень своеобразного её строения (см. рис. 6) и особых свойств структурных элементов, из которых она состоит. Шаровая молния проникает через оконное стекло и другие преграды чрез мельчайшие поры в материалах, невидимые глазом. Не исключено, что она сама способна создавать микроотверстия в стекле вследствие результата электролитического пробоя материалов преграды. Процесс протекает подобно просачиванию капли жидкости с очень малой вязкостью, состоящей из очень мелких структурных элементов, слабо связанных между собой мостиками из молекул воды. Подобно тому, как эмульсия проходит через фильтр. Напомним, что  $H^+$  «голый» протон имеет ничтожно малые размеры, его радиус равен всего  $1,6 \times 10^{-13}$  см [13], а гидратированные протон-гидроксоний и гидратированный гидроксил имеют приблизительно равные радиусы 1,343 и 1,53 ангстрема соответственно. Схема проникновения ШМ приведена на рис. 10. Движущей и направляющей силой процесса является разность электрических объёмных потенциалов среды и воздуха до преграды и после преграды и перепад атмосферного давления. По литературным данным [1], ШМ имеет на границе гало  $R$  не скомпенсированный заряд, равный напряжённости электрического поля пробоя воздуха  $E \approx 30$  кВ/см. В этом случае сила, проталкивающая шаровую молнию через преграду, по раз-

ными оценкам составит порядка  $1-7$  Н. Эта же сила будет способствовать выдавливанию стеклянного диска (см. далее) во внутрь помещения. Кроме того, на ШМ действует «всасывающая» сила, обусловленная наличием разности электрических потенциалов снаружи и внутри помещения. Она может быть весьма значительной.

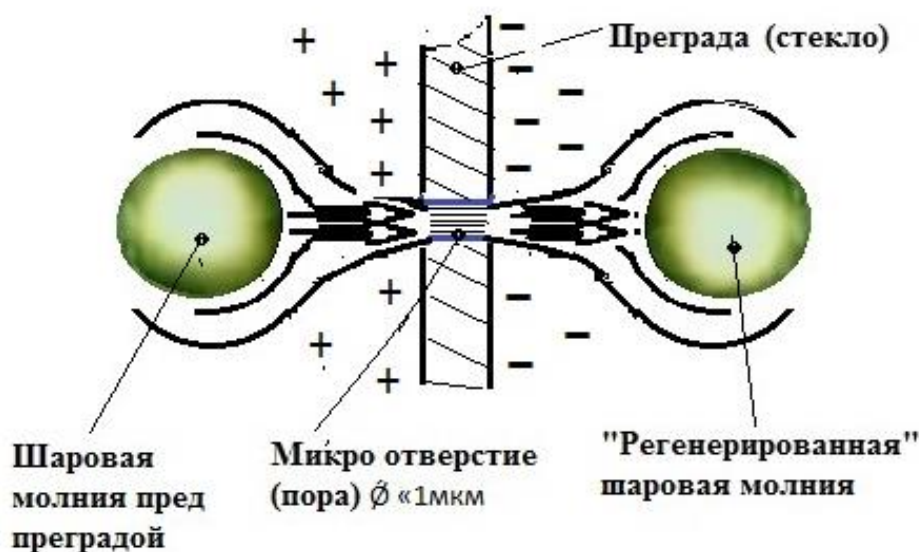


Рис. 10. Схема прохождения шаровой молнии через отверстие в преграде

Внутри канала микроотверстия ШМ образует филаменты очень малого диаметра, которые восстанавливают её исходную форму после преграды. Затем она может или левитировать в помещении, подчиняясь движению воздушных потоков и градиенту электрических зарядов, или взорваться.

Образование большого круглого отверстия в стекле связано с электрохимическими процессами. Стекло представляет собой неупорядоченный твёрдый электролит [27], характеристики которого меняются в очень широких пределах: удельное объёмное электрическое сопротивление при 20 °С составляет  $10^8$ – $10^{18}$  Ом · см. Все свойства стекол типа  $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$  зависят от температуры и содержания  $\text{Na}_2\text{O}$  [11]. Содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  может меняться в очень широких пределах от 18,4 до 39,7 %. При повышении температуры сопротивление резко падает, естественно ионные токи стремительно возрастут. Наличие пористости в стёклах подтверждается способностью газов диффундировать через стекло. Так что протонам и гидроксилу не составляет труда проникнуть внутрь. Коэффициент диффузии водорода, выраженный в  $\text{см}^3$  при 0 °С и 760мм рт. ст., проходящего в 1 сек через стекло площадью 1  $\text{см}^2$  и толщиной 1мм при разности давлений 1 см рт. ст., составляет  $1,25 \cdot 10^{-9}$ . Естественно для протонов и гидроксила он будет во много раз выше. При обычных условиях стекло – хороший диэлектрик и в качестве электроизоляционного материала находит широкое применение в электротехнической и радиоэлектронной промышленности. Вместе с тем в электрическом поле стекло всегда обнаруживает некоторую электропроводность. Различают два вида электропроводности: поверхностную и объёмную. Поверхностная электропроводность всегда выше объёмной. Она присуща всем стёклам. Поверхностная электропроводность (проводимость) стекла вызывается конденсацией влаги в порах поверхностной пленки, имеющейся на каждом стекле, и растворением некоторых составных частей стекла в этой влаге. При помещении стекла во влажную атмосферу наблюдается повышение проводимости, что обусловлено конденсацией влаги в порах пленки и образованием сплошного жидкого слоя. Последующие процессы разрушения стекла и диффузия растворимых продуктов в жидкий слой вызывают повышение проводимости. При достижении насыщения свойства раствора определяются составом стекла [23]. Вероятно, это имеет огромную роль при взаимодействии ШМ со стеклом на первом этапе и определяет её последующую судьбу.

**Отличительной особенностью стекла, как диэлектрика, является также его способность длительно сохранять наведенное электрическое поле вследствие поляризации атомов и ионов. Это естественно привлекает шаровую молнию и способствует «прилипанию» шаровой молнии к стеклу.** На первом этапе начало электролиза, перемещение ионов, происходит в поверхностном слое под действием наличия разности потенциалов между различными слоями ШМ. В дальнейшем, по мере развития процесса и повышения температуры, в процесс вовлекается вся толщина стекла. Возникает электрохимический пробой, который обусловлен изменением химического состава и структуры стекла. Результаты его развития определяются многими факторами и, в первую очередь, напряжённостью электрического поля. Вблизи поверхности в поверхностном слое стекла пробивается воздух. Возникает проводящий канал и происходит повышение температуры. Величина напряжения пробоя зависят от давления, температуры и влажности воздуха.

Как известно, по механизму переноса тока в веществах различают проводимость ионную, электронную и смешанную (электронно-ионную). Подавляющее число силикатных стекол имеют ионную проводимость, а именно катионную. Носителями заряда являются главным образом ионы щелочных металлов и в меньшей степени ионы щелочноземельных металлов; катионы  $\text{Me}^{3+}$  не принимают участия в переносе тока. Ещё раньше в классических исследованиях И.В. Курчатова и П.П. Кобеко был получен и ряд результатов, сохранивших своё

значение и поныне [6, 10].

Оказалось, что для стекла и других твердых диэлектриков с достаточной точностью соблюдается закон Фарадея. Что касается закона Ома, то от него имеются отступления. Точное соответствие закону Фарадея, которое установили Курчатов и Кобеко, дало ответ на вопрос: какие частицы переносят заряды в стекле. Задача была нелегкой: стекло – почти совершенный изолятор, и продукты электролиза можно едва заметить, а нужно было точно измерить их количество. Авторы точно определили не только выделяющиеся вещества на катоде, но и измерили и количество выделяющегося на аноде кислорода. В исследованных стеклах электронов не оказалось.

Электрическое сопротивление стекол разного химического состава при обычной температуре составляет  $10^{18}$ – $10^8$  Ом·см. Электропроводность стекла в очень сильной степени зависит от его температуры [23, 26, 27]. С повышением температуры электропроводность резко возрастает. Так, если при обычной температуре электропроводность оконного стекла составляет  $10^{-8}$ – $10^{-12}$  См/м, то при температуре 1400–1450 °С на много порядков больше  $(1,1-0,3) \times 10^2$  См/м. На проводимость стекла влияет частота приложенного электрического поля. В поле переменного тока проводимость стекол выше, чем в поле постоянного тока. Низкая химическая устойчивость стекла, загрязнение его поверхности, образование на ней гидратных пленок – все это резко увеличивает проводимость стекла. Характер теплового прошлого стекла оказывает значительное влияние на его электрические свойства. Закаленные стекла имеют более высокую электропроводность, чем отожженные. Объясняется это тем, что в закаленных стеклах «заморожена» более рыхлая структура с ослабленными связями, свойственная расплаву. Таким образом точно учесть все факторы, определяющие величину тока в стекле, очень сложно.

Как описывалось, ШМ имеет слоистое строение, вследствие этого между центром ядра и периферией будет существовать значительная разность электрического потенциала до  $\approx 30$  кВ. Если ШМ на 5–10 с «прилипает» к стеклу, то в стекле, как в твердом электролите, начнутся процессы электролиза. Ионы в основном  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  и др. наиболее подвижные положительно заряженные частицы начнут перемещаться к центру контура, образованного «прилипшей» ШМ, а ионы  $\text{O}^{2-}$  к периферии. Несложными расчётами можно показать, что за время 5–10 с на основании законов Фарадея в узком кольце по контуру толщиной порядка 0,01 мм окажется избыток от 0,37 % до 7 % ионов  $\text{O}^{2-}$ , а в центре диска избыток 0,3–1,5%  $\text{Na}^+$ . Меньшая концентрация натрия, несмотря на более высокий по сравнению с кислородом электрохимический эквивалент, объясняется тем, что натрий раз сосредоточен по всему диску. Это хорошо подтверждается результатами анализа Никитина А.И. Для твердого хрупкого тела это огромные величины. Результаты расчёта могут быть очень занижены, поскольку стекло – неупорядоченный проводник второго рода, а в них наблюдается сильная нелинейность, и ток возрастает при увеличении напряжения и температуры по экспоненте. К тому же удельная электропроводность поверхностной плёнки чистой воды на 6 порядков выше ( $1-2 \times 10^{-4}$  См/м), чем у стекла. Если же вода при выщелачивании стекла захватит хотя бы всего <1 %  $\text{NaOH}$ , то её электропроводность возрастёт ещё на 4 порядка и составит уже 4,65 См/м. Естественно, это интенсифицирует процесс электролиза, вызовет резкое повышение температуры. Вследствие этого в стекле возникнут огромные внутренние напряжения [23,26,27], появятся микротрещины и под действием ударной волны круг будет выбит из оконного стекла. Образованию кольцевой трещины в стекле способствует и то, что прочность стекла при растяжении значительно меньше, чем при сжатии [11]:

$$\begin{array}{ll} \text{Предел прочности при растяжении, Н/м}^2 & 3,4 \cdot 10^7 - 8,3 \cdot 10^7 \\ \text{Предел прочности при сжатии, Н/м}^2 & 49 \cdot 10^7 - 205 \cdot 10^7 \end{array}$$

Поскольку ШМ обязательно захватит немного ионов из поверхности стекла и водяной плёнки, водные перемычки между структурами увеличивают электропроводность на 6–7 порядков, и всё может закончиться детонацией. Резкое уменьшение электрического сопротивления водяных перемычек сработает как переключатель и вызовет «короткое замыкание» внутри шаровой молнии. Импульс давления при распаде пламенного образования сопоставим с давлениями при детонации. Впереди движущейся воздушной плазмы при давлении порядка атмосферного формируется ударная волна. Во «всплеске» на переднем фронте давление может достигать 30–70 Н. Время действия максимального давления в импульсе составляет от 5 до 25 мкс. [19, 26, 29] Этот импульс вытолкнет кружок стекла во внутрь помещения. На основании экспериментальных данных необходимо признать, что основной причиной формирования механических напряжений в стекле являются структурные особенности границы, возникающей вследствие электролиза в твердом состоянии стекла. Поскольку на контуре ШМ возникает различный химический состав, то коэффициент термического расширения испытывает резкое изменение, и, естественно, возникают значительные механические напряжения, которые приводят к возникновению кольцевой трещины. Важно также то, что стекло имеет гораздо меньшую прочность при растяжении, чем при сжатии. Этим, наряду с рассеянием тока электролиза в твердом электролите (стекле), объясняется и неравенство диаметров внешней и внутренней сторон выпавшего диска и некоторое несовпадение диаметров диска и отверстия. Таким образом, в результате воздействия ШМ на стекло в нём всегда будут возникать механические напряжения, которые для внутренней части области воздействия (круга) являются напряжениями растяжения, а во внешней (контур, кольцо) – сжатия. Напряжения максимальны на границе наибольшей концентрации ионов кислорода  $\text{O}^{2-}$  и  $\text{Na}^+$ , мигрировавших в результате электрофореза. Свой вклад в величину напряжений вносит разница коэффициентов термического расширения (КТР) двух образовавшихся областей стекла разного состава.

Это всё это очень хорошо подтверждается экспериментами Никитина А.И. et al. [14, 35]. «С помощью рентгеновского спектрометра был исследован элементный состав различных участков поверхности стекла. Процентное содержание основных элементов, входящих в состав стекла, для обеих сторон диска оказалось одинаковым». – Так и должно быть. «Однако анализ кромки диска, на которой напряжение достигло предела прочности стекла, показал, что в этом месте поверхность стекла в 2 раза обеднена кремнием и в 1,4 раза обогащена кислородом». Кремний никуда не уходит. Он образует трёхмерную пространственную сеть, основу стекла и перемещаться не может. Кажущее уменьшение его концентрации вызвано миграцией и разбавлением более подвижными компонентами. Шаровой молнии нет никакой необходимости нагревать стекло до очень высоких температур. Огромные внутренние напряжения возникнут на узкой кромке по контуру в результате электрофореза подвижных ионов («электролитического пробоя»). Авторам «так же недостаточно понятным остаётся механизм “выбивания” из стекла диска, как правило имеющего острую кромку» и то, «что состав стекла заметно изменился: на краю диска оно оказалось обеднённым кремнием и обогащённым кислородом», как и «многочисленные сообщения и о том, что шаровая молния проходила через стекло, не повреждая его». Всё это является следствием очень своеобразного строения ШМ и, на наш взгляд, убедительно объяснено выше. Результаты элементного анализа, выполненные Никитиным А.И., Бычковым В.Л. с соавторами [14, 35], находятся в хорошем соответствии с предложенной гипотезой. Их данные анализов подтверждают, что содержание Na, O и Ca изменилось в кромке отверстия, а на поверхностях стекла осталось неизменным. Это так и должно быть. Кислород, как давно показали И.В. Курчатов и П.П. Кобеко, перемещается к аноду [6, 10]. Результаты анализов Никитина А.И. с соавторами нельзя объяснить ошибками, поскольку количество «подвижных элементов» зависит от места анализа образца, а содержание «неподвижных элементов» (Mg, Al, Fe) практически остаётся неизменным.

Очень обстоятельный анализ физической природы шаровой молнии выполнен Б.М. Смирновым [22]. Однако он подробно рассмотрел только энергетические характеристики ионов газов, входящих в состав атмосферы, и электрически заряженные образования. По его результатам, чтобы накопить в конденсаторе энергию средней шаровой молнии, необходим объём 300 л, что почти в 30 раз превышает объём средней шаровой молнии. Электрически заряженный шар размером со среднюю ШМ, радиус которого совпадает с радиусом средней ШМ, а напряжённость электрического поля совпадает с пробивным напряжением воздуха (30кВ/см), имеет запас энергии всего 3 Дж, что значительно меньше энергии средней ШМ (20 кДж), и эта энергия обеспечивается меньше чем 1г вещества. Полностью диссоциированный и наполовину ионизированный воздух (Т 20 000К) при атмосферном давлении имеет удельную энергию всего 0,66 Дж/см<sup>3</sup>. Запас же энергии не самой энергоёмкой молекулы озона O<sub>3</sub> при распаде составляет 69,4ккал/моль (≈300 кДж/моль). Таким образом химическая энергия обеспечивает гораздо больший энергозапас. На основании проведённого анализа он сделал вывод, что энергетику шаровой молнии могут обеспечить только химические реакции, и сказал замечательную фразу: «**Шаровая молния – это гидратированная плазма**». Очень жаль, что он не развил эту идею. Все необычные свойства шаровой молнии подтверждают эту мысль. Однако он почему-то совсем не затронул процессы, связанные с молекулой воды, реакциями атомов и свободных радикалов.

Вопросы энергообразования в ШМ необычайно сложны. На них можно ответить только на основании последних достижений химии, физики и др. смежных наук. Под действием очень высокой разности потенциалов и электрических разрядов в ШМ образуется огромное количество очень реакционноспособных соединений: ионов, радикалов, возбуждённых атомов и молекул и др. Поэтому в шаровой молнии протекает одновременно много физических и химических процессов. Многие из них являются цепными, сопряжёнными, параллельными и последовательными со своими кинетическими особенностями. Без сложных расчётов с применением сверхмощных ЭВМ разобраться в этой «сетке реакций» невозможно. Основной энергетический запас ШМ, по нашему мнению, обеспечивают ионы водорода и гидроксила, которые взаимодействуют в газовой фазе с огромным выделением энергии. То что реакция протекает в газовой фазе, весьма существенно, поскольку энергии очень значительно разнятся в зависимости от среды, например, тепловой эффект взаимодействия ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> в растворе [13, с. 181] составляет всего 13,7 кКал/моль, а газовой фазе [13, с. 189] – 383 кКал/моль. Некоторые из энергообразующих реакций приведены в таблице, где приводится также ориентировочная оценка их вклада в общую энергию ШМ. Масса ШМ диаметром 20 см на основании расчётов составляет 14 г. Исходя из следующих соображений: левитация её обеспечивается силой Архимеда равной 5г и силой отталкивания от поверхности Земли равной 9г (плотность поверхностного заряда Земли составляет 1,15·10<sup>-9</sup> Кл/см<sup>2</sup>, а заряд ШМ 2,7·10<sup>-9</sup> Кл). Таким образом, ориентировочно запас энергии в шаровой молнии диаметром 20 см может составлять 1500-2000 кДж (≈4,3 МДж/м<sup>3</sup>), что близко к некоторым оценкам. Помимо этого, существует ещё много реакций рекомбинации с большим энерговыделением, вносящих свой вклад в энергетику. Однако концентрация активных компонентов в них мала или же они протекают по реакции третьего порядка.

Наибольший энергетический эффект обеспечивают реакции с участием лёгких атомов, радикалов гидроксила и водорода, ионов воды, гидроксила и водорода. Образование их происходит под действием электрических разрядов и высоких температур. Например, при 3000 °С в разряде по реакции 2H<sub>2</sub>O → 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, если достигается равновесие, могло бы образоваться до 20 % водорода, а содержание атомарного водорода при этой температуре может составить 8,35 %. Выделение энергии по реакции рекомбинации H + H → H<sub>2</sub> составляет 50 кКал (> 250 кДж) на 1г. Это огромная величина.



**Реакции, обеспечивающие энерговыделение в шаровой молнии и ориентировочно их доля в общем запасе энергии**

Реакции (газовая фаза)	Энергия, кДж/моль	Энергия, кДж/г	Доля энергии, % (масса ШМ 14г)	Энергетический вклад в ШМ, кДж
$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$	1603,8	89,1	70	873,2
$H_2O^+ + e^- \rightarrow H_2O$	1216	67,5	10	94,5
$H + O + H \rightarrow H_2O$	913	57,0	1	8,0
$H^* + OH^* \rightarrow H_2O$	575	27,3	3	11,3
$e^- \cdot aq + H_2O \rightarrow H^* + OH^-$	153,1	8,5	7	8,3
$H^* + H^* \rightarrow H_2$	435,2	217,6	5	152,3
$H^+ + e^- \rightarrow H^*$	1312,2	1312,2	4	734,8
		$\Sigma \approx 1779,2$ на 7г (100%)	$\Sigma \approx 100$	$\Sigma \approx 1841,2$ Масса ШМ 14г

$e^- \cdot aq$ : сольватированный электрон

### Выводы

1. Предложена новая гипотеза метастабильного дендримерного строения шаровой молнии, объясняющая все её необычные свойства.
2. Источником необычайно высокой плотности энергии являются химические реакции рекомбинации активных атомов, радикалов гидроксила и водорода, ионов воды, гидроксила и водорода.
3. Дано объяснение необычных эффектов, сопровождающих появление шаровой молнии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барри, Дж. Шаровая молния и чёткая молния / Дж. Барри. – М.: Мир, 1983. – 287 с.
2. Верховский, Е.Н. Внутреннее напряжения в плёнках, моно и двуокиси кремния / Е.Н. Верховский, Г.И. Елифанов // Обзор по ЭТ. – 1972. – Сер. 2, вып. 9. – С.42-45.
3. Гречихин, Л.И. Получение и исследование ударных волн и сверхзвуковых плазменных потоков в разрядной ударной трубе / Л.И. Гречихин, Л.Я. Минько // Журнал технической физики. – 1965. – Т. XXXV. – вып. 8. – С. 1454-1460.
4. Ермолаев, А.Е. Наблюдение шаровой молнии / А.Е. Ермолаев // Наука и жизнь. – 1982. – № 2. – С. 56.
5. Игнатов, А.М. Нелинейная динамика плоского электронного пучка вблизи порога диокотронной неустойчивости / А.М. Игнатов // Физика плазмы. – 1987. – Т. 13. – Вып. 2. – С. 238-241.
6. Кобеко, П.П. Аморфные вещества / П.П. Кобеко. – М.-Л.: -Изд. АН СССР, 1952. – 277 с.
7. Колосовский, О.А. Исследование следа шаровой молнии на оконном стекле / О.А. Колосовский // Журнал технической физики. – 1981. – т. L1. – С. 856-858.
8. Краткий справочник физико-химических величин. / под ред. Равделя А.А. и Понамарёвой А.М. – Издание восьмое. – Согласовано с Государственной службой стандартных справочных данных. – Л.: «Химия», 1983. – 231 с.
9. Кузелев, М.В. Плазменная релятивистская СВЧ-электроника / М.В. Кузелев, А.А. Рухадзе, П.С. Стрелков; под ред. А.А. Рухадзе. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 544 с.
10. Курчатов, И. В. Избранные труды. В 3-х томах / И.В. Курчатов. – М.: Наука, 1982. – 391 с.
11. Мазурин, О.В. Стеклование / О.В. Мазурин. – Л., Наука, 1981. – 487 с.
12. Михсимова, Н.А. О прохождении плазмойда через стекло» / Н.А. Михсимова, Б.Н. Швилкин // Успехи физических наук. – т. 118, №12. – С. 1333-1335.
13. Некрасов, Б.В. Основы общей химии / Б.В. Некрасов. – М.: Химия, 1965. – Т. 1. – 518 с.
14. Никитин, А.И. Моделирование взаимодействия шаровой молнии с оконными стеклами / А.И. Никитин, В.Л. Бычков, Т.Ф. Никитина и др. // Химическая физика». – 2006. – т. 25. – № 4. – С. 98–105.
15. Пудовкин, А.К. Шаровая молния в Новосибирском Академгородке / А.К. Пудовкин // Успехи физических наук. – 1996. – т. 166. – №11. – С. 1251-1255.
16. Рябухин, А.Г. Гидратация ионов гидроксония  $H_3O^+$  и гидроксила  $OH^-$  / А.Г. Рябухин // Известия Челябинского научного центра. – 2002. – вып. 4 (17). – С.47-50.
17. Сингер, С. Природа шаровой молнии / С. Сингер. – М.: Мир, 1973. – 222 с.
18. Смирнов, А.Н. Новые данные о структурах в жидкой воде / А.Н. Смирнов // Прикладная физика и математика. – 2017. – №2. – С. 17-21.
19. Смирнов, А.Н. Причина гомо хиральности биомолекул / А.Н. Смирнов // Прикладная физика и математика. – 2015. – №8. – С. 3-8.
20. Смирнов, А.Н. Структура воды: новые экспериментальные данные / А.Н. Смирнов // Наука и технологии для промышленности. – 2010. – №4. – С. 41-45.
21. Смирнов, А.Н. Супрамолекулярные структуры в жидкой воде. Новые экспериментальные данные / А.Н. Смирнов // Science and Word. – 2019. – Vol. 1, №1(65). – С. 17-21.
22. Смирнов, Б.М. Об анализе природы шаровой молнии / Б.М. Смирнов // Успехи физических наук. – 1975. – т. 116, вып.4. – С. 731-739.
23. Справочник по производству стекла / Под ред. И.И. Китайгородского и С.И. Сильвестровича. – М.: Госстройиздат, 1963. – т. 1–2.
24. Стаханов, И.П. О физической природе шаровой молнии / И.П. Стаханов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 208 с.
25. Стаханов, И.П. Фотографирование шаровой молнии / И.П. Стаханов // Наука и Жизнь. – 1989. – №9. – С. 67-72.

26. Федорович, Н.А. Напряжения на границах раздела фаз / Н.А. Федорович, В.И. Соколов, В.А. Шеленкевич // Физика твёрдого тела. – 1979. – т. 18. – С. 1794.
27. Фельц А. Аморфные стеклообразующие системы / А Фельц. – М.: Мир, 1986. – 257 с.
28. Чутов, Ю.И. Волны свечения в пульсирующем разряде / Ю.И. Чутов, Т.Е. Ремнёва, А.Н. Кравченко // Журнал технической физики. – 1981. – т. 51, №4. – С. 706-713.
29. Davidson, R.C. Macroscopic extraordinary-mode stability properties of relativistic non-neutral electron flow in a planar diode with applied magnetic field / R.C. Davison, K.T. Tsang, J.A. Swegle // Physics of Fluids. – N-Y,-1984. – Vol. 27, iss.9. – p. 2332.
30. Dendrimers and other dendritic polymers / Ed. by J.M. Fréchet, D.A. Tomalia. – N.Y.: Wiley & Sons, 2001. – 317 p.
31. Elmar C. Fuchs et al. The floating water bridge / Elmar C. Fuchs et al // J.Phys.D: Appl. Phys. – 40(2007)-6112-114.
32. Fuchs C. et al. Dynamic of the floating water bridge / C. Fuchs et al //J.Phys.D:Appl. Phys. – 41(2008)-185502(5pp)
33. Scott, R.W.J. Bimetallic Palladium – Platinum Dendrimer-Encapsulated Catalysts / R.W.J. Scott, A.K. Date, R.M. Crooks // J. Am. Chem. Soc. – 2003. – V. 125. – №13. – P. 3708-3709.
34. Smirnov, A.N. Emulons and solitons into the water / A.N. Smirnov, A.V. Savin, A.S. Sigov // Applied physics and mathematics. – 2013. – №1. – p. 74-79.
35. Vladimir L. Bychkov. Ball lightning passage through a glass without breaking it / Vladimir L. Bychkov, Anatoly I. Nikitin, Ilya P. Ivanenko et al. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2016. – Vol. 150. – p. 69-76.
36. <https://www.nkj.ru/archive/articles/6959/> (Наука и жизнь, Шаровая молния: наблюдения и анализ следов).

Материал поступил в редакцию 26.02.19.

## THE NEW HYPOTHESIS OF THE NATURE OF BALL LIGHTNING. EXPLANATION OF THE EXTRAORDINARY PROPERTIES

A.N. Smirnov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor  
Russian of Technological University (Moscow), Russia

**Abstract.** Based on the analysis of the experimental facts and several years observation a new hypothesis of ball lightning was proposed. The hypothesis is based on emulons – the new structures discovered in water – and the formation of dendrometers by hydrated ions of hydrogen  $H^+$  and hydroxyl  $OH$ . The ball lightning of diameter 20cm have mass 14g, density  $\rho=0,0033g/cm^3$  (at  $2,7>\rho_{air}$ ), energy  $\approx 1700$  kJ. The energy of ball lightning is providing by recombination reactions of free radicals and ions in the gas phase.

**Keywords:** ball lightning, emulons, dendrimers, recombination reactions of radicals and ions in the gas phase.

УДК 53:51

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЗОЛОТОМ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

И.Г. Турсунов

Чирчикский государственный педагогический институт, Узбекистан

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены особенности деформационных эффектов кремния, легированного золотом при импульсном гидростатическом давлении.

*Ключевые слова:* деформационные эффекты, кремний, легирование, импульсное гидростатическое давление.

Воздействие внешних факторов (температуры, давления, освещённости, электрического и магнитного поля) меняет не только электронную структуру дефектов кристаллической решётки, но и существенно изменяет условия взаимодействия дефектов и носителей тока. Поэтому примесные атомы с глубокими уровнями в этих условиях не имеют фиксированных состояний в решётке, как это обычно имеет место в некомпенсированном полупроводнике, а вынуждены постоянно перестраиваться с изменением внешних воздействий [2-5]. Среди различных воздействий следует отметить влияние давления, в частности, импульсного давления. Известно [1], что в полупроводниках с глубокими уровнями при импульсном давлении, изменяющимся со скоростью 200 МПа/сек, температура образца увеличивается на 7 и 10 °С, что приводит к существенному изменению концентрации носителей заряда в разрешённых зонах. Поэтому можно предположить, что при резких изменениях внешнего давления, кроме изменений температуры образца, появляется и ещё релаксационные эффекты. В данной работе рассматриваются механизмы релаксационных эффектов в кремнии, легированном золотом при импульсном гидростатическом давлении. Результаты измерения показывают, что кинетика изменения проводимости в образцах Si<Au> при воздействии импульсного всестороннего давления имеет характерные особенности, связанные с релаксационными изменениями тока, а в контрольных образцах, при таких же условиях существенного изменения проводимости не наблюдается. Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что выражены сильнее, в образцах n-типа релаксационные эффекты больше, чем в образцах p-типа. В то же время изменение подвижности носителей заряда, несмотря на количественное различие, подчиняются общим закономерностям.

Предлагается несколько механизмов объяснения полученных результатов: во-первых, процесс увеличения концентрации носителей при увеличении давления эквивалентен возбуждению светом или теплом электронов и дырок в, соответственно, зону проводимости и в валентную зону, за счёт изменения расстояния по шкале энергий между  $E_c$  и  $E_i$  (и соответственно  $E_v$  и  $E_i$ ) при упругом сжатии кристалла. После приближения локальных уровней к краям разрешённых зон идёт заброс электронов (дырок) в ложбины (или вершины) потенциального рельефа зоны проводимости и валентной зоны. При снятии напряжения в зонах имеются остаточные свободные электроны, которые релаксируют таким же путем как фото- (и тепло-) стимулированная долговременная релаксация, например, путем процессов протекания. Во-вторых, при сжатии происходит перераспределение первичной пространственной неоднородности примесей так, что электронно-дырочная релаксация после снятия напряжения уже будет происходить в новом потенциальном рельефе. Сравнивая характеристики релаксации при фотовозбуждении и при упругом напряжении, по их разнице можно судить о характере перераспределения примесей.

Полученные экспериментальные результаты по Si<Au> можно трактовать различными способами. Один из них описан в нашей работе [2], в которой показано, что при импульсном сжатии возможно поднятие электронного уровня примеси до дна зоны проводимости. Снятие сжатия ведёт к релаксации возбужденных электронов, причем релаксация происходит в сильно флуктуирующем поле примесей (в условиях сильной компенсации), так что релаксация осуществляется путем протекания возбужденных электронов.

Однако, именно в случае легирования кремния золотом возможна другая интерпретация. Действительно, согласно работе [1, 2], трём возможным зарядовым состояниям примеси Au соответствуют три различных конфигурационных кривых; причем минимумы этих кривых не совпадают. Важно, что кривой с минимальной энергией соответствует центр [V Au], т.е. атом Au смещён из вакансии в междоузельное положение. В случае сжатия атому золота выгодно сместиться назад – из междоузельной конфигурации в свою вакансию, т.к. именно эта конфигурация в сжатом материале соответствует минимуму энергии всей системы, причем этой конфигурации соответствует своё электронное состояние.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при импульсном давлении в образцах происходит перераспределение первичной пространственной неоднородности примесей так, что электронно-дырочная релаксация

после снятия напряжения уже будут происходить в новом потенциальном рельефе. При этом для образцов обеих типов проводимости подвижность носителей заряда уменьшается и в обоих случаях это уменьшение происходит только за счёт изменения температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдураимов, А. Динамическая проводимость компенсированного кремния при всестороннем гидростатическом сжатии / А. Абдураимов, С.З. Зайнабидинов, О.О. Маматкаримов и др. // Физика техника и полупроводников. – 1993. – № 27 (3). – С. 516–519.
2. Зайнабидинов, С.З. Изучение влияние внешних воздействий на поведение примеси золота в кремнии / С.З. Зайнабидинов, О.О. Маматкаримов, И.Г. Турсунов и др. // Физика техника и полупроводников. – 2000. – № 34 (6). – С. 641–644.
3. Милнс, Л. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / Л. Милнс. – М., 1977. – С. 547.
4. Hsu, P.I. Spherical deformation of compliant substrates with semiconductor device islands / P.I. Hsu, M. Huang, Z. Xi, et al. // Journal of Applied Physics. – 2004. – No. 95 (2). – P. 705–712.
5. Peleshchak, R.M. Influence of Deformation Effects on Electrical Properties of Structure Metal–Semiconductor–Doped Semiconductor / R.M. Peleshchak, O.V. Kuzuk, O.O. Dan'kiv // Ukr. J. Phys. – 2010. – No. 55 (4). – P. 434–439.

*Материал поступил в редакцию 26.02.19.*

### THE PECULIARITIES OF THE DEFORMATIONAL EFFECTS OF SILICON DOPED WITH AURUM WHEN PULSED HYDROSTATIC PRESSURE

**I.G. Tursunov**

Chirchik State Pedagogical Institute, Uzbekistan

**Abstract.** *The article discusses the peculiarities of the deformational effects of silicon doped with aurum when pulsed hydrostatic pressure.*

**Keywords:** *deformational effects, silicon, doping, pulsed hydrostatic pressure.*

УДК 53:51

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗОВАЛЕНТНОЙ ПРИМЕСИ ГЕРМАНИЯ С АТОМАМИ НИКЕЛЯ В КРЕМНИИ

Ш.Б. Утамурадова<sup>1</sup>, Х.С. Далиев<sup>2</sup>, С.С. Насриддинов<sup>3</sup>, Р.М. Эргашев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> доктор физико-математических наук, директор института,

<sup>2</sup> доктор физико-математических наук, декан физического факультета,

<sup>3</sup> доктор технических наук, заместитель директора института, <sup>4</sup> старший научный сотрудник  
Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники  
при Национальном университете Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан

***Аннотация.** Исследовано взаимодействие изовалентной примеси германия с атомами никеля в кремнии. Установлено, что наличие атомов германия в объеме Si повышает эффективность образования глубоких центров, связанных с никелем в Si. Обнаружено, что в присутствии атомов Ge низкотемпературный отжиг глубоких центров никеля происходит медленнее по сравнению с образцами Si<Ni> в 3-4 раза.*

***Ключевые слова:** кремний, примесь, германий, никель, взаимодействие, легирование при выращивании, высокотемпературная диффузия.*

В настоящее время монокристаллический кремний является основным материалом полупроводниковой нано-, микро- и оптоэлектроники и силовой электронной техники, бурное развитие которых и обуславливает требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам [4, 6]. С целью модификации свойств полупроводниковых материалов в последние годы вводятся примеси, создающие глубокие центры, что приводит к изменению физических свойств кристаллов и электрофизических характеристик кремниевых приборов [3, 5, 7]. Для контролируемого управления всеми параметрами полупроводниковых материалов необходимо изучить физические явления, происходящие в кремнии при его легировании специальными примесями, причем, во взаимодействии с дефектной структурой Si, с учетом роли электроактивных и электронейтральных примесей.

Известно, что способность атомов переходных элементов, зачастую используемых для управления параметрами монокристаллического кремния, к миграции в решетке кремния приводит к их термической нестабильности. Кроме того, известно, что присутствие изовалентных примесей (ИВП), не проявляющих электрической активности в объеме кремния, повышает его термическую стабильность и радиационную стойкость [8, 10].

В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния атомов германия – одной из ИВП – на энергетический спектр глубоких уровней, создаваемых никелем, и поведение его атомов с помощью емкостной спектроскопии.

Для экспериментов использовались образцы кремния n- и p-типа проводимости, легированные германием в процессе выращивания из расплава с удельным сопротивлением 5-100 Ом · см, с ориентацией в направлении <111>. В качестве контрольных к ним использовались образцы кремния n- и p-типа, выращенные методом Чохральского с концентрацией оптически активного кислорода  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  со значениями удельного сопротивления  $\rho$ , близкими к  $\rho$  образцов Si<Ge>.

Для изучения межпримесного взаимодействия атомов никеля и германия, образцы кремния, легированного германием при выращивании, дополнительно легировались никелем диффузионным методом. Далее на этих образцах создавались диодные структуры.

Диффузионное легирование кремния никелем проводилось в интервале температур 1000-1250 °С в течение 0.5-5 часов с последующей резкой закалкой и медленным охлаждением. После диффузии  $\rho$  образцов n-Si возрастало до  $2 \cdot 10^4$  Ом·см, а в p-Si оно заметно не менялось.

На рис. 1 (штрихованные линии) приведены типичные спектры DLTS образцов кремния, диффузионно-легированного никелем (Si<Ni>) с последующей резкой закалкой. Из измерений спектров DLTS в режиме постоянного напряжения [11] в образцах Si<Ni> и последующей обработки спектров обнаружены глубокие уровни (ГУ) с фиксированными энергиями ионизации и сечениями захвата носителей заряда соответственно:  $E_c - 0.19$  эВ,  $\sigma_n = 2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$  и  $E_c - 0.41$  эВ,  $\sigma_n = 6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$  в n-Si<Ni> (рис.1, кривая 1), и ГУ  $E_v + 0.20$  эВ,  $\sigma_p = 7 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$  и  $E_v + 0.41$  эВ,  $\sigma_p = 3 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$  в p-Si<Ni> (рис. 1, кривая 2).

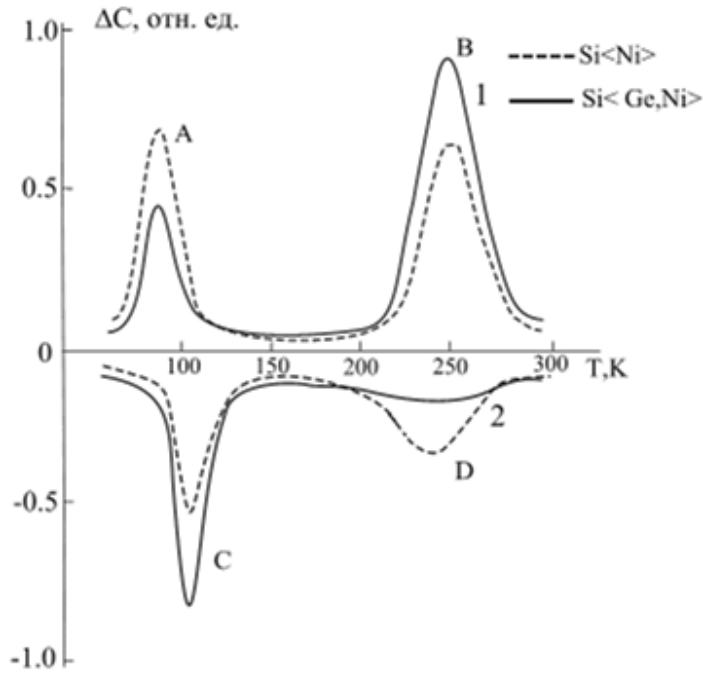


Рис. 1. Типичные спектры DLTS образцов  $n\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  и  $n\text{-Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$  (кривая 1) и  $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  и  $p\text{-Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$  (кривая 2): пики A:  $E_c - 0.19$  эВ, B:  $E_c - 0.41$  эВ, C:  $E_v + 0.20$  эВ, D:  $E_v + 0.41$  эВ,  $T_{\text{отж}} = 1200^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{отж}} = 4$  часа

Сопоставление спектров DLTS в легированных и контрольных образцах показало, что уровни  $E_c - 0.19$  эВ и  $E_v + 0.41$  эВ наблюдаются и в термообработанных контрольных образцах (без Ni), причем их концентрации значительно выше, чем в  $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ .

Измерения спектров DLTS в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ge}\rangle$  (до введения никеля) показали, что в них не наблюдаются какие-либо глубокие уровни в заметной концентрации [9], хотя данные нейтронно-активационного анализа свидетельствуют о наличии атомов германия в решетке кремния в довольно высоких концентрациях  $10^{17}\text{-}10^{19}$  см<sup>-3</sup>. Эти данные показывают, что атомы германия не проявляют электрической активности в кремнии.

Измерения спектров DLTS в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ge}\rangle$ , дополнительно легированных никелем диффузионным методом (рис. 1, сплошные линии), показали, что наличие атомов германия в решетке кремния оказывает существенное влияние на процессы дефектообразования: в присутствии атомов Ge увеличивается эффективность образования ГУ, связанных с атомами Ni в Si.

Анализ и сопоставление результатов измерений спектров DLTS в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ge}\rangle$  и  $\text{Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$  показывают, что концентрации этих уровней в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$  в 4-5 раз выше, чем в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ . Обнаруженное увеличение концентрации ГУ, связанных с никелем в кремнии, можно вероятно, объяснить тем, что атомы Ge, введенные в Si в довольно высокой концентрации, занимают все стоки и другие несовершенства решетки кремния. Известно [12], что имеется существенная разница в 1,5-2 порядка между величиной предельной растворимости никеля в кремнии и концентрацией электрически активных атомов Ni. Можно предположить, что эти различия связаны с осаждением некоторой части введенных атомов никеля на каких-либо неактивных стоках или связыванием этих атомов в нейтральные комплексы. Наличие же атомов германия в образцах  $\text{Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$ , занявших эти стоки, увеличивает долю электроактивных атомов никеля в кремнии. Отметим, что наличие атомов германия в решетке Si препятствует образованию термических дефектов. Обнаружено, что эффективность образования уровня  $E_c - 0.20$  эВ, обусловленного термообработкой, гораздо ниже в образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Ge}\rangle$  по сравнению с контрольными  $n\text{-Si}$ .

Глубокие уровни, создаваемые никелем в кремнии, как было установлено нами ранее [1, 2], характеризуются нестабильностью при термических обработках. Поэтому было интересно исследовать кинетику низкотемпературного отжига ГУ, связанных с атомами никеля в присутствии в решетке Si примеси германия в различной концентрации.

С этой целью нами также было изучено влияние изотермического отжига в интервале температур 100-500 °C на поведение атомов никеля в образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Ge,Ni}\rangle$ .

Эти результаты показали, что отжиг ГУ  $E_c - 0.41$  эВ, связанного с атомами Ni, происходит довольно быстро, в течение 1 часа ГУ почти полностью отжигаются. Уровень  $E_c - 0.51$  эВ, связанный также с атомами никеля, характеризуется большей стабильностью, отжиг его происходит значительно медленнее.

Анализ кинетических кривых показывает, что в присутствии атомов германия в объеме Si низкотемпературный отжиг глубоких центров никеля (кривые 3 и 4) происходит медленнее по сравнению с образцами  $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$  в 3-4 раза.



Таким образом, атомы германия, не проявляя электрической активности в кремнии, повышают эффективность образования глубоких центров, связанных с никелем в Si и стабилизируют свойства этих центров. Аналогичный эффект наблюдался нами ранее при исследовании свойств кремния, легированного германием и марганцем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманов К.П. Исследование поведения примесей марганца и никеля при диффузионном легировании в кремнии / К.П. Абдурахманов, Ш.Б. Утамурадова, Г.С. Куликов и др. // ФТП. – 1991. – т.25. – в. 6. – С. 1075-1078.
2. Зайнабидинов, С.З. Взаимодействие никеля с атомами различных элементов в кремнии / С.З. Зайнабидинов, К.П. Абдурахманов, А.А. Лебедев и др. – В кн.: “Свойства легированных полупроводниковых материалов”. – М.: Наука, 1990. – С. 19-22.
3. Зайнабидинов, С.З. Физические основы образования глубоких уровней в кремнии / С.З. Зайнабидинов. – Ташкент, Фан, 1984. – 160 с.
4. Милнс, Л. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / Л. Милнс. – М., Мир, 1977. – 547с.
5. Омеляновский, Э.М. Примеси переходных металлов в полупроводниках / Э.М. Омеляновский, В.И. Фистуль. – М., 1983. – 192 с.
6. Рейви, К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Пер. с англ. / К. Рейви. – М., Мир, 1984. – 471 с.
7. Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями / под ред. Фистуль В.И. – М., 1987. – 232 с.
8. Фистуль, В.И. Распад пересыщенных полупроводниковых твердых растворов / В.И. Фистуль. – М., Металлургия, 1977. – 240 с.
9. Abdurakhmanov, K.P. Defect-formation processes in silicon doped with manganese and germanium / K.P. Abdurakhmanov, Sh.B. Utamurodova, Kh. S. Daliev et al. // Semiconductors. – 1998. – v. 32, №.6. – pp. 606-607.
10. Kitagawa, H. Electrical Properties of Nickel in Silicon / H. Kitagawa, S. Tanaka et al. // J. Elect. Mater. – 1991. – v. 20, No. 6. – pp. 441-447.
11. Miller, G.L. Capacitance transient spectroscopy / G.L. Miller, D.V. Lang, L.C. Kimerling // Ann.Rev.Mater.Sci. – 1977. – v.7. – pp. 377-448.
12. Rohatgi A., Davis I.R., Hopkins R.H. and Mullin P.G. Mc. Sol.St.El., 1983, V.26, pp. 1039-1048.

Материал поступил в редакцию 28.02.19.

#### INTERACTION OF ISOVALENT DOPING OF GERMANIUM WITH NICKEL ATOMS IN SILICON

**Sh.B. Utamurodova<sup>1</sup>, Kh.S. Daliev<sup>2</sup>, S.S. Nasriddinov<sup>3</sup>, R.M. Ergashev<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Institute,

<sup>2</sup> Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Dean of the Faculty of Physics,

<sup>3</sup> Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director of the Institute, <sup>4</sup> Senior Researcher

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics  
under the National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan

**Abstract.** The interaction of germanium isovalent doping with nickel atoms in silicon is investigated. It is established that the presence of germanium atoms in the Si amount increases the efficiency of the formation of deep centers associated with nickel in Si. It was found that in the presence of Ge atoms, cryoannealing of the deep nickel centers is slower compared with Si <Ni> samples by a factor of 3–4.

**Keywords:** silicon, doping, germanium, nickel, interaction, doping during growth, high-temperature diffusion.

УДК 542.13

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ РОЛЬ pH СРЕДЫ ПРИ ЭКСТРАКЦИИ  
КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ (УРАНА И ТОРИЯ) ИЗ МОДЕЛЬНЫХ  
РАСТВОРОВ БИС-(2-ГИДРОКСИ-5-АЛКИЛБЕНЗИЛ)АМИНОМ****С.Р. Мамедова<sup>1</sup>, М.А. Рагимли<sup>2</sup>, З.А. Джаббарова<sup>3</sup>**<sup>1</sup> кандидат химических наук, старший научный сотрудник<sup>2,3</sup> кандидат химических наук, ведущий научный сотрудникИнститут катализа и неорганической химии имени академика  
М. Нагиева НАН Азербайджана (Баку), Азербайджан

***Аннотация.** Исследовано влияние pH-среды при экстракции катионов урана и тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином на распределение их между водной и органической фазами в зависимости от концентрации металлов, солевого состава раствора (добавок NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и природы органического растворителя. Установлен pH максимальной экстракции исследуемых катионов металлов.*

***Ключевые слова:** уран, торий, экстракция, бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амин.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, уран и торий являются ценными стратегическими металлами, однако, обладая специфическими токсичными свойствами, загрязняя своим присутствием природные и производственные воды, наносят экологический ущерб окружающей среде, в связи с чем извлечение их перспективным экстракционным методом представляет немаловажный практический интерес.

Успешное проведение экстракции включает не только выбор эффективного экстрагента, но и полностью зависит от ионного состояния водной фазы, т.е. от величины pH контактного раствора. Выявление зависимости степени извлечения катионов исследуемых металлов от значений pH исходного раствора является одним из важных факторов в процессе их экстракции, так как резкое понижение или повышение значения pH раствора может привести к заниженным результатам. В литературе немало работ по концентрированию катионов металлов (U,Th) различными экстрагентами, применяемыми как в технологических процессах, так и в аналитической практике [1-3, 5-7, 9, 11-18]. Так, в работе [6] установлено влияние pH-среды на экстракционное извлечение микроконцентраций катионов урана и тория хлорированными нафтеновыми кислотами из соответствующих нитратных растворов солей, а также в присутствии хлоридов и сульфатов щелочных металлов.

Поскольку оптимальное условие для каждого экстрагента индивидуально в зависимости от их природы, то исследование зависимости степени концентрирования катионов металлов от pH раствора в каждом конкретном случае представляется необходимым.

В литературе имеются сведения по извлечению, концентрированию и разделению некоторых тяжелых металлов бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил) амином и его производными из различных водных сред [10], но сведения об экстракции катионов урана и тория указанным выше реагентом отсутствуют.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

В качестве экстрагента в работе использован бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амин, представляющий собой промышленную фракцию алкилфенола (C<sub>8</sub>-C<sub>9</sub>, мол. вес 451). Исходные концентрации растворов урана и тория (4.2·10<sup>-3</sup>г-ион/л и 2.9·10<sup>-4</sup>г-ион/л) готовили из нитратных солей, а низкие концентрации получали разбавлением исходных растворов, при этом во всех экспериментах соотношение между водной и органической фазой составляло 4:1. Корректировка pH растворов проводилась 0.01N раствором NaOH, а измерения водородных ионов осуществляли на ионометре ЭВ-74. Концентрацию урана и тория определяли на спектрофотометре [8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты по экстракции катионов урана и тория из их нитратных растворов бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином в зависимости от pH-среды соответственно графически приведены на Рис. 1.

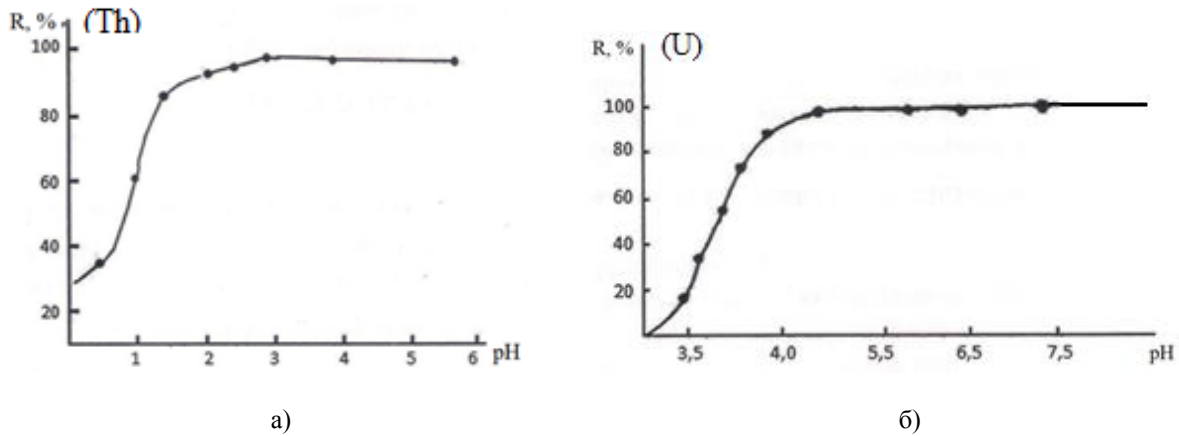
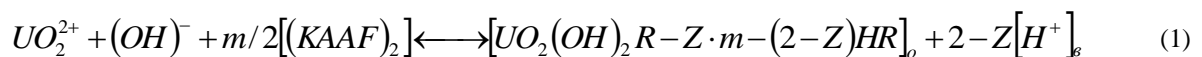


Рис. 1. Зависимость экстракции катионов урана (а)  $4.2 \cdot 10^{-3} z$ -ион/л и тория (б)  $2.9 \cdot 10^{-4} z$ -ион/л из нитратных растворов бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином от pH-среды

Как видно из рисунков, низкий процентный выход экстракции урана наблюдается при  $\text{pH}=3.4$ , а максимальная экстракция (100 %)  $\text{pH}=4.4$ , а дальнейшее повышение  $\text{pH}$  не влияет на выход. В случае экстракции торий-ионов, низкий процентный выход отмечен при  $\text{pH} \leq 0.5$ , а максимальные значения в диапазоне  $\text{pH} < 2$ , оставаясь стабильными до  $\text{pH} \leq 6.0$ . Дальнейшее повышение  $\text{pH}$ -растворов ведет к образованию межфазной прослойки (смешивание фаз), а также к выпадением осадков, что, очевидно, напрямую связано с влиянием  $\text{pH}$  на формонахождение металлов в водной фазе.

В литературе существуют различные мнения авторов относительно формонахождения торий- и уранил-ионов в водных средах. Многие исследователи считают, что катионы урана и тория в водных растворах образуют достаточно прочные гидратные связи, или же при определенных условиях, подвергаясь гидролизу, образуют комплексы, как с органическими, так и с неорганическими анионами кислот. Образование полимерных комплексов урана и тория в воде доказано многими исследователями, в частности [4].

Исходя из вышеизложенного, распределение  $\text{UO}_2^{2+}$  между водной и органической фазами можно представить в следующем виде:



Значение постоянной экстракции ( $K_{\text{экс}}$ ):

$$K_{\text{экс}} = \frac{[\text{UO}_2(\text{OH})_2 \text{R}_2 - z \cdot m - (2-z)\text{KAAF}]_o \cdot [\text{H}^+]_g^{2-z}}{[\text{UO}_2^{2+}]_g \cdot [(\text{KAAF})_2]_g^{m/2}} \quad (2)$$

Коэффициент распределения (D) - при  $\text{R}=1\text{M}$ . раствора, имеет вид:

$$D = K_{\text{экс}} = \frac{[(\text{KAAF})_2]_g^{m/2}}{[\text{H}^+]_g^{2-z}} \quad (3)$$

Тогда  $D = \frac{K_{\text{экс}}}{[\text{H}^+]_g^{2-z}}$  или в логарифмическом виде:  $\lg D = \lg K_{\text{экс}} + 2 + Z$

Значение  $\text{pH}$  при экстракции урана бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил) амином соответствует  $\lg D = 50\% = 0.5$ . При условии  $\text{R}=0$ , если не учитывать отношение фаз, данное соотношении примет вид:

$$\text{pH}_{0.5} = \frac{K_{\text{экс}} + 0.5}{2} = 2.54 \quad (4)$$

Анализ экспериментальных данных (Рис. 2а) показал, что логарифмическая зависимость коэффициента распределения катионов урана от рН-равновесного раствора водной фазы представляет прямую, состоящую из двух частей: начальной соответствующей рН=3.8,  $\text{tg}\alpha=2$  и конечной части после рН=4, постепенно уменьшающейся в зависимости от условий эксперимента. Так, в процессе экстракции до рН=3.8 концентрация свободных водородных ионов равноценна заряду катиона урана и при  $Z=0$  наблюдается образование средней соли уранил-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амин. При высоких равновесных значениях рН извлечение урана происходит в виде бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)аминов, в состав которых уран входит, в основном, в виде гидроксо-комплекса.

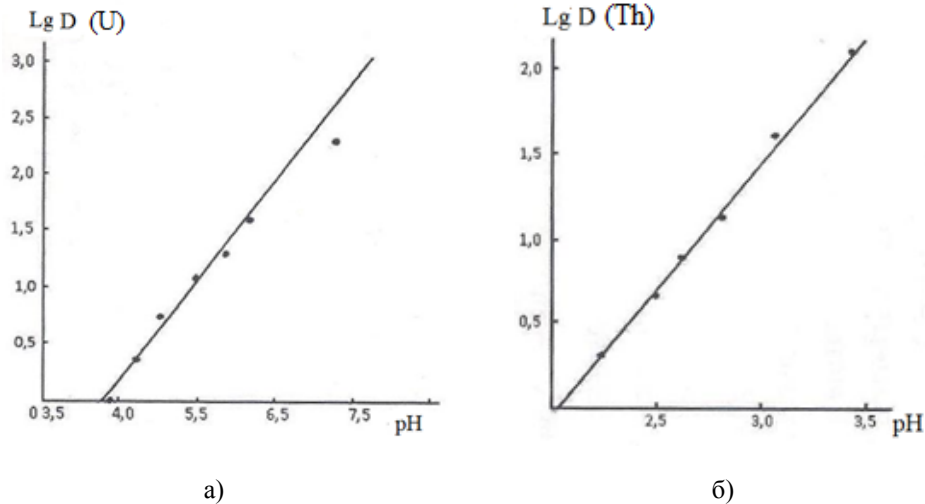
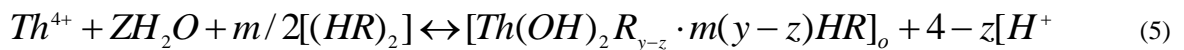


Рис. 2. Логарифмическая зависимость коэффициентов распределения экстракции урана и тория бис-(2 гидрокси-5-алкилбензил) амином в керосине (а) и бензоле (б) соответственно

Известно, что нахождение торий-ионов в водной среде, а именно, что в низком интервале  $\text{pH} \leq 2.6$  торий-бензил-амин с зарядом  $\text{Th}^{4+}$  извлекается в виде растворенного соединения, а при высоких значений рН, при которых торий-ионы гидролизуются, образуют бензоат, экстракция катионов тория нами проведена при наиболее продуктивных значениях рН, т.е. до рН=2.6

Поскольку при предельных значениях рН=3-3.5 ионы тория в водном растворе образуют гидроксокомплексы, то между водной и органической фазами распределение тория протекает по ниже представленному уравнению реакции:



Тогда константу экстракции можно представить в виде:

$$K_{\text{экс}} = \frac{[\text{Th}(\text{OH})_2 \text{R}_{y-z} \cdot m(4-z)\text{HR}]_o [\text{H}^+]_o^{4-z}}{[\text{Th}^{4+}]_o [(\text{HR})_2]_o^{m/2}} \quad (6)$$

При условии

$$D = \frac{[\text{Th}(\text{OH})_2 \text{R}_{y-z} \cdot m - (4-z)\text{HR}]_o}{[\text{Th}^{4+}]_o} \quad (7)$$

Тогда

$$K_{\text{экс}} = D \frac{[\text{H}^+]_o^{4-z}}{[(\text{HR})_2]_o^{m/2}} \quad (8),$$

откуда

$$D = K_{\text{экс}} \frac{[H^+]^{4-z}}{[(HR)_2]_0^{m/2}} \quad (9)$$

Логарифмическое уравнение константы равновесия раствора бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амина 0,25М концентрации имеет вид

$$\lg D = \lg K_{\text{экс}} + 4 - ZpH - m/2 \lg[(HR)] \quad (10),$$

из которого следует, что коэффициент распределения напрямую зависит от pH равновесного раствора, а значения 50 %-ой экстракции рассчитывается по ниже представленному уравнению:

$$pH_{0.5} = \frac{-\lg K_{\text{экс}} + 0.5}{4} - \lg[(HR)_2] = 2.50 \quad (\lg D - 50\% = 0.5) \quad (11)$$

Логарифмическая зависимость коэффициента распределения тория при экстракции 0.25М раствором реагента от pH равновесного раствора представляет собой прямую линию с углом наклона  $\text{tg}\alpha=4$ , что опровергает образование гидролизированных ионов ( $Z=0$ ). При более высоких значениях pH растворов (зависимость  $\lg D - pH$ ) значение  $\text{tg}\alpha < 4$ . Таким образом, образование гидрокомплексов, характерных для pH= 3-4 для данной среды сопровождается снижением заряда исследуемого катиона и значений водородных ионов до pH=2.6 (рис. 2,б).

На основании исследования условий экстракции тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином выявлено, что ионы тория (при pH=2,6) экстрагируются в виде средней соли (бензоата тория), а при более высоких значениях pH происходит образование его гидрокомплексов с бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином. Зависимость экстракции от pH среды нитратных растворов, содержащих различные концентрации катионов металлов [ $UO_2^{2+}$  ( $4.2 \cdot 10^{-3}$ -ион/л;  $8.4 \cdot 10^{-3}$ -ион/л и  $12.6 \cdot 10^{-3}$ -ион/л), а также катионов тория ( $3.44 \cdot 10^{-4}$ -ион/л и  $1.5 \cdot 10^{-3}$ -ион/л) 1М бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином в керосине и бензоле соответственно] представлены на рис. 3.

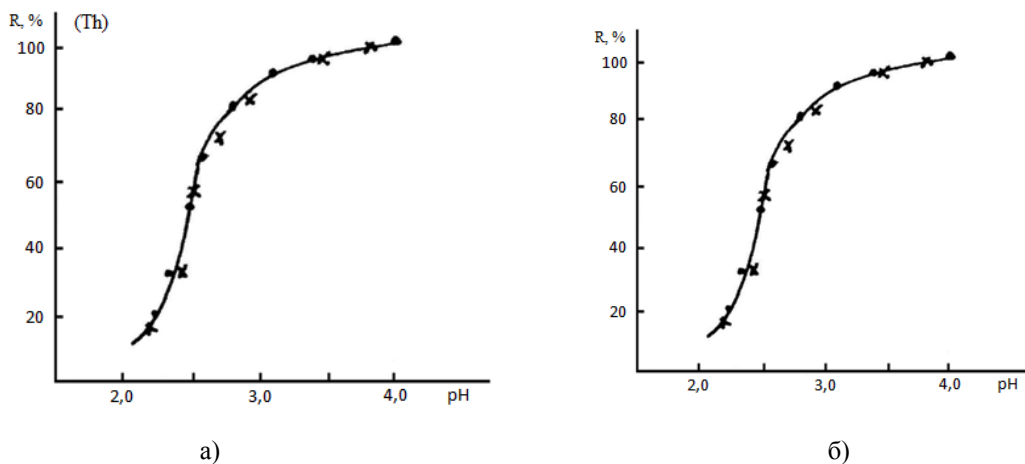


Рис. 3. Зависимость экстракции урана и тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил) амином в керосине (а) и бензоле (б) при концентрациях:  $\bullet UO_2^{2+}$   $4.2 \cdot 10^{-3}$  г-ион/л;  $\times$   $8.4 \cdot 10^{-3}$  г-ион/л;  $\blacktriangle$   $12.6 \cdot 10^{-3}$  г-ион/л;  $\bullet Th^{4+}$   $3.44 \cdot 10^{-4}$  г-ион/л;  $\times$   $1.5 \cdot 10^{-3}$  г-ион/л.

Из графиков видно, что при всех прочих равных условиях проведения процесса повышение концентраций катионов металлов не влияет на процентный выход экстракции, поскольку экспериментальные точки зависимости ( $R\% - pH$ ) ложатся на одну прямую, что свидетельствует о независимости экстракции  $UO_2^{2+}$  и  $Th^{4+}$  от их концентрации. Таким образом, повышение концентрации катионов металлов не является помехой для выделения относительно больших количеств экстрагируемых ионов бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил) амином.

Другим немаловажным фактором, влияющим на экстракцию тория и урана бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином, является присутствие солей ( $NaCl$  и  $Na_2SO_4$ ) в исследуемых нитратных растворах при концентрациях

$$Th^{4+} = 2.93 \cdot 10^{-4} \text{ г-ион/л и } UO_2^{2+} = 4.2 \cdot 10^{-3} \text{ г-ион/л.}$$

Таблица 1

**Влияние различных концентраций NaCl на экстракцию катионов тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином [Th<sup>4+</sup>]=2.93·10<sup>-4</sup> г-ион/л**

Концентрация NaCl	рН равновесного раствора	Равновесная концентрация тория г/л		D	R%
		Водная фаза	Орг. фаза		
1.0	2.30	0.055	0.052	0.93	18.8
	2.50	0.041	0.110	2.68	40.1
	2.60	0.025	0.172	7.00	63.6
	2.76	0.010	0.230	22.10	84.7
	2.84	0.007	0.244	34.80	89.6
	3.00	0.002	0.264	132.00	96.3
	3.50	0.001	0.276	276.0	99.6
0.5	2.60	0.0520	0.070	1.34	25.5
	2.75	0.0320	0.1440	4.50	53.0
	2.80	0.0270	0.1640	6.10	60.4
	2.90	0.0110	0.228	20.60	84.0
	3.25	0.0027	0.261	93.20	95.8
	3.75	0.0010	0.276	276.00	99.6
0.25	2.80	0.056	0.056	1.0	20.0
	3.00	0.041	0.110	2.68	40.1
	3.10	0.025	0.172	7.00	63.6
	3.25	0.011	0.228	20.60	84.0
	3.50	0.0028	0.261	93.20	95.8
	4.00	0.0010	0.276	276.00	99.6

Таблица 2

**Влияние различных концентраций Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на экстракцию катионов тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином [Th<sup>4+</sup>]=2.9310<sup>-4</sup> г-ион/л**

Концентрация Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	рН равновесного раствора	Равновесная концентрация тория г/л		D	R%
		Водная фаза	Органическая фаза		
1.0	4.05	0.0510	0.0760	1.50	27.2
	4.20	0.0340	0.1440	4.23	51.4
	4.25	0.0200	0.2000	10.00	71.4
	4.30	0.0056	0.2576	46.00	92.0
	4.50	0.0022	0.2710	123.00	96.8
	5.00	0.001	0.276	276.00	99.9
0.5	4.30	0.0620	0.076	1.20	23.0
	4.40	0.0450	0.144	3.20	44.4
	4.50	0.0250	0.224	9.00	70.0
	4.60	0.0110	0.240	21.8	87.2
	4.80	0.0050	0.256	51.2	92.7
	5.30	0.002	0.272	136.0	99.8
0.25	4.50	0.0560	0.056	1.00	20.0
	4.60	0.0410	0.110	2.68	40.1
	4.70	0.0250	0.172	7.00	63.6
	4.75	0.0190	0.220	13.70	77.3
	4.90	0.008	0.260	32.5	93.3
	5.50	0.002	0.272	136.0	99.8



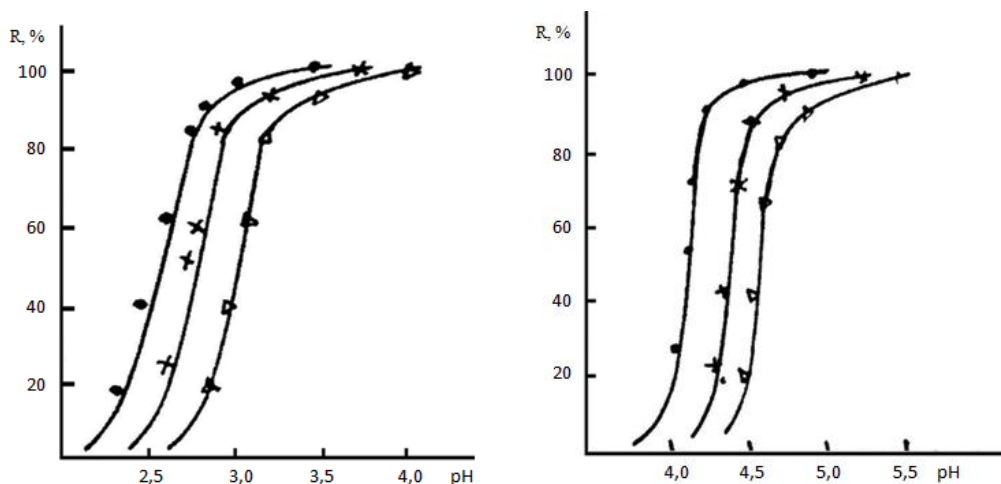


Рис. 4. Зависимость экстракции катионов тория от pH-раствора в присутствии хлор ионов (а) •-1N; x-0.5N; Δ-0.25N NaCl и сульфат-ионов (б) •-1N; x-0.5N; Δ-0.25N Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Полученные данные (табл. 1, 2, рис. 5) показывают, что в присутствии хлоридов даже незначительные изменения pH благотворно влияют на процентный выход ионов этих металлов, без наличия следов эмульсии, проявляясь быстрым расслоением и чистотой фаз. Так, катионы тория при pH=3 переходят в органическую фазу, при этом процентный выход тория несущественно зависит от различных концентраций NaCl.

Присутствие сульфат-ионов в водных растворах также положительно сказывается на экстракции исследуемых катионов металлов, способствуя повышению скорости расслоения фаз и процентному выходу. Но в противоположность хлоридам, смещение кривых ионов тория при наличии анионов- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> направлено в сторону повышения значений pH, достигая максимума извлечения при pH=4.55. Различное влияние Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ионов связано с образованием комплексов тория различной устойчивости с этими анионами. Устойчивость хлоридных комплексов тория (K<sub>уст</sub>=2) относительно устойчивости сульфатных комплекса тория (K<sub>уст</sub> =159) ничтожно мала, вследствие чего можно пренебречь влиянием хлор-ионов на экстракцию тория. Но, так как комплексы сульфат-ионов при более высоких значениях pH неустойчивы, то максимальное pH=4.55 позволяет проведению фракционной экстракции тория.

Относительно исследования влияния присутствующих солей (NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) на экстракцию урана бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином надо отметить, что и без их участия уран полностью экстрагируется данным реагентом, но в зависимости от концентрации их анионного состава, наряду с процентным выходом, наблюдается смещение значений pH в направлении повышения от pH (1-7) (табл. 3, рис. 5). Из этого следует, что в присутствии добавок солей и зависимости от их состава смещение начальных значений водородных ионов, соответствующих начальному извлечению, происходит от pH=3.43 до 4.7, а максимальные значение от pH<sub>max</sub>. = 5.85 до pH=7.

Таблица 3

**Влияние различных концентраций NaCl на экстракцию катионов урана бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином [UO<sub>2</sub>]<sup>2+</sup>=4.2·10<sup>-3</sup>г-ион/л**

Концентрация NaCl	pH равновесного раствора	Равновесная концентрация урана г/л		D	R %
		Водная фаза	Органическая фаза		
2	3.50	0.84	0.76	0.90	19.0
	3.70	0.54	1.64	2.83	31.0
	3.78	0.41	2.36	5.75	59.0
	3.96	0.22	3.12	14.20	78.0
	4.15	0.16	3.36	21.00	84.00
	5.10	0.06	3.76	62.60	94.0
	5.50	0.02	3.96	198.00	99.9
	6.00	0.01	3.98	398.00	99.9
1	6.50	нет	4.30	-	100.0
	3.80	0.84	0.64	0.52	11.5
	4.30	0.62	1.52	2.45	38.0
	4.40	0.41	2.36	5.75	59.1
	4.70	0.14	3.44	24.50	86.0
	5.00	0.03	3.88	129.00	98.00
	5.80	0.01	4.05	405.00	99.9
	6.50	нет	4.35	435.00	100.0
6.80	нет	4.35	435.00	100.0	

Окончание таблицы 3

Концентрация NaCl	pH равновесного раствора	Равновесная концентрация урана г/л		D	R %
		Водная фаза	Органическая фаза		
0.5	4.40	0.69	1.24	1.80	31.0
	4.70	0.424	2.30	5.42	57.5
	5.00	0.250	3.00	12.00	75.5
	5.20	0.16	3.36	21.00	84.0
	5.50	0.089	3.644	41.00	90.0
	5.90	0.02	3.920	196.00	98.0
	6.80	0.01	3.98	398.00	99.9
	7.50	нет	4.35	435.0	100.0

Таблица 4

**Влияние различных концентраций Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на экстракцию катионов урана бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином [UO<sub>2</sub>]<sup>2+</sup>=4.2·10<sup>-3</sup>г-ион/л**

Концентрация Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH равновесного раствора	равновесная концентрация урана г/л		D	R %
		Водная фаза	Органическая фаза		
2	4.30	0.830	0.70	0.84	18.0
	4.50	0.750	1.00	1.33	25.0
	4.60	0.650	1.40	2.15	35.0
	4.75	0.400	2.40	6.00	60.0
	4.95	0.27	2.84	10.40	73.0
	5.60	0.10	3.20	32.00	88.8
	6.40	0.02	3.96	198.00	99.9
1	4.60	0.78	0.48	0.61	13.4
	4.65	0.65	1.00	1.54	17.3
	4.80	0.50	1.60	3.30	44.4
	4.95	0.34	2.24	6.60	63.2
	5.50	0.16	3.36	21.00	84.0
	6.25	0.09	3.96	44.00	95.00
	6.60	0.07	4.20	420.0	99.9
0.5	4.70	0.47	0.64	0.86	17.6
	5.10	0.62	1.12	1.80	31.0
	5.25	0.51	1.56	3.00	43.0
	5.60	0.24	2.64	11.00	74.0
	5.25	0.51	1.56	3.00	74.0
	5.60	0.24	2.64	11.00	86.6
	6.10	0.12	3.10	26.00	90.0
	6.50	0.09	3.24	36.00	94.0
	6.80	0.05	3.40	68.00	98.0
	7.00	0.02	3.52	176.00	

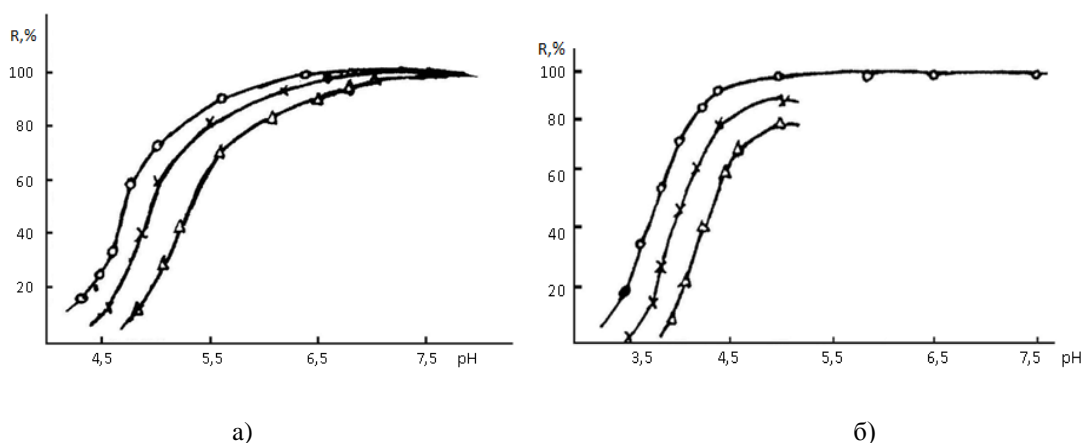


Рис. 5. Зависимость экстракции катионов урана от pH- раствора в присутствии хлор-ионов (а)  $\circ$ -0.2N NaCl;  $\times$ -0.1N NaCl;  $\Delta$ -0.05N NaCl и сульфат-ионов (б)  $\circ$ -0.2N Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  $\times$ -0.1N Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  $\Delta$ -0.05N Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Общее положительное влияние присутствия солей на экстракционный процесс характеризуется легкостью расслоения, чистотой и прозрачностью фаз.

Особый интерес представляет влияние природы органических растворителей на экстракционный процесс с используемым реагентом. Необходимо отметить, что при испытании различных растворителей (гептан,

бензол и др.) экстракция урана не превышала 84-92 %, в то время как при использовании керосина весь уран из водной фазы полностью экстрагируется бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином, переходя в органическую фазу, чем и обусловлен выбор керосина в качестве растворителя, а для катионов тория продуктивным растворителем реагента оказался бензол.

### ВЫВОДЫ

1. Изучена экстракция микроколичеств катионов урана и тория бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил)амином из нитратных растворов в зависимости от влияния водородных ионов на коэффициент распределения металлов, концентрации катионов металлов в водной фазе, а также присутствия электролитов (NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
2. Установлена прямая зависимость коэффициента распределения катионов металлов от pH равновесного раствора. Так, значения 50 %-ой экстракции катионов металлов имеют ниже следующие значения: для [UO<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> pH<sub>0,5</sub>=2.54, lgD-50%=0.5; для [Th<sup>4+</sup>]pH<sub>0,5</sub>=2.5, lgD-50%=0.5
3. Процентный выход (R%) экстракции не зависит от концентрации катионов металлов при равных условиях проведения процесса.
4. Добавка солей (NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) благотворно влияет на процесс экстракции катионов металлов используемым реагентом, бис-(2-гидрокси-5-алкилбензил) амином. Для торий-ионов максимальное извлечение достигается при pH=4.55, а для уранил-ионов максимальное извлечение сохраняется в пределах pH 5.8 до ≤ 7.
5. При экстракции тория в присутствии щелочных металлов эффект изменения pH-среды в более щелочную область способствует фракционной экстракции от сопутствующих его элементов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова, Н.С. Экстракция редкоземельных металлов из нитратных растворов бинарными экстрагентами на основе диалкилфосфиновых кислот / Н.С. Егорова, В.В. Белова, А.А. Вошкин и др // Хим. Технология. – 2006. – №9. – С. 33-37.
2. Зайцев, П.В. Экстракция нитратов уранила, тория, лантана и иттрия бинарными экстрагентами на основе ЧАО и высших изомеров карбоновых кислот / П.В. Зайцев / Сб.тез.докл. X Межд. молодежной науч. конф. – 2007. – С. 123.
3. Кощев, А.М. Экстракции урана краун-эфирами / А.М. Кощев. – Озерск: Российская школа по радиохимии и ядерным технологиям, 2010. – С. 13-14.
4. Латимер, В. М. Окислительное состояние элементов и их потенциалы в водных растворах / В.М. Латимер. – Изд. иностр.лит-а, 1954. – 402 с.
5. Майоров, В.Г. К экстракции тория (IV) трибутилфосфатом из растворов хлоридов натрия, кальция и алюминия / В.Г. Майоров, А.И. Николаев // Журн. прикл. химии. – 2006. – т.79. – №7. – С. 1207–1209.
6. Мамедова, С.Р., Ахмедов М.М., Рагимли М.А. Влияние некоторых факторов на экстракцию урана и тория из водных растворов хлорированными нафтеновыми кислотами / С.Р. Мамедова, М.М. Ахмедов, М.А. Рагимли // Конден. среды и межфазные границы, ВГУ. – 2017. – т.19, №2. – С. 256-261.
7. Пяртман, А.К. Кинетика экстракции и реэкстракции нитратов уранила и тория в системе с композиционным материалом на основе полимерного носителя и триизобутилфосфиносulfида / А.К. Пяртман, В.А. Кескинов, В.В. Лишук и др. // Химическая технология. – 2007. – Т. 8. – № 9. – С. 402-406.
8. Сендел, Е. Калориметрические методы определения следов металлов / Е. Сендел. – М.: Изд-во иностр. лит., 1964. – 600 с.
9. Туранов, А.Н. 3-бис [(дифенилфосфорилацетамид)-метил]бензол как реагент для экстракционного и сорбционного концентрирования РЗЭ(III), U(IV) и Th(IV) из азотнокислых растворов / А.Н. Туранов, В.К. Карандашев, Е.В. Шарова и др. // Радиохимия. – 2012. – т.54, №1. – С. 47-52.
10. Туранов, А.Н. Экстракционное и сорбционное концентрирование U(VI) и Th(IV) из азотнокислых растворов с использованием бис(дифенилфосфориларбониламино) алканов / А.Н. Туранов, В.К. Карандашев, Е.В. Шарова и др. // Радиохимия. – 2010. – т.52, №3. – С. 258-263.
11. Туранов, А.Н. Экстракция U (VI), Th (IV) и РЗЭ (III) из нитратных растворов диарил(диалкиларбамоилалкил) фосфинаксидами с диалкиларбамоилалкилметильным заместителем в алкиленовом мостике / А.Н. Туранов, В.К. Карандашев, А.Н. Яркевич // Радиохимия. – 2016. – т.58. – №4. – С. 336-339.
12. Туранов, А.Н. Экстракция U(VI), th(IV), Pu(IV) и Am(III) из азотнокислых растворов полифункциональными фосфорорганическими кислотами / А.Н. Туранов, В.К. Карандашев, Н.Н. Яркевич и др. // Радиохимия. – 2007. – т.49, вып.6. – С. 618-623.
13. Якшин, В.В. Экстракция урана из солянокислых растворов алкилированными краун эфирами / В.В. Якшин, Н.А. Царенко, А.М. Кощев и др. //Ж. неорганической химии. – 2011. – т.56, №12. – С. 2086.
14. Ali, A.H. Uranium extraction from nitric acid liquors using 4-methylpentan-2-one / A.H. Ali, A.M.A. Morsy, A.S. El-Sheikh // Radiochemistry. – 2017. – v. 59. – p. 482.
15. Amaral, J.C. Thorium and uranium extraction from rare earth elements in monazite sulfuric acid liquor through solvent extraction / J.C. Amaral, C.A. Morais // Minerals engineering. – 2010. – v. 23. – pp. 498–503.
16. Belova, V.V. Extraction of chlorides of rare earth metals with binary extractants based on dialkylphosphinic acids / V.V. Belova, N.S. Egorova, A.I. Kholkin et al. // China Acad. J. – 2005. – pp. 146-151.
17. Mamedova, S.R. Extraction of uranyl-ions out of water solutions by the chlorinated naphthenic acids / S.R. Mamedova // Az.Chemical J. – 2016. – №2. – pp. 55-58.
18. Nasab, M.E. Solvent extraction separation of uranium(VI) and thorium(IV) with neutral organophosphorus and amine ligands / M.E. Nasab // Fuel. – 2014. – v. 116. – p. 595-600.

Материал поступил в редакцию 05.03.19.

**THE DETERMINING ROLE OF THE pH OF THE MEDIUM  
IN THE EXTRACTION OF METAL CATIONS (URANIUM AND THORIUM)  
FROM MODEL SOLUTIONS OF BIS-(2-HYDROXY-5-ALKYLBENZYL)AMINE**

**S.R. Mammadova<sup>1</sup>, M.A. Rahimli<sup>2</sup>, Z.A. Jabbarova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher,

<sup>2,3</sup> Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher

Academician M. Naghiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry of ANAS (Baku), Azerbaijan

***Abstract.** The influence of the pH of the medium on the extraction of uranium and thorium cations by bis-(2-hydroxy-5-alkylbenzyl)amine on the distribution of them between the aqueous and organic phases, depending on the concentration of metals, on the salt composition of the solution (NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> additives) and the nature of the organic solvent was studied. The pH of the maximum extraction of the studied metal cations was established.*

***Keywords:** uranium, thorium, extraction, bis-(2-hydroxy-5-alkylbenzyl)amine.*

---



---

**Biological sciences**  
**Биологические науки**

---



---

УДК 581.6

**ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА СЕМЕЙСТВ  
РОАСЕАЕ И FАVАСЕАЕ ИЗ ГЕРБАРНОГО ФОНДА ИНСТИТУТА  
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ГЕОГРАФИИ КАЗНПУ ИМ. АБАЯ**

С.К. Иманкулова<sup>1</sup>, Д.А. Кулманбетова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> кандидат биологических наук, профессор, <sup>2</sup> магистрант 2 курса  
Казахский национальный педагогический университет им. Абая (Алматы), Казахстан

***Аннотация.** Гербарий – это не просто коллекция растений. Ценность гербарного листа с каждым годом возрастает: зачастую он становится единственным источником, благодаря которому с помощью современных технологий можно вырастить живые растения вида, утерянного в естественных условиях произрастания. Сохранить, содержать в рабочем состоянии и приумножать эти коллекции – важнейшая задача, стоящая, в настоящее время, перед специалистами кафедры. Гербарий широко используется для обучения студентов, специализирующихся на кафедре биологии Института Естествознания и географии. Особенностью гербарных коллекций является их общедоступность для исследователей всех стран. Любой образец в любом гербарии мира после поступления в основной фонд может быть затребован для изучения (с отсылкой, в том числе и в другие страны) любым научным учреждением мира. Экспозиции гербария также используются во время экскурсий школьников и для работы с учителями школ и студентами города и края, особенно во время педагогических практик, дней факультета и профориентационных мероприятий. В данной статье рассмотрены: значение гербария, история возникновения гербарного фонда кафедры биологии КазНПУ им. Абая, видовой состав семейств Роасеае и Fabaceae.*

***Ключевые слова:** Гербарий, гербарный фонд, видовой состав.*

В мире насчитывается более 350 тыс. видов высших сосудистых растений. Каждый из них обладает неповторимыми особенностями. Знания о растениях бесценны, так как они дают полную картину для понимания растительного мира и его эволюции, поэтому так важно их фиксировать. Одним из таких способов является метод гербаризации и создание на его основе гербарных коллекций.

Термин «гербарий» имеет более узкий и более широкий смысл. В узком смысле – это коллекция, определённым образом, обработанных и документированных засушенных растений. В более широком смысле – это научная лаборатория или даже научное учреждение, использующее в своей работе подобные коллекции. [2]

Цели и задачи гербариев в современной науке весьма многогранные. Гербарий – основа ботанических исследований, необходимых для изучения морфологии растений, их экологической, географической и индивидуальной изменчивости. Гербарий – главная основа для работы по систематике растений, несомненно, он останется таковым и в будущем, несмотря на все успехи применения в систематике, цитологии, биохимии компьютерных технологий и др. Гербарий, документ свидетельствующий о видовом составе флоры той или иной территории, а также их распространения, т.е. ареала видов.

Только гербарий может дать точные и надёжные сведения об изменении флоры любой территории за тот или иной период времени. При исследовании хромосомного набора для установления нового вида растений для науки, в работах по интродукции и селекции растений, гербарный образец – необходимый документ и только он может бесспорно свидетельствовать, с какими растениями проводились эти исследования.

По мере развития науки из одного и того же гербарного образца извлекается новая информация, в то же время сохраняющийся образец всегда даёт возможность проверить прежде сделанные заключения. Поэтому гербарный образец – документ первичный, принципиально не может быть заменён каким-либо вторичным, производным видом документации: письменным, рисунком и даже фотографией.

В отличие от экспериментальной лаборатории с сложным оборудованием, гербарий не может быть создан сразу за какие-нибудь 3-5 лет, даже при наличии самых благоприятных материальных возможностей.

Гербарные фонды имеют одно важное преимущество перед любым лабораторным оборудованием – они практически не устаревают морально, продолжая служить науке неограниченно долго.

Как и всякая научная коллекция, гербарный фонд также нуждается в учёте, т.е. инвентаризации. Наиболее простой и обобщённый показатель, характеризующий научный потенциал гербария – число гербарных листов или образцов. [6, 7]

Когда коллекция только что создана и еще невелика, точный учёт небольших данных не составляет труда. Однако необходимо проводить инвентаризацию гербарных фондов, существующих десятки лет и более.

В современном виде Гербарный фонд был организован в 2010 году на базе Казахского национального педагогического университета им. Абая при кафедре ботаники и общей биологии естественно-географического факультета. Гербарный фонд создавался из растений, собранных во время многочисленных и дальних комплексных полевых практик преподавателями кафедры, совместно со студентами и магистрантами. Гербарный фонд включает в себя систематический и районный гербарий. Систематический гербарий составлен по системе Энглера.

Было собрано свыше 4500 гербарных листов. В настоящее время Гербарный фонд кафедры ботаники и общей биологии (ныне кафедра биологии) представлен 869 видами, 209 родами и 64 семействами сосудистых растений. Фонд создавался с целью ознакомления студентов и магистрантов с биоразнообразием растительного мира, ее эндемиками, особенностями морфоструктуры и хозяйственным значением данных растений. Это своего рода естественно-исторический музей, в котором представлены многие виды растений, характерные для нашего региона, а также прилегающих территорий.

Гербарий – фундамент ботанических исследований. Именно сохранение и постоянное обращение к гербарным материалам даёт уникальную возможность отслеживать изменения, миграцию, трансформацию флоры и растительности, как на определённой территории, так и всего Казахстана в целом. Только опираясь на документированный гербарный материал, можно достоверно проводить флористические и экологические мониторинговые исследования.

Список сосудистых растений Казахстана по данным С.А. Абдуллиной (1999) включает 5658 видов сосудистых растений. [1]

Нами был проведен анализ видового состава семейств Бобовых и Мятликовых гербарного фонда кафедры ботаники и общей биологии (ныне кафедра биологии). Подсчитано количество крупных родов и видов, относящихся к данным семействам.

Семейство Бобовые и Мятликовые имеют широкое распространение и большое хозяйственное значение.

Видовой состав флоры выверен по сводке С.К. Черепанова. [5, 7] Крупные роды и виды данных семейств взяты из Флоры Казахстана. [3, 4]

В таблице 1 представлены виды Семейства Мятликовые гербарного фонда КазНПУ им. Абая.

Таблица 1

## Семейство Мятликовые

№	Виды
1	Бескильница длинночешуйная-Puccinella dolicholepis V.Krecz
2	Пшеница твердая- Triticum durum Desf.Fl.Atlant
3.	Душистый колосок обыкновенный-Anthoxanthum odoratum L.Sp.pl
4.	Тимофеевка луговая-Phleum pretense L.Sp.pl
5.	Волоснец ситниковый-Elymus junceus Fisch.Mem.Soc
6.	Метлица обыкновенная-Apera spica venti P.B.Agrost
7.	Ковыль сарептский-Stipa sareptana Becker.Bull.Soc.Nat
8.	Ковыль волосатик-S.capillata L.Sp.pl.ed
9.	Ковыль Регелевский-S.Regeliana Hack.Sitzb.Acad
10.	Ковыль каратавский-S.karataviensis Roshev.Тр (Эндем)
11.	Ковыль Лессинговский-S.Lessingiana Trin. Et Rupr.Mem.Acad
12.	Беломятлик каратавский-Leucopoa karatavica V.Krecz. et Bobr
13.	Луговик дернистый-Deschampsia caespitosa P.B.Agrost.
14.	Пырей гребневидный-Agrocyron cristatum Gaertn.Nov.Comm
15.	Пырей ползучий-A.repens P.B.Agrost
16.	Пырей подальпийский-A.subalpinum Golosk. (Эндем)
17.	Лисохвост луговой-Alopecurus pratensis L.Sp.pl
18.	Сорго поникшее-Sorghum cernuum Host.Gram.Austr.
19.	Сорго сахарное-S.saccaratum
20.	Вейник наземный-Calamagrostis epigeios Roth.Tent.Fl.Germ
21.	Вейник Тяньшанский-C.tianschanica Rupr. In Osten-Saken
22.	Мятлик однолетний-Poa annua L.Sp.pl.
23.	Пустынномятлик алтайский-Eremopoa altaica Roshev.
24.	Полевица побегоносная-Argostis alba L.Sp.pl.
25.	Тростник обыкновенный-Phragmites communis Trin.Fund.Agrost.
26.	Зубровка душистая-Hierochloe odorata Wahlb.Fl.ups.
27.	Плевел многолетний-Lolium perenne L.Sp.pl.
28.	Плевел расставленный-L.remotum Schrank.Baier.Fl.
29.	Овсяница бороздчатая-Festuca sulcate Hack.Monogr.Fest.
30.	Овсяница луговая-F.pratensis Huds.Fl.angl.ed.
31.	Овсяница ложноовечья-F.pseudovina Hack.Monogr.Fest.



Окончание таблицы 1

№	Виды
32.	Осока пузырчатая-Carex vesicaria
33.	Ветвянка гусеницевидная-Brachiaria eruciformis Grisb.in Ledb.
34.	Многобородник приморский-Polypogon maritimus Willd.NeueSchr.Ges
35.	Щетинник итальянский-Setaria italic P.B.A.grost.
36.	Щетинник зеленый-S.viridis P.B.Agrost.
37.	Тонконог тонкий-Koeleria gracilis Pers.Synopsis
38.	Костер безостый-Bromus inermis Leyss.Fl.Hall.
39.	Бородач кровоостанавливающий-Andropogon ischaemum L.Sp.pl.
40.	Ежовник куриное просо-Echinochloa crus galli Roem.et Schult.
41.	Рис посевной-Oryza sativa L.Sp.pl
42.	Рисовидка-Piptatherum sp
43.	Мортук-Eremopyrum sp
44.	Триостница-Aristida sp
45.	Житняк-Agropyron sp

В таблице 2 представлены виды семейства Бобовые гербарного фонда КазНПУ им. Абая.

Таблица 2

## Семейство Бобовые

№	Виды
1.	Клевер луговой-Trifolium pretense L.Sp.pl
2.	Клевер белый-T.repens L.Sp.pl
3.	Клевер луговой-T.lupinaster L.Sp.pl
4.	Клевер пашенный-T.arvense L.Sp.pl
5.	Клевер средний-T.medium L.Fauna Suec.ed.
6.	Клевер гибридный-T.hybridum L.Sp.pl
7.	Душистый горошек-Lathyrus odoratus L.Sp.pl
8.	Чина луговая-L.pratensis L.S.pl
9.	Чина гороховидная-L.pisiformis L.Sp.pl
10.	Чина посевная-L.sativus
11.	Чина нутовая-L.cicera L.Sp.pl
12.	Сочевичник весенний-Orobis vernus L.Sp.pl
13.	Дрок красильный-Genista tinctoria L.Sp.pl
14.	Софора толстоплодная-Sophora pachycarpa
15.	Софора лисохвостная-S.alopecuroides
16.	Люцерна тяньшанская-Medicago tianschanica Vass.
17.	Люцерна серповидная-M.falcata L.Sp.pl
18.	Люцерна маленькая-M.sativa L.Sp.pl
19.	Люцерна посевная-M.minima Grufb.Fl.Angl.
20.	Карагана многолистная-Caragana pleiophylla Pojark
21.	Желтая акация-Caragana arborescens Lam.Encycl.Meth.
22.	Песчаная акация серебристая-Ammodendron argenteum O.Ktze
23.	Белая акация-Robinia pseudacacia L.Sp.pl
24.	Стальник древних-Ononis antiquorum L.Sp.pl
25.	Донник лекарственный-Melilotus officinalis Desr.in Lam.
26.	Аморфа кустарниковая-Amorpha fruticosa L.Sp.pl
27.	Горошек мышиный-Vicia cracca L.Sp.pl
28.	Эспарцет посевной-Onobrychis viciifolia
29.	Козлятник лекарственный-Galega officinalis
30.	Верблюжья колючка-Alhagi pseudalhagi Desv.Journ.Bot.
31.	Солодка голая-Glycyrrhiza glabra L.Sp.pl
32.	Фасоль обыкновенная-Phaseolus vulgaris L.Sp.pl
33.	Гледичия трехколючковая-Gleditsia triacanthos
34.	Ляденец рогатый-Lotus corniculatus L.Sp.pl
35.	Люпин узколистный-Lupinus angustifolius
36.	Бобы русские-Vicia faba L.Sp.pl
37.	Горох посевной-Pisum sativum L.Sp.pl
38.	Аммотамнус джунгарский-Ammothamnus songoricus Lipsky in Herb.
39.	Соя щетинисто-волосистая-Glycine hispida Maxim.Bull.Acad.Petersb.
40.	Бобы-Vicia sp
41.	Леспедеца-Lespedeza sp
42.	Донник-Melilotus sp

Таким образом, на основании инвентаризации видов семейств Мятликовых и Бобовых из гербарного фонда кафедры биологии, нами выявлено 45 видов из 36 родов семейства Мятликовых (из них 2 эндема) и 42 вида из 27 родов семейства Бобовых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллина, С.А. Список сосудистых растений Казахстана / С.А. Абдуллина. – Алматы, 1999. – 287 с.
2. Скворцов А.К. Гербарий: пособие по методике и технике / А.К. Скворцов. – М.: «Наука», 1977. – 199 с.
3. Флора Казахстана. Алма-Ата: Изд-во АНКАЗССР. – 1956. – Т. 1. – 353 с.
4. Флора Казахстана. Алма-Ата: Изд-во АНКАЗССР. – 1956. – Т. 5. – 514 с.
5. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С.К. Черепанов. – Л.: Наука, 1995. – 990 с.
6. Brean, P.M. The counting of the Kew Herbarium / P.M. Brean, R.G. Carter. – Kew Bull. – 1972. – 26. – No. 3. – P. 423–426.
7. Royal Botanic Gardens / Herbarium and Library, new wing London. – Kew, 1969.

Материал поступил в редакцию 05.03.19.

### THE INVENTORY OF SPECIES COMPOSITION OF THE FAMILIES *POACEAE* AND *FABACEAE* FROM THE HERBARIUM FUND OF THE INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES AND GEOGRAPHY OF ABAI KAZAKH NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY

S.K. Imankulova<sup>1</sup>, D.A. Kulmanbetova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Candidate of Biological Sciences, Professor, <sup>2</sup> the 2<sup>nd</sup> year Master's Degree Student  
Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty), Kazakhstan

**Abstract.** Herbarium is not just a collection of plants. The value of herbarium list increases every year: often it becomes the only source, thanks to which, it is possible to grow live plants of the species lost in natural conditions of growth with the help of modern technologies. Save, keep in working order and multiply these collections – the most important task facing, at present, the specialists of the Department. Herbarium is widely used for teaching students specializing in the Department of Biology of the Institute of Natural Sciences and Geography. The peculiarity of herbarium collections is their accessibility for researchers from all countries. Any sample in any herbarium of the world after receipt in the main Fund can be demanded for studying (with reference, including to other countries) by any scientific institution of the world. Herbarium expositions are also used during excursions of schoolchildren and to work with school teachers and students of the city and region, especially during pedagogical practices, days of the faculty and career-oriented activities. This article describes: the value of the herbarium, the history of the herbarium Fund of the Department of Biology of Abai Kazakh National Pedagogical University, species composition of *Poaceae* and *Fabaceae* families.

**Keywords:** herbarium, herbarium fund, species composition.

УДК 637.5:628.543(045)

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ КРОВЯНЫХ СТОЧНЫХ ВОД МЯСОКОМБИНАТА

**Ю.М. Субботина**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московский государственный университет пищевых производств, Россия

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема очистки сточных вод мясокомбината в биологических прудах. Анализируются результаты санитарно-бактериологических анализов. Сравниваются результаты эффективности самоочищения сточных вод мясокомбината в зависимости от их разбавления.*

***Ключевые слова:** мясокомбинат, энтеробактерии, обеззараживание, кровяные стоки, альголизация, E.Coli, коли-титр, коли-индекс, микроводоросли.*

**Актуальность.** В настоящее время особо социально-экономическое значение приобретает проблема охраны водных ресурсов от загрязнения. Сброс в водные объекты неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, богатых органическими веществами, азотом, фосфором вызывает, прежде всего, эвтрофикацию водоемов. Научно-исследовательские институты разрабатывают и внедряют усовершенствованные способы деконтаминации отходов животноводства и птицеводства на основе использования не только естественно сформировавшихся, но и искусственно созданных селекционированных штаммов и культур высших водных растений, водорослей, низших организмов, включая бактерии и другие организмы.

**Цель исследования.** Изучить метод биологического обеззараживания кровяных сточных вод мясокомбината.

**Материал и методика исследований.** Разработка метода биологического обеззараживания кровяных сточных вод мясокомбината осуществлялась в течение 2-х лет, в качестве экспериментального объекта служило цветочное хозяйство ОАО «Победа» Клинского района Московской области, где на орошение декоративных культур использовались кровяные сточные воды Клинского мясокомбината.

Сточные воды мясокомбината образуются в производственный период, который не отличается стабильностью по количеству и качеству. На 1 тонну готовой продукции расходуется примерно 20-25 м<sup>3</sup> чистой воды. В зависимости от мощности мясокомбинатов объемов сточных вод колеблется от 10 до 44 тыс.м<sup>3</sup>. Общий объем стоков формируется от отдельных производственных цехов: убойного, жирового, колбасного. Наибольший объем сточных вод образуется в осенне-зимний период.

По химическому составу наибольший интерес для орошения представляют собой стоки убойных цехов. Они в небольшом количестве содержат удобрительные элементы и органические вещества. Им свойственна слабо щелочная реакция и бикарбонатно-хлоридный состав. Кровяные стоки имели высокую удобрительную ценность по азоту (733 мг/л), низкую по калию (39 мг/л) и фосфору (29 мг/л). Соединения азота в свежих стоках представлены, в основном, в виде органических соединений (80 %).

Основным средством обеззараживания вышеуказанных сточных вод в хозяйстве применялся аммиак. При этом методе отмечалось эффективное отмирание энтеробактерий, однако в сточной жидкости возрастало количество аммонийного (до 600-1000мг/л) и общего (до 1400 мг/л) азота. Поэтому встал вопрос о замене этого дезинфектанта другим, не оказывающим отрицательного воздействия на окружающую среду, и обеспечивающим одновременно обеззараживающий эффект [2].

Результаты информационного и патентного поиска позволили установить, что наиболее распространенным способом обработки кровяных сточных вод является метод их физико-химической очистки. Для его осуществления необходимо некоторое оборудование (аэраторы), наличие коагулянтов, определенного навыка персонала. Как показали предварительные расчеты, капитальные и эксплуатационные затраты на годовой объем этой категории сточных вод в количестве 18250 м<sup>3</sup> составили бы 121,45 тыс.руб. Кроме того, после такой обработки сточные воды не могли быть сразу же использованы на орошение, тем более на рыбозаведение. И это оставалось одним из главных условий при утилизации этого вида стоков на данном объекте.

Поэтому руководство цветочного хозяйства остановилось на второй технологии, а именно, подвергать вначале кровяные стоки обработке микроводорослями в биологических прудах, а затем использовать на орошение декоративных культур. Ранее в лаборатории никогда не возникала такая ситуация на объектах, чтобы в качестве исходной сточной воды для культивирования микроводорослей была предложена кровяная сточная жидкость. Поэтому разработка технологического процесса альголизации кровяных стоков вначале была осуществлена в лабораторных условиях в течение зимы, а затем в полупроизводственных на объекте в течение лета и осени. С этой целью весной в цветочном хозяйстве ОАО «Победа» на основании «типового проекта» [1] были построены земляные модели биологических оксидационных контактных стабилизационных (БОКС) прудов, где проходила отработка режимов обеззараживания стоков скотобойни Клинского мясокомбината.

**Результаты исследований.** Как показали лабораторные экспериментальные исследования, отмирание бактерий *E.Coli* на 98,55-100 % по сравнению с исходной сточной жидкостью было достигнуто на 11-18 сутки с момента инокуляции стоков микроводорослями:

- биомасса микроводорослей увеличилась и на момент отмирания бактерий *E.Coli* в среднем на 99 % превышала первоначальное количество в 1,5-4,1 раза. В условиях проведения полупроизводственных экспериментальных исследований пруды вначале заполняли дождевой водой (поскольку несколько дней выпадали атмосферные осадки), а затем до глубины 0,6 м в пруды наливали водопроводной воды.

В это же время на мясокомбинате имел место нерегулярный забой крупного рогатого скота, поэтому в пруд № 1 было доставлено 20 м<sup>3</sup>, во 2-ой пруд – 40 м<sup>3</sup>, а в пруд № 3 только 2 м<sup>3</sup> кровяной сточной жидкости. Тогда, как объем дождевой и водопроводной воды в каждом пруду составил 120 м<sup>3</sup>, то разбавление кровяных стоков соответственно было равно: в пруду № 1 +6, глубина 1 м; пруд № 2 – 1+3, глубина 0,8; пруд № 3 – 1+6, глубина 0,6 м. В пруды были внесены, как спонтанно развившиеся водоросли, так и искусственно выращенные микроводоросли, в пруд № 2 добавили еще и аммофос. Периодически вода из прудов отбиралась на определение в ней коли-титра, коли-индекса, патогенной флоры и общего микробного числа. Результаты исследований отражены в таблице 1.

Таблица 1

### Сравнительная оценка эффективности процессов самоочищения в БОКС прудах

Наименование микро биологических показателей	Номера прудов и величина разбавления сточной воды экспозиция, сутки					
	пруд № 1		пруд № 2		пруд № 3	
	эксп. сутки	эксп. сутки	эксп. сутки	эксп. сутки	эксп. сутки	эксп. сутки
	1:6	0-ое	1:3	10-ые	1:60	6-ые
Коли – индекс	1000		10000		10000	
Коли – титр	1,1		0,1		0,1	
Общее микробное число (ОМЧ)+22° С	0		23900		500	
Общее микробное число (ОМЧ)+37° С	500		41700		0	
Наличие патогенной флоры, включая условно патогенную	нет		нет		нет	

Таким образом, как видно из данных таблицы 1, кровяные стоки, разбавленные водопроводной водой и атмосферными осадками, в соотношениях от 1:3 до 1:60, при колебаниях температуры воздуха от +11 (ночью) до +29 (днем), поддаются обеззараживанию микроводорослями при внесении их в БОКС пруды. В бактериологическом аспекте эти процессы имеют место, в зависимости от степени выбранных разбавлений кровяных стоков, в течение 0-10 суток. Согласно исследованиям института и Клинской СЭС, после биологических окислительных контактных стабилизационных прудов, обеззараженные и очищенные кровяные стоки можно использовать на орошение, не загрязняя при этом и не причиняя ущерба окружающей среде [3, 4].

По окончании экспериментальной работы была составлена краткая аннотация, которая согласована с главным врачом Клинской СЭС, наряду с этим было рекомендовано на данном объекте продолжить работу и завершить разработку технологии очистки птицеводческих сточных вод с последующим использованием для орошения (полива цветочных культур).

В соответствии с предложенной рекомендацией руководство цветочного хозяйства ОАО «Победа» завершило полностью строительство экспериментальных БОКС прудов. Пруды были облицованы бетоном, оборудованы впускные и выпускные устройства. Была приобретена и оросительная техника – в виде чехословацкой машины «Сигма».

Выявление эффекта обеззараживания и соответствие полученной кровяной сточной жидкости требованиям, предъявляемым санитарными органами, осуществлялось сотрудниками баклаборатории Клинской СЭС. С этой целью в сточной жидкости, до и после процесса обеззараживания ее микроводорослями, бактериологический состав воды, определяли коли-титр, общее микробное число (ОМЧ), условно-патогенную и патогенную микрофлору.

Как показали исследования, величина коли-титра >1, и коли-индекса равна 1000 или менее этого. В процессе обеззараживания кровяных сточных вод микроводорослями имело место на 19 сутки при разбавлении кровяной сточной жидкости водопроводной водой 1:1, на 13 сутки при разбавлении в соотношении 1:2 и 1:3, на 6 и 3 сутки при разбавлении в соотношении 1:5. Патогенная и условно-патогенная флора при этом не была выявлена. Обеззараживание сточных вод убойного цеха Клинского мясокомбината с помощью микроводорослей в БОКС прудах до показателей, предъявляемых санитарными организациями как к воде, направляемой на орошение, возможно.

#### Выводы.

Проведенные экспериментальные и производственные исследования на базе цветочного хозяйства ОАО «Победа» позволили установить возможность и целесообразность применения сточных вод убойных цехов мясокомбинатов после их соответствующей подготовки для орошения цветочных культур.

Предложенная схема обеззараживания сточных вод в БОКС пруда с помощью микроводорослей исключает возможность попадания последних в открытый водоем, поскольку обеззараженный сток планируется в дальнейшем использовать для орошения цветочных культур и на сельскохозяйственных полях орошения. Это мероприятие рассматривается, в том числе, и для всех стоков пищевой промышленности, как необходимое условие, препятствующие и тормозящие процессу эвтрофикации естественных водоемов и в целом Мирового океана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по очистке и обеззараживанию сточных вод населенных пунктов и птицеводческих предприятий в биологических пудах. – М., 1987. – 28 с.
2. Смирнова, И.Р. Теоретическое обоснование, усовершенствование и разработка мероприятий, направленных на оптимизацию технологий естественной биологической очистки сточных вод с возможностью использования их на орошение и рыборазведение. Автореферат. Диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / И.Р. Смирнова. – М., 1997. – 49 с.
3. Субботина, Ю.М. Изучение возможности обеззараживания кровяных стоков в лабораторных и производственных условиях / Ю.М. Субботина. – Материалы V Всероссийская научно-практическая конференция «Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных России». – М.: РГЗАУ, 2011. – С. 416-423.
4. Субботина, Ю.М. Очистка и обеззараживание сточных вод мясокомбинатов / Ю.М. Субботина // Социология и социальная политика. – М.: Изд-во РГСУ, 2010. – № 9. – С. 145-156.

*Материал поступил в редакцию 26.02.19.*

#### DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR BIODECONTAMINATION OF BLOOD WASTE WATER OF MEAT-WARE FACTORY

**Yu.M. Subbotina**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor  
Moscow State University of Food Production, Russia

***Abstract.** The article deals with the issue of wastewater treatment at a meat processing plant in biological ponds. The results of bacteriological and sanitary evaluation are analyzed. The results of the efficiency of self-purification of the meat plant waste are compared depending on their dilution.*

***Keywords:** meat-ware factory, enterobacteria, decontamination, blood waste water, algolization, E.Coli, coli titer, coli index, microalgae.*

---



---

**Agricultural sciences**  
**Сельскохозяйственные науки**

---



---

УДК 631.445.452(574.51)

**ДИНАМИКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ ИЛИЙСКОГО  
АЛАТАУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**А.К. Умбетов<sup>1</sup>, А.М. Балгабаев<sup>2</sup>, А.М. Шибикеева<sup>3</sup>, Г.С. Жақсыбаева<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> доктор сельскохозяйственных наук, профессор,

<sup>2</sup> кандидат сельскохозяйственных наук, профессор,

<sup>3</sup> PhD доктор, ассистент, <sup>4</sup> докторант

Казахский национальный аграрный университет (Алматы), Республика Казахстан

***Аннотация.** В статье приведены результаты обследований нескольких типов почв вертикальной зональности в предгорьях Илийского Алатау. Показано, что в процессе сельскохозяйственного использования показатели плодородия почв (черноземы, светло, темно-каштановые) предгорной зоны Илийского Алатау (гранулометрический состав, содержание гумуса, общего азота, фосфора, калия, подвижных их форм, карбонатов) подвержены заметным изменениям по сравнению с целинными аналогами, особенно в верхних слоях.*

***Ключевые слова:** удобрение, чернозём, темно-каштановая почва, светло-каштановая почва, свекловичный севооборот, сахарная свёкла, минеральный азот, подвижный фосфор, валовый фосфор.*

В последнее время все большее внимание привлекает анализ плодородия почв на производственных участках, с глубоким изучением характеристик почвенного покрова, их связей между собой, образования и взаимодействия.

Так, изучение гранулометрического и химического состава почв дает определенное представление о содержании минеральной и органической частей почв, позволяет проследить изменения их по всему почвенному профилю и тем самым выявить направление почвообразовательного процесса при хозяйственном их использовании. Большое значение этому вопросу придавали многие исследователи [1-4].

Наши исследования проводились путем выбора и закладки разрезов на ключевых участках различных типов почв (черноземы, темно-каштановые, светло-каштановые) вертикальной зональности Илийского Алатау, и на участках длительного стационарного опыта на полях восьмипольного свекловичного севооборота и бесменного посева сахарной свеклы.

Были охвачены следующие зоны предгорий и предгорных равнин: зона предгорная пустынно-степная, пояс предгорных светло-каштановых почв до высоты 750-850 м.

Зона – предгорная степь – от 800 до 1200-1400 м., в этой зоне расположены пояса предгорных темно-каштановых почв до высоты 800-1000 м, предгорных черноземов до 850-1050 м.

В северной части Илийского Алатау, где степная зона спускается и переходит в предгорную равнину, почти 250 тыс. га занимают темно-каштановые и каштановые почвы.

Развиты темно-каштановые на лесовидных карбонатных суглинках. Гранулометрический состав темно-каштановой почвы с разреза, заложенного в 2018 году на опытном участке стационара Казахского научно-исследовательского института картофельного и овощного хозяйства, показан в таблице 1.

Из таблицы видно, что в верхнем горизонте почва суглинистая с содержанием глинистой фракции 40,1 % с последующим увеличением ее в нижних горизонтах (57,4-59,1 %) при постоянном количестве илистой фракции (24,1-25,4 %).

Несколько отличается по гранулометрическому составу темно-каштановая почва на целинном участке, где в верхнем горизонте количество физической глины составило 51,3 %, а илистой 23,8 %. В нижних горизонтах их соотношение изменяется незначительно (50,7-53,6 %; 21,7-22,8 %).

Как видно, верхний слой длительно используемой пашни в результате выпашанности относится к средне суглинистой почве, тогда как в нижних горизонтах пашни и во всех слоях целинного участка она характеризуется как тяжело-суглинистая.



**Гранулометрический состав различных типов почв  
Илийского Алатау в зоне исследований (2018 год)**

№ раз- рез	Почва	Глубина горизонта, см	Абсолютная сухая навеска, % H <sub>2</sub> O	Содержание фракции в % на абсолютную сухую почву						
				Размеры фракции в мм						
				Песок		пыль			Ил	Физ. глина
				1,0- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005	<0,001	<0,01
1	Темно- каштановая почва, пашня	0-30	2,26	2,58	8,62	48,70	2,05	13,91	24,15	40,12
		30-47	2,5	0,53	3,88	38,15	15,59	16,41	25,44	57,44
		47-80	2,46	0,35	27,88	13,53	19,27	14,35	24,61	58,23
		80-100	2,34	0,33	28,30	13,40	20,26	14,60	24,90	58,56
		100-128	2,22	0,31	28,52	13,80	20,53	15,11	25,30	59,10
2	Темно- каштановая почва, це- лина	0-10	2,54	1,05	5,38	42,27	15,60	11,90	23,81	51,30
		10-38	2,40	0,39	3,71	42,21	17,21	14,75	21,72	53,69
		38-54	2,18	0,37	3,23	25,76	13,09	14,72	22,90	50,71
		54-98	1,76	0,16	4,56	42,35	13,84	17,10	22,00	52,93
		98-117	1,67	0,15	3,99	42,63	14,20	18,20	22,56	53,38
3	Чернозем горный, пашня	0-25	2,86	0,12	5,99	37,47	13,59	15,65	27,18	56,41
		25-55	2,1	0,92	6,74	43,72	11,44	15,12	22,06	48,62
		55-95	1,96	1,25	5,92	38,76	16,73	12,24	26,11	55,08
		95-130	1,84	0,21	6,44	39,60	17,40	13,24	25,83	56,40
4	Чернозем горный, целина	0-10	3,68	1,16	12,87	36,13	16,20	12,87	20,76	49,83
		10-38	3,26	0,37	4,53	40,11	13,65	16,95	24,40	55,00
		38-58	2,44	0,16	4,04	42,23	14,35	11,48	27,47	53,30
		58-90	2,14	0,12	13,63	41,28	13,49	7,77	23,71	44,96
		90-117	1,96	0,12	14,10	41,62	13,81	8,30	24,61	46,40
5	Светло- каштановая почва, пашня	0-33	1,94	8,40	18,99	33,04	8,97	14,69	15,91	39,56
		33-51	2,86	2,23	46,15	0,00	13,93	18,03	19,66	51,62
		51-68	2,48	0,92	30,58	23,38	6,15	20,92	18,05	45,12
		68-96	2,24	0,87	31,30	23,90	6,09	21,40	18,30	49,30
		96-132	2,13	0,91	31,64	24,30	5,85	21,64	18,44	50,11

Эти почвы отличаются от чернозема (разрез 3, 4), где в условиях пашни в верхних слоях достаточно высокое содержание как физической глины (56,41 %), так и илистой (27,1 %) фракции, тогда как на целине эти показатели заметно ниже (49,8-55,0; 20,7-24,4 %).

Еще заметнее разница в этих показателях на светло-каштановой почве, у которой в верхнем слое они составляют 39,56 % и 15,91 %. Здесь также следует обратить внимание на то, что длительно обрабатываемый верхний слой почвы, в отличие от нижних горизонтов, можно отнести к среднесуглинистой почве. В целом все изучаемые почвы за исключением пахотных слоев светло и темно-каштановых относятся к категории тяжело-суглинистых.

Таким образом, можно отметить, что при многолетнем использовании почв под возделывание сельскохозяйственных культур (особенно овощных и пропашных) в верхних горизонтах происходит заметное изменение гранулометрического их состава.

Результаты обследований различных типов почв показали динамику изменения агрохимических показателей в зависимости от антропогенных воздействий. Так, использование темно-каштановых почв в течение длительного времени привело к заметному снижению основного показателя плодородия-гумуса с 3,11 на целине до 2,33 % в условиях пашни (таблица 2). Как видно из таблицы 2, на пашне наблюдается относительно равномерное снижение гумуса по горизонтам почвы с 2,33 % в пахотном до 0,82 % в слое 100-128 см.

На целинной почве отмечается довольно высокое содержание гумуса в верхних слоях (0-10-38 см) 3,11-2,33 %, в других слоях резкое уменьшение – до 0,68 %.

Такая же закономерность в содержании гумуса установлена и на черноземе горном, где в условиях пашни величина его снизилась в верхнем слое (0-25 см) до 3,34 %, во втором (25-55 см) до 1,18 %, тогда как на целине в верхнем слое (0-10 см) было 5,07 %-гумуса, во втором (10-38 см) – 2,23 % в третьем (38-58 см) – 3,75 % и даже в слое 90-117 см было 2,15 %.

Еще более низкие показатели гумуса в светло-каштановой почве, где в условиях длительного использования содержание его снизилось в верхнем слое (0-33 см) до 1,65 %. В остальных слоях идет постепенное снижение его до 1,22 % на глубине 96-132 см.

Почти во всех изучаемых почвах содержание общего азота находится в основном в соответствии с количеством гумуса в них.

Так, в темно-каштановой почве на пашне, где гумуса в верхнем слое было 2,33 %, содержание общего азота было всего лишь 0,140 %, тогда как на целине в этой почве при содержании гумуса в верхнем слое 3,11 % общего азота было 0,224 %.

Таблица 2

**Агрохимическая характеристика различных типов почв зоны исследования Илийского Алатау (2018 г.)**

№ разрез	Почва	Глубина горизонта, см	Гумус, %	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %	pH	CO <sub>2</sub> , %	Подвижные формы, мг/кг		
									N <sub>лг.</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	Темно-каштановая почва, пашня	0-30	2,33	0,140	0,224	2,75	8,27	-	30,8	53,0	360
		30-47	1,62	0,126	0,224	3,00	8,14	-	30,8	18,0	220
		47-80	1,08	0,070	0,212	2,87	8,52	1,50	28,0	5,0	180
		80-100	0,98	0,064	0,198	2,65	8,61	2,10	26,3	4,8	170
		100-128	0,82	0,052	0,176	2,48	8,70	2,82	20,4	4,5	149
2	Темно-каштановая почва, целина	0-10	3,11	0,224	0,178	3,06	8,42	1,17	33,6	14,0	710
		10-38	2,33	0,226	0,148	3,00	8,48	0,33	33,6	10,0	610
		38-54	1,25	0,126	0,176	2,75	8,68	3,51	30,8	10,0	460
		54-98	0,71	0,084	0,148	2,19	8,88	-	28,0	5,0	110
		98-117	0,68	0,075	0,130	2,03	8,89	-	25,0	4,8	105
3	Горный чернозем, пашня	0-25	3,34	0,196	0,196	2,69	8,51	4,18	33,6	20,0	250
		25-55	1,18	0,098	0,168	2,19	8,72	11,14	39,2	5,0	90
		55-95	0,88	0,084	0,148	2,25	8,84	9,43	36,4	3,0	90
		95-130	0,72	0,072	0,135	2,17	8,86	9,61	33,6	3,2	84
4	Чернозем горный, целина	0-10	5,07	0,518	0,212	2,75	6,62	-	53,2	41,0	850
		10-38	2,23	0,434	0,200	2,75	6,80	-	50,4	27,0	590
		38-58	3,75	0,196	0,148	2,88	7,21	-	47,6	10,0	300
		58-90	2,30	0,126	0,160	2,00	8,72	11,51	39,2	5,0	90
		90-117	2,15	0,115	0,151	1,96	8,76	12,40	36,7	5,3	84
5	Светло-каштановая почва, пашня	0-33	1,65	0,0098	0,200	2,50	8,61	1,95	28,0	12,0	290
		33-51	1,32	0,084	0,204	2,56	8,68	3,25	25,2	10,0	230
		51-68	1,45	0,126	0,200	2,50	8,60	3,57	28,0	6,0	190
		68-96	1,31	0,118	0,196	2,41	8,62	3,64	24,0	5,5	185
		96-132	1,22	0,109	0,180	2,30	8,64	3,80	20,0	5,2	175

Такая же закономерность отмечается и в горном черноземе, где на пашне в верхнем слое почвы (0-25 см) при содержании гумуса 3,34 % общего азота было 0,196 %, а на целине соответственно 5,07 % и 0,518 %.

В отличие от азота, содержание валового фосфора зависит от степени применения удобрений.

Так, содержание общего фосфора в темно-каштановой почве на пашне, где под овощные культуры применялись в течение длительного времени удобрения, количество общего фосфора составило от 0,224 % в верхнем (0-30 см) до 0,176 % в нижнем (100-128 см) слое. На целинном участке темно-каштановой почвы содержание его значительно ниже и колеблется в пределах 0,178-0,130 в слоях 0-117 см.

И в светло-каштановой почве в условиях пашни довольно высокие показатели содержания общего фосфора (0,204-0,180 %).

Несколько иная картина наблюдается в горном черноземе, где в условиях целины количество валового фосфора было по всему профилю 0,212 %-0,151 %, а на пашне, где практически не применялись удобрения, содержание фосфора в почве было ниже целинного аналога – 0,196-0,135 %.

По содержанию общего калия, как видно из таблицы 2, все изучаемые почвы почти одинаковые между собой.

Так, в темно-каштановой почве на пашне содержание калия колеблется по всему профилю в пределах 3,00-2,48 %.

Такое же количество общего калия по профилю этой почвы определено в условиях целины – 3,06-2,03 %.

В черноземной и светло-каштановой почве также отмечается довольно высокое содержание общего калия по всем изучаемым горизонтам.

Все изучаемые почвы по всему профилю практически одинаково обеспечены легкогидролизуемым азотом, за исключением целинного участка чернозема, где количество легкогидролизуемого азота несколько выше, и пашни на светло-каштановой почве, где, наоборот, содержание легкогидролизуемого азота понижено относительно других.

По содержанию подвижного фосфора изучаемые почвы разнятся как по типам, так и по мере антропогенного воздействия.

Так, в верхнем горизонте темно-каштановой почвы на пашне содержание подвижного фосфора 53,0 мг/кг, в то время как на целинном участке данной почвы в верхних слоях (0-10 см) (10-38 см) содержится всего 14,0-10,0 мг/кг сухой почвы.

В черноземе горном, наоборот, на пашне (20,0 мг), где в течение длительного времени его использования не применялись удобрения, содержание подвижного фосфора оказалось ниже, чем на целине (41,0 мг/кг).

Еще ниже количество подвижного фосфора было в светло-каштановой почве, где многие годы также не вносились удобрения.

Еще более заметно влияние антропогенного воздействия на почву по динамике обменного калия.

Так, в верхних слоях темно-каштановой почвы на пашне содержание обменного калия было 360-220 мг/кг, тогда как на целине эти показатели были в пределах 710-610 мг/кг сухой почвы.

Такая же закономерность установлена и на черноземе горном, где в условиях пашни содержание обменного калия колебалось в пределах 250 мг/кг в верхнем слое, а на целине 850-590 мг/кг.

Содержание карбонатов в изучаемых почвах и их распределение также имеет свои особенности.

Так, в темно-каштановой почве на целине наличие карбонатов отмечается с поверхности почвы и до 0,5 метра, в то время как в условиях пашни они промываются и их присутствие, наоборот, установлено с глубины 0,5 м и далее.

В черноземе горном, на пашне карбонаты в большом количестве по всему профилю, в слое 0-25 см содержание их 4,18 % CO<sub>2</sub>, существенно увеличиваясь в глубине – 11,14-9,61 % CO<sub>2</sub>.

В светло-каштановой почве на пашне содержание их в пахотном слое не высокое – 1,95 % CO<sub>2</sub>, увеличиваясь с глубиной до 3,64-3,80 %.

Таким образом, из данных таблиц видно, что основные показатели, характеризующие те или иные почвы, в основном находятся в соответствии с естественными (целина) типами, и в то же время заметно изменяясь при антропогенных воздействиях в ту или иную сторону.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адехин, П.Г. Химический состав механических фракций черноземов центральных областей / П.Г. Адехин, А.Б. Беляев // Почвоведение. – 1974. – №4. – С. 99-110.
2. Воронин, А.Д. Химический и минералогический состав фракций механических элементов комплекса почв светло-каштановой подзоны / А.Д. Воронин // Науч. докл. высшей школы. Биол. науки. – 1962. – №1. – С. 70-81.
3. Кауричев, И.С. Почвоведение / И.С. Кауричев и др. // Колос. – 1982. – С. 90-108.
4. Княжнева, Е.В. Оценка плодородия чернозема выщелоченного на производственном участке / Е.В. Княжнева, С.М. Надежкин, А.С. Фрид // Агрохимия. – 2005. – №2. – С. 5-16.

*Материал поступил в редакцию 04.03.19.*

**DYNAMICS OF THE SOIL FERTILITY  
OF THE SUBMONTANE ZONE OF ILE ALATAU  
DEPENDING ON ANTHROPOGENIC IMPACTS**

**A.K. Umbetov<sup>1</sup>, A.M. Balgabayev<sup>2</sup>, A.M. Shibikeyeva<sup>3</sup>, G.S. Zhaksybayeva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

<sup>2</sup> Candidate of Agricultural Sciences, Professor,

<sup>3</sup> PhD Doctor, Assistant, <sup>4</sup> Doctoral Student

Kazakh National Agrarian University (Almaty), Republic of Kazakhstan

***Abstract.** The article presents the results of surveys of several types of soils of altitudinal sequence in the submontane zone of the Ile Alatau. It is shown that in the process of agricultural use, the indicators of soil fertility (chernozem, light-brown, dark brown soils) of the submontane zone of the Ile Alatau (granulometric texture, humus level, total nitrogen content, phosphorous content, potassium content, labile potassium content, carbonates) are subject to noticeable changes compared with virgin soil, especially in the topsoil.*

***Keywords:** fertilizer, chernozem, dark brown soil, light brown soil, beet cellar crop rotation, sugar beet, mineral nitrogen, labile potassium, gross phosphorus.*

---

---

**Historical sciences and archeology**

---

---

**Исторические науки и археология**

УДК 93:902

**АМИР ТЕМУР – ПОКРОВИТЕЛЬ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ****М.С. Комилов<sup>1</sup>, Р.А. Пирназаров<sup>2</sup>**<sup>1, 2</sup> старший преподаватель кафедры «Вооружение и стрельбы»  
Академия Вооружённых Сил Республики Узбекистан, Узбекистан

*Аннотация.* В статье освещены роль и значение духовного наследия эпохи Амира Темура, личности Сахибкирана как государственного деятеля, великого строителя, покровителя науки и просвещения, непревзойдённого полководца, его заслуга в истории человеческой цивилизации.

*Ключевые слова:* государство, дипломатия, культура, развитие науки, литература, искусство, ремесло, архитектура, памятники, искусства.

Одной из важнейших особенностей наследия эпохи Темуридов является создание огромной могущественной державы, где были заложены основы для расцвета духовной культуры, науки и образования, возрождения традиций. Будучи меценатом этого процесса, Амир Темура покровительствовал учёным, поэтам, архитекторам, искусным ремесленникам и одарённым людям. Несомненно, что эта созидательная деятельность Амира Темура, заложенные им традиции покровительства наукам, искусствам, архитектуре, духовному развитию общества в целом, впоследствии продолженные лучшими представителями династии Темуридов, внесла огромный вклад в общественное и культурное развитие эпохи, в прогресс мировой цивилизации, мировую историю в целом.

Даже сообщество историков в Европы хорошо знает, что при правлении династии Темуридов развивались богословие, философия, история, литература, юриспруденция, математика, астрономия, медицина, градостроительство и другие науки. Общий духовный подъем породил целую плеяду блестящих ученых. Не случайно этот период в истории получил достойное название – эпоха Восточного Ренессанса. Именно поэтому французы в XV веке поставили памятник Амиру Темуру. Он был прагматично мыслящей личностью и ценил все, что могло бы принести практическую помощь народу. При нем возводились дворцы, мечети, мавзолеи, загородные сады, мастерские, городские укрепления.

Любовь к науке в дальнейшем сделала из Амира Темура великого мецената. В столице своего государства он собрал самые яркие умы того времени, привёз сюда самых умелых зодчих и других мастеров, превративших Самарканд в культурный центр страны и прекраснейший город на земле.

Стоит отметить, что Амир Темура занимался и законодательской деятельностью. Он создал труд под названием «Уложения Темура», в котором изложил своё видение наиболее эффективного государственного устройства, а также основополагающие принципы управления страной. Оказывая сильную государственную и личную поддержку представителям науки и искусства, а также ремесленникам и мастерам он оказал огромное влияние на развитие культурной жизни. Отечественные историки сходятся во мнении, что наука, литература, искусство, ремесло и зодчество находились в полном расцвете, о чём свидетельствуют в первую очередь архитектурные памятники его периода, сохранившиеся до наших дней. Темура пытался повысить экономическую мощь своего государства, исходя из этих целей тратил своё богатство, собранное в результате завоевательских походов в другие страны, на благоустройство городов Мавераннахра.

В данный период также наблюдается развитие миниатюрного жанра и монументального изобразительного искусства. Было создано несколько образцов произведений по миниатюре. Памятники изобразительного искусства, дошедшие до нас, свидетельствуют о формировании отдельных жанров и направлений искусства в Самарканде, Герате и Бухаре, а также развитие более реального описания настоящей жизни того времени.

Как свидетельствуют исторические факты по приказу Амира Темура в каждом городе было построено «мечети, общественные школы, монастыри, богадельни для бедных и убогих и больницы, при которых находились врачи...». Возводились здания медресе, бани и другие сооружения. К примеру, медресе, сыгравшие важную роль в странах Востока, по мнению академика Г.А. Пугаченковой представляли собой не столько духовную семинарию, сколько университет с большим уклоном в теологию, что являлось в то время типичным и для университетов Европы.

Темур был большим ценителем и знатоком литературы и поэзии, обращал особое внимание на их развитие и различные отрасли знаний (истории, музыки, математики, геометрии, астрономии).

В результате исследований видных ученых докторов искусствоведческих наук Л.И. Ремпель и Г.А. Пугаченковой, занимавшихся историей искусства Центральной Азии было установлено, что в конце XIV начале XV вв. в Мавераннахре, в частности в Самарканде, зародилось новое искусство. В Мавераннахре распространился своеобразный оригинальный жанр зодчества и искусства Центральной Азии, и его особенности отражали художественное мышление, бытовавшее во всем Среднем и Ближнем Востоке.

В период правления Амира Темура музыканты и певцы являлись постоянными участниками официальных-дипломатических, военных и других торжеств, народные представления и массовые праздники не проходили без них. А в свою очередь это привело к тому, что музыкальное искусство смогло получить особое место в ряду других жанров искусства. Как правильно подчёркивается в источниках, что наряду с узбекской народной музыкой, также развивались военно-официальный жанр музыки, классические макамы, также фольклор не только узбекского народа, но и других народов региона. Самое важное в том, что музыкальные инструменты превратились в символ храбрости, отваги и мужества.

Любимым его занятием были беседы с учеными и путешественниками. Темур интересовался также литературой, философией, математикой, ценил всякое знание, особенно приносящее практическую пользу, – медицину, астрономию, архитектуру. Сам он был образованным человеком, изумлял ученых своими познаниями в различных науках, прежде всего в географии. Он считал, что игра в шахматы способствует развитию мысли, поэтому не только любил играть в них, но даже их усовершенствовал.

Амир Темур с большим уважением относился к книгам. «Книга – основа всех созиданий, мудрости и науки, учитель жизни», – говорил он. Исторические источники свидетельствуют, что в дворцовой библиотеке Темура в Кук-сарайе было более 13,5 тысячи книг по разным отраслям знаний на арабском, тюркском, персидском, латинском и других языках.

В период правления Темура возрос интерес к античной культуре, раннесредневековому философскому наследию народов Мовароуннахра, Индии, арабских стран. Особое внимание уделялось созданию и переписыванию научных трудов и произведений художественной литературы. Это способствовало возникновению большого количества библиотек, которые создавались при дворах местных правителей или принадлежали частным лицам. Кроме того, в каждом медресе имелись свои читальни. Известно, что большая часть дани, получаемой Темуром с завоеванных стран, направлялась в первую очередь на строительство медресе, игравших в то время роль университетов, различных общественных зданий, в том числе библиотек, на работы по благоустройству городов и других населённых пунктов. В эпоху Амира Темура возводились дворцы, мечети, мавзолеи, загородные сады, мастерские, торговые ряды, городские укрепления. Велось строительство, размах и масштабы которого не знали себе равных в истории Средней Азии.

Сегодня достижения этого гениального предка узбекского народа получили достойную оценку. Его заслуги перед человеческой цивилизацией чтятся не только в Узбекистане, но и за рубежом. Сверхчеловеческое наследие Амира Темура – ярчайший пример того, как мудрая воля главы государства продолжает вносить вклад в развитие страны много столетий спустя его правления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусаев, Н.У. Маданиятшунослик. (Ўқув кўлланма) / Н.У. Мусаев, Ҳ.И. Азимов. – Тошкент: ТДЮИ, 2009.
2. Раҳмонов М. Темур ва темурийлар даври санъатига бир назар (взгляд на искусство эпохи Амира Темура и Темуридов // Амир Темур ва Темурийлар даврида маданият ва санъат. (Маколалар) / М. Раҳмонов. – Тошкент: Ғофур Ғулом, 1996.
3. Руи Гонсалес де Клавихо. Амир Темур Европа элчилари нигоҳида. Буюк Амир Темур тарихи. (Амир Темур в центре внимание европейских послов. История Великого Амира Темура / Руи Гонсалес де Клавихо. – Тошкент: Ғофур Ғулом, 2007.
4. Руи Гонсалес де Клавихо. Самарқандга – Амир Темур саройига саёҳат кундалиги (1403-1406 йиллар) (Дневник путешествия в дворец Амира Темура в Самарканд / Руи Гонсалес де Клавихо. – Тошкент: Ozbekiston, 2010.
5. Темур Тузуклари. Уложения Темура / Темур Тузуклари. – Тошкент: Ғофур Ғулом, 1996.

*Материал поступил в редакцию 04.03.19.*



**AMIR TEMUR – A PROTECTOR OF SCIENCE AND CULTURE**

**M.S. Komilov<sup>1</sup>, R.A. Pirnazarov<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Senior Lecturer at the Department of “Armament and Shooting”  
Academy of Armed Forces of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan

***Abstract.** The article highlights the role and importance of the spiritual heritage of the era of Amir Temur, the personality of Sahibkiran as a statesman, a great builder, patron of science and education, an unsurpassed commander, his merit in the history of human civilization.*

***Keywords:** state, diplomacy, culture, science development, literature, art, craft, architecture, monuments, art.*

УДК 94 (575.1)

## ОБ ЭТНИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ТУРКЕСТАНСКОГО КРАЯ В ПЕРИОД ПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ

У.Б. Маттиев, преподаватель истории

Академический лицей Самаркандского института ветеринарной медицины, Узбекистан

***Аннотация.** Завоевание Туркестанского края Российской империей оказало влияние на его этнический состав. По этой причине, изучение этнического состава Туркестанского края в указанный период представляется важным. В статье освещены некоторые вопросы этнического состава Туркестана в период колонизаторства.*

***Ключевые слова:** Туркестанское генерал-губернаторство, этнический состав, общее количество населения, граждане империи, статистика, иностранцы, не имеющие российское гражданство, российские крепости.*

После завоевания Туркестанского края Российская империя стала крупнейшим колонизатором во всём мире. Общая площадь Туркестанского генерал-губернаторства, образованного в конце XIX века на завоёванных территориях, составила 1.738.918 кв.км., что значительно превышает вместе нескольких взятых стран Европы. Административно-территориальная структура Туркестанского генерал-губернаторства включала в себя такие области, как Сырдарья, Еттисув, Самарканд, Фергана и Закаспийская область, а также реку Амударья. Самыми густонаселёнными регионами в этот период были Самаркандская, Сырдарьинская и Ферганская области. В частности, по неполным данным Всероссийской переписи населения от 1897 года в Закаспийской области проживало 383 тыс. человек, в Самаркандской – 860 тыс. людей, в Сырдарьинской – 1 млн. 478 тыс., в Ферганской – 1 млн. 572 тыс. и Еттисувской 988 тыс. человек, всего – 5 млн. 281 тыс. человек [4, с. 11].

Согласно данным, собранным Российским статистическим управлением в 1914 году, общее количество населения Туркестанского края составило 6 млн. 492 тыс. 604 человека [2, с. 38]. В общем составе населения Туркестанского края этническим большинством были узбеки, казахи, киргизы, таджики, туркмены и каракалпаки. В процентном соотношении это выглядело следующим образом: узбеки – 35,7 %, казахи и киргизы – 44,66 %, туркмены – 4,98 %, таджики – 6,73 %, каракалпаки – 2,26 %, русские – 3,75 % и другие народности 2,15 % [6, с. 438].

Колониальная политика, осуществлённая зодчими Российской империи, оказала своё заметное влияние на этнический состав населения края. В результате, большими темпами возросло количество русского, украинского и белорусского населения. В частности, если количество русскоговорящего населения в крае составляло в 1897 году – 197 тыс. 240 чел., то к 1911 году этот показатель возрос до 406 тыс. 607 человек [2, с. 38]. Вместе с тем, в этот период край начали населять иностранцы не русского происхождения. Так, в одну только Закаспийскую область в 1894 году переселилось более 3 тысяч армян из Турции. В конце XIX – начале XX вв. 55,8 % всех иностранцев области составили русские, 21 % – иранцы, 13,3 % – армяне и 14,9 % представители других национальностей [5, с. 77].

Кроме того, в Сырдарьинской области Туркестанского генерал-губернаторства начали появляться русские крепости под предлогом благоустройства голодной степи Мирзачуль. В этих крепостях жили солдаты из разных уголков России, закончившие воинскую службу, русские земледельцы, приехавшие в Среднюю Азию за хорошей жизнью и т.п. Так, на месте начала строительства Бухарского канала возник первый русский городок – Запорожье. В таком же порядке образовались – в 1886 году крепость Надежды, в 1887 году – крепость Романова, а в 1891 году – крепость Никольская. В 1896-1897 годах в северной части степи было создано еще четыре населённых пункта [3, с. 68].

В этот период количество эмигрирующих в Туркестан из Центральной России увеличивалось из года в год. По статистическим данным, с 1875 по 1890 гг. в Туркестан эмигрировало 1300 семей и появились 19 русских деревень, в 1891-1892 гг. во время усиления голода в России количество этих деревень возросло до 25. Также, в конце XIX в Туркестане были построены 116 русских поселков, в которых проживало 70.745 человек, к началу XX века количество русского населения в крае составило 197.420 человек [1, с. 120-121].

Вместе с тем, в указанный период этнический состав населения Туркестанского края обогатили татары, башкиры, грузины, армяне, латыши, литовцы, поляки, кашгарцы, уйгуры, таранчи, персы, индийцы, курды и афганцы. Если в сельской местности Туркестанского генерал-губернаторства проживало 86 % местного и 17 % неместного населения, то в городах проживало 14 % местного и 83 % неместного населения. Доля городского населения была относительно выше в таких крупных торгово-промышленных и административно-политических центрах, как Ташкент, Коканд, Верный, Андижан, Самарканд, Маргелан [2, с. 39].

Хотя ожидаемой Российской империей ассимиляции культур и этносов не произошло в силу разных обстоятельств: нежелание большинства русскоязычного населения изучать язык и традиции местного населения,

неприятие местными некоторыми элементами русской культуры и т.п., контакт между культурами несомненно имел место. В качестве примера можно взять биографию известного ориенталиста-переселенца Владимира Петровича Наливкина. В 1878 году этот учёный жил в местности Радван Ферганской области, затем же он поселился в кишлаке Нанай (совр. территория Наманганской области). Выучив узбекский язык, он был своего рода мостом между двумя культурами. В.П. Наливкин написал ряд трудов по культуре, быту, языку местного населения. Отметим, что в результате противоречивых и импульсивных действий Царской России относительно коренных этносов колонизированных регионов одинаково страдали как местное население, так и российские переселенцы.

В заключение необходимо отметить, что в период правления Российской империи в Туркестанском крае проживало множество национальностей и народов. Колониальная политика, проведённая империей, не могла не повлиять на этнический состав региона в целом. В указанный период в Среднюю Азию начали переселяться не только русское и русскоязычное население, но нерусские граждане Российской империи. Расширение этнического состава населения Туркестанского края в результате политики Царской России по переселению русского населения в Среднюю Азию остаётся одной из ярких особенностей данной исторической эпохи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаффоров, Ш.С. Тарих ва тақдир: Россия империясидан Туркистонга кўчирилганлар / Ш.С. Гаффоров. – Т.: “Фан”, 2006.
2. Қосимова, Ф. Чор Россиясининг мустахлак бошқарув усуллари / СамДУ тарих факультети “Ўзбекистон тарихи” кафедраси магистрлари ва иқтидорли талабаларининг 2013 йилдаги илмий тадқиқот ишлари яқунларига бағишланган илмий мақолалар тўплами / Ф. Қосимова. – Самарқанд, 2014.
3. Мамарасулов, Д.Т. Сирдарё вилоятида рус кишлоқларининг вужудга келиши ва аҳоли демографияси ҳақида статистик тадқиқот натижалари / СамДУ тарих факультети профессор-ўқитувчилари ва илмий ходимларининг илмий тадқиқот анъанавий LXXIX конференция материаллари / Д.Т. Мамарасулов. – Самарқанд, 2013.
4. Мусаев, Н. Туркистонда саноат ишлаб-чиқаришининг вужудга келиши ва ривожланиши тарихидан (XIX асрнинг иккинчи ярми XX- аср бошлари) / Н. Мусаев. – Т.: Молия-иқтисод, 2011.
5. Рахимов, Б.Э. Каспийorti вилоятида янги иқтисодий инфратузилмаларнинг шаклланиши (коммуникация, банклар) / Ўзбекистон давлатчилиги тарихининг долзарб масалалари / Б.Э. Рахимов. – Самарқанд, 2015.
6. Эшов, Б. Ўзбекистонда давлат ва маҳаллий бошқарув тарихи / Б. Эшов. – Т.: “Янги аср авлоди”, 2012.

*Материал поступил в редакцию 28.02.19.*

#### ON THE ETHNIC CONTENT OF TURKESTAN IN THE PERIOD OF RUSSIAN EMPIRE

**U.B. Mattiyev**, Lecturer of History

Academic Lyceum of Samarkand Institute of Veterinary Medicine, Uzbekistan

**Abstract.** *Occupation of Turkistan by Russian empire caused its ethnic content. That is why, it is significant to learn ethnic content of Turkistan in that period. Present article is devoted to identify some issues of ethnic content of Turkistan in the period of Russian empire.*

**Keywords:** *Turkistan governor-generalship, ethnic content, total amount of population, inhabitants of empire, statistics, foreigners who was not Russians, Russian bastion.*

*Для заметок*

*Для заметок*

# Наука и Мир

## Ежемесячный научный журнал

№ 3 (67), Том 1, март / 2019

Адрес редакции:  
Россия, 400081, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г», оф. 312.  
E-mail: [info@scienceph.ru](mailto:info@scienceph.ru)  
[www.scienceph.ru](http://www.scienceph.ru)

Изготовлено в типографии ООО «Сфера»  
Адрес типографии:  
Россия, 400105, г. Волгоград, ул. Богунская, 8, оф. 528.

Учредитель: ООО Издательство «Научное обозрение»

ISSN 2308-4804

Редакционная коллегия:  
Главный редактор: Мусиенко Сергей Александрович  
Ответственный редактор: Маноцкова Надежда Васильевна  
Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук  
Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук  
Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук  
Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук  
Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук  
Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук  
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук  
Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук

Подписано в печать 25.03.2019 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура Times New Roman. Заказ № 89. Свободная цена. Тираж 100.