

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2022 • 1

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944



ALMATY, NAS RK

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

Редакция алқасы:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич (бас редактордың орынбасары), медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 23

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея) Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург, Ресей) Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш Республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Ақушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі (Чебоксары, Ресей) Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры (Карачи, Пәкістан) Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ) Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н = 26

РОСС Самир, Ph.D, Миссисипи университетінің Фармация мектебі өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу орталығының профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 26

МАЛЪМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша) Н = 22

ОЛИВЬЕРО Росси Сезаре, Ph.D (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) Н = 27

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online),

ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

Редакционная коллегия:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич (заместитель главного редактора), доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 11

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан) Н = 23

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея) Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан) Н = 12

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия) Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, академик НАН РК, доктор медицинских наук, профессор, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан) Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия) Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США) Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н = 26

РОСС Самир, доктор Ph.D, профессор Школы фармации Национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 26

МАЛЬМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша) Н = 22

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (Ph.D, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия) Н = 27

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»**ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemistry, Professor, Academician of NAS RK, President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) H = 4

Editorial board:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 11

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 23

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

SANG-SOO Kwak, Ph.D in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB) (Daecheon, Korea) H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 12

ABIYEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan) H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia) H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA) H = 27

CALANDRA Pietro, Ph.D in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H = 26

ROSS Samir, Ph.D, Professor, School of Pharmacy, National Center for Scientific Research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland) H = 22

OLIVIERRO ROSSI Cesare, Ph.D in Chemistry, Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy) H = 27

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Р.Н. Асылбаев^{1*}, Г.М. Баубекова², Э.Ш. Анаева¹

¹Павлодарский педагогический университет, Павлодар, Казахстан;

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: ruslanassylbay@yandex.ru

ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ MgO И CaF₂, ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

Аннотация. Монокристаллы оксида магния MgO и фторида кальция CaF₂ являются широкозонными диэлектрическими материалами, применяемыми в науке и технике. В данной исследовательской работе образцы MgO и CaF₂, предварительно облученные при комнатной температуре высокоэнергетическими ионами Xe¹³² с энергией иона 230 МэВ с флюенсом 10¹³ - 5·10¹³ ион/см², были изучены методами термоактивационной спектроскопии. Ток облучения был в пределах 5-6 нА/см². Для данных образцов были измерены кривые термостимулированной люминесценции при линейном нагреве со скоростью 2 К/с в интервале температур от 300 до 750 К. Полученные кривые демонстрируют комплексную структуру, состоящую из элементарных пиков. Путем аппроксимации экспериментальной кривой термостимулированной люминесценции кристаллов MgO и CaF₂ функциями первого порядка кинетики были выделены отдельные пики термовысвечивания. Посредством аппроксимации исследованы кинетические параметры зарядовых ловушек: вычислены энергии активации и частотные факторы. Все выполненные теоретические аппроксимации в рамках данной работы были в пределах допустимого значения погрешности до 3.5%. Для кристалла CaF₂ дополнительно измерены и изучены спектры термостимулированной люминесценции в интервале температур от 340 до 630 К при нагреве с постоянной скоростью 10 К/с. Определен спектральный состав отдельных пиков термостимулированной люминесценции – для отдельных пиков были сопоставлены полосы свечения при термовозбуждении. Для каждой полосы свечения представлены температурные зависимости их интенсивности. Полученные экспериментальные результаты были проанализированы и определены предположительные радиационные дефекты, ответственные за термостимулированную люминесценцию.

Ключевые слова: оксид магния, фторид кальция, ионное облучение, радиационные дефекты, термостимулированная люминесценция.

Р.Н. Асылбаев^{1*}, Г.М. Баубекова², Э.Ш. Анаева¹

¹Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан;

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

E-mail: ruslanassylbay@yandex.ru

ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ИОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН CaF₂ ЖӘНЕ MgO МОНОКРИСТАЛДАРЫНЫҢ ТЕРМОБЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ

Аннотация. Магний оксиді MgO мен кальций фториді CaF₂ монокристалдары ғылым мен техникада кеңінен қолданылатын кең аймақты диэлектрлік материалдар болып табылады. Бұл зерттеу жұмысында алдын ала бөлме температурасында энергиясы 230 МэВ болатын жоғары энергиялы Xe¹³² иондарымен

10^{13} - $5 \cdot 10^{13}$ ион/см² флюенс аралығында сәулелендірілген MgO және CaF₂ үлгілері термобелсенді спектроскопия әдістерімен зерттелді. Сәулелендіру тоғы 5 - 6 нА/см² аралығында болды. Бұл үлгілер үшін 300-ден 750 К-ге дейінгі температура аралығында 2 К/с жылдамдықпен сызықтық қыздыру кезінде термобелсендірілген люминесценция қисықтары өлшенді. Алынған қисықтар қарапайым шыңдардан тұратын күрделі құрылым болып келетіні анықталды. MgO және CaF₂ кристалдарының термобелсендірілген люминесценциясының эксперименттік қисығын кинетиканың бірінші ретті функциялары бойынша аппроксимациялау арқылы термолюминесценцияның жеке шыңдарын анықтау мүмкіндігі туды. Аппроксимациялау арқылы заряд тұзақтарының кинетикалық параметрлері зерттелді: активтендіру энергиясы мен жиілік факторлары есептелді. Осы жұмыс шеңберінде барлық орындалған теориялық жуықтаулар қателіктің рұқсат етілген мәні шегінде 3.5%-ға дейін болды. CaF₂ кристалы үшін қосымша зерттеу ретінде 10 К/с тұрақты жылдамдықпен 340-тан 630 К дейінгі температура аралығында қыздырылған кезде пайда болатын термобелсендірілген люминесценция спектрлері өлшенді және зерттелді. Термобелсендірілген люминесценцияның жеке шыңдарының спектрлік құрамы анықталды және жеке шыңдар үшін термиялық қоздыру кезіндегі жарқыл жолақтары салыстырылды. Әрбір жарқыл жолағы үшін олардың қарқындылығының температуралық тәуелділік графиктері көрсетілді. Алынған эксперименттік нәтижелер талданып, болжам бойынша термобелсендірілген люминесценцияға жауап беретін радиациялық ақаулар анықталды.

Түйін сөздер: магний оксиді, кальций фториді, иондық сәулелену, радиациялық ақаулар, термобелсендірілген люминесценция.

R. Assylbayev^{1*}, G. Baubekova², E. Anaeva¹

¹Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, Kazakhstan;

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

E-mail: ruslanassylbay@yandex.ru

THERMOSTIMULATED LUMINESCENCE OF CaF₂ AND MgO SINGLE CRYSTALS IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS

Abstract. Single crystals of magnesium oxide MgO and calcium fluoride CaF₂ are wide-band dielectric materials used in science and technology. In this research paper, samples of MgO and CaF₂ pre-irradiated at room temperature with high-energy Xe¹³² ions with an ion energy of 230 MeV with fluence 10^{13} - $5 \cdot 10^{13}$ ion/cm² were studied by thermal activation spectroscopy. The irradiation current was in the range of 5-6 nA/cm². For these samples, thermally stimulated luminescence curves were measured under linear heating at a rate of 2 K/s in the temperature range from 300 to 750 K. The resulting curves demonstrate a complex structure consisting of elementary peaks. By approximating the experimental curve of thermally stimulated luminescence of MgO and CaF₂ crystals by first-order kinetic functions, separate peaks of thermal illumination were isolated. Kinetic parameters of charge traps are investigated by means of approximation: activation energies and frequency factors are calculated. All theoretical approximations performed within the framework of this work were within the permissible error value up to 3.5%. For the CaF₂ crystal, the thermally stimulated luminescence spectra were additionally measured and studied in the temperature range from 340 to 630 K when heated at a constant rate of 10 K/s. The spectral composition of individual peaks of thermally stimulated luminescence was determined – for individual peaks, the glow bands during thermal excitation were compared. Temperature dependences of their intensity are presented for each glow band. The experimental results obtained were analyzed and the suspected radiation defects responsible for the thermally stimulated luminescence were determined.

Key words: magnesium oxide, calcium fluoride, ion irradiation, radiation defects, thermostimulated luminescence.

Введение. Монокристаллы фторида кальция CaF₂ и оксида магния MgO являются популярными широкозонными ионными кристаллами. Применение данных материалов обусловлено целым рядом их свойств. MgO имеет гранецентрированную кубическую структуру с шириной запрещенной зоны 7.8 эВ. Данный материал является перспективным для атомной и термоядерной энергетики из-за своей высокой радиационной стойкости и низкой эффективности создания и накопления радиационных дефектов. CaF₂ является ионным кристаллом гранецентрированной кубической структуры с шириной

запрещенной зоны около 12 эВ. Данный объект в основном используется в качестве оптического материала из-за своей прозрачности в широком спектральном диапазоне и достаточно низкого показателя преломления. Также CaF_2 применяется в качестве сцинтилляционного детектора и радиационного дозиметра. Присутствие примесей и создание собственных дефектов при облучении ионизирующей радиацией сильно влияет на свойства данных материалов.

В данной статье был проведен анализ кривых и спектров термостимулированной люминесценции для кристаллов MgO и CaF_2 , облученных высокоэнергетическими ионами Xe^{132} с энергией иона 230 МэВ. Посвящен ряд работ изучению влияния ионного облучения на монокристаллы MgO [1]–[6] и CaF_2 [7]–[11]. В настоящей статье особое внимание было уделено монокристаллу CaF_2 из-за его широкого применения в радиационной дозиметрии [12]. Известно, что одним из главных требований к термолюминесцентным дозиметрам является стабильность дозиметрических пиков свечения. Работа термолюминесцентных дозиметров связана с процессом термостимулированной люминесценции (ТСЛ). ТСЛ – это излучение света предварительно подвергнутому воздействию радиации веществом, происходящее во время его последующего нагрева. Причиной ТСЛ является то, что множество вакансий, интерстициалов и дислокаций могут действовать как зарядовые ловушки для электронов и дырок и/или люминесцентные центры. Последующее освобождение захваченных носителей зарядов посредством нагрева образца может приводить к излучению света. Интенсивность ТСЛ пропорциональна концентрации ловушек, а также поглощенной дозе радиации, что позволяет использовать данное явление в радиационной дозиметрии.

Термолюминесценция используется в качестве экспериментального метода для изучения электронных и дырочных ловушек в твердых телах, а также кинетики процессов захвате и рекомбинации. Изучение термолюминесцентных свойств кристаллов MgO и CaF_2 играет важную роль в термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). Несмотря на то, что кристалл MgO не так популярен в данной отрасли, имеются работы, посвященные применению данного материала в качестве ТЛД для регистрации нейтронной радиации в смешанном поле нейтрон-гамма радиации [13].

Настоящая статья является логическим продолжением работы [14], где представлены результаты исследования ТСЛ для CaF_2 , облученных различными дозами (флюенсами) ионов Xe^{132} . В настоящей работе были исследованы спектры ТСЛ и отдельные полосы свечения были сопоставлены с пиками ТСЛ.

Материалы и методы. Монокристаллы MgO высокой чистоты были выращены в лаборатории Физики ионных кристаллов Института физики Тартуского университета (г. Тарту, Эстония) методом дуговой плавки. Монокристаллы CaF_2 были выращены в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова (Санкт-Петербург, РФ) методом Бриджмана-Стокбаргера в графитовом тигле.

Образцы были облучены ионами Xe^{132} с энергией 230 МэВ/ион, зарядом +22e (e – заряд электрона) с флюенсом $5 \cdot 10^{13}$ ион/см². Облучение выполнялось на циклотроне DC-60 (г. Нур-Султан, Казахстан).

Кривые термостимулированной люминесценции измерялись на установке Harshaw Model 3500 TLD Reader. Принцип действия установки основан на преобразовании энергии ионизирующего излучения, поглощенного исследуемым кристаллом, в световое излучение с помощью контролируемого нагрева. Работа прибора контролируется программным обеспечением WinREMS. Нагрев проводится в интервале температур 300-873 К.

Исследование спектров излучения в области различных пиков ТСЛ облученного образца было выполнено в криостате Janis VPF-800 с использованием двухканального регистрационного метода. Кривые ТСЛ записывались фотонно-счетной головкой Hamamatsu H8259 в интервале температур 295-750 К при скорости нагрева 10 К/мин, контролируемой температурным регулятором LakeShore 335. Для понижения интенсивности интегральной кривой ТСЛ перед H8259 ставился нейтральный стеклянный фильтр HC-13. Спектр излучения измерялся за время 60 с, измерения повторялись в каждом пике ТСЛ с использованием решеточного монохроматора ARC SpectraPro 2300i, оснащенного охлаждаемым азотом CCD детектором. При данной скорости нагрева каждый спектр излучения измерялся за температурный промежуток в 10 К. Эксперимент контролировался компьютерной программой на базе LabView.

Для анализа кривых ТСЛ был использован метод аппроксимации с применением функции для первого порядка кинетики по формуле (1) [15]:

$$I_1(T) = I_m \exp \left[1 + \frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m} - \frac{T^2}{T_m^2} \cdot \exp \left(\frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m} \right) (1 - \Delta) - \Delta_m \right], \quad (1)$$

где T_m – температура на максимуме пика, I_m – интенсивность на максимуме пика, E – энергия активации, k – постоянная Больцмана, $\Delta = 2kT / E$, $\Delta_m = 2kT_m / E_m$. Частотный фактор s вычислялся по формуле (2):

$$s = \frac{\beta E}{kT_m^2} \frac{1}{Z_m} \exp\left(\frac{E}{kT_m}\right) \quad (2)$$

где β – скорость нагрева.

Для оценки погрешности аппроксимации использовалась величина FOM (Figure of Merit) [16], вычисляемая по формуле (3):

$$FOM = \frac{\sum_T |I_{\text{exp}}(T) - I_{\text{app}}(T)|}{\sum_T I_{\text{exp}}(T)} \times 100\%, \quad (3)$$

где I_{exp} – экспериментальные значения интенсивности, I_{app} – значения интенсивности, полученные при аппроксимации. Принято, что при значениях FOM в интервале 0-2,5% аппроксимация считается хорошей, 2,5-3,5% – удовлетворительной, но с некоторым разбросом значений, и $FOM > 3,5\%$ – не удовлетворительной. Все выполненные аппроксимации в рамках данной работы были в пределах допустимого значения FOM до 3,5%.

Следует отметить, что ТСЛ также зависит от условий эксперимента: на какой установке, в какой атмосфере, с какой скоростью производился нагрев, на какой подложке располагался кристалл во время нагрева, как измерялась температура и т.д. В зависимости от этих условий мы можем получать кривые ТСЛ с пиками, смещенными на некоторую величину как в высокотемпературную, так и низкотемпературную стороны температурной шкалы. Интенсивности пиков ТСЛ зависят от площади/объема нагреваемого кристалла.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлена кривая ТСЛ монокристалла MgO, облученного ионами Xe¹³² до флюенса 10¹³ ион/см². Как видно из рисунка, облученный ионами MgO имеет структурную ТСЛ в интервале 400-800 К, состоящую из нескольких пиков свечения. На рисунке также представлена аппроксимация данной кривой ТСЛ посредством кривых первого порядка кинетики. Параметры пиков ТСЛ представлены в таблице 1.

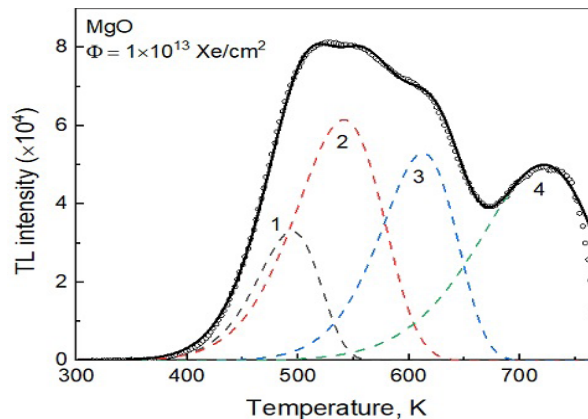


Рисунок 1 – Кривая ТСЛ кристалла MgO, облученного при 295 К ионами Xe¹³² с флюенсом 10¹³ ион/см²

Таблица 1 - Кинетические параметры пиков ТСЛ (MgO, $\Phi = 10^{13}$ Xe/см²)

Параметр	Пик 1	Пик 2	Пик 3	Пик 4
Температура на максимуме пика T_m , К	494	540	612	720
Энергия активации E , эВ	0,7	0,6	0,9	0,8
Порядок кинетики b	1	1	1	1
Частотный фактор P_0	$9,2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,44 \cdot 10^6$	$1,42 \cdot 10^4$

MgO демонстрирует комплексную термолюминесценцию. При облучении кристалла MgO высокоэнергетическими ионами, за счет ударного (доминантного в данном материале) и неударного механизмов, связанного с распадом электронных возбуждений, в нем создаются радиационные дефекты как в анионной, так и в катионной подрешетке. Созданный анионный интерстициал (ион кислорода в междоузлии) может быть захвачен вблизи катионной вакансии с образованием Н центра

– O_2^- молекулы. Пик ТСЛ около 720 К можно связать с термическим разрушением Н центров. При разрушении данного центра высвобождается анионный интерстициал, который в последующем излучательно рекомбинирует с F^+ центром, наличие которого в большой концентрации доказано во многих работах [3].

CaF_2 демонстрирует интенсивную ТСЛ с явно выделяющимися пиками. На рисунке 2 представлена кривая ТСЛ образца CaF_2 , облученного при комнатной температуре ионами Xe^{132} с флюенсом $5 \cdot 10^{13}$ ион/см². ТСЛ имеет интенсивный пик с максимумом при 575 К. Как показано в [11], основная стадия отжига центров окраски в облученном в аналогичных условиях кристалле CaF_2 происходит до температуры примерно 560 К. Данная кривая ТСЛ была аппроксимирована с применением функций первого порядка кинетики. Так как в CaF_2 при комнатной температуре одиночные электронные центры крайне нестабильны и находятся в основном в агрегированном состоянии, то разрушение дефектов с повышением температуры предположительно происходит за счёт высвобождения и миграции дырочных центров. В спектрах радиационно-индуцированного оптического поглощения около 6,5 эВ поглощают F_3^- квазимолекулы, диссоциация которых на V_k и Н центры начинается при температуре 430 К. последние дырочные центры крайне подвижны уже при комнатной температуре, т.е. происходит высвобождение дырки, которая мигрируя по кристаллу, встретив электронный центр, излучательно рекомбинирует с ним.

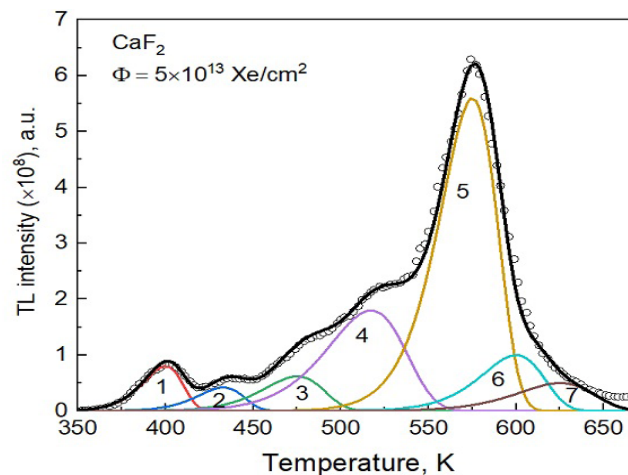


Рисунок 2 – Кривая ТСЛ кристалла CaF_2 , облученного при 295 К ионами Xe^{132} с флюенсом $5 \cdot 10^{13}$ ион/см²

В таблице 2 приведены параметры отдельных пиков, вычисленные посредством аппроксимации кривой ТСЛ функциями первого порядка кинетики. Как видно из таблицы, наибольшие значения энергии активации имеют высокотемпературные пики 5, 6 и 7, где согласно [11] и происходит основная стадия разрушения радиационно-индуцированных структурных дефектов и восстановление регулярной решетки. Следует предположить, что данные пики ТСЛ ответственны за распад крупных агрегатных центров F типа (F центр – анионная вакансия с захваченным электроном). Низкотемпературные пики ТСЛ с меньшей энергией активации должны быть связаны с высвобождением дырок.

Таблица 2 - Кинетические параметры пиков ТСЛ (CaF_2 , $\Phi = 5 \cdot 10^{13}$ Xe/cm²)

Параметр	Пик 1	Пик 2	Пик 3	Пик 4	Пик 5	Пик 6	Пик 7
Температура на максимуме пика T_m , К	400	433	475	517	575	600	625
Энергия активации E, эВ	1,2	1,2	1,1	1	1,7	1,7	1,5
Порядок кинетики b	1	1	1	1	1	1	1
Частотный фактор P_0	$2,3 \cdot 10^{14}$	$1,38 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{10}$	$4,86 \cdot 10^8$	$9,48 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{11}$

На рисунке 3 представлены спектры излучения, измеренные в интервале температур от 340 до 630 К для кристалла CaF_2 , облученного ионами Xe^{132} с флюенсом $5 \cdot 10^{13}$ ион/см². Корреляция между спектром излучения термолюминесценции и отдельными пиками ТСЛ является важным для объяснения механизма ТСЛ. Спектры излучения измерялись CCD детектором в процессе линейного нагрева кристалла со скоростью 10 К/мин. На данных спектрах можно выделить 8 полос свечения с разными интенсивностями, а именно при 2.1, 2.2, 2.24, 2.31, 2.36, 2.64, 2.91 и 2.94 эВ. Температурные зависимости интенсивности полос свечения при данных энергиях представлены на рисунках 4 и 5.

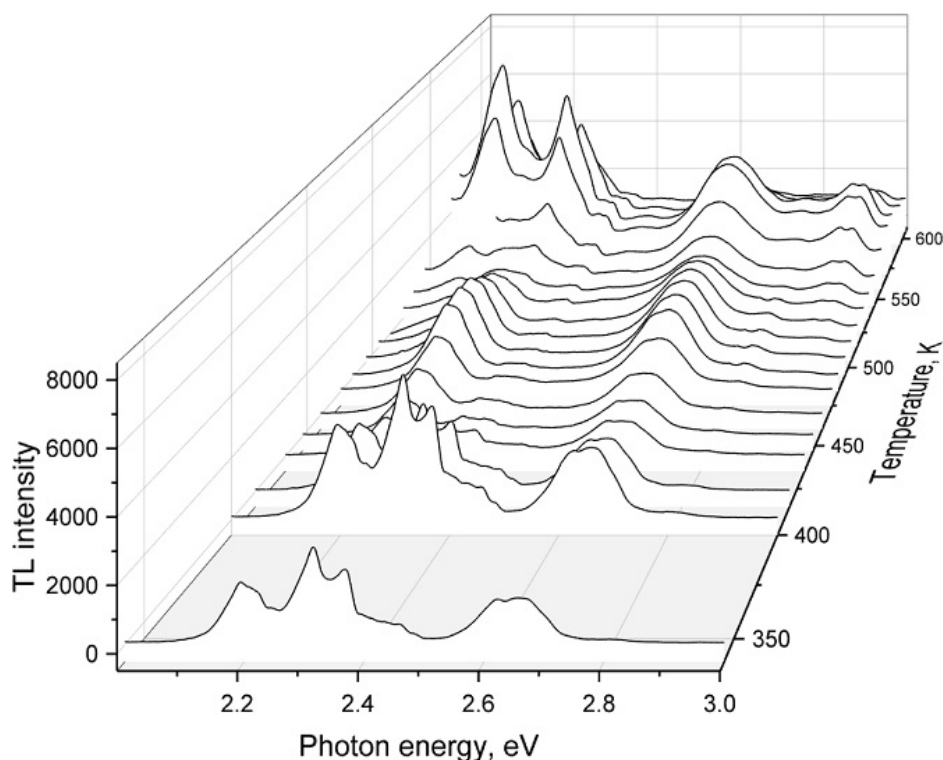


Рисунок 3 – Спектры термолюминесценции, измеренные в промежутке температур 340-630 К для ионно-облученного кристалла CaF_2 ($\Phi = 5 \cdot 10^{13} \text{ Xe/cm}^2$)

Спектральный состав 1-го пика ТСЛ при 400 К состоит из полос свечения при 2.2, 2.24, 2.31, 2.36 и 2.64 эВ. из рисунка 3 видно, что все эти полосы свечения начинают усиливаться с ростом температуры приблизительно до 405 К, далее мы наблюдаем ослабление свечений указанных энергий. Полосы 2.2, 2.24 и 2.64 эВ также входят в спектральный состав пиков ТСЛ в интервале температур 430-540 К, которые слабо заметны на фоне интенсивного пика при 575 К (рисунок 1). Интенсивности данных полос сначала растут при нагреве примерно до 480 К, а затем спадают с дальнейшим ростом температуры. Полоса при 2.64 эВ имеет дублетную структуру. Как видно, в данной температурной области практически отсутствуют свечения при 2.1, 2.31, 2.36, 2.91 и 2.94 эВ.

Спектральный состав наиболее интенсивного пика ТСЛ при 575 К состоит из всех выше перечисленных восьми полос свечения. Наибольший вклад дают центры, светящие около 2.1 и 2.24 эВ. Близкое расположение полос свечения 2.91 и 2.94 эВ и их одинаковая зависимость от температуры, предполагает принадлежность одному примесному центру. При нагреве в данном интервале температур также проявляется структурированность полосы 2.2 эВ, что подтверждается ростом интенсивности полосы 2.24 эВ.

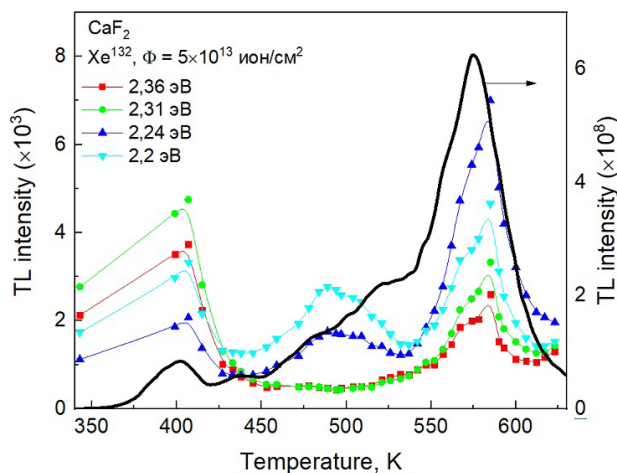


Рисунок 4 – Температурная зависимость полос свечения 2.2, 2.24, 2.31 и 2.36 эВ и кривая ТСЛ (правая шкала) в облученных ионами Xe^{132} кристаллах CaF_2

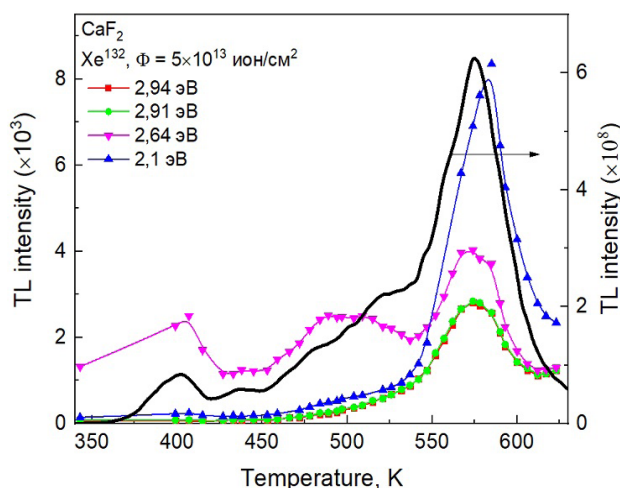


Рисунок 5 – Температурная зависимость полос свечения 2.1, 2.64, 2.91 и 2.94 эВ и кривая ТСЛ (правая шкала) в облученных ионами Xe^{132} кристаллах CaF_2

Как известно, в CaF_2 всегда присутствуют следы примесей редкоземельных ионов (РЗИ), которые могут действовать в качестве электронных и дырочных ловушек и/или люминесцентных центров. Кривые и спектры ТСЛ являются результатами одного и того же процесса. В то же время, положения пиков ТСЛ не зависят от состава примесей, тогда как спектр излучения пика ТСЛ является характеристикой примесных ионов. Это наглядно проявляется в ионно-облученных CaF_2 с разной концентрацией примесей, особенно в низкотемпературной области, где примесные центры все еще стабильны, а ТСЛ возникает за счет разрушения дырочных центров или собственных электронных центров. В облученных рентгеновскими лучами образцах, где облучение в основном вызывает перезарядку дефектов, ТСЛ напрямую зависит от примесного состава кристалла, и образцы с разным примесным составом могут демонстрировать совершенно разные кривые ТСЛ.

Итак, три полосы свечения регистрируются только в высокотемпературном ТСЛ, около 575 К. Как известно, многие центры свечения, в качестве которых могут выступать РЗИ, становятся нестабильными при достижении таких температур. Большинство РЗИ присутствуют в CaF_2 в трех- или двухвалентном состоянии и являются электронными ловушками. При облучении данные центры, захватывая электроны, понижают свою валентность. Нагрев кристалла выше 500 К освобождает электроны из данных ловушек и, таким образом, делает возможной их рекомбинацию со все еще локализованными дырками, а также с уже подвижными дырками в регулярных узлах решетки или около других центров свечения.

Узкие полосы в спектре ТСЛ принадлежат РЗИ. РЗИ³⁺ заменяют в кристалле ионы Ca^{2+} , а зарядовая компенсация происходит за счет междоузельного иона F^- или примесного O^{2-} иона. Облучение конвертирует РЗИ³⁺ в РЗИ²⁺ и формируются V_k -центры. Во время нагрева V_k -центр высвобождает дырку, которая рекомбинирует с электроном у РЗИ²⁺, что приводит к излучению характерной широкой полосы, а РЗИ³⁺, релаксируя из возбужденного состояния в основное, создает излучение подобное излучению свободных ионов, что также связано с экранированием валентной зоны лантаноидов.

Таким образом, ТСЛ может возникать из-за рекомбинации 1) освобожденных дырок со все еще захваченными электронами, 2) освобожденных электронов с захваченными дырками и 3) термически освобожденных электронов и дырок в подходящих центрах свечения. В первых двух случаях соответствующие ловушки могут иметь локальный характер (вблизи рекомбинационных центров). Аналогичным образом, когда и электроны, и дырки свободны (перемещаются в зоне проводимости и валентной зоне, соответственно), становится возможной их рекомбинация в подходящих позициях (дефекты, вакансии или интерстициалы), которая, возможно, и ответственна за высокотемпературные пики ТСЛ.

Заключение. В работе были представлены результаты исследования термостимулированной люминесценции кристаллов MgO и CaF_2 , облученных высокоэнергетическими ионами Xe^{132} с энергией иона 230 МэВ. Кривые ТСЛ для обоих кристаллов имеют структурный характер, состоят из нескольких элементарных пиков. Методом аппроксимации были выделены отдельные пики ТСЛ. Для MgO были получены 4 пика, для которых вычислены кинетические параметры. Высокотемпературный пик около 720 К можно связать с термическим разрушением Н центров. Для CaF_2 кривая ТСЛ также

была аппроксимирована с целью выявления отдельных пиков. В результате были получены 7 пиков ТСЛ. Наиболее интенсивный пик приходится на 575 К, который связан с разрушением крупных агрегатных дефектных центров. Для ионно-облученного кристалла CaF_2 были изучены спектры ТСЛ и сопоставлены с отдельными пиками ТСЛ. Очевидно, что примеси РЗИ, присутствующие в CaF_2 в качестве следов, и определяют спектральный состав пиков ТСЛ. Результаты показывают, что кривая ТСЛ не зависит от отдельных примесных ионов в кристалле, тогда как спектр ТСЛ является характеристикой примесных ионов. Таким образом, в номинально чистых CaF_2 ТСЛ происходит из-за следов примесей в кристаллах. В таких кристаллах в зависимости от природы кристалла, условий выращивания, скорости нагрева и других факторов различными исследователями наблюдались явно несовпадающие кривые ТСЛ.

Благодарности. Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09562859).

Information about the authors:

Ruslan Namysovich Asylbayev – PhD in the specialty 6D060400-Physics, Associate professor of the Higher School of Natural Sciences of Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-0049-5093>; E-mail: ruslanassylbay@yandex.ru; tel.: +7 771 559 32 82;

Baubekova Guldur Musayevna – PhD 6D072300-Technical physics, senior lecturer of the Department of Technical physics, Eurasian national University named after L.N. Gumilev, the city of Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-0662-428X>; E-mail: guldar_87@mail.ru;

Anueva Elmira Sighisoara – PhD doctoral candidate in the educational program of 8D01520-Physics of Pavlodar pedagogical University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: elmiraanaeva@mail.ru.

ЛИТЕРАТУРА

[1] A. Lushchik et al., “On the mechanisms of radiation damage and prospects of their suppression in complex metal oxides,” *Phys. status solidi*, vol. 250, no. 2, pp. 261–270, Feb. 2013, doi: 10.1002/PSSB.201200488.

[2] E. Feldbach, E. Töldsepp, M. Kirm, A. Lushchik, K. Mizohata, and J. Räisänen, “Radiation resistance diagnostics of wide-gap optical materials,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 55, pp. 164–167, May 2016, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2016.03.008.

[3] G. Baubekova et al., “Accumulation of radiation defects and modification of micromechanical properties under MgO crystal irradiation with swift ^{132}Xe ions,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 463, pp. 50–54, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.021.

[4] G. Baubekova et al., “Thermal annealing of radiation damage produced by swift ^{132}Xe ions in MgO single crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 462, pp. 163–168, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.013.

[5] S.A. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, S. Nakonechnyi, and E. Shablonin, “Trapped-hole centers in MgO single crystals,” *Phys. Solid State* 2011 536, vol. 53, no. 6, pp. 1244–1252, Jun. 2011, doi: 10.1134/S1063783411060084.

[6] Г.М. Баубекова, А.Ч. Лущик, Асылбаев Р.Н., and Акылбеков А.Т., “Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами,” *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева*, vol. 128, no. 3, pp. 41–49, 2019.

[7] C. Pandurangappa, B.N. Lakshminarasappa, F. Singh, and K.R. Nagabhushana, “Optical absorption and thermoluminescence studies in 100MeV swift heavy ion irradiated CaF_2 crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 269, no. 2, pp. 185–188, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.nimb.2010.10.022.

[8] M. Toulemonde et al., “Dense and nanometric electronic excitations induced by swift heavy ions in an ionic CaF_2 crystal: Evidence for two thresholds of damage creation,” *Phys. Rev. B*, vol. 85, no. 5, p. 054112, Feb. 2012, doi: 10.1103/PhysRevB.85.054112.

[9] H. Amekura, R. Li, N. Okubo, N. Ishikawa, and F. Chen, “Swift heavy ion irradiation to non-amorphizable CaF_2 and amorphizable $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 474, pp. 78–82, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.nimb.2020.04.023.

[10] R. Assylbayev, A. Akilbekov, A. Dauletbekova, A. Lushchik, E. Shablonin, and E. Vasil’chenko, “Radiation damage caused by swift heavy ions in CaF_2 single crystals,” *Radiat. Meas.*, vol. 90, pp. 18–22, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.RADMEAS.2015.12.034.

- [11] R. Assylbayev et al., “Structural defects caused by swift ions in fluorite single crystals,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 75, pp. 196–203, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2017.10.026.
- [12] M.S. Bhadane et al., “Structural, morphological, thermal and dosimetric properties of CaF₂:Dy nanophosphor for 100 keV Cu⁺ ion irradiation,” 2017, p. 050124, doi: 10.1063/1.4980357.
- [13] S. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, N. Mironova-Ulmane, and S. Nakonechnyi, “Thermoluminescence Centres Created Selectively in MgO Crystals by Fast Neutrons,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 100, no. 1–4, pp. 127–130, Jul. 2002, doi: 10.1093/OXFORDJOURNALS.RPD.A005828.
- [14] Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, and М.В. Здоровец, “Термостимулированная люминесценция кристаллов CaF₂, облученных быстрыми тяжелыми ионами,” *Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева*, vol. 111, no. 2, pp. 320–325, 2016.
- [15] V. Kiisk, “Deconvolution and simulation of thermoluminescence glow curves with Mathcad,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 156, no. 3, pp. 261–267, Sep. 2013, doi: 10.1093/rpd/nct072.
- [16] J. Peng, G. Kitis, A.M. Sadek, E.C. Karsu Asal, and Z. Li, “Thermoluminescence glow-curve deconvolution using analytical expressions: A unified presentation,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 168, p. 109440, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.apradiso.2020.109440.

REFERENCES

- [1] A. Lushchik et al., “On the mechanisms of radiation damage and prospects of their suppression in complex metal oxides,” *Phys. status solidi*, vol. 250, no. 2, pp. 261–270, Feb. 2013, doi: 10.1002/PSSB.201200488.
- [2] E. Feldbach, E. Töldsepp, M. Kirm, A. Lushchik, K. Mizohata, and J. Räisänen, “Radiation resistance diagnostics of wide-gap optical materials,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 55, pp. 164–167, May 2016, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2016.03.008.
- [3] G. Baubekova et al., “Accumulation of radiation defects and modification of micromechanical properties under MgO crystal irradiation with swift 132Xe ions,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 463, pp. 50–54, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.021.
- [4] G. Baubekova et al., “Thermal annealing of radiation damage produced by swift 132Xe ions in MgO single crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 462, pp. 163–168, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.NIMB.2019.11.013.
- [5] S.A. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, S. Nakonechnyi, and E. Shablonin, “Trapped-hole centers in MgO single crystals,” *Phys. Solid State* 2011 536, vol. 53, no. 6, pp. 1244–1252, Jun. 2011, doi: 10.1134/S1063783411060084.
- [6] G.M. Baubekova, A. Ch. Lushchik, Assylbayev R.N., and Akylbekov A.T., “Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with high-energy ions”” *Bulletin of the L.N. Gumilev Eurasian National University*, vol. 128, No. 3, pp. 41-49, 2019 (in Russian).
- [7] C. Pandurangappa, B.N. Lakshminarasappa, F. Singh, and K.R. Nagabhushana, “Optical absorption and thermoluminescence studies in 100MeV swift heavy ion irradiated CaF₂ crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 269, no. 2, pp. 185–188, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.nimb.2010.10.022.
- [8] M. Toulemonde et al., “Dense and nanometric electronic excitations induced by swift heavy ions in an ionic CaF₂ crystal: Evidence for two thresholds of damage creation,” *Phys. Rev. B*, vol. 85, no. 5, p. 054112, Feb. 2012, doi: 10.1103/PhysRevB.85.054112.
- [9] H. Amekura, R. Li, N. Okubo, N. Ishikawa, and F. Chen, “Swift heavy ion irradiation to non-amorphizable CaF₂ and amorphizable Y₃Al₅O₁₂ (YAG) crystals,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 474, pp. 78–82, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.nimb.2020.04.023.
- [10] R. Assylbayev, A. Akilbekov, A. Dautbekova, A. Lushchik, E. Shablonin, and E. Vasil’chenko, “Radiation damage caused by swift heavy ions in CaF₂ single crystals,” *Radiat. Meas.*, vol. 90, pp. 18–22, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.RADMEAS.2015.12.034.
- [11] R. Assylbayev et al., “Structural defects caused by swift ions in fluorite single crystals,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 75, pp. 196–203, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2017.10.026.
- [12] M.S. Bhadane et al., “Structural, morphological, thermal and dosimetric properties of CaF₂:Dy nanophosphor for 100 keV Cu⁺ ion irradiation,” 2017, p. 050124, doi: 10.1063/1.4980357.
- [13] S. Dolgov, T. Kärner, A. Lushchik, A. Maaros, N. Mironova-Ulmane, and S. Nakonechnyi, “Thermoluminescence Centres Created Selectively in MgO Crystals by Fast Neutrons,” *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 100, no. 1–4, pp. 127–130, Jul. 2002, doi: 10.1093/OXFORDJOURNALS.RPD.A005828.

[14] R.N. Assylbayev, G.M. Baubekova, and M.V. Zdorovets“ “Thermostimulated luminescence of CaF₂ crystals irradiated with fast heavy ions,” Bulletin of L.N. Gumilyov ENU, vol. 111, No. 2, pp. 320-325, 2016 (in Russian).

[15] V. Kiisk, “Deconvolution and simulation of thermoluminescence glow curves with Mathcad,” Radiat. Prot. Dosimetry, vol. 156, no. 3, pp. 261–267, Sep. 2013, doi: 10.1093/rpd/nct072.

[16] J. Peng, G. Kitis, A.M. Sadek, E.C. Karsu Asal, and Z. Li, “Thermoluminescence glow-curve deconvolution using analytical expressions: A unified presentation,” Appl. Radiat. Isot., vol. 168, p. 109440, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.apradiso.2020.109440.

МАЗМҰНЫ

БИОТЕХНОЛОГИЯ

Э.К. Асембаева, Э.К. Адильбекова, А.Б. Токтамысова, З.Ж. Сейдахметова, А.Б. Бейсембаева ПРЕБИОТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМНІҢ ҚАУІПСІЗДІК КӨРСЕТКІШТЕРІ.....	5
С.Б. Бакиров, Қ. Ғалымбек, А.К. Маденова, К. Акан, Н.С. Сафарова ҚАТТЫ ҚАРА КҮЙЕ (<i>Tilletiacaries (DC.) Tul.</i>) ПАТОГЕНІНЕ БИДАЙ ҮЛГІЛЕРІНІҢ ТӨЗІМДІЛІГІН СЫНАУ.....	12
Г.Н. Калыкова, И.К. Купсуралиева, А.О. Сагитов ҚЫРҒЫЗСТАНДАҒЫ СЕМЕНОВ САМЫРСЫНЫҢ ЗИЯНКЕСТЕРІ МЕН АУРУЛАРЫ.....	21
В.В. Малородов, А.К. Османян, Р.З. Абдулхаликов, М.Т. Каргаева ТАУЫҚҚОРАЛАРДАҒЫ МИКРОКЛИМАТ БІРКЕЛКІЛІГІНІҢ БРОЙЛЕРДІ ӨСІРУГЕ ТИІМДІ ӨСЕРІ.....	27
С.С. Манукян ЕКІ ЖАҚТЫ ТЫҒЫЗДАУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН "ЛОРИ" ІРІМШІГІНІҢ АНИЗОТРОПИЯСЫ.....	34
Д.Ә. Смағұлова, Н.Д. Курманғалиева, Ә.С. Сұлтанова ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫСЫНЫҢ ШАРУАШЫЛЫҚ-БАҒАЛЫ БЕЛГІЛЕРІ БОЙЫНША АҚБАС ҚЫРЫҚАБАТТЫҢ СҰРЫПТАРЫН БАҒАЛАУ.....	43
Ю.А. Юлдашбаев, А.М. Абдулмуслимов, А.А. Хожоков, Д.А. Баймұқанов ДАҒЫСТАН ТАУЛЫ ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ БУДАНДАРЫНЫҢ ЕТТЕРІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІТЕРІ.....	48

ФИЗИКА

Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, Э.Ш. Анаева ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ИОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН CaF_2 ЖӘНЕ MgO МОНОКРИСТАЛДАРЫНЫҢ ТЕРМОБЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ.....	54
З.И. Джамалова, Б.М. Калдыбаева, С.А. Болдырев, Д.М. Кенжебеков P-GRAPHPРОГРАММАСЫНҚОЛДАНУҮШІНМОДЕЛДЕРҚҰРУЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	64
М.С. Есенаманова, А. Ануарбекова, Д. Рыскалиева, Ж.С. Есенаманова, А.Е. Тлепбергенова АТЫРАУ ОБЛЫСЫНДАҒЫ «ТЕҢІЗШЕВРОЙЛ» ЖШС НЫСАНДАРЫНАН АТМОСФЕРАҒА ШЫҒАТЫН ЛАСТАУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН ТАЛДАУ.....	72
Д.Б. Куватова, Д.В. Юрин, М.А. Макуков, Ч.Т. Омаров ХЕРНКВИСТ ИЗОТРОПТЫ СФЕРАСЫНЫҢ КЕҢІСТІКТІК ҚҰРЫЛЫМДЫ ЖАНШЫЛУҒА РЕАКЦИЯСЫ.....	82
Ж.С. Мұстафаев, Рыскулбекова Л.М. ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ӨЛШЕМДЕРІНІҢ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ӨЗГЕРУІ.....	90
Г.Е. Сағындықова, С.Ж. Қазбекова, Э. Елстс, Г.А. Абденова, Ж.К. Ермекова TL^+ ИОНДАРЫМЕН АКТИВТЕНДІРІЛГЕН LiKSO_4 КРИСТАЛЫНЫҢ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСЫ.....	98
М.К. Скаков, Ас.М. Жилкашинова, Ал.М. Жилкашинова, И.А. Очередько. СО-CR-AL-Y КОМПОЗИТТІК ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН БОЛЖАУДЫҢ ЕСЕПТІК-ЭКСПЕРИМЕНТТІК ӘДІСІ.....	105

СОДЕРЖАНИЕ

БИОТЕХНОЛОГИЯ

Э.К. Асембаева, Э.К. Адильбекова, А.Б. Токтамысова, З.Ж. Сейдахметова, А.Б. Бейсембаева ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ПРЕБИОТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ.....	5
С.Б. Бакиров, К. Галымбек, А.К. Маденова, К. Акан, Н.С. Сафарова ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТОГЕННОСТИ ТВЁРДОЙ ГОЛОВНИ (<i>TILLETIACARIES (DC.) TUL.</i>).....	12
Г.Н. Калыкова, И.К. Купсуралиева, А.О. Сагитов ВРЕДИТЕЛИ И БОЛЕЗНИ ПИХТЫ СЕМЕНОВА В КЫРГЫЗСТАНЕ.....	21
В.В. Малородов, А.К. Османян, Р.З.Абдулхаликов, М.Т. Каргаева ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ МИКРОКЛИМАТАВ ПТИЧНИКАХ НА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ БРОЙЛЕРОВ.....	27
С.С. Манукян НИЗОТРОПИЯ СРЕДНЕГО СЛОЯ СЫРА “ЛОРИ”, ВЫРАБОТАННОГО ДВУХСТОРОННИМ ПРЕССОВАНИЕМ.....	34
Д.А. Смагулова, Н.Д. Курмангалиева, А.С. Султанова ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА.....	43
Ю.А. Юлдашбаев, А.М. Абдулмуслимов, А.А. Хожоков, Д.А. Баймуканов БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСА БАРАНЧИКОВ ДАГЕСТАНСКОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ИХ ПОМЕСЕЙ.....	48

ФИЗИКА

Р.Н. Асылбаев, Г.М. Баубекова, Э.Ш. Анаева ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ MgO И CaF_2 , ОБЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ.....	54
З.И. Джамалова, Б.М. Калдыбаева, С.А.Болдырев, Д.М. Кенжебеков МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И ОПТИМИЗАЦИИТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ P-GRAPH.....	64
М.С. Есенаманова, А. Ануарбекова, Д. Рыскалиева, Ж.С. Есенаманова, А.Е. Тлепбергенова АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТОО «ТЕНГИЗШЕВРОЙЛ» В АТЫРАУСКОЙ ОБЛАСТИ.....	72
Д.Б. Куватова, Д.В. Юрин, М.А. Макуков, Ч.Т. Омаров ОТКЛИК ИЗОТРОПНОЙ СФЕРЫ ХЕРНКВИСТА НА СПЛЮЩИВАНИЕ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ.....	82
Ж.С. Мустафаев, Рыскулбекова Л.М. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОСБОРА БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЕ.....	90
Г.Е. Сагындыкова, С.Ж. Казбекова, Э. Елстс, Г.А. Абденова, Ж.К. Ермекова ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ $LiKSO_4$, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Tl^+	98
М.К. Скаков, Ас.М. Жилкашинова, Ал.М. Жилкашинова, И.А. Очередыко РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ $CO-CR-Al-Y$	105

CONTENTS

BIOTECHNOLOGY

E.K. Assembayeva, E.K. Adilbekova, A.B. Toktamyssova, Z.Zh. Seidakhmetova, A.B. Beisembayeva SAFETY INDICATORS OF SOUR MILK PRODUCTS WITH PREBIOTIC PROPERTIES.....	5
S.B. Bakirov, K. Galymbek, A.K. Madenova, K. Akan, N.S. Safarova RESISTANCE TESTING OF WHEAT SAMPLES TO COMMON BUNT (<i>Tilletia caries</i> (dc.) Tul.) PATHOGENS.....	12
G.N. Kalykova, I.K. Kupsuralieva, A.O. Sagitov PESTS AND DISEASES OF SEMYONOV FIRS IN KYRGYZSTAN.....	21
V.V. Malorodov, A.K. Osmanyay, R.Z. Abdulkhalikov, M. T. Kargaeyeva THE EFFECT OF INCREASING THE UNIFORMITY OF THE MICROCLIMATE IN POULTRY HOUSES ON THE EFFECTIVENESS OF BROILER GROWING.....	27
S.S. Manukyan ANISOTROPY OF CHEESE “LORI” PRODUCED BY DOUBLE-SIDED PRESSING.....	34
Smagulova D.A., Kurmangalieva N.D., Sultanova A.S. EVALUATION OF VARIETIES OF WHITE CABBAGE ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN.....	43
Yu.A. Yuldashbayev, A.M. Abdulmuslimov, A.A. Khozhokov, D.A. Baimukanov BIOLOGICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF MEAT OF SHEEP OF THE DAGESTAN MOUNTAIN BREED AND THEIR HYBRIDS.....	48

PHYSICS

R. Assylbayev, G. Baubekova, E. Anaeva THERMOSTIMULATED LUMINESCENCE OF CaF ₂ AND MgO SINGLE CRYSTALS IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS.....	54
Z.I. Jamalova, B.M. Kaldybayeva, S.A. Boldyryev, D.M. Kenzhebekov METHODOLOGY FOR BUILDING MODELS AND OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PROCESSES USING P-GRAPH SOFTWARE.....	64
M. Yessenamanova, A. Anuarbekova, D. Ryskalieva, Zh. Yessenamanov, A.E. Tlepbergenova ANALYSIS OF EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE FOR THE FACILITIES OF TENGIZCHEVROIL LLP IN ATYRAU REGION.....	72
D.B. Kuvatova, D.V. Yurin, M.A. Makukov, C.T. Omarov RESPONSE OF THE ISOTROPIC HERNQUIST SPHERE TO FLATTENING OF ITS SPATIAL STRUCTURE.....	82
Zh.S. Mustafayev, Ryskulbekova L.M. SPATIAL-TIME CHANGE IN THE CLIMATIC PARAMETERS OF THE DRAINAGE OF THE RIVER BASIN ILI.....	90
G.E. Sagyndykova, S.Zh. Kazbekova, E. Elsts, G.A. Abdenova, Zh.K. Yermekova PHOTOLUMINESCENCE OF LiKSO ₄ ACTIVATED BY TL ⁺ IONS.....	98
M. Skakov, As. Zhilkashinova, I. Ocheredko, Al. Zhilkashinova COMPUTATIONAL – EXPERIMENTAL METHOD OF FORECASTING THE LIFETIME OF CO-CR-AL-Y COMPOSITE COATINGS.....	105

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

**ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)**

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 10.03.2022.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф.
7,5 п.л. Тираж 300. Заказ 1.

